



Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad)  
para la navegabilidad del río Atrato



# **INVESTIGACIÓN PARA LA COMPLEMENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS FASE II (FACTIBILIDAD) PARA LA NAVEGABILIDAD DEL RÍO ATRATO**

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 2141 de 2011**

**VOLUMEN III**

**ESTUDIO DE GEOTECNIA**

**QUIBDÓ – CHOCÓ**

**2013**



## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	6
2	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	7
3	OBJETIVO Y ALCANCES.....	10
3.1	OBJETIVO GENERAL .....	10
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
3.3	ALCANCES.....	10
4	METODOLOGÍA .....	11
5	GEOLOGÍA .....	11
5.1	LITOESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO.....	11
5.1.1	Llanura de inundación del río Atrato.....	13
5.1.2	Depósitos Intermareales (Q2m).....	15
5.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO.....	16
5.3	TECTÓNICA DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO .....	17
5.3.1	Marco geotectónico global.....	17
5.3.2	Tectónica y sismicidad colombianas .....	19
5.3.3	Caracterización de la tectónica de la cuenca del río Atrato .....	19
5.4	GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO.....	24
5.4.1	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL RÍO ATRATO .....	25
5.4.2	EROSIÓN FLUVIAL EN EL ATRATO.....	26
5.4.3	PERFIL LONGITUDINAL DEL RÍO ATRATO (QUIBDÓ-URABÁ).....	27
5.4.4	CANAL DEL RÍO ATRATO.....	28
5.4.5	DELTA DEL RÍO ATRATO .....	30
6	TRABAJOS DE CAMPO .....	33
6.1	Inspección del entorno: .....	34
6.2	Sondeos:.....	34
6.3	Ejecución de ensayos de campo y toma de muestras .....	35
6.4	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO en el sitio denominado “calle quibdó”.....	39
6.5	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO EN EL SITIO DENOMINADO “CASIMIRO”. 42	
6.6	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO PARA EL FUTURO PUERTO EN EL GOLFO DE URABÁ (TARENA). ....	44
7	CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO .....	46
7.1	PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SITIO DENOMINADO “CALLE QUIBDÓ”... ..	46
7.2	PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SITIO DENOMINADO CASIMIRO.....	55
7.3	PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SITIO DE UBICACIÓN DEL PUERTO EN EL GOLFO DE URABÁ (TARENA) .....	65
8	ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN .....	81
9	ANÁLISIS GEOTÉCNICO .....	83
9.1	PUERTO FLUVIAL DE QUIBDÓ – CURVA DENOMINADA CASIMIRO. ....	83



9.1.1 Riesgos asociados con el perfil estratigráfico del sitio denominado “casimiro” .....	83
9.1.2 ALTERNATIVAS PARA LA FIJACIÓN DE LA ORILLA DE LA CURVA DE CASIMIRO. ....	84
9.1.3 ANALISIS GEOTECNICO PARA EL DISEÑO DE LA FIJACION DE ORILLAS Y LA CIMENTACION DE ESTRUCTURAS .....	86
9.2 PUERTO MARÍTIMO-FLUVIAL EN EL GOLFO DE URABÁ (TARENA).....	92
9.2.1 Riesgos asociados con el perfil estratigráfico del sitio de ubicación del puerto en el golfo de urabá. ....	92
9.2.2 ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MURO DE CONTENCIÓN DE LOS MUELLES DEL PUERTO DEL GOLFO DE URABÁ (TARENA). ....	93
9.2.3 ANALISIS GEOTECNICO PARA EL DISEÑO DE LA FIJACION DE ORILLAS Y LA CIMENTACION DE ESTRUCTURAS .....	94
10 RESULTADOS y CONCLUSIONES.....	100
11 RECOMENDACIONES .....	102
BIBLIOGRAFÍA.....	103



## LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización del sistema de transporte estudiado.....	7
Ilustración 2. Localización del puerto en el golfo de Urabá (Tarena) .....	8
Ilustración 3. Localización del puerto fluvial de Quibdó .....	9
Ilustración 4.Radar mapa ilustrativo del alto grado de sinuosidad del canal del Atrato.....	14
Ilustración 5. Perfil Geológico de la cuenca del río Atrato a la altura de Buchadó.....	17
Ilustración 6. Marco Geotectónico Global.....	18
Ilustración 7. Unidades litotectónicas y mofoestructurales del Bloque Andino Norte .....	21
Ilustración 8 . Perfil longitudinal de cauce del río Atrato.....	23
Ilustración 9 . Perfil Longitudinal, Quibdó-Urabá.....	27
Ilustración 10 . Radar mapa ilustrativo del alto grado de sinuosidad del canal del Atrato.....	28
Ilustración 11 . Radar mapa ilustrativo de la dinámica del canal del río Atrato .....	29
Ilustración 12 .Radar mapa. Delta del río Atrato, controlado fluvialmente.....	32
Ilustración 13. Localización de los posibles sitios del puerto de Quibdó, “Casimiro” (amarillo) y “Calle Quibdó” (naranja). .....	33
Ilustración 14. Localización del puerto de Tarena en imágen de radar. ....	34
Ilustración 15.Muestreador estándar para el ensayo SPT .....	36
Ilustración 16.Muestreador de pared delgada .....	36
Ilustración 17.localización de sondeos en “Calle Quibdó”.....	40
Ilustración 18.localización de sondeos en “Casimiro” .....	42
Ilustración 19.localización de sondeso de exploración del subsuelo en “Tarena” .....	44
Ilustración 20. Registro de perforación Sondeo P-1. Calle Quibdó.....	47
Ilustración 21. Registro de perforación Sondeo P-2 Calle Quibdó.....	50
Ilustración 22. Registro de perforación sondeo p-3, Calle Quibdó .....	52
Ilustración 23. Registro de perforación Sondeo 1 Casimiro .....	56
Ilustración 24. Registro de perforación sondeo P-2 Casimiro .....	59
Ilustración 25. Registro de perforación sondeo P-3 Casimiro .....	62
Ilustración 26. Registro de perforación sondeo P-1 Tarena.....	66
Ilustración 27. Registro de perforación sondeo P-2 Tarena.....	71
Ilustración 28. Registro de perforación sondeo P-3 Tarena.....	76
Ilustración 29 . Ataguía de dos muros de tablestaca conectados por un anclaje. ....	84
Ilustración 30. Muelle de atraque abierto con revestimiento del talud de la orilla.....	85
Ilustración 31. Sección transversal de muro de contención combinado, pilotes y tablestaca.....	85
Ilustración 32. Sección transversal de muro de contención combinado, pilotes y tablestaca metálica. ....	93
Ilustración 33. Sección transversal de muro de contención combinado, perfiles en H y tablestaca metálica. ....	93



## LISTADO DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Dique natural del río Atrato .....	15
Fotografía 2 . Depósito Intermareal (Q2m) cubierto de mangle.....	16
Fotografía 3 . Socavación lateral río Atrato.....	26
Fotografía 4. Muestra típica remoldeada .....	37
Fotografía 5. Bolsas con muestras remoldeadas.....	37
Fotografía 6. Muestra tomada con muestreador estandar .....	38
Fotografía 7. Exploración del subsuelo “P1-Calle Quibdó” .....	40
Fotografía 8. Exploración del subsuelo “P2-Calle Quibdó” .....	41
Fotografía 9. Exploración del subsuelo “P3-Calle Quibdó” .....	41
Fotografía 10.exploración del subsuelo en el sitio denominado “Casimiro, sondeo P-1 .....	43
Fotografía 11.exploración del subsuelo en el sitio denominado “Casimiro, sondeo P-2 .....	43
Fotografía 12 . Exploración del subsuelo en el sitio para el futuro puerto marítimo del golfo de Urabá - “Tarena”.....	45
Fotografía 13Muro de contención combinado, perfiles en H y tablestaca metálica.....	94

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Localización de sondeos exploratorios .....	35
Tabla 2 Tipos de ensayos y cantidad de muestras analizadas.....	39
Tabla 3. Propiedades geomecánicas sector Casimiro .....	86
Tabla 4. Capacidad de carga pilotes de 0.30 m de diametro.....	89
Tabla 5. Capacidad de carga pilotes de 0.40 m de diametro.....	89
Tabla 6. Propiedades geotécnicas sector Tarena.....	95
Tabla 7. Capacidad de carga pilotes de 0.30 m de diametro.....	97
Tabla 8. Capacidad de carga pilotes de 0.40 m de diametro.....	97



## 1 INTRODUCCIÓN

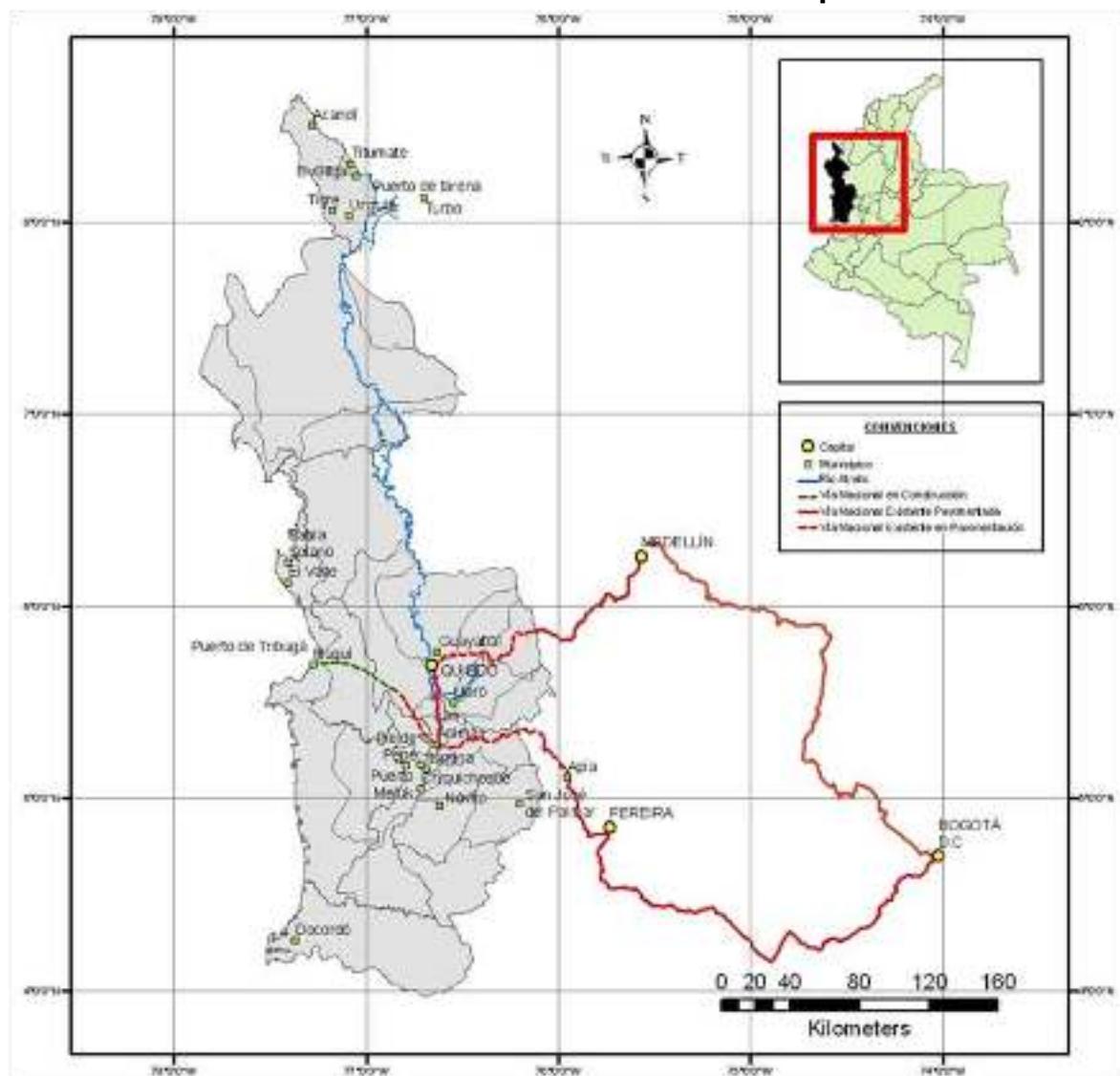
El Ministerio de Transporte como ente rector de la política del transporte en Colombia suscribió a través del Instituto Nacional de Vías–INVIAS el convenio interadministrativo 2141 de 2011 con el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico-IIAP cuyo objeto fue la “**INVESTIGACIÓN PARA LA COMPLEMENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS FASE II (FACTIBILIDAD) DE LA NAVEGABILIDAD DEL RÍO ATRATO**”. Durante el desarrollo de esta investigación se logró avanzar en la factibilidad técnica, socio-económica y ambiental que tiene el canal navegable del río Atrato de hacer parte integrante y estructurante de un **sistema de transporte intermodal** con un componente fluvial desde Quibdó hasta el golfo de Urabá en una extensión de 494 km y dos componentes carreteros que hacen una conexión eficiente entre el interior del país (Pereira y Medellín) y el océano Atlántico utilizando los “corredores de prosperidad” en construcción, Pereira-Quibdó y Medellín-Quibdó, ver figura de localización. Este sistema de transporte intermodal plantea una conexión por modo carretero desde Pereira y Medellín a un **puerto fluvial en Quibdó** y desde éste a través del canal navegable del río Atrato hasta un **puerto mixto, marítimo y fluvial**, en el golfo de Urabá en jurisdicción del municipio de Turbo, ver figuras.

Para que el sistema de transporte estudiado entre en operación sólo hace falta la construcción de los dos puertos mencionados, es decir, el puerto fluvial de Quibdó y el puerto marítimo-fluvial del golfo de Urabá, por lo tanto el énfasis del estudio de geotecnia se hace en la caracterización geotécnica de los depósitos cuaternarios fluviales e intermareales en donde se van a construir dichas obras.

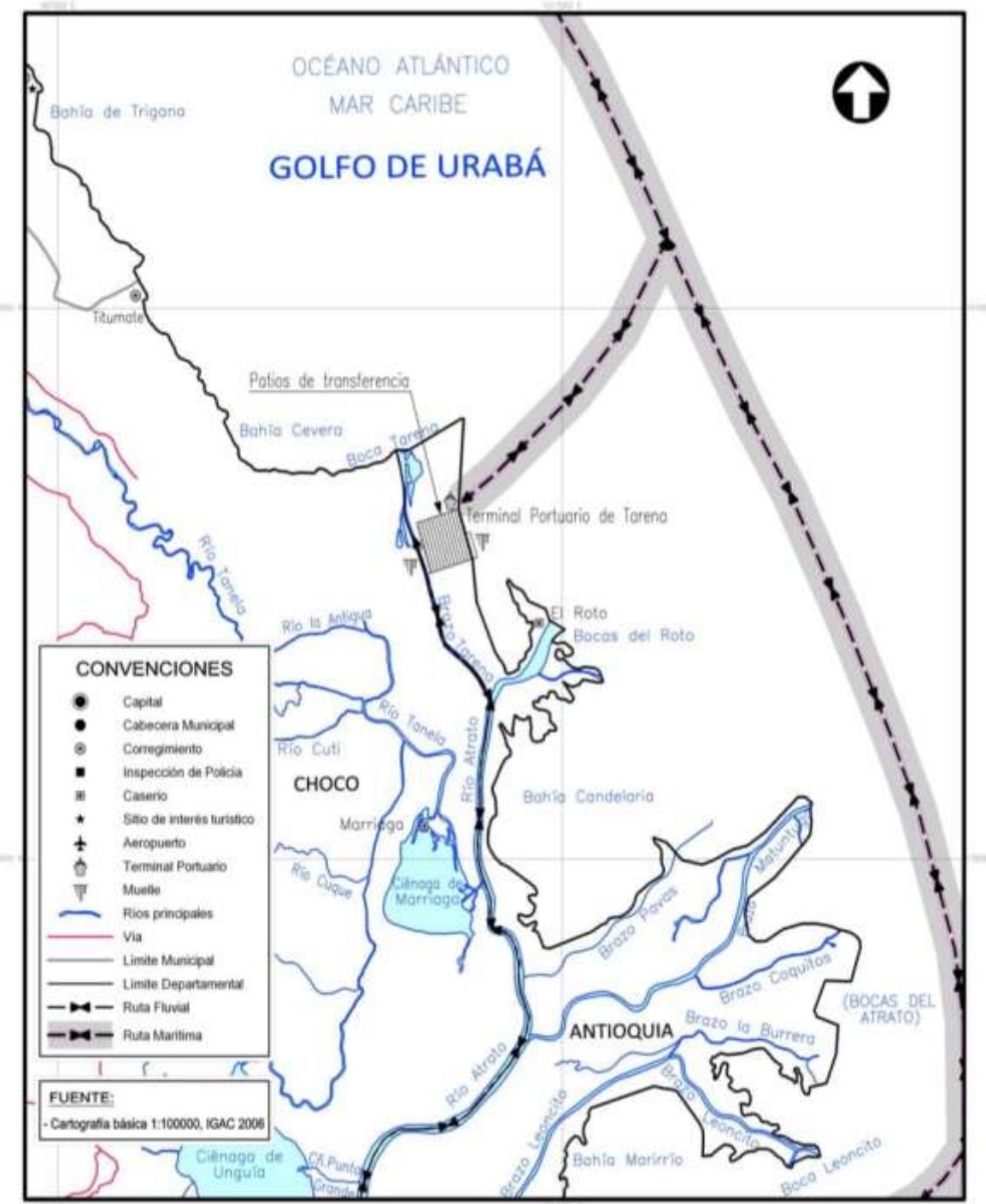
Es importante recordar que el presente estudio corresponde fase II o factibilidad y que será necesario ajustar o ampliar las recomendaciones planteadas en el mismo, durante la ejecución de la fase III. En relación con la exploración geotécnica se programaron tres sondeos exploratorios en cada uno de los sitios analizados, por el sistema de rotoperCUSIÓN, que alcanzaron hasta de 30 metros de profundidad. El número de sondeos estuvo limitado por motivos presupuestales y se requerirá ampliarlo en la fase de diseño final.

## 2 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

**Ilustración 1. Localización del sistema de transporte estudiado.**



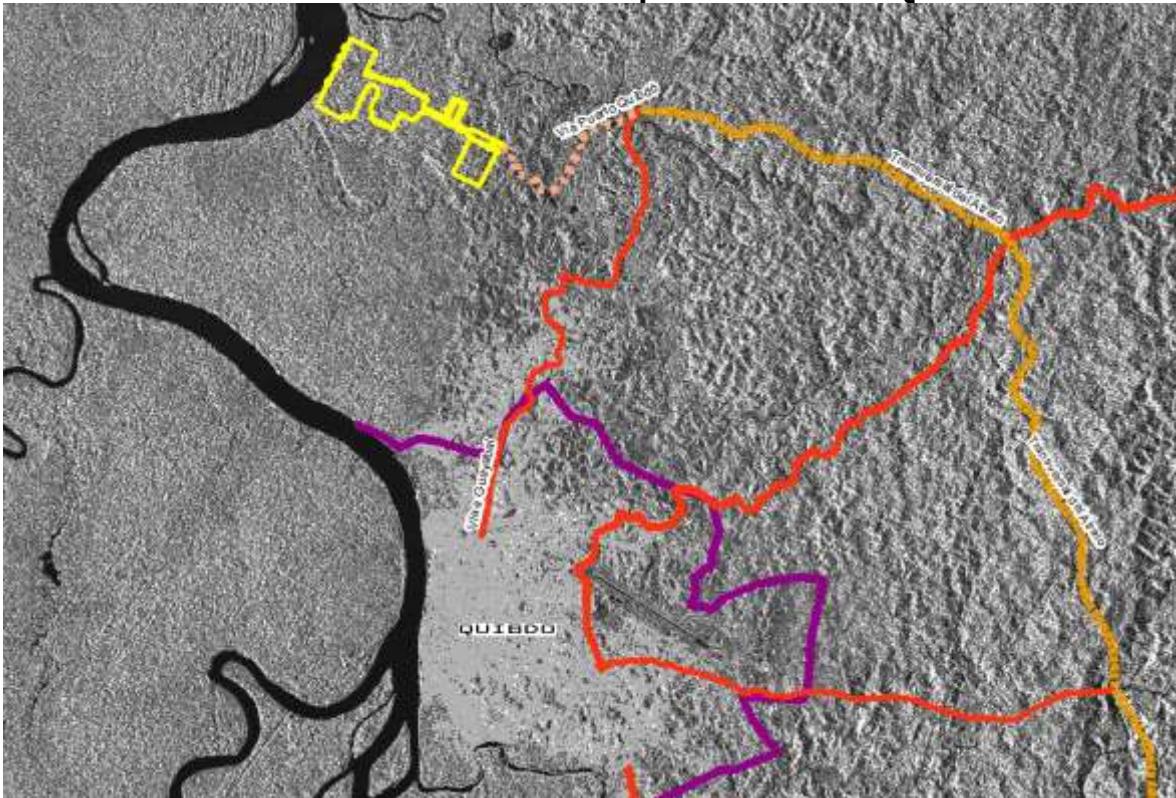
**Ilustración 2. Localización del puerto en el golfo de Urabá (Tarena)**



Fuente: Cartografía básica IGAC y convenio 3479 de 2008, INVIAST-UTCH

Según el volumen II (Geología y Geomorfología) de este estudio, el sitio en donde se va a construir el puerto marítimo y fluvial en el golfo de Urabá (Puerto de Tarena), corresponde a un depósito cuaternario intermareal (Q2m) saturado, que en sus primeros 3 metros es una arcilla café con alto contenido de materia orgánica y de los tres metros hasta los 30 metros se presenta una arena fina limosa y arcillosa de baja capacidad portante con intercalaciones de limos de alta y baja plasticidad.

**Ilustración 3. Localización del puerto fluvial de Quibdó**



Según el volumen II (Geología y Geomorfología) de este estudio, el sitio en donde se va a construir el puerto fluvial en Quibdó (Chocó), corresponde a un depósito fluvial cuaternario (Q2al) saturado del río Atrato, que en sus primeros 4 metros es una arcilla gris verdosa con alto contenido de materia orgánica, de los 4 hasta los 10 metros se encuentra una arena fina limosa de color gris azuloso y de los 10 hasta los 30 metros aparece una grava limosa mal gradada que dio rechazo entre los 13 y los 16 metros.

 <b>INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS</b>	Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad) para la navegabilidad del río Atrato	
--	---	--

### **3 OBJETIVO Y ALCANCES**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar los suelos de fundación de los sitios en donde se construirán los puertos del sistema de transporte intermodal estudiado.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Hacer exploración del subsuelo para su respectiva caracterización de los dos posibles sitios de ubicación del puerto de Quibdó.
- Hacer la exploración del subsuelo del sitio definido para la construcción del puerto en el Golfo de Urabá (Tarena).
- Plantear alternativas para el sistema de fundación de los puertos del sistema de transporte intermodal estudiado.
- Hacer el análisis geotécnico de los sistemas de fundación propuestos para los dos puertos del sistema de transporte estudiado.

#### **3.3 ALCANCES**

- Exploración del subsuelo hasta 30 metros de profundidad con taladro rotopercutor en los dos posibles sitios de ubicación del puerto de Quibdó.
- Exploración del subsuelo hasta 30 metros de profundidad con taladro rotopercutor en el sitio definido para la construcción del puerto en el Golfo de Urabá (Tarena).
- Definición del sistema de fijación de orilla para la curva de Casimiro.
- Definición del sistema de muro de contención de muelles y obras de abrigo para el puerto en el golfo de Urabá (Tarena).



## 4 METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta que en el convenio 3479 de 2008 no se hizo exploración del subsuelo, en esta fase de complemento del estudio de factibilidad del proyecto se planteó la necesidad de hacer una exploración del subsuelo de los sitios de posible ubicación de los puertos utilizando taladro rotopercutor, haciendo ensayos *in situ* (SPT) y de laboratorio como granulometría, límites, humedad y compresión simple para la respectiva caracterización del perfil estratigráfico de cada sitio en estudio. Adicionalmente y contando con la asesoría de la **fundación Deltares de Holanda** se hizo una revisión de las opciones para la fijación de la orilla de la curva de Casimiro versus las ventajas morfológicas para la sección transversal del río y finalmente se hizo una revisión de las posibles obras de abrigo y del muro de contención del muelle para el puerto en el golfo de Urabá (Tarena).

## 5 GEOLOGÍA

### 5.1 LITOESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO

"La estratigrafía de la Cuenca del Atrato es poco conocida, de ahí que no haya claridad en cuanto a una nomenclatura formal y la utilizada por la mayoría de los autores, se basa en la nomenclatura estratigráfica original de Haffer (1967), no publicada formalmente, que incluye las formaciones Clavo, Salaquí, Uva, Napiquí, Sierra y Quibdó a la cual agregó Duque – Caro (1990 b) la Formación Munguidó, una nueva unidad para la parte superior de la Formación Sierra.

Duque–Caro (1990 a, b) considera que la nomenclatura de Haffer (1967) es la más apropiada para la Cuenca del Atrato por dos razones principales: 1. Fue originalmente descrita de secciones de superficie en el margen occidental de la cuenca, donde las asociaciones planctónicas y bentónicas de foraminíferos son muy abundantes, bien preservadas y donde hay menos influencia terrígena (Haffer, 1967) y 2. Porque el pozo de referencia en el cual se basa el estudio (Duque – Caro, 1990 b) está también localizado en la margen occidental de la cuenca".

La cuenca del río Atrato está constituida por rocas ígneas, volcánicas e intrusivas, rocas sedimentarias y depósitos cuaternarios por los que transcurre el río. Las edades de las diferentes litofacies presentes van desde el cretáceo superior (96 m.a.) hasta nuestros días. A pesar de la presencia de rocas ígneas, definitivamente ésta cuenca es un ambiente sedimentario por excelencia, el cual está controlado por factores tales como:



- Procesos sedimentarios: Son los responsables de los cambios de los depósitos cuaternarios, tales como el desplazamiento lateral de los canales del río debido a procesos de agradación y erosión o asentamientos por sobre carga de sedimentos en la parte frontal del delta en el Golfo de Urabá.
- Fuente de sedimentos: El tipo de sedimentos como la cantidad de estos influyen en los cambios y distribución espacial de los depósitos cuaternarios del río. El incremento de los sedimentos debido a la deforestación que sufre la cuenca es una de las causas de las inundaciones en las zonas más planas de la misma.
- Clima: La influencia del clima en el ambiente sedimentario de la cuenca del río es principalmente indirecta, ya que realmente tiene influencia directa en otros factores como los procesos sedimentarios y los cambios en el nivel del océano pacífico. La temperatura y la precipitación están directamente relacionadas con la ocurrencia en la cuenca de evaporitas, carbón y calizas.
- Tectónica: La tectónica regional y local influye directamente las condiciones del ambiente de sedimentación de la cuenca, como se puede ver claramente en el caso del sinclinal del Atrato que favorece la formación de los depósitos cuaternarios por donde transita el río en el tramo Quibdó - Golfo de Urabá. Los movimientos de corteza debido a la presencia de la zona de subducción entre la placa Nazca y Suramericana, también controlan el ambiente de sedimentación en esta cuenca.
- Cambios en el nivel del mar: Los cambios en el nivel del mar relacionados a movimientos por la tectónica global son los de mayor impacto y son los responsables por las transgresiones mundiales ocurridas en el devónico y en el jurásico-cretácico y las subsiguientes fases de regresión. En el cuaternario se vienen presentando cambios en el nivel del mar, que pueden ser más abruptos, asociados al volumen de aguas oceánicas, el cual a su vez está controlado por el clima.
- Química del agua: La variación en la composición del agua influye fuertemente la formación de carbonatos, pero puede también favorecer la acumulación de sedimentos ricos en sílice.
- Actividad biológica: La actividad biológica gobierna la distribución de litofacies en un arrecife, pero en nuestro caso la ocurrencia de manglares en la zona del delta influye fuertemente los procesos costeros.



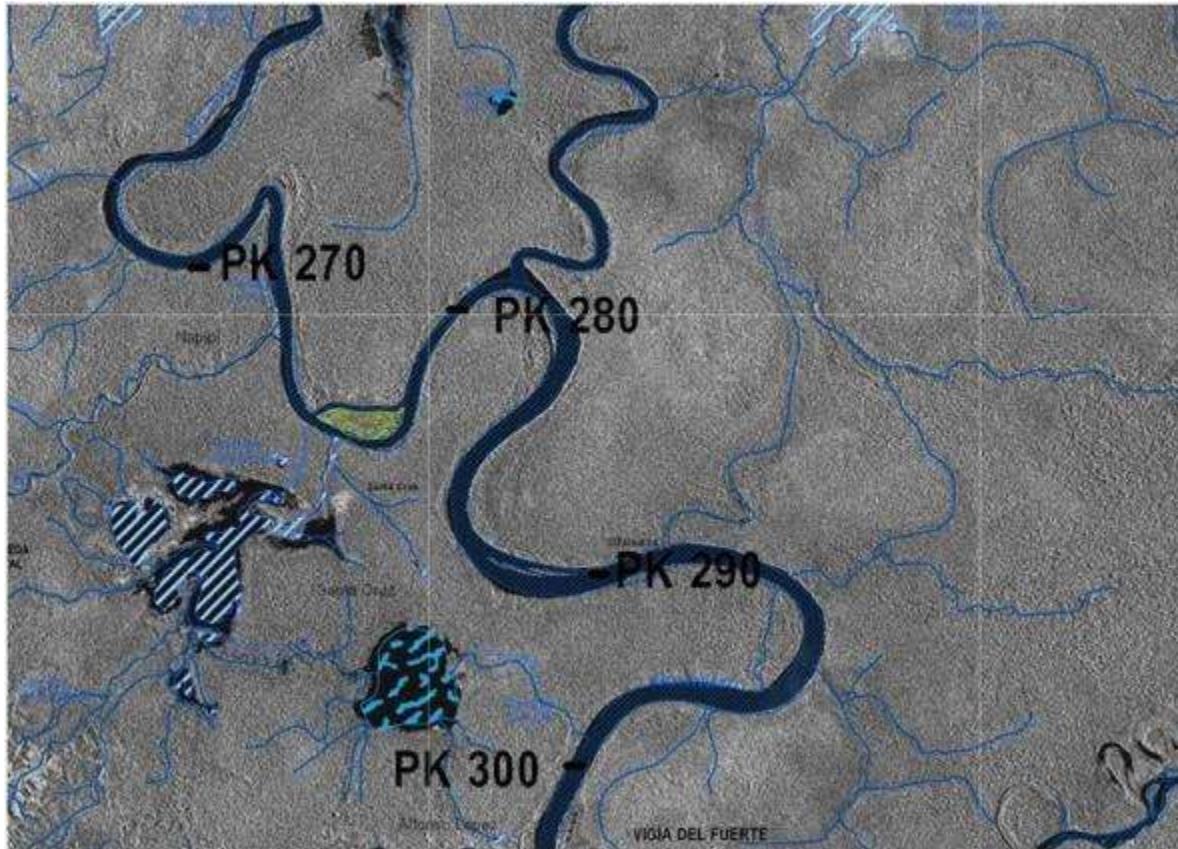
### 5.1.1 LLANURA DE INUNDACIÓN DEL RÍO ATRATO

Según las planchas geológicas, escala 1:100.000, INGEOMINAS, 2005, el río Atrato transita desde Quibdó hasta su desembocadura en el Golfo de Urabá a través de una llanura de inundación conformada por depósitos aluviales continentales recientes (Q2al), que básicamente están constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas no litificadas.

El río transita por un depósito aluvial reciente (Q2al), el cual según la "**Investigación Integral del Anden Pacífico Colombiano**", representa el aporte detritíco proveniente tanto de la erosión de los suelos, como del material desprendido en las laderas de los valles estrechos y en V que caracterizan las vertientes de los ríos en la cordillera Occidental. Carece de litificación y es de carácter detritíco, polimíctico, no consolidado, mal seleccionado y con clastos de formas redondeadas a aplanadas. Su granulometría es variable, predominando gravas-arenas en los diques y arcillas-limos en los bajos. Son comunes las estratificaciones lenticulares, gradada y cruzada. Composicionalmente, dominan los clastos de rocas constitutivas de las cordilleras y serranías, tales como ígneas plutónicas (granitos, cuarzodioritas, gabros, monzonitas), volcánicas (basaltos, diabásicas y andesitas), sedimentarias y metasedimentarias (chert, limolitas, calizas) y cuarzo en diferentes proporciones, en una matriz de arena gruesa o gravas medias a finas no cohesivas. Es un depósito aluvial del Holoceno y su espesor está en aumento debido a la sedimentación actual, a lo largo de los canales de flujo y zonas aledañas sometidas a inundaciones periódicas.

Los ríos se clasifican de acuerdo al patrón de tránsito de su canal principal en la llanura aluvial, por patrón de tránsito se entiende cómo se ve el río desde una toma aérea, fotografía o imagen de satélite. Dicho patrón está controlado por el gradiente del río, el caudal y sus fluctuaciones y el tipo y cantidad de sedimentos.

El río Atrato es un río meandriforme que muestra un alto grado de sinuosidad de su canal,  $1,63$  ( $493.466 = \text{Longitud del canal} / 301992 = \text{Longitud del valle}$ ), y además se nota que existe una clara relación entre el ancho del canal, la amplitud de los meandros (ancho del meandro) y la longitud de onda de los meandros, (Ilustración 4)

**Ilustración 4. Radarmapa ilustrativo del alto grado de sinuosidad del canal del Atrato**

Debido a las relaciones geométricas, el canal del río Atrato ocupa solamente una parte relativamente pequeña de su llanura de inundación, en la que se distingue el canal activo, depósitos puntuales de bancos de arena, meandros abandonados, meandros cortados, diques naturales, abanicicos de desborde y depósitos orgánicos ricos en turba. Con base en lo anterior es fácil distinguir entre los depósitos de canal y los depósitos cerca al canal, los cuales son relativamente de grano más grueso. Los sedimentos mucho más finos son depositados fuera del cinturón meándrico durante los eventos de inundación.

Los procesos de flujo en el canal activo del río controlan los patrones típicos de erosión y sedimentación. Las fuerzas centrifugas hacen que la velocidad máxima del agua en la curva meándrica se desplace hacia la parte cóncava del canal, originando erosión lateral sobre ese lado, mientras que la disminución de la velocidad en la parte convexa de la curva generará la sedimentación de un banco de arena. La sedimentación en el lado más interno del canal es además favorecida por el flujo helicoidal, el cual transporta el material erosionado del lado cóncavo a lo largo del lecho hacia el lado convexo de la curva.

Es común en el Atrato que ocurran eventos de banca llena y desbordes de inundación en las épocas de caudales máximos, en dónde en el momento que el agua deja el canal activo, la velocidad de flujo disminuye abruptamente, causando una sedimentación rápida en las márgenes del río. En algunos casos esta sedimentación genera diques naturales, los cuales son más comunes en el lado más externo de la curva debido al flujo helicoidal (Fotografía 1).

**Fotografía 1. Dique natural del río Atrato**



Debido al clima superhúmedo de la cuenca del Atrato, la parte más baja de la llanura de inundación es mal drenada y se forman zonas de ciénaga y pantano, lo cual se evidencia aguas abajo del PK 300. Estas áreas se caracterizan por tener sedimentos muy finos (arcillas y limos) y es común que en presencia de vegetación se genere turba.

### **5.1.2 DEPÓSITOS INTERMAREALES (Q2M)**

En el delta del río Atrato se encuentran estos depósitos marinos y ocupan grandes franjas adyacentes y próximas a la línea de costa que en algunos casos alcanzan amplitudes mayores a 40 kilómetros. Están constituidos por sedimentos detríticos finos, no consolidados, de arena, limo y arcilla, con alto contenido de materia orgánica.

Mineralógicamente predominan el cuarzo y la mica. Presentan un alto contenido de material bioclástico tanto animal como vegetal. Se caracterizan por estar atravesados por gran cantidad de esteros y por estar cubiertos de mangle, ver Fotografía 2. Todos los depósitos intermareales son de edad reciente (Holoceno Superior).

**Fotografía 2 . Depósito Intermareal (Q2m) cubierto de mangle**



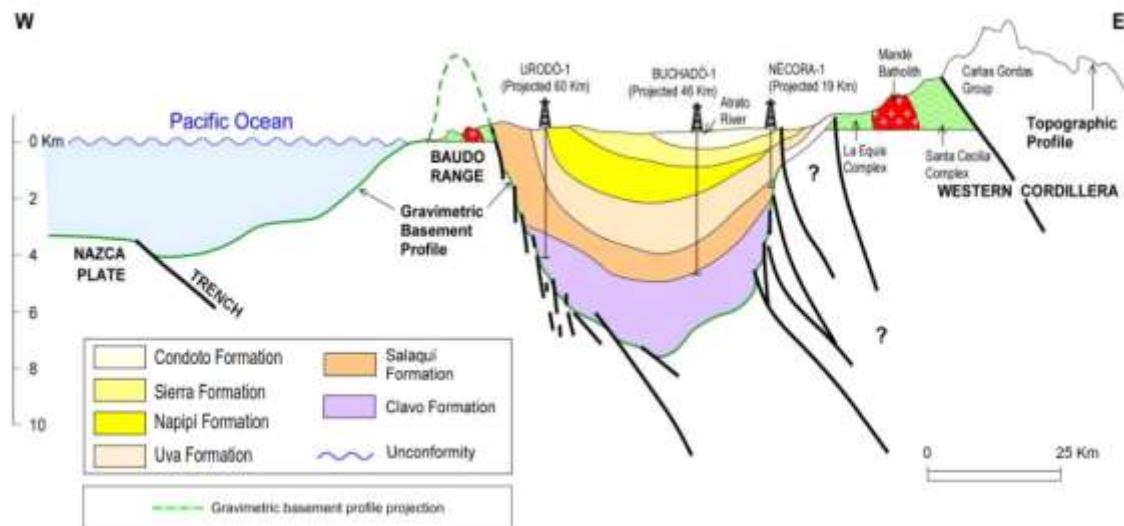
## 5.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO.

Los rasgos estructurales más destacados en la cuenca del río Atrato, son anticlinales y sinclinales de grandes dimensiones producto de la subducción entre la placa Nazca y la placa Suramericana, desarrollados sobre secuencias de rocas sedimentarias de edad cenozoica, depositadas en ambientes marinos y afectadas por la orogenia Andina. La cuenca del Atrato tiene un aspecto de un amplio sinclinorio en el que se distinguen pliegues en “echelon”, especialmente en el flanco occidental de la cuenca. Estos pliegues se interrumpen en Istmina.

Las cuencas de los ríos Atrato y San Juan están separadas geográficamente por el denominado Istmo de San Pablo, pero que estructuralmente corresponde a la Zona Deformada de Istmina, la cual tiene más de 40 km de ancho y 120 km de largo con una dirección N 60° E y está formada por rocas sedimentarias altamente deformadas.

En la cuenca del Atrato, el estilo estructural dominante, en las rocas plegadas, corresponde a estructuras de tipo sinclinal y anticlinal en “echelon” producto de tectónica de compresión con una componente en sentido lateral. Los sinclinales son, en su mayoría, simétricos y suaves y algunos asimétricos más pronunciados. Hacia la margen occidental ocurren los pliegues en “echelon” a lo largo del contacto con la litología volcánica del Arco de Baudó (Duque–Caro 1990a). La dirección de los ejes de estos pliegues inferidas de las imágenes de radar, varía entre N4°E y N35°E, con buzamientos en ambos flancos entre 5° y 30° (Ilustración 5).

**Ilustración 5. Perfil Geológico de la cuenca del río Atrato a la altura de Buchadó.**



Fuente: Geology and Hydrocarbon Potential, Atrato and San Juan Basins, 2009.

## 5.3 TECTÓNICA DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO

### 5.3.1 MARCO GEOTECTÓNICO GLOBAL

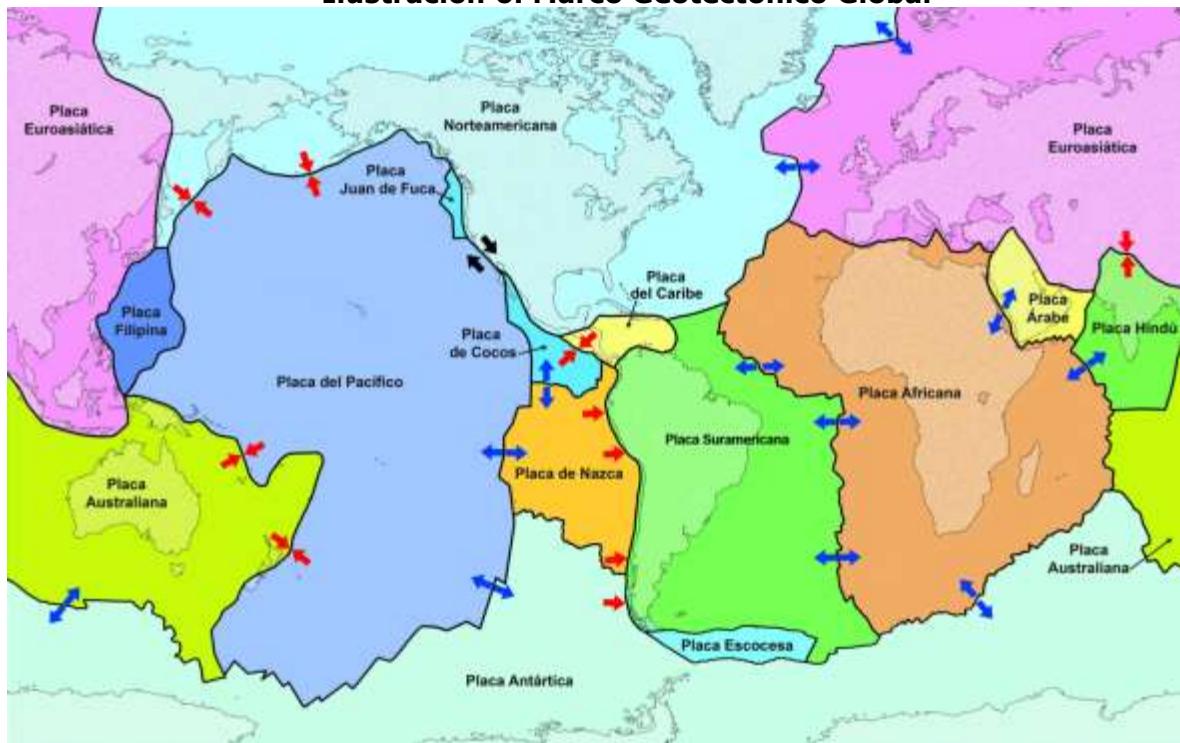
La corteza terrestre puede tener hasta 70 km de espesor en los océanos y más de 150 km en los continentes; dicha corteza está fracturada en fragmentos que se conocen con el nombre de placas tectónicas.

Todo el Pacífico colombiano está localizado sobre la zona de influencia directa del denominado “Cinturón de Fuego del Pacífico (Conjunto de fronteras de placas tectónicas, las cuales recorren todo el océano Pacífico desde las costas de Asia hasta

las costas de América)" donde la actividad tectónica es intensa, ya que se produce una colisión entre cuatro placas: Nazca, Cocos, Caribe y Suramericana (ver Figura).

La placa Nazca (corteza oceánica) se emplaza por debajo de la placa Suramericana (corteza continental) y generan la cordillera de los Andes. Como ha sido ampliamente demostrado por la teoría de la tectónica de placas el mecanismo de ascenso y descenso del magma es el responsable de la expansión de los fondos oceánicos y de la actividad volcánica submarina.

**Ilustración 6. Marco Geotectónico Global**



Fuente: Conceptos Básicos de Geología y Geofísica, ANH, Bogotá, 2009.

En los fondos oceánicos del Pacífico se dan procesos de expansión en dorsales que generan actividad magmática basáltica. Las placas tectónicas están dentro de lo que se conoce como Litosfera y se mueven pasivamente arrastradas por las corrientes de convección que se dan en la Astenosfera, generando las geoformas de la superficie de la tierra. Algunas de las placas chocan entre si y forman lo que se denomina zona de subducción, en la cual una placa de composición de corteza oceánica (Placa Nazca) se emplaza por debajo de una placa de corteza continental (Placa de Suramérica), generando relieves como la cordillera de los Andes, a la cual pertenecen las tres cordilleras colombianas. Las zonas de colisión de placas se conocen como márgenes destructivas o convergentes.



### 5.3.2 TECTÓNICA Y SISMICIDAD COLOMBIANAS

El movimiento relativo entre placas tectónicas colindantes, independientemente de su dirección, acumula energía hasta un momento en el cual causa una fractura en la roca, liberando abruptamente esta energía acumulada, la cual se manifiesta con la generación de ondas sísmicas. La gran mayoría de sismos en el mundo ocurren en las fronteras entre placas, por lo que se conocen como sismos tectónicos. Cuando los sismos ocurren en el interior de las placas tectónicas se denominan sismos intraplaca.

El fallamiento predominante en el país tiene dirección norte-sur, coincidiendo con la dirección de las tres cordilleras. El principal accidente sismotectónico es la zona de subducción en el Océano Pacífico. Además de la zona de subducción existen en Colombia un gran número de fallas geológicamente activas.

El primer evento sísmico que se documentó en el país data de 1541. El primer sismógrafo se instaló en Colombia en el año de 1922, traído por la Compañía de Jesús. Uno de los sismos más fuertes de la historia de la humanidad se registró en la Costa Pacífica Colombiana el 31 de enero de 1906, con una magnitud estimada de 8,9 en la escala de Richter.

En este momento la Red Sismológica de Colombia consta de 26 estaciones sismológicas remotas, a las cuales se les hace procesamiento en tiempo real vía satélite y además se cuenta con 250 acelerógrafos autónomos digitales de movimiento fuerte. Con base en dicha red sismológica y la sismicidad histórica del país se generaron los mapas de amenaza sísmica para el nuevo **Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10**, reglamento en el cual **toda la zona pacífica de Colombia se encuentra catalogada como de amenaza sísmica alta**. Con base en el NSR-10 la aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos en la zona del canal navegable del río Atrato es de 0,25 a 0,45 g ( $9.8\text{m/s}^2$ ) y para períodos de vibración intermedios es de 0,25 a 0,40 g.

### 5.3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA TECTÓNICA DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO

La tectónica de la cuenca del río Atrato se enmarca dentro del denominado “Bloque Andino Norte”. Para la revisión de dicha tectónica, se tiene como base el artículo denominado “Tectonic Assembly of the Northern Andean Block” de Cediel, F; et al, 2003.

“Basados en observaciones geológicas de campo de los últimos 30 años y en análisis geoquímicos, sísmicos, magnéticos, gravitacionales, reconstrucciones tomográficas y consideraciones dinámico-tectónicas se ha hecho la reconstrucción tectónica del Bloque Andino Norte y se han definido los siguientes cuatro “Reinos Tectónicos”:

- Escudo de la Guyana (GSR)

- Subplaca Maracaibo (MSP)
- Subplaca Continental Central (CCSP)
- Terreno Tectónico Occidental (WTR)

El escudo de la Guyana representó el freno al crecimiento continental acrecional progresivo de la placa Suramericana Nor-Occidental en el Proterozoico medio – tardío, en el Paleozoico medio y finalmente durante la orogenia Andina Norte. Los análisis entre el Cretáceo Medio y el Mioceno ilustran como, comenzando en el Aptiano, la acreción oblicuo-destral secuencial del Reino Tectónico Occidental (WTR) oceánico a lo largo de la margen Pacifica actuó simultáneamente con la migración nor – occidental de la Subplaca Maracaibo (Segmento desprendido del Escudo de la Guyana) sobre la Placa Caribe, ejerciendo una enorme presión sobre la Subplaca Continental Central (CCSP), atrapada entre ellas. Cada Reino Tectónico contribuyó con un mecanismo tectónico distinto durante la orogénesis Andina Norte y registró una deformación interna única, la cual en gran medida proporciona las bases para la definición de cada Reino tectónico. Para entender la tectónica de las cuencas en estudio es necesario revisar la Figura 4-5, en donde la geología del bloque Andino Norte se expresa en términos de unidades litotectónicas y morfoestructurales. Entendiendo unidades litotectónicas como aquellas que fueron generadas en un ambiente tectónico particular o deformadas por un proceso tectónico particular. En contraste, las unidades Morfoestructurales son aquellas regiones fisiográficas que alcanzan sus expresiones topográficas particulares controladas por fallas, pliegues o discordancias geológicas. Esta metodología de análisis permite interpretar con claridad los elementos geotectónicos diagnósticos que comprenden el área de la cuenca en estudio.

La Ilustración 7 delimita las más de 30 unidades litotectónicas y morfoestructurales del Bloque Andino Norte. Las unidades litotectónicas (terrenos, ensambles de terrenos y subplacas) han sido agrupadas en lo que se ha denominado Reinos Tectónicos. Cada Reino Tectónico se diferencia de los otros en cómo sus unidades litotectónicas se han partido en, han respondido a, o están en proceso de responder al ensamble tectónico de la región. En lo que tiene que ver con la evolución tectónica del Mesozoico – Cenozoico se han identificado cuatro reinos tectónicos (ver Figura). Estos cuatro reinos tectónicos, aunque internamente heterogéneos y geológicamente complejos, comparten cierto grado de historia genética interna con respecto a sus registros geológicos desde el Mesozoico – Cenozoico hasta el presente. La historia geológica del Mesozoico al Cenozoico del bloque Andino Norte, caracterizado por acreciones, deformaciones, levantamientos y magmatismo, es ampliamente coincidente con lo que se ha definido como Orogenia Andina Norte.

### Ilustración 7. Unidades litotectónicas y mofoestructurales del Bloque Andino Norte

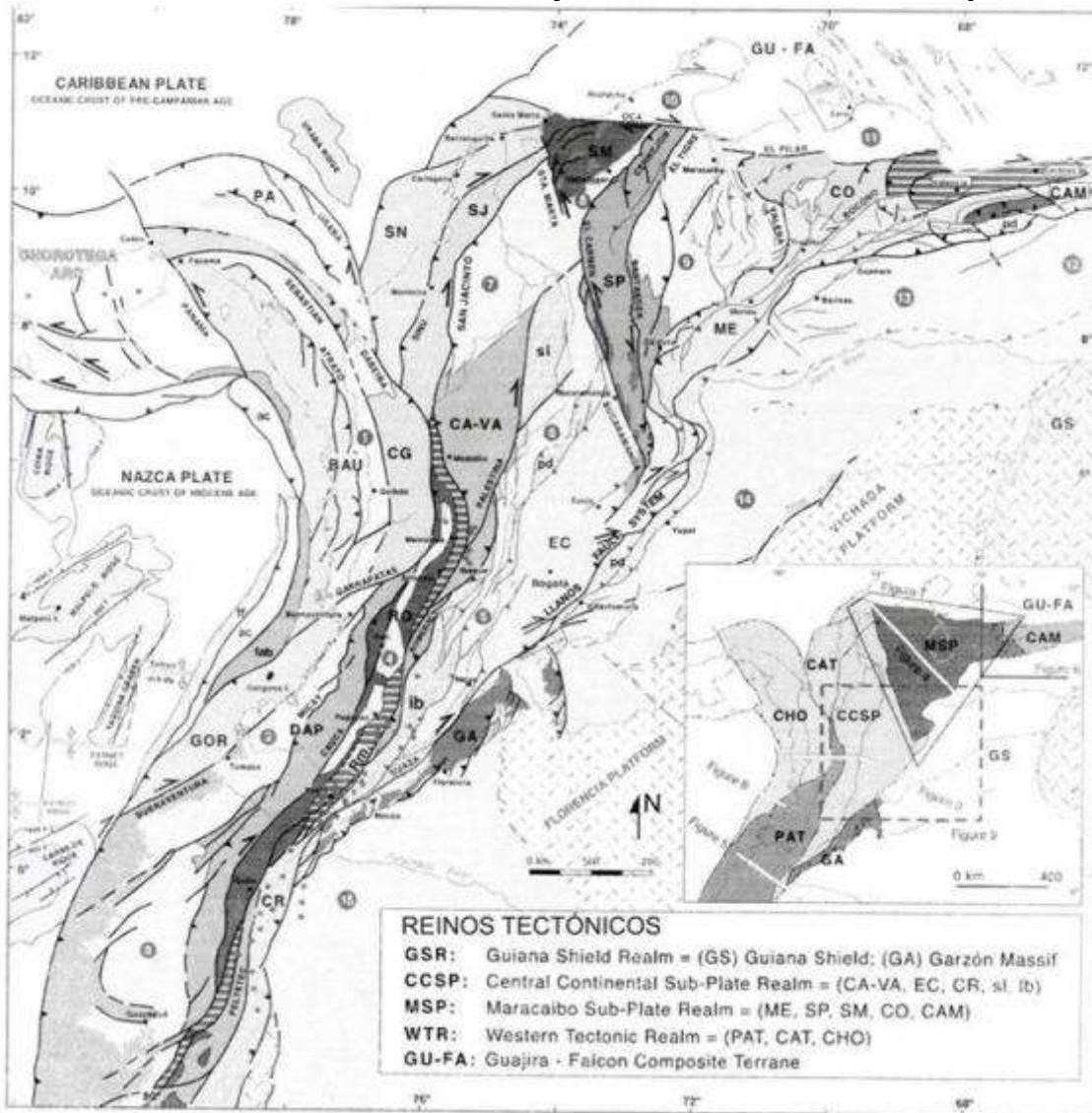


FIGURA No.2 Lithotectonic and morphostructural map of northwestern South America. GS = Guiana Shield; GA = Garzón massif; SP = Santander massif–Serranía de Perijá; ME = Sierra de Mérida; SM = Sierra Nevada de Santa Marta; EC = Eastern Cordillera; CO = Carora basin; CR = Cordillera Real; CA-VA = Cajamarca-Valdivia terrane; sl = San Lucas block; ib = Ibagué block; RO = Romeral terrane; DAP = Dagua-Piñón terrane; GOR = Gorgona terrane; CG = Cañas Gordas terrane; BAU = Baudó terrane; PA = Panamá terrane; SJ = San Jacinto terrane; SN = Sínu terrane; GU-FA = Guajira-Falcón terrane; CAM = Caribbean Mountain terrane; Rm = Romeral mélange; fab = fore arc basin; ac = accretionary prism; tf = trench fill; pd = piedmonte; 1 = Atrato (Chocó) basin; 2 = Tumaco basin; 3 = Manabí basin; 4 = Cauca-Patía basin; 5 = Upper Magdalena basin; 6 = Middle Magdalena basin; 7 = Lower Magdalena basin; 8 = Cesar-Ranchería basin; 9 = Maracaibo basin; 10 = Guajira basin; 11 = Falcón basin; 12 = Guarico basin; 13 = Barinas basin; 14 = Llanos basin; 15 = Putumayo-Napo basin; Additional Symbols: PALESTINA = fault/suture system; red dot = Pliocene-Pleistocene volcano; Bogotá = town or city.

Fuente: CEDIEL, Fabio y otros. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. La cuenca del río Atrato se encuentra en el denominado Reino Tectónico Occidental (WTR), el cual consiste de tres ensamblajes de terreno compuestos (ver Figura) así:



Ensamble Pacífico (PAT), el cual contiene los terrenos Romeral (RO), Dagua (DAP), y Gorgona (GOR). El terreno Dagua esta correlacionado con los terrenos Piñón y Macuchi en el occidente de Ecuador. Al norte, el reino WTR contiene el terreno Caribe que incluye los terrenos San Jacinto (SJ) y Sinu (SN). Más hacia el Este, a lo largo de la costa Caribe, los terrenos Montaña Caribe (CAM) y Guajira – Falcon (GU-FA) aparecen para representar segmentos del WTR trasladados tectónicamente. La porción NW del WTR está formada por el arco Chocó (CHO) que contiene los terrenos de Cañas Gordas (CG) y Baudó (BAU). El ensamble compuesto Pacífico y Cañas Gordas forman la “Provincia Litosferica Oceánica Cretácica del Occidente de Colombia” o “PLOCO” de Nivia (1996<sup>a</sup>).

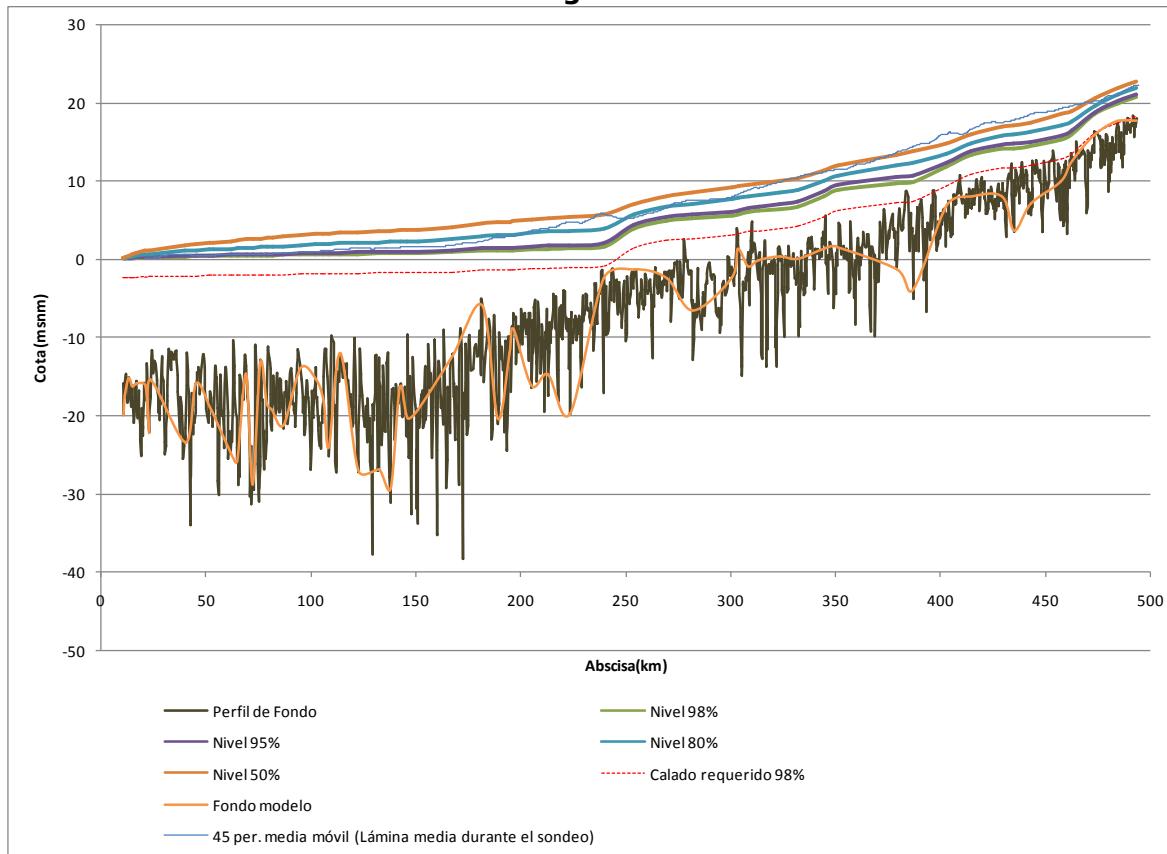
La caracterización de terrenos individuales en el WTR, incluyendo la definición de sus límites y la época de colisión con el continente es aun deficiente. Sin embargo, es cierto que todas las unidades litotectónicas de WTR contienen fragmentos de mesetas oceánicas pacíficas, crestas sísmicas, arcos de isla interoceánicos y ofiolitas. Todo desarrollado en un ambiente oceánico, como se ha demostrado por información paleo magnética y reconstrucciones paleo geográficas (Estrada, 1995; Cediel et al; 1994; Litherland et al; 1994). Excluyendo el ensamble Caribe, este conjunto de terrenos forman la tradicionalmente denominada Cordillera Occidental de Colombia y Ecuador.

### 5.3.3.1 Discusión y recomendación sobre el modelo tectónico

Después de evidenciar la complejidad de este modelo tectónico planteado, cabe preguntarse a modo de discusión cómo la tectónica regional afecta el geosistema del río Atrato y particularmente las condiciones de su vulnerabilidad a las inundaciones, a la erosión, al cambio de gradiente hidráulico, a los movimientos sísmicos, etc.

Del análisis del perfil longitudinal del río Atrato (Ilustración 8) se establece una zonificación por pendientes de dicho río de la siguiente manera:

- Pendientes muy bajas (casi horizontal) para el fondo del cauce entre "Vigía de Curvaradó" y el Golfo de Urabá, aproximadamente 180 kilómetros.
- En el tramo de la bifurcación (Brazo Montaño y brazo Murindó) se observa una pendiente promedio del orden de  $1,5 \times 10^{-4}$  en aproximadamente 100 km contados por el brazo Montaño.

**Ilustración 8 . Perfil longitudinal de cauce del río Atrato**


- Para el sector (km 280 (bifurcación) - Quibdó): La pendiente es ligeramente menor que la del sector intermedio (del orden de  $1,0 \times 10^{-4}$ ) en aproximadamente 200 km.

Adicionalmente a lo anterior, se tiene evidencia histórica, cartográfica y de campo según la cual los brazos Occidentales del Delta del Atrato (P. ej., El. Brazo Tarena) se sedimentan y obstruyen de tal manera que dicho delta migra hacia el E. Así mismo, en la porción occidental de la Depresión del Atrato hubo brazos activos, como el “Brazo Viejo” que indican que el río en alguna época estuvo recostado a las estribaciones bajas de la Serranía del Baudó. Por último, los tributarios, principalmente los de la margen derecha, presentan evidencias de migración de cauces que sistemáticamente se desplazan hacia el sur como se ilustra en el Radarmapa de la bifurcación, en donde se resalta el río Murindó. Este desplazamiento puede explicarse como efectos del levantamiento regional que, de acuerdo con el modelo tectónico revisado, sería ocasionado por la convergencia de la Placa Caribe y del bloque Panamá sobre el Bloque Chocó.



Quedan aquí interrogantes por resolver, de importancia para la implementación a mediano y largo plazo **del canal navegable del río Atrato**: ¿Se trata de procesos de sedimentación que están colmatando los brazos del Delta? ¿Se trata de procesos de deformación tectónica inducidos por la interacción entre el Bloque Panamá y la Placa Caribe sobre el Bloque Chocó? ¿O de una combinación de ambos procesos, a la cual hay que agregarle potencial subsidencia (hundimiento) de una parte de la cuenca del Atrato por efecto de acumulación y peso de sedimentos? Para resolver estas preguntas se deben adelantar, en la fase de diseño definitivo o fase III, entre otras las siguientes actividades:

- Completar la red de nivelación de precisión a lo largo del río, partiendo del punto GPS tipo pilastra de control X, Y, Z instalado en el desarrollo del convenio 2141 de 2011 ubicado en el Malecón de Quibdó (GPS-01) y llegando al punto GPS tipo pilastra de control X, Y, Z ubicado en la vereda de Tarena del municipio de Unguía (GPS-25), instalado por el IIAP en este convenio.
- Complementariamente, un programa de monitoreo geodésico, mediante técnicas de GNSS, que evalúe en el tiempo la ocurrencia de movimientos tectónicos entre las Serranías del Baudó, Los Saltos y la Cordillera Occidental; combinando también la aplicación de métodos de interferometría mediante imágenes de radar satelital, que permita evaluar los cambios topográficos inducidos por eventos sísmicos o por deslizamientos.
- Diseño, implementación y operación de sismógrafos cuyos datos, junto con otros de Colombia y de la red estándar mundial, permitan elaborar modelos de los desplazamientos de fallas causantes de sismos. Podrían emplazarse unos 10 sismógrafos autónomos que abarquen la región.
- Definición de los modelos geomecánicos y geotécnicos de la cuenca del río Atrato a través de los cuales se puedan caracterizar y zonificar las orillas como lo requiere un proyecto de esta magnitud.

## 5.4 GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO

Teniendo en cuenta que estos estudios pretenden soportar la implementación de un proyecto que tiene como pilares fundamentales los componentes de transporte multimodal y modelación hidrodinámica, la Geomorfología se convierte en un instrumento para ayudar a identificar puntos críticos para la navegación. Sin embargo para esta fase de los estudios y según la metodología propuesta por la fundación DELTARES para la modelación matemática, los puntos críticos para la navegación serán de cuatro tipos:



- Delta
- Bifurcaciones
- Curvas pronunciadas
- Sitios de baja profundidad

El relieve de la cuenca del Atrato es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las fuerzas endógenas son las responsables de las elevaciones y depresiones, producidas fundamentalmente por movimientos tectónicos en la zona de subducción entre la placa Nazca y la placa Suramericana. Las fuerzas exógenas desencadenan los procesos erosivos continuos que tienden a denudar el relieve formado. De lo anterior se puede decir que el río Atrato, como todos los ríos, es un agente de erosión y transporte que suministra agua y sedimentos al océano Atlántico, procedentes del continente.

La cuenca del Atrato, geomorfológicamente se puede definir como un sistema complejo de geoformas con conexiones, interrelaciones y transferencias de energía y materia entre ellas.

En el caso concreto del sistema fluvial del Atrato resaltan no sólo el canal como tal, sino también las zonas de sedimentación de abanicos, el delta, la escorrentía y sedimentos de ladera. Este sistema cambia con el tiempo, debido a la actividad de los procesos erosivos, de sedimentación, a los cambios climáticos, a las variaciones del nivel del mar, a la neotectónica y a la actividad antrópica.

#### 5.4.1 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL RÍO ATRATO

La carga de sedimentos del río Atrato, como la de cualquier río, se presenta de tres formas: En disolución, suspensión y en el fondo del canal. Teóricamente el 80% de los sedimentos se transporta como sólido y el 20% en forma disuelta.

**La carga en disolución** comprende los iones y moléculas que proceden de la meteorización química, por lo general materia inorgánica. La composición depende de la geología, el clima, la vegetación y la topografía. Los iones dominantes son bicarbonatos, sulfatos y cloruros de calcio y sodio. Las aguas del Atrato son de PH ácido, lo cual se debe a oxidación de sulfuros, a los pantanos y marismas.

**La carga en suspensión** está constituida por partículas de tamaño limo y arcilla que se movilizan por turbulencia en el río. La fracción fina se mueve en todo el canal y se distribuye uniformemente a través de la columna de agua, mientras que las arenas se concentran cerca al lecho.

**La carga de fondo** la constituyen gravas, cantos y bloques y se moviliza por arrastre a lo largo del lecho del río. Cuando la corriente es fuerte se generan saltos de los sedimentos del lecho.

#### 5.4.2 EROSIÓN FLUVIAL EN EL ATRATO

La erosión fluvial se lleva a cabo por procesos de corrosión, abrasión y cavitación.

**La corrosión** implica proceso químico resultante de la meteorización del lecho del río y las paredes del canal.

**La abrasión** es el desgaste mecánico por impacto entre las partículas transportadas y la erosión mecánica del cauce.

**La cavitación** solo se produce a grandes velocidades, comúnmente en cataratas, cascadas y rápidos, por lo cual se descarta su presencia en el tramo del Atrato Quibdó-Urabá.

El río Atrato erosiona el lecho y sus paredes. La erosión vertical se presenta cuando se movilizan las partículas de tamaño arena y grava y se desgasta el lecho. La erosión lateral se evidencia en el Atrato cuando las paredes del canal se desgastan producto de la socavación que sufren. Ver Fotografía 3.

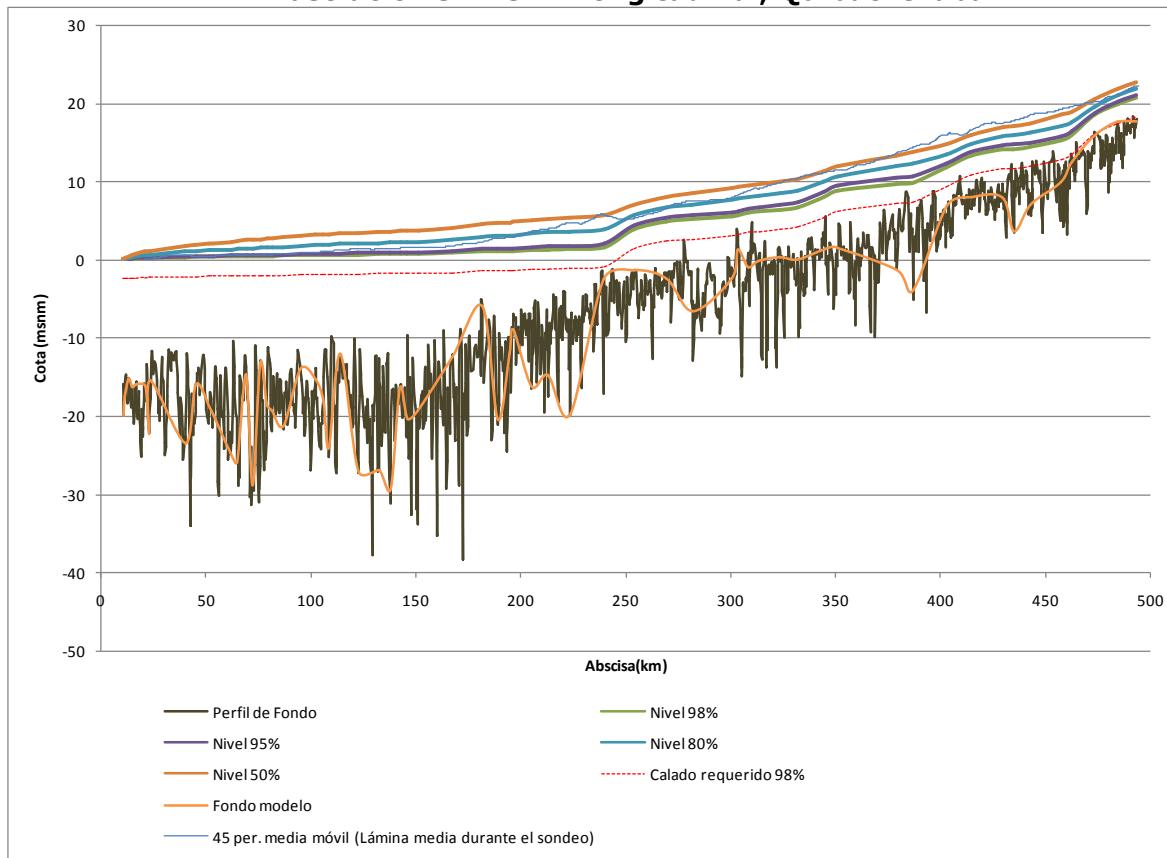
**Fotografía 3 . Socavación lateral río Atrato**



### 5.4.3 PERFIL LONGITUDINAL DEL RÍO ATRATO (QUIBDÓ-URABÁ).

El perfil longitudinal del río Atrato se obtuvo a través del levantamiento topobatimétrico realizado por la UTHC en el convenio 3479 de 2008. Ver ilustración siguiente

**Ilustración 9 . Perfil Longitudinal, Quibdó-Urabá**

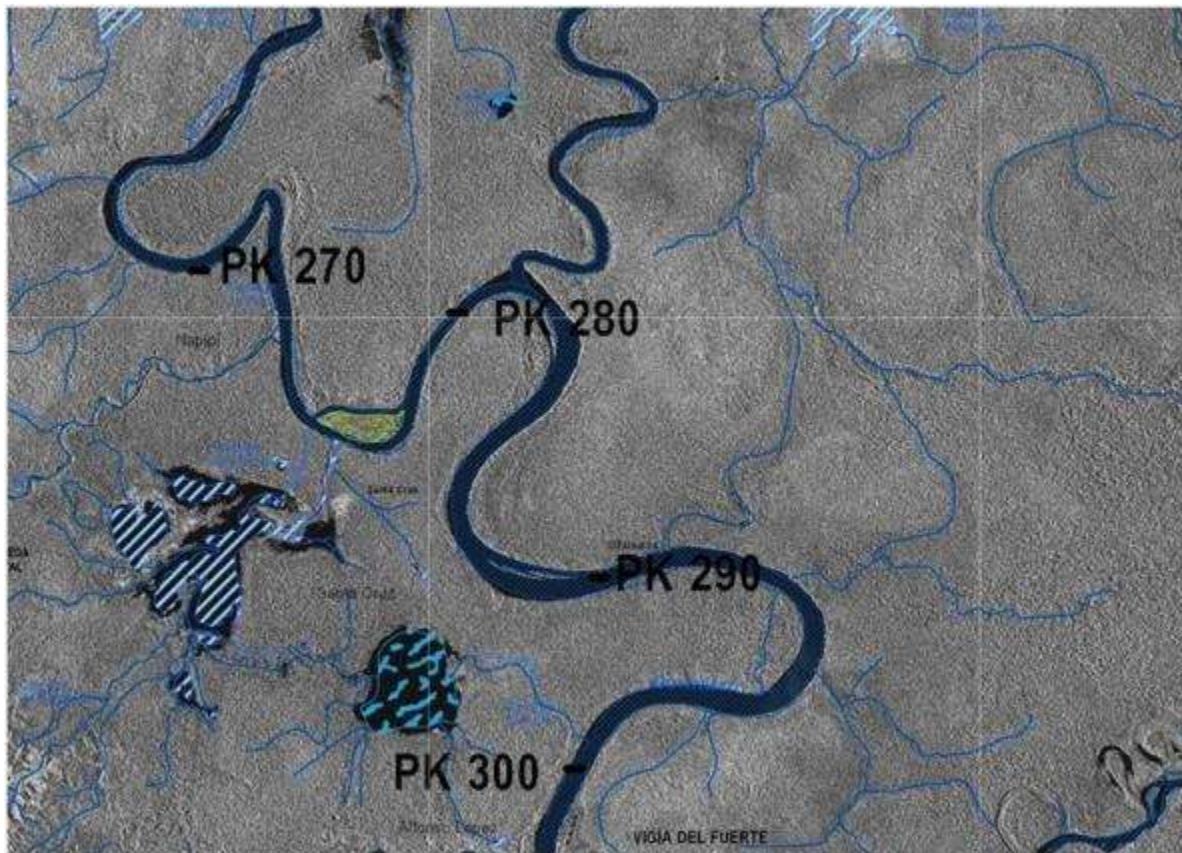


Puesto que el río Atrato transita hacia el mar, presenta una pendiente hacia el mismo, y su valle es controlado por el nivel del mar. En general se puede decir que es cóncavo, aunque en el tramo comprendido entre los PK-240 y PK 494 se presentan cambios bruscos de pendiente que pueden deberse a neotectónica o a cambios súbitos en el caudal. De la Figura claramente se lee que en el PK 240 se da un cambio abrupto de pendiente (Knickpoint), del PK 0 al PK 240 se da una pendiente muy suave y del PK 240 al PK 494 un gradiente alto. Para el período del estudio (1 año) se puede considerar que el perfil longitudinal del tramo del río Atrato estudiado se encuentra en **perfil próximo al equilibrio**, es decir no se observan transformaciones en el sistema de canales, en su ancho, en su rugosidad, ni se modifica la pendiente del canal por erosión o sedimentación.

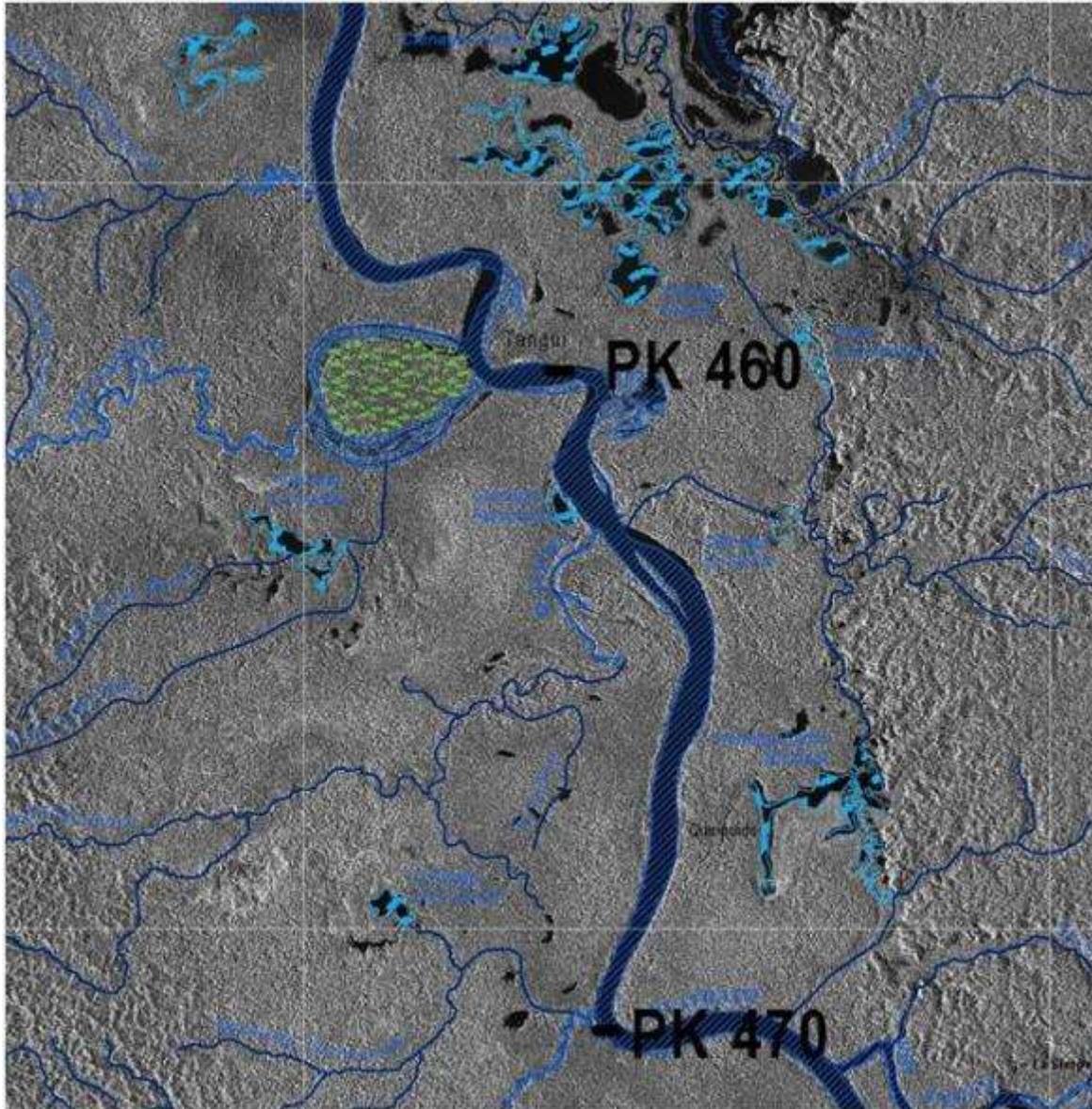
#### 5.4.4 CANAL DEL RÍO ATRATO

El canal del río Atrato es un canal meandriforme con un alto grado de sinuosidad, 1,63 (493.466=Longitud del canal/301992=Longitud del valle), y variación irregular del ancho. Además, se nota que existe una clara relación entre el ancho del canal, la amplitud de los meandros (ancho del meandro) y la longitud de onda de los meandros, ver Ilustración 10.

**Ilustración 10 . Radarmapa ilustrativo del alto grado de sinuosidad del canal del Atrato.**



Debido a las relaciones geométricas, el canal del río Atrato ocupa solamente una parte relativamente pequeña de su llanura de inundación, en la que se distingue el canal activo, depósitos puntuales de bancos de arena, meandros abandonados, meandros cortados, diques naturales, abanicicos de desborde y depósitos orgánicos ricos en turba. Ver Ilustración 11.

**Ilustración 11 . Radarmapa ilustrativo de la dinámica del canal del río Atrato**

Con base en lo anterior es fácil distinguir entre los depósitos de canal y los depósitos cerca al canal, los cuales son relativamente de grano más grueso. Los sedimentos mucho más finos son depositados fuera del cinturón meándrico durante los eventos de inundación. El desarrollo de los meandros en el Atrato se puede explicar básicamente con la variación de velocidad que inicialmente forma surcos, los cuales en épocas de caudales bajos son intensamente erosionados por el flujo y se produce una lenta sedimentación.



La erosión ensancha las secciones del río, disminuyendo la velocidad media y la sedimentación, originando así el canal ondulado.

#### 5.4.4.1 ESTABILIDAD DEL CANAL FLUVIAL DEL ATRATO

Es lógico que el canal del río Atrato cambie con el tiempo debido a que está construido sobre sedimentos erosionables del depósito aluvial por el que transita (Q2al). Es común en el Atrato que con el tiempo crezca la curvatura y la deriva de los meandros y además se pueden producir estrangulamientos (ver Foto) o acortamientos, también es posible que se de el abandono total del canal por avulsión.

La estabilidad del canal fluvial del Atrato depende del tipo de sedimento transportado, de la velocidad del flujo y de la energía de la corriente.

Combinando el tipo de canal (meandriforme) y la clase de sedimento transportado (mixto) el canal fluvial del Atrato se puede clasificar como **medianamente estable** entre el PK 184 y PK 494, esto puede ser corroborado en el análisis multitemporal que se realizó. El tramo PK 0 a PK 184 se puede considerar **estable** y esto también se puede verificar en el análisis multitemporal mencionado.

#### 5.4.5 DELTA DEL RÍO ATRATO

"Hacia el año 450 a.C., el historiador griego Heródoto, al recorrer la región de Egipto, tuvo la acertada percepción de que la extensa región comprendida por el cauce principal y las ramificaciones del Nilo en su desembocadura en el Mediterráneo, tenía la forma de la letra griega delta -Δ-; esto constituye un gran mérito pues por aquel entonces no se tenía la posibilidad de apreciar ese vasto territorio desde una altura superior a la de alguna de las pirámides de la necrópolis de Gizeh. Fue así como el término delta quedó apropiadamente acuñado en la ciencia de la Geomorfología para referirse a las planicies y otros rasgos del paisaje que caracterizan las zonas costeras modeladas por la conjunción del mar y los ríos caudalosos."

Geomorfológicamente hablando, un delta es un largo cuerpo sedimentario formado en la desembocadura de un río, cuando éste entra a un lago o al mar y donde el suministro de sedimentos es mayor a la cantidad de sedimentos removidos por los procesos erosivos continentales y marinos. La mayoría de los deltas se caracterizan por presentar componentes por debajo y por encima de la marea baja. La parte subaérea consta de una llanura deltaica superior y otra inferior, la superior se forma por aporte de sedimentos aluviales por encima de la marea alta y la inferior por sedimentos del canal fluvial que alcanzan la costa en el frente deltaico.

Los sedimentos en un delta se depositan en un patrón similar al que se da en un abanico aluvial. El material más grueso se deposita cerca a la desembocadura, mientras que el material más fino se deposita mar adentro. La morfología de un delta



está definida por el régimen fluvial, con el aporte de sedimentos, y el régimen marino con la acción de las olas y las corrientes de marea.

Para entender la configuración y distribución de sedimentos en un delta es adecuado el diagrama ternario propuesto por "Galloway en 1975", el cual define en un triángulo, deltas controlados fluvialmente, controlados por el oleaje y controlados por las mareas.

El delta del río Atrato se ubica en un mar protegido con olas de poca energía y pequeño rango mareal, lo cual se comprueba en la cartilla de Pleamaras y Bajamaras del IDEAM (2012). Los canales distributarios del río Atrato son alargados y penetran profundamente los ambientes marinos originando el típico patrón de "**pata de pájaro**", ver Ilustración 12.

Los canales distributarios del río Atrato se caracterizan por flujo uni-direccional con fluctuaciones periódicas y por lo tanto son similares a los canales del sistema fluvial. La descarga total del agua del río se lleva a cabo a través de varios canales. Debido a la forma de sedimentación, después de cierto desarrollo, es posible hablar de una llanura de inundación extendida con la asociación típica de canales que a menudo desarrollan diques naturales y pantanos. En este tipo de delta el ambiente fluvial es predominante. Además, aguas abajo sobre la llanura deltaica se localizan canales activos y abandonados detrás del frente deltaico. Es común encontrar en las áreas interdistributarias capas de turba alternando con depósitos de limo de eventos de inundación. En las arenas costeras de sotavento, es común la formación de dunas. En el frente deltaico la corriente fluvial cargada de sedimentos entra en la cuenca y el sedimento más grueso cae abruptamente originando una barra en la boca, en frente de la cual la carga suspendida se depositará en agua más profunda representando la "facies prodelta". El material de la barra en la boca puede ser redistribuido bajo la influencia del oleaje, generando una barra de playa. Siempre y cuando la boca del canal sea activa, la progradación de la barra de la boca prevalecerá dentro de este tipo de delta, pero en la boca de canales abandonados los procesos erosivos marinos serán controlados por barras de playa.

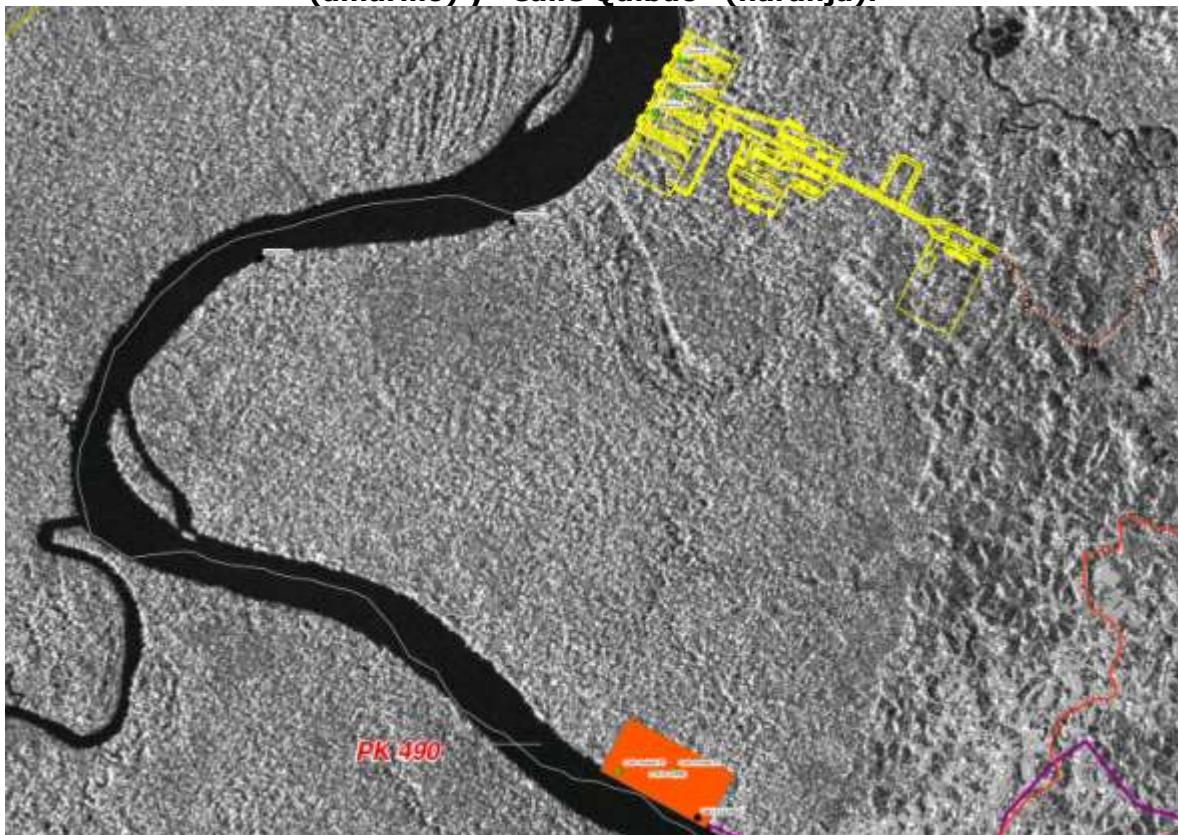
**Ilustración 12 .Radarmapa. Delta del río Atrato, controlado fluvialmente**



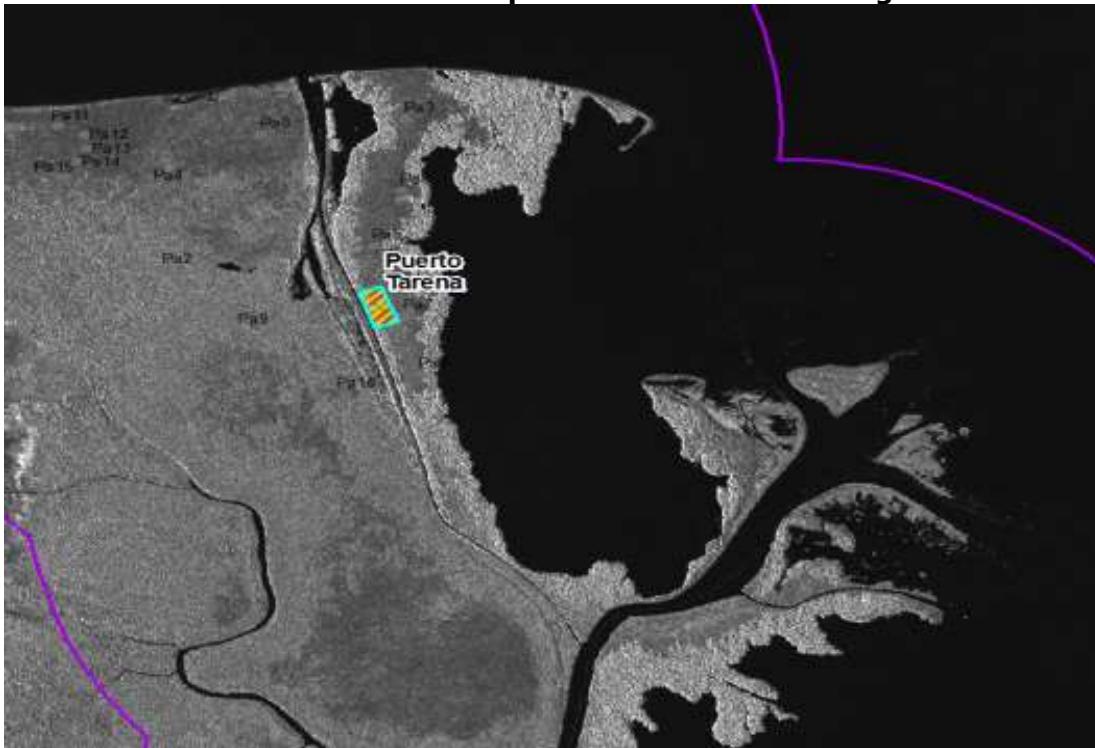
## 6 TRABAJOS DE CAMPO

Con base en los alcances estipulados y teniendo en cuenta lo acordado con la Interventoría, se hizo exploración del subsuelo en los dos posibles sitios de ubicación del puerto de Quibdó, Calle Quibdó y Casimiro, y en el sitio seleccionado desde el convenio 3479 de 2008 para la ubicación del puerto de Tarena en el Golfo de Urabá. Ver Ilustración 13 e Ilustración 14.

**Ilustración 13. Localización de los posibles sitios del puerto de Quibdó, "Casimiro" (amarillo) y "Calle Quibdó" (naranja).**



**Ilustración 14. Localización del puerto de Tarena en imagen de radar.**



## 6.1 INSPECCIÓN DEL ENTORNO:

Inicialmente se hizo una visita a la zona donde se ejecutará el proyecto en el que se identificaron aspectos geológicos y geotécnicos generales que evidencian las condiciones actuales del terreno, su composición morfológica, y otros agentes externos que incidan en el comportamiento del material del subsuelo. Al tener claridad en esto fue posible una mejor planificación en cuanto al movimiento de equipos y la ubicación de cada uno de los sondeos.

## 6.2 SONDEOS:

El plan de exploración del terreno consistió en la ejecución de 9 sondeos exploratorios llevados a cabo ha roto-percusión con profundidades de hasta 30 m. La ubicación de cada uno de estos se hizo de manera estratégica, buscando obtener el material representativo que compone la zona, con exploraciones en toda el área estudiada a fin de contemplar la posibilidad de variaciones significativas del subsuelo. La localización geográfica de los sondeos se presenta en la tabla 1, la cual muestra las coordenadas planas de Gauss, en el sistema Magna-Sirgas.



**Tabla 1 Localización de sondeos exploratorios.**

Sitio	Sondeo	X	Y	Profundidad (m)
CALLE QUIBDÓ	P1:	1.045.573	1.122.828	30
	P2:	1.045.195	1.123.243	15
	P3:	1.044.918	1.123.244	30
CASIMIRO	P1:	1.045.221	1.126.803	30
	P2:	1.045.208	1.126.630	15
	P3:	1.045.095	1.126.538	30
TARENA	P1	1.011.942	1.401.309	30
	P2	1.011.207	1.401.160	30
	P3	1.012.187	1.401.462	30

El terreno fue explorado a través de equipos que tienen la capacidad de perforar el suelo hasta la profundidad estimada en el programa de exploración, haciendo orificios en la superficie con un diámetro no mayor a 100 mm en el cual se van extrayendo muestras de cada uno de los segmentos explorados. Las muestras obtenidas son almacenadas cuidadosamente en bolsas plásticas con el fin de que estas no pierdan sus propiedades de humedad que conlleven a alteraciones en las características aproximadas. Posteriormente las muestras son descritas y llevadas a laboratorio para ser analizadas y a partir de allí determinar los diferentes substratos.

En campo se realizó el ensayo de penetración estándar (SPT) a intervalos de 1.0 m para cada uno de los sondeos en los casos donde el avance se hizo a percusión. Esta prueba permite conocer el número de golpes requerido para introducir el muestreador 45 cm, y finalmente el N que corresponde a la suma de los golpes necesarios en los últimos 30 cm, este valor de N resulta útil en el uso de distintas correlaciones que permiten la obtención de parámetros geomecánicos y consistencia de los materiales, características del subsuelo que conforma los diferentes estratos.

### **6.3 EJECUCIÓN DE ENSAYOS DE CAMPO Y TOMA DE MUESTRAS**

Basado en la distribución del proyecto y en la experiencia del equipo técnico que adelantó los trabajos se realizó el programa de exploración que contempló la ejecución de 3 sondeos exploratorios en cada uno de los sitios preseleccionados para la ubicación del puerto. Las profundidades variaron entre 15 y 30 metros.

En cada uno de los sondeos metro a metro se tomaron muestras del material, el cual fue visualmente caracterizado y almacenado en bolsas plásticas a fin de preservar sus características físicas, estas se conocen como muestras alteradas o remoldeadas por ser extraídas con un muestreador estándar. Estas fueron llevadas al laboratorio donde se les practicaron ensayos de clasificación para conocer el tipo de suelos, propiedades como humedad y límites de Atterberg. De igual forma del terreno también se trajeron muestras inalteradas, tomadas en tubo Shelby, las cuales por la forma en que fueron recuperadas permiten obtener a través de ensayos específicos, como compresión inconfinada, parámetros de resistencia que posteriormente son comparados con los obtenidos a través de las correlaciones disponibles en la literatura especializada y que se apoyan en los resultados obtenidos del ensayo en campo SPT.

Las siguientes imágenes ilustran los tipos de muestreadores utilizados en cada uno de los sondeos.

**Ilustración 15.Muestreador estándar para el ensayo SPT**



**Ilustración 16.Muestreador de pared delgada**



**Fotografía 4. Muestra típica remoldeada**



**Fotografía 5. Bolsas con muestras remoldeadas.**



**Fotografía 6. Muestra tomada con muestreador estandar.**



**Análisis de laboratorio:**

Cada una de las muestras obtenidas en campo pasó por una revisión en la cual se analizaron aspectos físicos del material, dentro de los que se encuentran plasticidad, humedad, textura y consistencia, así como los minerales que se observan en la muestra, a partir de esta se hizo un perfil estratigráfico en el que en cada sondeo se delimitaron los estratos, haciendo comparativos con el resto de sondeos y la localización de estos, de tal forma que se tuviera una idea de cómo está dispuesto el material en el subsuelo.

En cada una de las perforaciones y conociendo los estratos que lo conforman, así como los espesores que cada uno alcanza, se tomaron muestras representativas del material las cuales fueron enviadas al laboratorio donde después de una serie de ensayos éste es caracterizado.

Dentro de los ensayos practicados se encuentran: humedad natural, límites de Atterberg que dan como resultado los límites de consistencia e índice de plasticidad y el ensayo de granulometría que permite la clasificación del material por el método USCS. Adicionalmente se realizaron algunos ensayos de compresión inconfinada.

Como se podrá ver en los registros de exploración, los materiales detectados en los sondeos corresponden en su gran mayoría a materiales granulares (arenas finas, arenas gruesas y gravas) y adicionalmente limos. En estos materiales se dificulta la



toma de muestras inalteradas y es complicado realizar ensayos de resistencia y/o deformación, por lo cual se opta por ensayos de campo como el spt. El apoyo de las principales estructuras se debe hacer sobre los materiales granulares, que ofrecen mejores resistencias y en los cuales el proceso de consolidación no es importante y se evalúan en su lugar los asentamientos inmediatos.

La siguiente tabla contiene la cantidad de muestras analizadas para cada tipo de ensayo:

**Tabla 2 Tipos de ensayos y cantidad de muestras analizadas.**

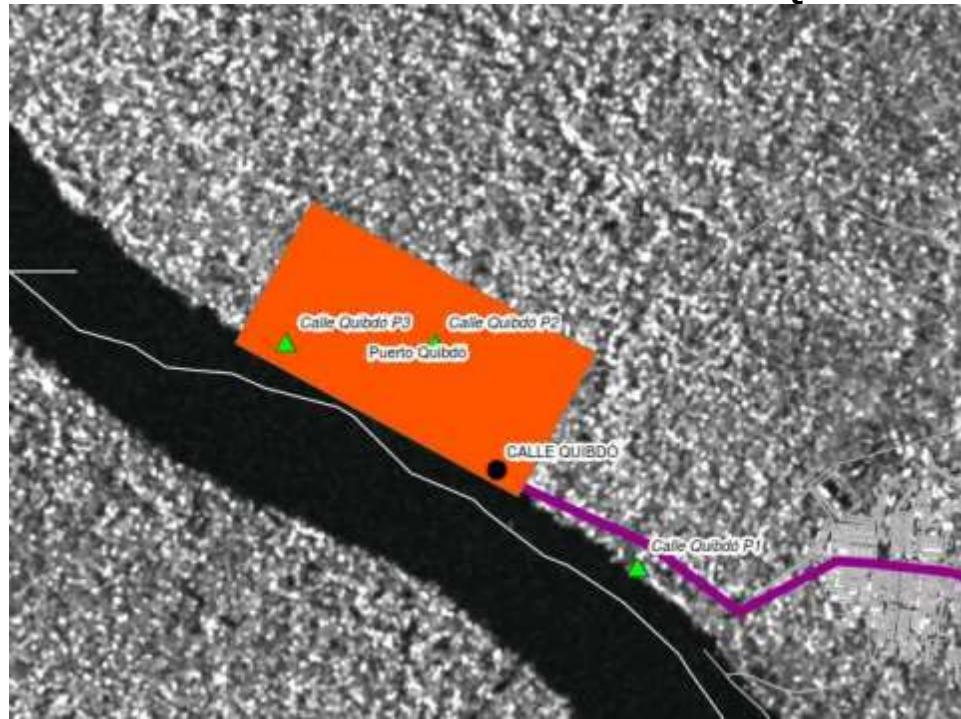
Tipo de ensayo	Cantidad
Granulometría	40
Límite Líquido	40
Límite Plástico	40
Humedad Natural	45
Peso unitario	5
Compresión inconfinada	5

En el capítulo 7 se presenta la estratigrafía y los resultados de laboratorio de cada uno de los sondeos.

#### **6.4 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO EN EL SITIO DENOMINADO “CALLE QUIBDÓ”.**

Según el informe final de exploración del subsuelo de la firma INCIGAM SAS, en el sitio denominado “Calle Quibdó” se realizaron tres sondeos con taladro mecánico por el sistema de rotoperCUSIÓN, dos sondeos a 30 metros (P1 y P3) y uno a 15 metros (P2), ver Ilustración 17 y Fotografía 7 a Fotografía 9.

**Ilustración 17.localización de sondeos en “Calle Quibdó”.**



**Fotografía 7. Exploración del subsuelo “P1-Calle Quibdó”**



**Fotografía 8. Exploración del subsuelo “P2-Calle Quibdó”**



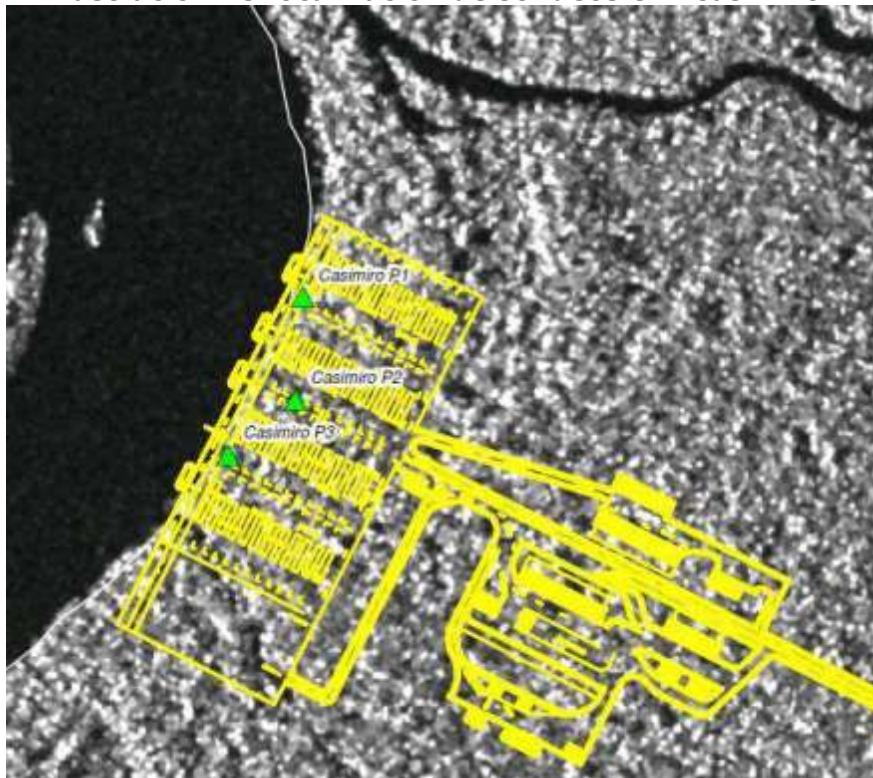
**Fotografía 9. Exploración del subsuelo “P3-Calle Quibdó”.**



## 6.5 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO EN EL SITIO DENOMINADO “CASIMIRO”.

Según el informe final de exploración del subsuelo de la firma INCIGAM SAS, en el sitio denominado “Casimiro” se realizaron tres sondeos con taladro mecánico por el sistema de rotopercusión, dos sondeos a 30 metros (P1 y P3) y uno a 15 metros (P2), ver Ilustración 18 y Fotografía 10 y Fotografía 11.

**Ilustración 18.localización de sondeos en “Casimiro”**



**Fotografía 10.exploración del subsuelo en el sitio denominado "Casimiro, sondeo P-1**



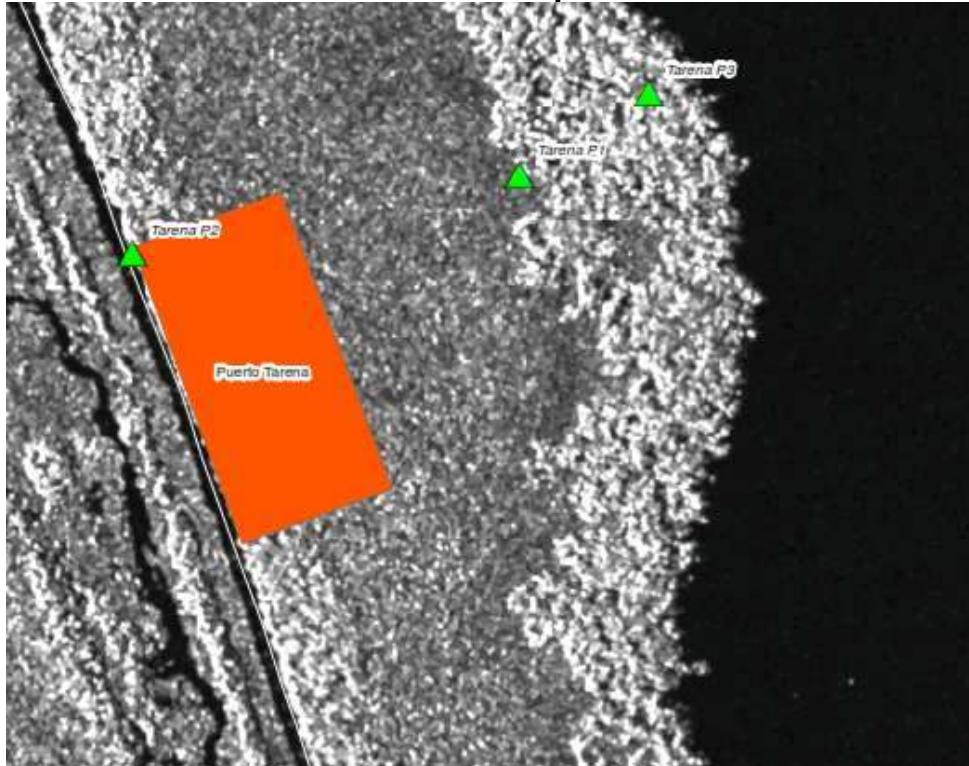
**Fotografía 11.exploración del subsuelo en el sitio denominado "Casimiro, sondeo P-2**



## 6.6 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO PARA EL FUTURO PUERTO EN EL GOLFO DE URABÁ (TARENA).

Según el informe final de exploración del subsuelo de la firma INCIGAM SAS, en el sitio para el futuro puerto de “Tarena” se realizaron tres sondeos de 30 metros, con taladro mecánico por el sistema de rotopercusión, ver Ilustración 19 y Fotografía 12.

**Ilustración 19.localización de sondoso de exploración del subsuelo en “Tarena”.**



**Fotografía 12 . Exploración del subsuelo en el sitio para el futuro puerto marítimo  
del golfo de Urabá - "Tarena".**





## 7 CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO

### 7.1 PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SITIO DENOMINADO “CALLE QUIBDÓ”.

Al culminar la etapa de exploración e investigación del subsuelo y una vez revisadas las muestras obtenidas, se definió un perfil estratigráfico del terreno que conforma el lote en estudio, encontrando básicamente dos tipos de materiales de origen aluvial: una capa superficial de limos y arcillas blandas saturadas con material orgánico que alcance espesores entre 7 y 9.0 metros. Debajo de este material fino granular aparecen capas de arenas arcillosas, arenas limosas y gravas limo arcillosas compactas.

El material fino granular identificado en todos los tres sondeos presenta colores café amarillento a café grisáceo con variaciones a gris verdoso. Presenta espesores entre 7 y 9.0 metros. Este material fue clasificado según la USCS como Limos arcillosos de baja y alta plasticidad, es decir ML y MH respectivamente. Posee las siguientes propiedades:

Clasificación USCS: Limos arcillosos de alta y baja plasticidad (MH y ML)

Humedad natural: Varía entre 25.7% y 52,3%

Límite líquido: Varía entre 35% y 97%

Índice plástico: Varía entre 9.3% y 18.3%

Resistencia a la compresión inconfinada: 16 Kpa

Debajo del material fino granular aparece un estrato de materiales granulares tipo arenas y gravas de colores gris verodoso, compacta, con fragmentos de roca subredondeados, con tamaños hasta de 5 cm. Estos materiales fueron clasificados según la USCS como arenas arcillosas, arenas limosas, gravas limosas y gravas limosas pobemente gradadas.

En general estos materiales se encontraron debajo del estrato finogranular hasta el final de las perforaciones. Poseen las siguientes propiedades físicas:

Clasificación USCS: Arenas limo arcillosas, arenas limosas, arenas arcillosas, gravas limo arcillosas y gravas limosas pobemente gradadas.(SM-SC, SM, SC, GM-GC, GM-GP)

Humedad natural: Varía entre 8.1% y 19.8%

Límite líquido: Varía entre 23% y 27.5%

Índice plástico: Varía entre 2.0% y 8.9%

En la Ilustración 20, Ilustración 21 e Ilustración 22 se muestra el regitro estratigráfico del sector.



### Ilustración 20. Registro de perforación Sondeo P-1. Calle Quibdó

REGISTRO DE PERFORACIÓN									
INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:			
Proyecto:	Puerto Calle Quibdó	COORDENADAS:		noviembre de 2012				Perforación No.	
Localización:	Margen derecha Rio Atrato	N:		1					
Equipo:	Pety	E:		Hoja No:					
Perforador:	Alfredo Martinez	Z:		1 de 3					
Responsable:	Nelson Gaona								
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO	
0				Limo arcilloso de color Gris verdoso, blando, plastica, olor a materia organica en descomposicion				Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo (kN/m³)
0,5						STD	1 1 1		Peso unitario seco (kN/m³)
1	1					STD	1 1 2		Compresión simple: $q_u$ (kPa)
1,5						STD			Límite líquido (%)
2	2					STD			Índice Plástico (%)
2,5						STD			Pasa malla #200
3	3					STD	2 1 2	41.4	Clasificación U.S.C.S.
3,5						STD		43.4	
4	4					STD	1 1 1	9.3	ML
4,5						Shelby	1 1 1	42.2	
5	5					Shelby		15,39	10,32
5,5						Shelby		16	
6	6					STD	1 2 1		
6,5									
7									



## **REGISTRO DE PERFORACIÓN**

INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:								
Proyecto:	Puerto Calle Quibdó		COORDENADAS:		noviembre de 2012									
Localización:	Margen derecha Rio Atrato				Perforación No.									
Equipo:	Pety	N:			1									
Perforador:	Alfredo Martinez	E:			Hoja No:									
Responsable:	Nelson Gaona Losada	Z:			2 de: 3									
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material	Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO							
7	7			Arena arcillosa gris verdosa con sectores de gravas limoarcillosa, con abundantes gravas y algo de finos, la proporción de grava aumenta con la profundidad y los finos se reducen, las gravas son de hasta 3cm y generalmente estan subredondeadas.	STD	23 26 28	Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa)	Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)	Pasa malla #200	Clasificación U.S.C.S.
7,5					STD	27 30 36	8.4					23.0	5.1	GM-GC
8	8				STD	27 30 36								
8,5	10				STD	27 30 36								
9,5					STD	17 22 25								
10	10				STD	28 36 49	8.6					26.0	8.9	SC
10,5														
11	11													
11,5	12													
14	13													
17	14													
20	15													
22	16													
25														
					Barrena BQ	Rotación	8.1					21.8	3.3	SM-SF



## Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad) para la navegabilidad del río Atrato



## **REGISTRO DE PERFORACIÓN**



### Ilustración 21. Registro de perforación Sondeo P-2 Calle Quibdó

REGISTRO DE PERFORACIÓN															
INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:									
Proyecto: Puerto Calle Quibdó			Localización: Margen derecha Rio Atrato			COORDENADAS:	Perforación No.								
Equipo: Pety			N: _____			N: _____	2								
Perforador: Alfredo Martinez			E: _____			E: _____	Hoja No: _____								
Responsable: Nelson Gaona			Z: _____			Z: _____	1 de: 2								
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO							
0				Arcilla café, alto contenido de materia orgánica en descoposición, raíz, troncos, con zonas arenosas de color gris, húmedo, blando y muy plástico.				Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo ( $\text{kN/m}^3$ )	Peso unitario seco ( $\text{kN/m}^3$ )	Compresión simple: $q_u$ (kPa)	Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)	Pasa malla #200	Clasificación U.S.C.S.
0,5															
1	1					STD	1								
2,5	2														
4,3	3					STD	1	25.7				96.9	18.3	MH	
5,5	4														
6,6	5					STD	1	52.3				65.3	24.3	MH	
7,05	6														
7,5						STD	1								
8	7							18.2				27.5	4.1	SMSC	
8,45						STD	2								
9	8														
9,45						STD	3								
10	9														
10,5															



## **REGISTRO DE PERFORACIÓN**

INFORMACION GENERAL:						Fecha:							
Proyecto:	Puerto Calle Quibdó			COORDENADAS:		noviembre de 2012							
Localización:	Margen derecha Rio Atrato					Perforación No.							
Equipo:	Pety	N:				2							
Perforador:	Alfredo Martinez	E:				Hoja No:							
Responsable:	Nelson Gaona Losada	Z:				2 de: 2							
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO					
11	10			Arena gris verdosa con abundantes gravas y algo de finos, la proporción de grava aumenta con la profundidad y los finos se reducen, las gravas son de hasta 3cm y generalmente estan subredondeadas.		STD	12	Humedad Natural (%)					
11,5							15	Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> )					
12	11						19	Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )					
12,5	12					STD		Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa)					
15				Fin del Sondeo (15,00m)		Barrena BQ	Rotación	Límite líquido (%)					
								Índice Plástico (%)					
								Pasa malla #200					
								Clasificación U.S.C.S.					



### Ilustración 22. Registro de perforación sondeo p-3, Calle Quibdó

REGISTRO DE PERFORACIÓN															
INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:									
Proyecto:	Puerto Calle Quibdó		COORDENADAS:		noviembre de 2012										
Localización:	Margen derecha Rio Atrato		Perforación No.												
Equipo:	Pety		N:	3											
Perforador:	Alfredo Martinez		E:	Hoja No:											
Responsable:	Nelson Gaona		Z:	1 de: 3											
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO							
0								Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa)	Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)	Pasa malla #200	Clasificación U.S.C.S.
0,5															
1	1					STD	1 1 1								
1,5															
2	2					STD	1 1 1								
2,5															
3	3					STD	1 1 2								
3,5															
4	4					STD	1 1	42.1				46.0	11.2	58	ML
4,5															
5	5					STD	2 2 3								
5,5															
6	6					STD	3 4 3								
6,5															
7															



REGISTRO DE PERFORACIÓN																
INFORMACIÓN GENERAL:							Fecha:									
Proyecto: Puerto Calle Quibdó			Localización: Margen derecha Rio Atrato			COORDENADAS:		Perforación No.								
Equipo: Pety				N:	3											
Perforador: Alfredo Martinez				E:	Hoja No:											
Responsable: Nelson Gaona Losada				Z:	2 de 3											
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material			Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO							
7	7			Continua el estrato descrito en la hoja anterior			STD	6 7 9	Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo (kN/m³)	Peso unitario seco (kN/m³)	Compresión simple: q_u (kPa)	Límite líquido (%)	Índice plástico (%)	Pasa malla #200	Clasificación US.C.S.
7,5																
8	8						STD	6 8 9								
8,5																
9	9						STD	5 5 7	35.2			35.0	9.3	65	ML	
9,5																
10	10						STD	7 8 8								
10,5																
11	11						STD	8 10 11								
11,5																
12	12						STD	10 12 15	19.8			23.5	2.8	38	SM	
12,5																
13	13						STD	29 26 30								
13,5																
14																



Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad)  
para la navegabilidad del río Atrato



REGISTRO DE PERFORACIÓN											
INFORMACIÓN GENERAL:								Fecha:			
Proyecto:	Puerto Calle Quibdó			COORDENADAS:		noviembre de 2012			Perforación No.		
Localización:	Margen derecha Rio Atrato			N:				3			
Equipo:	Pety			E:				Hoja No:			
Perforador:	Alfredo Martinez			Z:				3	de:	3	
Responsable:	Nelson Gaona Losada			<b>INCIGAM</b> Ingeniería Civil, Geología y Ambiente							
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material			Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO		
14	14						STD	30 33 35	Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )
14,5							STD	32 46 53			
15	15						STD	45 68 R	Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa)	Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)
15,5							Barrena BQ	Rotación	8.2	25.0	3.5
16	16									23	GM-GC
16,3	17										
19	18										
21,5	19										
23	20										
25	21										
28	22										
30				Fin del Sondeo (30,00m)							



## 7.2 PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SITIO DENOMINADO CASIMIRO

Una vez finalizada la etapa de exploración y revisadas las muestras obtenidas, se definió un perfil estratigráfico del terreno que conforma el lote en estudio, encontrando tres estratos de origen aluvial: una capa superficial de limos y arcillas blandas saturadas que alcanza espesores entre 3 y 4.0 metros. Debajo de este material fino granular aparecen capas de limos y arenas limosas sueltas a medianamente compactas de color gris verdoso a gris oscuro, con espesor entre 6.0 y 8.0 m. Debajo de los limos arenosos y arenas finas se encontró un estrato de gravas arenosas y gravas limosas, compactas.

El material fino granular identificado en todos los tres sondeos presenta colores gris verdoso a gris clara. Se encuentra desde la superficie hasta profundidades entre 3 y 4.0 metros. Este material fue clasificado según la USCS como Limos arcillosos de baja y alta plasticidad, es decir ML y MH respectivamente. Posee las siguientes propiedades:

Clasificación USCS: Limos arcillosos de alta y baja plasticidad (MH y ML)

Humedad natural: Varía entre 44.1% y 59.4%

Límite líquido: Varía entre 38.6% y 58%

Índice plástico: Varía entre 7.7% y 9.3%

Debajo del material fino granular aparece un estrato de materiales granulares tipo limos y arenas finas de colores gris azuloso a gris claro, poco plástico, húmedos y generalmente suelto. Estos materiales poseen espesores entre 6.0 y 8.0 metros y se extienden hasta profundidades variables entre 10 y 11.0 m. Poseen las siguientes propiedades físicas:

Clasificación USCS: Arenas limosas y limos de baja plasticidad. (SM y ML)

Humedad natural: Varía entre 21.4% y 46.4%

Límite líquido: Varía entre 25.6% y 34.6%

Índice plástico: Varía entre 3.0% y 6.1%

Subyaciendo el material limo arenoso aparece un estrato de materiales gruesos granulares tipo gravas y arenas gruesas de colores gris claro a gris azuloso, compactas. Estos estratos se encontraron en todos los sondeos hasta la profundidad explorada. Poseen las siguientes propiedades físicas:

Clasificación USCS: Arenas limosas pobemente gradadas, gravas limosas, gravas arcillosas pobemente gradadas (SP- SM, GM, GP-GC)

Humedad natural: Varía entre 4.9% y 8.6%

Límite líquido: Varía entre NL y 20.6%

Índice plástico: Varía entre 0.0% y 2.2%



### Ilustración 23. Registro de perforación Sondeo 1 Casimiro

REGISTRO DE PERFORACIÓN									
INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:			
Proyecto: Puerto Casimiro			Localización: Margen derecha Rio Atrato			COORDENADAS:		diciembre de 2012	
Equipo: Pety			Perforación No.			N:		1	
Perforador: Alfredo Martinez			E:			Hoja No:			
Responsable: Nelson Gaona			Z:			1 de: 3			
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO	
0				Deposito Aluvial fino granular, Arcilla color gris verdoso, blanda, plastica				Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> )
0,5								Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa)
1	1					STD	1		Límite líquido (%)
1,6									Índice Plástico (%)
2	2					STD	1		Pasa malla #200
2,5									Clasificación U.S.C.S.
3	3					STD	1		
3,5									
4	4					STD	3	21.4	
4,5									
5	5					STD	4		
5,5									
6	6					STD	6		
6,5									
7									



Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad)  
para la navegabilidad del río Atrato



REGISTRO DE PERFORACIÓN											
INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:					
Proyecto: Puerto Casimiro			Localización: Margen derecha Rio Atrato			COORDENADAS:		Perforación No.			
Equipo: Pety			N: 1			E: Hoja No:					
Perforador: Alfredo Martinez			Z: 2 de: 3								
Responsable: Nelson Gaona Losada											
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO			
								Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa)
7	7			Depósito Aluvial, Limo arenoso con variación a arena limosa, de color gris azuloso, medianamente compacta, fácilmente disgregable, bien seleccionada. Se hace más gruesa y aumenta la proporción de arena con la profundidad		STD	4 5 4				Límite líquido (%)
7,5						STD	6 7 7				Índice Plástico (%)
8	8					STD	5 8 9				Pasa malla #200
8,5						STD	9 10 16				Clasificación U.S.C.S.
9	9					STD	18 26 31	8.1			
9,5						STD	27 32 39				
10	10					STD	29 32 37				
10,5						STD	20.6	2.0	6,8	GP-GM	
11	11					STD					
11,5						STD					
12	12					STD					
12,5						STD					
13	13					STD					
13,5						STD					
14						STD					



Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad)  
para la navegabilidad del río Atrato



**REGISTRO DE PERFORACIÓN**

INFORMACIÓN GENERAL:					Fecha:							
Proyecto:	Puerto Casimiro	COORDENADAS:		diciembre de 2012	Perforación No.							
Localización:	Margen derecha Rio Atrato	N:		1	E:	Hoja No:						
Equipo:	Pety	Z:		3	de:	3						
Perforador:	Alfredo Martinez											
Responsable:	Nelson Gaona Losada											
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material	Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO					
14	14			Deposito Aluvial, Grava arenoso-limoso con arena de grano medio bien seleccionada con gravas de hasta 3cm subredondeadas de diferentes litologías.	Barrena BQ Rotación	STD 30 35 41	Humedad Natural (%) 8.6	Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> ) Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> ) Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa)	20.2	2.2	3,9	GP-GM
14,5						STD 37 44 53						
15	15					STD 45 57 64						
15,5												
16	16											
16,5	17											
19	18											
20,5	19											
23	20											
25	21											
26,5	22											
28,5	23											
30				Fin del Sondeo (30,00m)			4.9		NLL	0	1,1	GP
33												



### Ilustración 24. Registro de perforación sondeo P-2 Casimiro

REGISTRO DE PERFORACIÓN									
INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:			
Proyecto: Puerto Casimiro			Localización: Margen derecha Rio Atrato			COORDENADAS:		diciembre de 2012	
Equipo: Pety			Perforación No.			N: 2			
Perforador: Alfredo Martinez			E: Hoja No:			Z: 1 de: 3			
<b>INCIGAM</b> Investigación Aluvial, Costero y Geotécnica									
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO	
0				Deposito Aluvial de inundación compuesto por Arcilla limosa o limo arcilloso de color gris verdoso, blanda, plastica.		STD	1	Humedad Natural (%) Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> ) Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> ) Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa) Límite líquido (%) Índice Plástico (%) Pasa malla #200 Clasificación U.S.C.S.	
0,5						STD	1		
1	1					STD	1		
1,5						STD	1		
2	2					STD	1		
2,5						STD	1		
3	3					STD	1		
3,5						STD	2		
4	4					STD	2		
4,5						STD	1		
5	5					STD	3		
5,5						STD	3		
6	6					STD	4		
6,5						STD	5		
7						STD	4		



Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad)  
para la navegabilidad del río Atrato



**REGISTRO DE PERFORACIÓN**

INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:								
Proyecto:	Puerto Casimiro	COORDENADAS:			diciembre de 2012									
Localización:	Margen derecha Rio Atrato	N:				Perforación No.								
Equipo:	Pety	E:				Hoja No:								
Perforador:	Alfredo Martinez	Z:	2	de:	3									
Responsable:	Nelson Gaona Losada													
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material	Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO							
7	7			Deposito Aluvial, Limo con arena fina de color gris azuloso con zonas grises y café amarillento	STD	5 5 6	Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa)	Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)	Pasa malla #200	Clasificación U.S.C.S.
7,5														
8	8				STD	6 7 6	36.5			31.0	5.0	55.8	ML	
8,5														
9	9				STD	8 9 9								
9,5														
10	10				STD	9 10 11								
10,5														
11	11				STD	23 29 36								
11,5														
12	12			Deposito Aluvial, Grava arenosa con arena media bien seleccionada con gravas de hasta 3cm subredondeadas de diferentes litologías.	STD	28 35 44								
12,5														
13	13				STD	46 57 64	7.2			20.2	2.0	7,1	GP-GM	
13,5														



## Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad) para la navegabilidad del río Atrato



## **REGISTRO DE PERFORACIÓN**



### Ilustración 25. Registro de perforación sondeo P-3 Casimiro

REGISTRO DE PERFORACIÓN															
INFORMACIÓN GENERAL:					Fecha:										
Proyecto:	Puerto Casimiro	COORDENADAS:			diciembre de 2012										
Localización:	Margen derecha Rio Atrato				Perforación No.										
Equipo:	Pety	N:				3									
Perforador:	Alfredo Martinez	E:				Hoja No:									
Responsable:	Nelson Gaona	Z:				1 de: 3									
RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO															
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material	Muestreador	Golpes/15 cm	Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa)	Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)	Pasa malla #200	Clasificación U.S.C.S.	
0				Deposito Aluvial, Arcilla gris azulosa con zonas café naranja y raicillas algo limosa, moderadamente plastico. Muy humedo, plastico y blando.	STD	1									
0,5															
1	1				STD	1									
1,5															
2	2				STD	1									
2,5															
3	3				STD	1									
3,5							44.1				38.6	9.3	76.6	ML	
4	4			Deposito Aluvial, Limo y arena fina color gris azuloso, suelta, facilmente disagregable, bien seleccionada. Se hace mas gruesa y aumenta la proporción de arena con la profundidad	STD	1									
4,5															
5	5				STD	2									
5,5															
6	6				STD	3									
6,5															
7															



Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad)  
para la navegabilidad del río Atrato



### REGISTRO DE PERFORACIÓN

INFORMACIÓN GENERAL:					Fecha:								
Proyecto:	Puerto Casimiro	COORDENADAS:			diciembre de 2012								
Localización:	Margen derecha Rio Atrato	N:			Perforación No.								
Equipo:	Pety	E:			Hoja No:								
Perforador:	Alfredo Martinez	Z:			2 de 3								
Responsable:	Nelson Gaona Losada												
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material	Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO						
7	7			Deposito Aluvial, Limo y arena fina color gris azuloso, algo compacta, fácilmente disagregable, bien seleccionada. Se hace mas gruesa y aumenta la proporción de arena con la profundidad	STD	5 6 5	Humedad Natural (%) Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> ) Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> ) Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa) Límite líquido (%) Índice Plástico (%) Pasa a malla #200 Clasificación U.S.C.S.	26.2 31.6 6.1 28.8 SM					
7,5													
8	8					6 6 7							
8,5					STD	7 8 8							
9	9												
9,5													
10	10				STD	9 10 9							
10,5													
11	11					9 10 12							
11,5				Deposito Aluvial, Arena media bien seleccionada con gravas de hasta 3cm subredondeadas de diferentes litologías.	STD	12 13 15							
12	12												
12,5													
13	13				STD	14 19 23							
13,5													
14													



REGISTRO DE PERFORACIÓN									
INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:			
Proyecto:	Puerto Casimiro		COORDENADAS:		diciembre de 2012		Perforación No.		
Localización:	Margen derecha Rio Atrato		N:	3		E:	Hoja No:		
Equipo:	Pety		Z:	3 de 3					
Perforador:	Alfredo Martinez								
Responsable:	Nelson Gaona Losada								
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO	
14	14					STD	20 26 31	Humedad Natural (%)	INCIGAM
14,5								Peso unitario húmedo (kN/m³)	
15	15					STD	33 46 50	Peso unitario seco (kN/m³)	
15,5								Compresión simple: q_u (kPa)	
16	16					STD	48 55 67	Límite líquido (%)	
16,5								Índice Plástico (%)	
18	17			Deposito Aluvial, Arena media bien seleccionada con gravas de hasta 3cm subredondeadas de diferentes litologías.		Barena BQ	Rotación	Pasa malla #200	
19,5								Clasificación U.S.C.S.	
22	18								
23,5									
25,5	19								
27									
28,5	20								
30				Fin del Sondeo (30,00m)					



### **7.3 PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SITIO DE UBICACIÓN DEL PUERTO EN EL GOLFO DE URABÁ (TARENA)**

Con la información obtenida en los sondeos se logró definir un perfil estratigráfico del terreno que conforma el lote en estudio, encontrando básicamente dos tipos de materiales de origen marino: una capa superficial de limos y arcillas blandas saturadas mezcladas con material orgánico que alcanza espesores entre 2.50 y 4.0 metros. Debajo de este material fino granular aparecen capas de arenas limosas, arenas arcillosas, limos de baja plasticidad y arcillas de baja plasticidad. En general este material presenta consistencia blanda a media.

El material fino granular identificado en todos los tres sondeos presenta colores café oscuro con zonas grises y posee espesores de 2.50 a 4.0 metros. Es de consistencia muy blanda a blanda.

Debajo del material fino granular aparece un estrato de materiales limosos y limo arenosos con intercalaciones de arcillas plásticas. En el área estudiada existe un predominio de limos arenosos y arenas finas de consistencia blanda a media.

Estos materiales se encontraron debajo del estrato finogranular hasta el final de las perforaciones. Poseen las siguientes propiedades físicas y mecánicas:

Clasificación USCS: Arenas limo arcillosas, arenas limosas, arcillas de baja plasticidad, limos de baja y alta plasticidad.(SM-SC, SM, CL, ML y MH)

Humedad natural: Varía entre 25.3% y 64.6%

Límite líquido: Varía entre 15.2% y 43.7%

Índice plástico: Varía entre 4.5% y 14%

Resistencia a la compresión inconfinada: Varía entre 14 y 20 KPa

Peso unitario: Varía entre 15.2 y 16.3 KN/m<sup>3</sup>



### Ilustración 26. Registro de perforación sondeo P-1 Tarena

REGISTRO DE PERFORACIÓN														
INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:								
Proyecto: Puerto Tarena			Localización: Chocó			COORDENADAS:		Perforación No.						
Equipo: Pety			N: _____			1								
Perforador: Alfredo Martinez			E: _____			Hoja No:								
Responsable: Nelson Gaona			Z: _____			1 de 5								
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material			Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO					
0				Arcilla Café con zonas grises, fragmentos de troncos y raíces, alta humedad muy blanda y de carácter plástico			STD	1	Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo ( $\text{kN/m}^3$ )				
0,5									Peso unitario seco ( $\text{kN/m}^3$ )	Compresión simple: $q_u$ (kPa)				
1	1								Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)				
1,6									Pasa malla #200	Clasificación U.S.C.S.				
2	2													
2,5														
3	3													
3,6														
4	4													
4,5														
5	5													
5,5														
6	6													
6,5														
7														
Depósito marino reciente, compuesto por arena limo arcillosa, de color gris verdoso a gris azuloso con zonas gris amarillentas, suelta.														
32,3 30,8 7,0 22,3 SM-SO														



### REGISTRO DE PERFORACIÓN

INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:	INCIGAM		
Proyecto:	Puerto Tarena	COORDENADAS:				enero de 2013			
Localización:	Chocó	N:		E:		Perforación No.			
Equipo:	Pety					Hoja No:			
Perforador:	Alfredo Martinez					Z:	2	de: 5	
Responsable:	Nelson Gaona Losada								
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO	
7	7			Depósito marino reciente compuesto por arena media bien seleccionada color gris verdoso a gris azuloso con zonas gris amarillentas, de compacidad baja a media, posee intercalaciones de limos arcillosos de color gris oscuro.		STD	5 4 5	40.3	
7,5						STD	5 5 6		
8	8					STD	5 6 5		
8,5						STD	6 7		
9	9					STD	6 7		
9,5						STD	6 7		
10	10					STD	6 6 7		
10,5						STD	7		
11	11					STD	7 6		
11,5						STD	7		
12	12					STD	7 6 7		
12,5						STD	7		
13	13					STD	7 7 8		
13,5						STD	7		
14						STD	7		



Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad)  
para la navegabilidad del río Atrato



**REGISTRO DE PERFORACIÓN**

INFORMACIÓN GENERAL:					Fecha:									
Proyecto:	Puerto Tarena	COORDENADAS:		enero de 2013										
Localización:	Chocó	N:		Perforación No.										
Equipo:	Pety	E:		Hoja No:										
Perforador:	Alfredo Martínez	Z:		3	de:	5								
Responsable:	Nelson Gaona Losada	Descripción del Material					RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO							
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Muestreador	Golpes/15 cm	Humedad Natural (%)		Peso unitario húmedo (kN/m³)	Peso unitario seco (kN/m³)	Compresión simple: q_u (kPa)	Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)	Pasa malla #200	Clasificación U.S.C.S.
14	14			STD	7 8 9	26.0					30.0	5.8		SM
14,5														
15	15			STD	10 10 12									
15,5														
16	16			STD	10 9 7									
16,5														
17	17			STD	8 9 9									
17,5														
18	18			STD	9 10 9	25.3					27.8	5.4		SMSC
18,5														
19	19			STD	4 5 5									
19,5														
20	20			STD	7 6 7									
20,5														
21														
Depósito marino reciente compuesto por arena media bien seleccionada color gris verdoso a gris azuloso con zonas gris amarillentas, de compacidad baja a media, con variaciones a limos arcillosos.														



Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad)  
para la navegabilidad del río Atrato



REGISTRO DE PERFORACIÓN									
INFORMACIÓN GENERAL:					Fecha:				
Proyecto: Puerto Tarena			Localización: Chocó		COORDENADAS:		Perforación No.		
Equipo: Pety			N:		1		Hoja No:		
Perforador: Alfredo Martinez			E:		Z:		4 de 5		
Responsable: Nelson Gaona Losada									
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO	
21	21					STD	7 7 8	Humedad Natural (%)	
21,5								Peso unitario húmedo (kN/m³)	
22	22					STD	6 8 9	Peso unitario seco (kN/m³)	
22,5								Compresión simple: q_u (kPa)	
23	23					STD	9 10 9	Límite líquido (%)	
23,5								Índice Plástico (%)	
24	24					STD	10 10 11	Pasa malla #200	
24,5								Clasificación U.S.C.S.	
25	25								
25,5									
26	26					STD	12 13 12		
26,5									
27	27					STD	12 13 15		
27,5									
28									
Depósito marino reciente compuesto por arena media bien seleccionada color gris verdoso a gris azuloso con zonas gris amarillentas, de compacidad baja a media, con variaciones a limos arcillosos.									



Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad)  
para la navegabilidad del río Atrato



REGISTRO DE PERFORACIÓN														
INFORMACIÓN GENERAL:					Fecha:									
Proyecto:	Puerto Tarena			COORDENADAS:	enero de 2013		Perforación No.							
Localización:	Chocó			N:	1		Hoja No:							
Equipo:	Pety			E:										
Perforador:	Alfredo Martinez			Z:	5 de 5									
Responsable:	Nelson Gaona Losada			INCIGAM										
RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO														
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm							
28	28			Depósito marino reciente compuesto por arena media bien seleccionada color gris verdoso a gris azuloso con zonas gris amarillentas, de compacidad baja a media, con variaciones a limos arcillosos.		STD	13 15 16							
28,5														
29	29					STD	16 17 16							
29,5														
30	30					STD	17 18 20							
30,5														
31	31													
31,5														
32	32													
32,5														
33	33													
33,5														
34	34													
34,5														
35														
Fin del Sondeo (30,45m)														



## Ilustración 27. Registro de perforación sondeo P-2 Tarena



Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad)  
para la navegabilidad del río Atrato



**REGISTRO DE PERFORACIÓN**

INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:	INCIGAM							
Proyecto:	Puerto Tarena	COORDENADAS:			enero de 2013	Perforación No.								
Localización:	Chocó				N:	2								
Equipo:	Pety				E:	Hoja No:								
Perforador:	Alfredo Martinez				Z:	2	de:	5						
Responsable:	Nelson Gaona Losada													
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material	Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO							
							Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa)	Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)	Pasa malla #200	Clasificación U.S.C.S.
8	7			Depósito marino reciente compuesto por arena media bien seleccionada color gris verdoso a gris azuloso con zonas gris amarillentas, bien seleccionada, con intercalaciones de arcillas de baja plasticidad.	STD	2 2 3								
8,5														
9	8				STD	5 6 5	33,1				34,6	8,3	35,9	SM
9,5														
10	9				STD	4 4 6								
10,5														
11	10				STD	6 5 5								
11,5														
12	11				STD	4 3 4	27,1				30,5	7,5	50,7	CL
12,5														
13	12				STD	4 4 5								
13,5														
14	13				STD	5 6 6								
14,5														
15														



### REGISTRO DE PERFORACIÓN

INFORMACIÓN GENERAL:					COORDENADAS:		Fecha:		INCIGAM Ingeniería Civil, Geotecnología y Ambiente
Proyecto:	Puerto Tarena				N:		enero de 2013		
Localización:	Chocó				E:				
Equipo:	Pety				Z:				
Perforador:	Alfredo Martinez						Hoja No:		
Responsable:	Nelson Gaona Losada						3 de 5		
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material	Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO		
15	14			Depósito marino reciente compuesto por Limo arcilloso con algo de arena, de color gris azuloso, moderadamente plástico. Consistencia media.	STD	6 5 6	60,0	43,7 98,1 6,6 ML	
15,5									
16	15				STD	7 7 6			
16,5									
17	16				STD	7 8 7			
17,5									
18	17				STD	7 8 8			
18,5									
19	18				STD	8 10 9			
19,5									
20	19				SH	8 10 10	43,2 16,30 11,39 20,0		
20,5									
21	20				STD	10 9 10			
21,5									
22									



Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad)  
para la navegabilidad del río Atrato



**REGISTRO DE PERFORACIÓN**

INFORMACIÓN GENERAL:					COORDENADAS:		Fecha:	Perforación No.		INCIGAM						
Proyecto:	Puerto Tarena	Localización:	Chocó		N:	E:	enero de 2013	2	Hoja No:	4	de:	5				
Equipo:	Pety															
Perforador:	Alfredo Martinez															
Responsable:	Nelson Gaona Losada				Z:											
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material			Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO							
22	21			Deposito marino reciente compuesto por Limo arcilloso con algo de arena, de color gris azuloso, moderadamente plastico. Consistencia media.	SH	10			Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo (kN/m³)	Peso unitario seco (kN/m³)	Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa)	Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)	Pasa malla #200	Clasificación U.S.C.S.
22,5						11			64,6	15,62	09,99	14,0				
23	22					10										
23,5					STD	10										
24	23					9										
24,5						10										
25	24				STD	14										
25,5						11										
26	25					12										
26,5					STD	10										
27	26					11										
27,5						12										
28	27				STD	12										
28,5						13										
29						14										
						13										



Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad)  
para la navegabilidad del río Atrato



**REGISTRO DE PERFORACIÓN**

INFORMACIÓN GENERAL:					COORDENADAS:		Fecha:		INCIGAM Ingeniería Civil, Geotecnia y Asociados
Proyecto:	Puerto Tarena	N:			enero de 2013		Perforación No.		
Localización:	Chocó	E:					2		
Equipo:	Pety	Z:			Hoja No.:				
Perforador:	Alfredo Martinez				5 de 5				
Responsable:	Nelson Gaona Losada								
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO		
29	28		Depósito marino reciente compuesto por Limo arcilloso con algo de arena, de color gris azuloso, moderadamente plástico. Consistencia media.		STD	13 10 12	Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo ( $\text{kN/m}^3$ )	
29,5							Peso unitario seco ( $\text{kN/m}^3$ )	Compresión simple: $q_u$ (kPa)	
30	29				STD	12 13 13	Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)	
30,5			Fin del Sondeo (30,45m)					Pasa malla #200	
30	30							Clasificación U.S.C.S.	
30,5									
31	31								
31,5									
32	32								
32,5									
33	33								
33,5									
34	34								
34,5									
35									



### Ilustración 28. Registro de perforación sondeo P-3 Tarena

REGISTRO DE PERFORACIÓN															
INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:									
Proyecto:	Puerto Tarena		COORDENADAS:		enero de 2013										
Localización:	Chocó				Perforación No.										
Equipo:	Pety		N:		3										
Perforador:	Alfredo Martinez		E:		Hoja No:										
Responsable:	Nelson Gaona		Z:		1 de: 5										
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO							
0								Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo (kN/m³)	Peso unitario seco (kN/m³)	Compresión simple: q_u (kPa)	Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)	Pasa malla #200	Clasificación U.S.C.S.
0,5															
1	1			Arcilla Café con zonas grises, fragmentos de troncos y raíces, alta humedad, muy blanda y de carácter plástico		STD	1								
3	2					STD	1								
3,5															
4	3					STD	4 2 1	27,7				29,4	5,5	34,2	SM
4,5															
5	4					STD	4 5 4								
5,5															
6	5					STD	4 6 7								
6,5															
7	6					STD	3 2 2								
7,5															
8															



### REGISTRO DE PERFORACIÓN

INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:	INCIGAM		
Proyecto:	Puerto Tarena	COORDENADAS:				enero de 2013	Ingeniería Civil Gestión y Aprendizaje		
Localización:	Chocó	N:				Perforación No.			
Equipo:	Pety	E:				Hoja No.:			
Perforador:	Alfredo Martinez	Z:				2 de: 5			
Responsable:	Nelson Gaona Losada								
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material		Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO	
								Humedad Natural (%)	Peso unitario húmedo (kN/m <sup>3</sup> )
								Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	Compresión simple: q <sub>u</sub> (kPa)
								Límite líquido (%)	Índice Plástico (%)
								Pasa malla #200	Clasificación U.S.C.S.
8	7			Depósito marino reciente compuesto por arena media bien seleccionada color gris verdoso a gris azuloso con zonas gris amarillentas, bien seleccionada. Se presentan lentes arcillosos de color similar y carácter blando entre 12 y 16 metros.		STD	3 2 3		
8,5									
9	8					STD	3 3 4		
9,5									
10	9					STD	3 4 3		
10,5									
11	10					STD	4 4 6		
11,5									
12	11					STD	4 4 3		
12,5									
13	12					STD	4 3 3		
13,5									
14	13					STD	5 4 5		
14,5									
15									



### REGISTRO DE PERFORACIÓN

INFORMACIÓN GENERAL:					COORDENADAS:		Fecha:		INCIGAM Ingenieros Civiles Consultores Asociados
Proyecto:	Puerto Tarena				N:		enero de 2013		
Localización:	Chocó				E:		Perforación No.		
Equipo:	Pety						3		
Perforador:	Alfredo Martinez						Hoja No:		
Responsable:	Nelson Gaona Losada				Z:		3 de 5		
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material	Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO		
15	14			Depósito marino reciente compuesto por arena media bien seleccionada color gris verdoso a gris azuloso con zonas gris amarillentas, bien seleccionada. Se presentan lentes arcillosos de color similar y carácter blando entre 12 y 16 metros.	STD	5 5 6	44,6	Humedad Natural (%)	INCIGAM Ingenieros Civiles Consultores Asociados
15,5								Peso unitario húmedo ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	
16	15				STD	5 6 6		Peso unitario seco ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	
16,5								Compresión simple: $q_u$ (kPa)	
17	16				STD	7 6 7		Límite líquido (%)	
17,5								Índice Plástico (%)	
18	17				STD	7 7 8		Pasa malla #200	
18,5								Clasificación U.S.C.S.	
19	18				SH	8 8	61.0	34,8	
19,5							15.54	4,7	
20	19				STD	8 7 8	9,65	86,3	
20,5							18	ML	
21	20				SH	8 8 9	33,3		
21,5							15.77		
22							11.83		
							16,0		



### REGISTRO DE PERFORACIÓN

INFORMACIÓN GENERAL:						Fecha:		Perforación No.		INCIGAM				
Proyecto:	Puerto Tarena	COORDENADAS:			enero de 2013									
Localización:	Chocó	N:		E:			3							
Equipo:	Pety					Hoja No.:								
Perforador:	Alfredo Martinez					4	de:	5						
Responsable:	Nelson Gaona Losada	Z:												
Prof. (m)	Muestra No.	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del Material			Muestreador	Golpes/15 cm	RESUMEN RESULTADOS LABORATORIO					
22	21			Deposito marino reciente compuesto por arena media bien seleccionada color gris verdoso a gris azuloso con zonas gris amarillentas, bien seleccionada. Se presentan lentes arcillosos de color similar y carácter blando entre 12 y 16 metros.			STD	8 9 9	Humedad Natural (%)	54,4	42,0	9,2	77,2	ML
22,5									Peso unitario húmedo (kN/m³)					
23	22							9 8 9	Peso unitario seco (kN/m³)					
23,5									Compresión simple: q_u (kPa)					
24	23							9 10 9	Límite líquido (%)					
24,5									Índice Plástico (%)					
25	24							9 10 10	Pasa malla #200					
25,5									Clasificación U.S.C.S.					
26	25						STD	10 10 12			35,8	5,9	43,5	SM
26,5														
27	26							10 12 12						
27,5														
28	27						STD	12 13 12			35,8	5,9	43,5	SM
28,5														
29														



## **REGISTRO DE PERFORACIÓN**

## 8 ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN

Después de seleccionada la curva de Casimiro como el sitio de ubicación del puerto de Quibdó, el especialista en hidráulica del convenio 2141 de 2011 realizó el siguiente análisis de socavación para dicho sitio:

“Las profundidades consideradas en la modelación hidrodinámica, son indicativas de la condición actual en el tramo de interés. Sin embargo, la evolución de la barra de sedimento en la curva de Casimiro puede generar socavación adicional del lecho de fondo hasta llegar a un estado de equilibrio.

En la literatura se encuentran expresiones como la de Thorne (1988)<sup>1</sup> y Maynord (1996)<sup>2</sup> para estimar la relación entre la profundidad máxima de una sección curva y la profundidad media del tramo.

Thorne (1988):

$$\frac{h_{\max}}{h_0} = 2.07 - 0.19 \log \left( \frac{R}{B_{ch}} - 1.5 \right)$$

Maynord (1996):

$$\frac{h_{\max}}{h_0} = 1.8 - 0.051 \frac{R}{B_{ch}} + 0.0084 \frac{B_{ch}}{h_0}$$

Donde,

$h_{\max}$	Profundidad máxima de flujo en la sección curva	[m]
$h_0$	Profundidad media de flujo en el tramo recto	[m]
$R$	Radio de la curva	[m]
$B_{ch}$	Ancho del cauce, medido en un tramo recto anterior/posterior a la curva	[m]

Del inventario de curvas del río Atrato, realizado durante la fase previa de este proyecto<sup>3</sup>, se obtuvo el radio de la curva de Casimiro, siendo este de 883 m. El ancho

<sup>1</sup> THORNE, C.R. (1988), Bank processes on the Red River between Index, Arkansas and Shreveport, Louisiana. Final report to US Army European Research Office, Dept. Geography, Queen Mary College, London (en inglés).

<sup>2</sup> MAYNORD, S.T. (1996), Toe-scorch estimation in stabilized bendways. J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol.122, No.8, pp.460-464 (en inglés)



del cauce a banca llena en los tramos rectos aledaños a dicha curva es del orden de 300 m. De acuerdo con esto, la relación  $h_{\max}/h_0$  según los autores sería:

Thorne (1988): 2,1  
Maynord (1996): 2,3

De acuerdo con los resultados del modelo hidrodinámico en condiciones de caudal medio, la profundidad promedio de flujo en los tramos rectos aledaños a la curva es del orden de 4 m.

De acuerdo con esto y según los resultados de las expresiones de Thorne (1988) y Maynord (1996), se podrían esperar valores de profundidad máxima en la curva Casimiro de entre 8,2 y 8,6 m.

**La profundidad máxima en la curva Casimiro, según resultados del modelo hidrodinámico (caudales medios), es actualmente de 7,5 m, por lo que, según la teoría podría esperarse una socavación natural adicional de entre 0,7 y 1 m en la parte más profunda de la curva.”**

---

<sup>3</sup> INVIAST-UTCH (2010), ESTUDIOS Y ANÁLISIS PARA LA INVESTIGACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA, SOCIO-ECONÓMICA Y AMBIENTAL DEL CORREDOR ATRATO – SAN JUAN, Volumen III - Factibilidad y Escenario Futuro del Corredor Seleccionado



## 9 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

### 9.1 PUERTO FLUVIAL DE QUIBDÓ – CURVA DENOMINADA CASIMIRO.

Con base en el análisis multitemporal realizado para el sitio denominado “Casimiro” en el volumen II (Geología) de este estudio, el análisis de la información estratigráfica y los resultados de laboratorio, se concluye que por la dinámica fluvial de dicho sitio, para la construcción del puerto fluvial allí se hace necesario la fijación de la orilla, para lo cual en principio lo mas recomendable para resolver esta situación es una construcción de un muro de contención con tablestaca de acero, lo que adicionalmente representa una ventaja para el canal navegable del río Atrato ya que el muro de tablestaca restringe la sección transversal en dicha curva y amplia por flujo helicoidal el ancho del canal al frente del muro. Adicionalmente, será necesario que las estructuras como el patio de descarga o zona de acopio donde se instalarán grandes gruas, estén soportadas en losas de concreto apoyadas sobre pilotes hincados. Igual recomendación aplica para las construcciones como bodegas para las áreas de inspección, almacenamiento, etc.

#### 9.1.1 RIESGOS ASOCIADOS CON EL PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SITIO DENOMINADO “CASIMIRO”.

Teniendo en cuenta que en este sitio se presenta un depósito aluvial saturado, el cual en sus primeros cuatro metros es una arcilla blanda de color gris verdoso, obliga a pensar que esta capa no puede ser utilizada para fundar ninguna estructura, por lo tanto se debe pensar en un mejoramiento del suelo o en el uso de pilotes para fundar las losas o los terraplenes de las vías del proyecto.

Dentro de los riesgos naturales a que estarían sometidas las estructuras, en relación con el tipo de materiales, se tiene la licuación de los materiales, dado que la zona se considera como de zona de amenaza sísmica alta y los materiales superficiales corresponden a limos y arenas finas susceptibles a este fenómeno. Para evaluar el potencial de zonificación se utilizó el software Liquefy Pro versión 4.5 de CivITech software. Los análisis realizados arrojaron como resultado factores de seguridad por debajo de la unidad hasta 9.0 metros de profundidad, lo cual define un estrato potencialmente licuable. En el anexo 1 se incluyen las memorias de los análisis de licuación para Puerto Casimiro.

La presencia de materiales finogranulares en superficie, de muy baja capacidad portante, obliga a que las estructuras se apoyen sobre el estrato de grava gruesa que se detectó a partir de los 10 metros de profundidad. En este orden de ideas, la opción más viable para la fundación de las diferentes edificaciones y estructuras serán pilotes que si bien puede dificultarse en el proceso constructivo, garantiza una cimentación

adecuada para las estructuras. Los pilotes metálicos podrían eventualmente ser más adecuados que los pilotes en concreto, dado que poseen menor resistencia a la penetración por el espesor de la estructura metálica que los conforma.

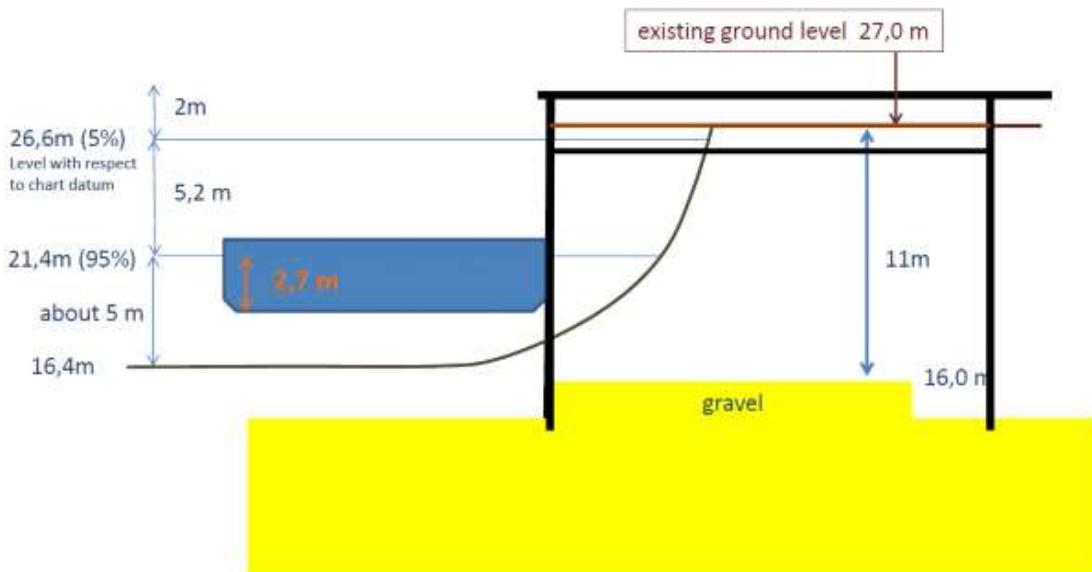
### 9.1.2 ALTERNATIVAS PARA LA FIJACIÓN DE LA ORILLA DE LA CURVA DE CASIMIRO.

Para la fijación de la orilla de la curva de “Casimiro” se tiene pensado utilizar una tablestaca metálica debido a su ventaja morfológica por la restricción de la sección transversal en dicha curva, sin embargo la instalación de dicha tablaestaca puede ser problemática debido a la presencia de la capa de grava a partir de los 10 metros de profundidad.

Las alternativas para resolver esta problemática serían las siguientes:

1. Usar una Ataguía (Cofferdam), que consiste de dos muros de tablestaca conectados por un anclaje. De esta manera la tablestaca puede ser más corta y así se limita la longitud de penetración en la capa de grava (Ilustración 29).

**Ilustración 29 . Ataguía de dos muros de tablestaca conectados por un anclaje.**

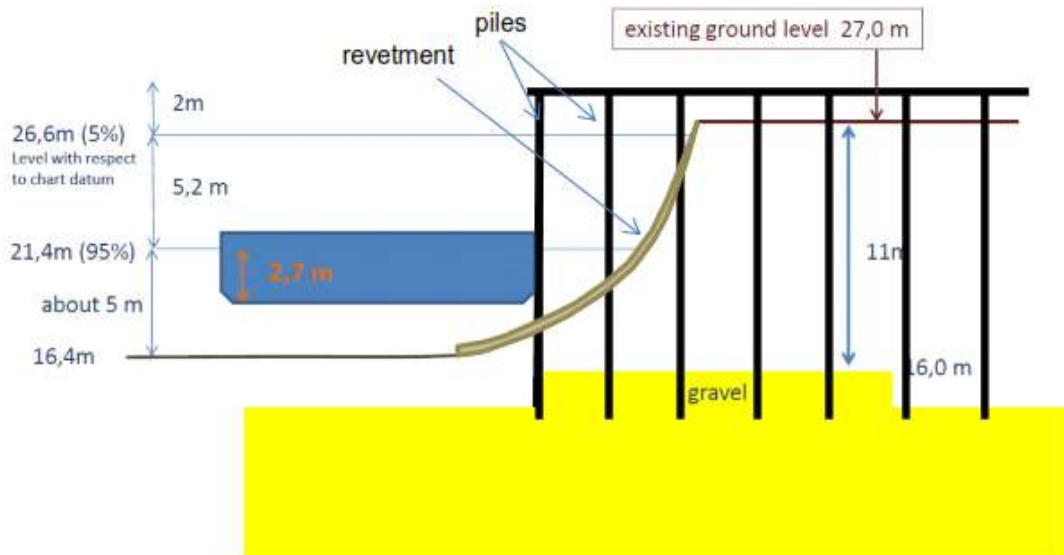


Fuente: Fundación Deltaires de Holanda, Asesora en modelación hidráulica del convenio 2141 de 2011

2. Un muelle de atraque abierto con una losa completamente soportada por pilotes. Para implementar esta alternativa es necesario hacer un recubrimiento en concreto del talud de la orilla externa de la curva debajo de la losa. A este

recubrimiento es difícil de hacerle mantenimiento ya que quedaría debajo de la losa. Los pilotes no tendrían problema para su instalación y las cargas horizontales estarían restringidas aunque los pilotes experimentarán cargas horizontales del talud de la orilla. (Ilustración 30).

**Ilustración 30. Muelle de atraque abierto con revestimiento del talud de la orilla.**



Fuente: Fundación Deltaires de Holanda, Asesora en modelación hidráulica del convenio 2141 de 2011

3. Un muro de contención combinado con anclajes. En este caso la tablestaca metálica se instalaría entre los pilotes para garantizar el cierre del muro. La tablestaca puede ser más corta que los pilotes, podría fundarse encima de la capa de grava, sin embargo se debe tener en cuenta el riesgo de erosión subterránea remontante (piping) que podría hacer que se requiera una penetración en la capa de grava más profunda (Ilustración 31).

**Ilustración 31. Sección transversal de muro de contención combinado, pilotes y tablestaca.**





### 9.1.3 ANALISIS GEOTECNICO PARA EL DISEÑO DE LA FIJACION DE ORILLAS Y LA CIMENTACION DE ESTRUCTURAS

#### DISEÑO GEOTECNICO PRELIMINAR PARA EL TABLESTACADO DE FIJACION DE ORILLAS

Teniendo en cuenta que será necesario fijar la orilla derecha donde se ubicará el puerto en el sector de Casimiro, con el fin de proteger las estructuras portuarias, se propone como sistema de fijación un tablestacado a lo largo de la zona del puerto. La tablestaca metálica se hincará en el depósito aluvial detectado en la zona, el cual se compone de un estrato de limos y arcillas blandas hasta los 4 m de profundidad, subyacidos por limos y arenas finas hasta aproximadamente 10 a 11 metros, a partir de esta profundidad se encontraron gravas y arenas gruesas compactas.

Teniendo en cuenta la estratigrafía detectada en los sondeos exploratorios se estima que la tablestaca se podrá hincar hasta una profundidad cercana a los 13 metros, donde encontrará rechazo en el material grueso granular.

Para el diseño de la tablestaca se podrán utilizar los siguientes parámetros geotécnicos:

Longitud de la tablestaca: aproximadamente 13 metros, de los cuales en la orilla podrán quedar expuesto aproximadamente 8 metros.

Parámetros geotécnicos para el cálculo de los empujes sobre la tablestaca:

**Tabla 3. Propiedades geomecánicas sector Casimiro**

Prof (m)	Material	Cohesion (Kpa)	Ang Fricción (grados)	Peso unitario (KN/m3)
0-4	Arcilla	8,0	19°	15
4-11	arena fina y limo arenoso	0	26	16
11-15	Gravas y arenas	0	33	17

Los parámetros geomecánicos que se detallan en la tabla anterior se obtuvieron de los ensayos in situ SPT, dado la dificultad de obtener muestras inalteradas en materiales granulares, los cuales predominan en las zonas estudiadas. El procedimiento se presenta en los siguientes párrafos.

Del ensayo SPT realizado in-situ se obtiene el número de golpes para cada uno de los perfiles identificados de los cuales, al aplicar una serie de correlaciones disponibles en



la literatura, se obtienen parámetros de resistencia como cohesión y ángulo de fricción que se combinan con la experiencia del equipo de trabajo para determinar los parámetros de resistencia de cada estrato.

En primer lugar es necesario realizar la corrección del valor de N de campo obtenido en el ensayo SPT para posteriormente utilizar ecuaciones que correlacionan los valores de resistencia con el valor N. Para la corrección se utilizó la ecuación propuesta por Bowles la cual permite obtener un valor de N corregido que posteriormente permite una mejor aproximación a los valores de resistencia. Dicha ecuación tiene en cuenta correcciones por confinamiento, energía del martillo, longitud de las barras de perforación, por el toma-muestras y finalmente por el diámetro de la perforación.

La ecuación propuesta por Bowles (1988) para el valor de N corregido se la define de la siguiente manera:

$$N_s = N * C_n * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4$$

Donde:

N: N de Campo

C<sub>n</sub>: Corrección por confinamiento.

η<sub>1</sub>: Corrección por energía del martillo.

η<sub>2</sub>: Corrección por longitud de barras de perforación

η<sub>3</sub>: Corrección por tomamuestras.

η<sub>4</sub>: Corrección por diámetro de la perforación

Una vez obtenido el valor N corregido se puede calcular el valor del ángulo de fricción, partiendo de la formulación, propuesta por Kishida y modificada por Álvaro González:

$$\phi' = 15 + \left( 12.5 * N_{45} \right)^{0.5} \quad 4.$$

Para la obtención de valores de cohesión se utilizó igualmente formulaciones que incluyen el valor de N del SPT como la presentada por Stroud y otros.

$$\text{Stroud } C = (3.5 - 5.0)N \text{ (KPa)}$$

Para efectos de controlar las deformaciones en la cabeza del tablestacado se podrá optar por instalar otro tablestacado en la parte interna del puerto, que se conectarán mediante anclajes de acero, de tal manera que permitan compensar el poco empotramiento de la tablestaca que fijará la orilla del río y conformará la orilla del puerto y que estará limitado por la presencia de gravas gruesas y compactas localizadas bajo los estratos de arenas finas.

---

4 Ecuación propuesta por Kishida y modificada por Álvaro González para una energía del 45%



## DISEÑO GEOTECNICO PRELIMINAR PARA LA CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS COMO GRUAS, EDIFICACIONES ETC.

Para soportar las diferentes estructuras y edificaciones en la zona del puerto y dado que existen suelos superficiales de muy pobres características geotécnicas, se recomienda apoyar dichas estructuras sobre placas o losas de concreto cimentadas sobre pilotes hincados.

Información suministrada por el especialista en estructuras menciona que para la zona del muelle las cargas que se transmitirán al subsuelo alcanzarán hasta 10 ton/m<sup>2</sup> y para las edificaciones que comprenden bodegas y zonas de almacenamiento la carga podrá alcanzar hasta 2.0 ton/m<sup>2</sup>.

En este capítulo se presentan el diseño de la alternativa de cimentación seleccionada, de acuerdo con los parámetros arriba establecidos.

Se determinó, teniendo en cuenta el tipo de materiales que se encontraron en la exploración geotécnica y las cargas de la estructura proyectada, que estas deberán transmitirse mediante cimentaciones profundas tipo pilotes hincados, dado la presencia de suelos arenosos de difícil excavación manual y materiales arcillosos blandos en superficie. Los pilotes permitirán atravesar estratos superficiales considerados geotécnicamente pobres.

### Calculo de capacidad de carga

Para el cálculo de la capacidad de carga de la alternativa de cimentación seleccionada, se utilizaron metodologías que tienen en cuenta parámetros obtenidos en el numeral 9.1.3

El modelo de cálculo a utilizar para la determinación de la carga ultima y admisible es el propuesto por Burland (1973) por el método Beta (esfuerzos efectivos) capacidad para cimentaciones profundas.

$$Q_{SU} = F_{SU} * W * L$$

$$qp = N_q * \gamma_v'$$

$$Q_p = qp * Ab$$

Donde:

$Q_{SU}$  = Resistencia por fricción.

$Q_p$  = Capacidad ultima de carga en la base.

$F_{SU}$  = Resistencia unitaria por fricción.

$W$  = Perímetro del fuste.

$L$  = Longitud

$Ab$  = Área de la base.

$Nq$  = Factor  $Nq$  relacionado con  $\phi$  fricción del suelo

$\gamma_v'$  = Esfuerzo vertical efectivo.

$qp$  = Resistencia unitaria de la punta.

El análisis se realizó considerando pilotes hincados con diámetro de fuste de 0.30 y 0.40 m. El factor de seguridad utilizado tanto para la estimación de la capacidad por fuste y por punta es de 3.0, valores recomendados en la literatura, en especial cuando existen incertidumbres en la exploración. Así se obtuvieron las siguientes conclusiones:

De acuerdo con los análisis realizados se considera que la alternativa más viable para la cimentación de la grúa pórtico y de las bodegas del puerto corresponde a pilotes de concreto hincados de 0.30 m o 0.40 m de diámetro con longitud mínima de 12 metros.

La capacidad de carga de los pilotes es la siguiente:

**Tabla 4. Capacidad de carga pilotes de 0.30 m de diámetro**

Pilotes de 0.30 m			
Long pilote	Cap friccion	Cap Punta	Cap Total
m	KN	KN	KN
12	105	40	145
13	136	52	188
14	170	57	227

**Tabla 5. Capacidad de carga pilotes de 0.40 m de diámetro**

Pilotes de 0.40 m			
Long pilote	Cap friccion	Cap Punta	Cap Total
m	KN	KN	KN
12	141	71	212
13	181	92	273
14	226	101	327



## Cálculo de asentamientos

A continuación se presenta la estimación de asentamientos para los pilotes propuestos como cimentación. Los asentamientos fueron estimados mediante el método elástico, para lo cual se usa la siguiente ecuación:

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

Donde:

$S$  : Asentamiento

$S_1 = (Q_p + Q_f) L / A_p E_p$  : Asentamiento elástico del pilote.

$S_2 = \frac{Q_p * D}{E_s} (1 - \nu^2) I_{wp}$  : Asentamiento del pilote por carga en la punta.

$S_3 = \frac{Q_f * D}{\omega L * E_s} (1 - \nu^2) I_{ws}$  : Asentamiento del pilote por carga a lo largo del fuste.

Donde:  $E_p$  : Modulo de elasticidad del concreto.

$E_s$  : Modulo de elasticidad del suelo

$\nu$  : Relación de Poisson

$I_{wp}, I_{ws}$ : Factores de influencia por punta y por fuste respectivamente.

De acuerdo con la formulación anterior, se obtuvieron valores de asentamientos totales de 9.2 mm.

## Pilotes sometidos a carga lateral

En caso de requerirse utilizar el valor de  $K_s$ , para fines de diseño estructural, se podrá emplear los siguientes valores:

De 0.0 a 4.0 m  $K_s = 0$

De 4.0m a 11.0m  $K_s$ = Varía linealmente de 0 a 15.700 KN/m<sup>3</sup>

De 11.0 a 14.0 m  $K_s$ = Varía Linealmente de 15.700 a 37.500 KN/m<sup>3</sup>

Para la obtención del valor de  $K_s$  se utilizó la siguiente formulación, que tiene en cuenta los valores de  $E_s$  y  $U$ , así como diámetro del pilote.

$$k'_s = \frac{22.4E_s(1 - \mu)}{(1 + \mu)(3 - 4\mu)[2 \ln(2L_p/B) - 0.433]} \quad (\text{units of } E_s)$$

where  $L_p$  = pile length, m or ft  
 $B$  = pile width, m or ft



Las deformaciones sobre la tablestaca fueron definidas en el análisis estructural preliminar que se presentan en el volumen “Prediseño Estructural”.

### Parámetros de Diseño Sísmico

Según el nuevo Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, toda la zona pacífica de Colombia se encuentra catalogada como de amenaza sísmica alta. Según este reglamento la aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos en la zona del sistema de transporte propuesto es de 0,25 a 0,45 g ( $9.8\text{m/s}^2$ ) y para períodos de vibración intermedios es de 0,25 a 0,40 g.

Teniendo en cuenta el tipo de suelo encontrado en el sector se determinó que el área está conformada por un **perfil de suelo tipo D**.

### DISEÑO GEOTECNICO PRELIMINAR PARA VIAS INTERNAS

Considerando que en el sector de Casimiro se detectaron suelos muy blandos con algún contenido de material orgánico, es necesario que las vías de acceso y de circulación se proyecten sobre materiales de reemplazo, que permitan disipar los esfuerzos transmitidos al subsuelo y no generen daños en la carpeta de rodadura.

Las recomendaciones aquí planteadas están sustentadas en experiencias sobre terrenos similares, pero deberán ser avaladas o modificadas en la etapa de diseño o fase III. En esta etapa (Fase II) no se incluyó dentro de los alcances el diseño de pavimento, para lo cual se requerirán ensayos específicos como la obtención del Modulo Resiliente o en su defecto ensayos como CBR o ensayos de placa. Se deberá tener la información sobre TPD y otros parámetros para lograr una adecuado diseño de la estructura requerida.

De manera general, se recomienda efectuar un reemplazo de 2.0 m de espesor en las zonas de las vías y en las zonas de parqueaderos, retirando el material limo arcilloso de color café a gris y reemplazandolo por material seleccionado tipo sub-base granular compactada. Como alternativas que deberán ser evaluadas en la etapa de diseño se propone igualmente utilizar como materiales de reemplazo una mezcla de afirmado o crudo de rio con sub-base granular que permita disminuir costos. Previo a la colocación del material de reemplazo se deberá colocar tela de geotextil tejido tipo T2400 en el ancho de la vía y sobre esta tela se colocará el material granular.

El material granular se colocará en capas de 0.30 m de espesor y se regará uniformemente para proceder a compactar usando equipos vibrocompactadores que permitan alcanzar densidad seca del 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado para este tipo de material. Las dos capas más superficiales, deberán alcanzar una densidad seca del 100% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo del proctor modificado.



Sobre este material de reemplazo se podrá colocar la estructura de pavimento seleccionada en su debido momento, que podrá ser losas de concreto hidráulico o pavimento asfáltico.

## **9.2 PUERTO MARÍTIMO-FLUVIAL EN EL GOLFO DE URABÁ (TARENA)**

Por ser el puerto en el golfo de Urabá un puerto marítimo y fluvial de aguas profundas su implementación es de alta complejidad ingenieril y el alcance de este estudio solo se limitará a proponer sistemas básicos de conformación del muelle mediante estructuras hincadas tipo tablestacas y para la zona interna del puerto se propondrán lasas de concreto apoyadas en pilotes hincados. Según el prediseño del puerto realizado por el ingeniero Naval del IIAP, el cual plantea un muelle para embarcaciones marítimas y otro para embarcaciones fluviales es necesario revisar geotécnicamente el muro de contención del muelle con base en el perfil estratigráfico que se encontró en la exploración del subsuelo.

### **9.2.1 RIESGOS ASOCIADOS CON EL PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SITIO DE UBICACIÓN DEL PUERTO EN EL GOLFO DE URABÁ.**

Teniendo en cuenta que en este sitio se presenta un depósito intermareal saturado, el cual presenta en sus primeros tres metros una arcilla blanda de color café con alto contenido de materia orgánica, obliga a pensar que esta capa no puede ser utilizada para fundar ninguna estructura, por lo tanto se debe pensar en un mejoramiento del suelo o en el uso de pilotes para fundar las lasas o los terraplenes de las vías del proyecto.

La presencia de la capa de arena fina limosa y arcillosa poco densa a partir de los 3 metros de profundidad, hace que se deba tener presenten que si se van a utilizar pilotes estos se calcularán básicamente para trabajo por fricción.

Teniendo en cuenta el tipo de material limo arenoso de baja compacidad que se detecta hasta aproximadamente 20 m de profundidad, bajo condiciones saturadas y en zona de riesgo sísmico alto, se realizó análisis del potencial de licuación. Para evaluar el potencial de zonificación se utilizó el software Liquefy Pro versión 4.5 de CivTech software. Los análisis realizados arrojaron como resultado factores de seguridad por debajo de la unidad hasta 23.0 metros de profundidad, lo cual define un estrato potencialmente licuable. En el anexo 1 se incluyen las memorias de los análisis de licuación para Puerto Tarena. Adicionalmente es fundamental en la fase de diseño definitivo (fase III) realizar la evaluación cuantitativa del comportamiento dinámico de estas arenas por el tema de la licuación.

## 9.2.2 ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MURO DE CONTENCIÓN DE LOS MUELLES DEL PUERTO DEL GOLFO DE URABÁ (TARENA).

1. Usar una Ataguía (Cofferdam), que consiste en dos muros de tablestaca conectados por un anclaje.
2. Un muro de contención combinado con anclajes. En este caso se usarían pilotes para el soporte de cargas verticales y la mayoría de las horizontales. Tablestaca metálica se instalaría entre los pilotes para garantizar el cierre del muro (Ilustración 32).

**Ilustración 32. Sección transversal de muro de contención combinado, pilotes y tablestaca metálica.**

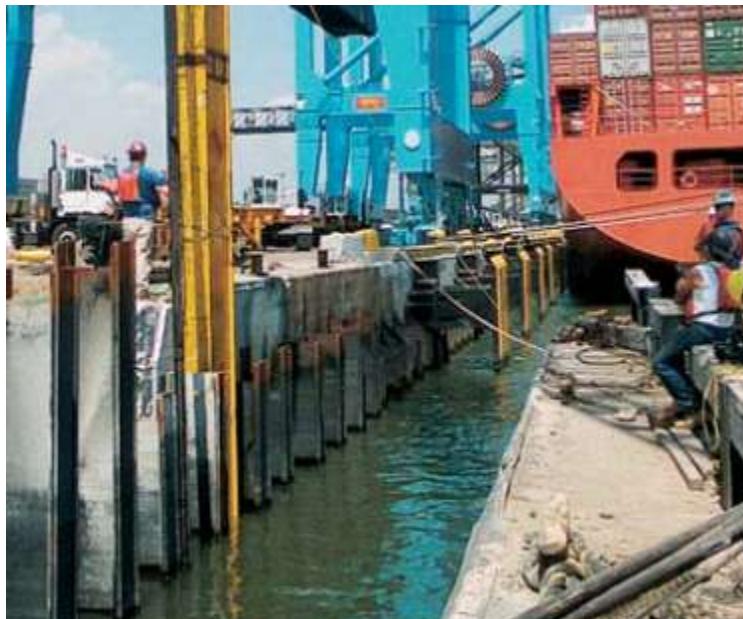


3. Un muro de contención combinado, perfiles en H y tablestaca. En este caso se usarían perfiles metálicos en H para soporte de cargas verticales y horizontales, ya que en estos perfiles se instalarían las defensas para amortiguar la energía de atraque. La tablestaca se instalaría para garantizar el cierre del muro (Ilustración 33).

**Ilustración 33. Sección transversal de muro de contención combinado, perfiles en H y tablestaca metálica.**



**Fotografía 13. Muro de contención combinado, perfiles en H y tablestaca metálica.**



### **9.2.3 ANALISIS GEOTECNICO PARA EL DISEÑO DE LA FIJACION DE ORILLAS Y LA CIMENTACION DE ESTRUCTURAS**

#### **DISEÑO GEOTECNICO PRELIMINAR PARA EL TABLESTACADO DE CONFORMACION DEL MUELLE**

Para efectos de conformar la zona del muelle del puerto en el sector de Tarena se propone como sistema de contención un tablestacado a lo largo de la zona del puerto. La tablestaca metálica se hincará en los depósitos intramareales detectados en todos los sondeos de exploración, que se componen de limos arcillosos muy blandos hasta 3.0 m de profundidad y que son subyacidos por potentes estratos de limo arenosos con intercalaciones de limos arcillosos y arenas.

Teniendo en cuenta la estratigrafía detectada en los sondeos exploratorios se estima que la tablestaca no tendrá limitantes para el hincado pues los materiales identificados en los sondeos ofrecen baja resistencia a la penetración.

La longitud final de la tablestaca estará supeditada al análisis estructural teniendo en cuenta los siguientes parámetros de los suelos donde se hincará.

Longitud de la tablestaca: La requerida según diseño estructural.

Parámetros geotécnicos para el cálculo de los empujes sobre la tablestaca:

**Tabla 6. Propiedades geotécnicas sector Tarena.**

Prof (m)	Material	Cohesion (Kpa)	Ang Fricción (grados)	Peso unitario (KN/m3)
0-3	Arcilla	3,0	19°	14
3-15	limo arenoso con intercalaciones de limos arcillosos sueltos	0	22	16
15-30	limo arenoso con intercalaciones de limos arcillosos medianamente compactos	0	27	17

Para la obtención de los parámetros geomecánicos presentados en la tabla anterior, se utilizó la metodología expuesta en los análisis del puerto de Casimiro (Quibdó), es decir los parámetros geomecánicos se obtuvieron de correlaciones con el ensayo SPT.

Para efectos de controlar las deformaciones en la cabeza del tablestacado se podrá optar por instalar otro tablestacado en la parte interna del puerto, que se conectarán mediante anclajes de acero, de tal manera que permitan compensar el empotramiento de la tablestaca que definira el borde del muelle.

#### **DISEÑO GEOTECNICO PRELIMINAR PARA LA CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS COMO GRUAS, EDIFICACIONES ETC.**

Para soportar las diferentes estructuras y edificaciones en la zona del puerto y dado que existen suelos superficialmente de muy pobres características geotécnicas, se recomienda apoyar dichas estructuras sobre placas o losas de concreto cimentadas sobre pilotes hincados.

Las cargas estimadas que se transmitirán al subsuelo en la zona del muelle pueden alcanzar hasta 30 ton/m<sup>2</sup>, en tanto que para la zona de las edificaciones y bodegas, la carga máxima puede alcanzar hasta 3 ton/m<sup>2</sup>.



En este capítulo se presentan el diseño de la alternativa de cimentación seleccionada, de acuerdo con los parámetros arriba establecidos.

Se determinó, teniendo en cuenta el tipo de materiales que se encontraron en la exploración geotécnica y las cargas de la estructura proyectada, que estas deberán trasmisirse mediante cimentaciones profundas tipo pilotes hincados, dado la presencia de suelos limo arenosos de pobres condiciones geotécnicas en los niveles superiores. Los pilotes permitirán atravesar estratos superficiales considerados geotécnicamente pobres.

### **Calculo de capacidad de carga**

Para el cálculo de la capacidad de carga de la alternativa de cimentación seleccionada, se utilizaron metodologías que tienen en cuenta parámetros obtenidos en el numeral 9.2.3

El modelo de cálculo a utilizar para la determinación de la carga ultima y admisible es el propuesto por Burland (1973) por el método Beta (esfuerzos efectivos) capacidad para cimentaciones profundas.

$$Q_{SU} = F_{SU} * W * L$$

$$qp = N_q * \gamma_v'$$

$$Q_p = qp * Ab$$

Donde:

$Q_{SU}$  = Resistencia por fricción.

$Q_p$  = Capacidad ultima de carga en la base.

$F_{SU}$  = Resistencia unitaria por fricción.

$W$  = Perímetro del fuste.

$L$  = Longitud

$Ab$  = Área de la base.

$Nq$  = Factor  $Nq$  relacionado con  $\phi$  fricción del suelo

$\gamma_v'$  = Esfuerzo vertical efectivo.

$qp$  = Resistencia unitaria de la punta.

El análisis se realizó considerando pilotes hincados con diámetro de fuste de 0.30 y 0.40 m. El factor de seguridad utilizado tanto para la estimación de la capacidad por

fuste y por punta es de 3.0, valores recomendados en la literatura, en especial cuando existen incertidumbres en la exploración. Así se obtuvieron las siguientes conclusiones:

De acuerdo con los análisis realizados se considera que la alternativa más viable para la cimentación de la grúa pórtico y de las bodegas del puerto corresponde a pilotes de concreto hincados de 0.30 m o 0.40 m de diámetro con longitud mínima de 15 metros. La capacidad de carga de los pilotes es la siguiente:

**Tabla 7. Capacidad de carga pilotes de 0.30 m de diámetro**

Pilotes de 0.30 m			
Long pilote	Cap friccion	Cap Punta	Cap Total
m	KN	KN	KN
15	108	22	130
16	121	23	144
17	125	23	148
18	130	23	153
19	134	23	157
20	138	23	161

**Tabla 8. Capacidad de carga pilotes de 0.40 m de diámetro**

Pilotes de 0.40 m			
Long pilote	Cap friccion	Cap Punta	Cap Total
m	KN	KN	KN
15	144	39	183
16	161	41	202
17	167	41	208
18	173	41	214
19	179	41	220
20	185	41	226

### Cálculo de asentamientos

A continuación se presenta la estimación de asentamientos para los pilotes propuestos como cimentación. Los asentamientos fueron estimados mediante el método elástico, para lo cual se usa la siguiente ecuación:

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

Donde:

$S$  : Asentamiento

$S_1 = (Q_p + Q_f)L / A_p E_p$  : Asentamiento elástico del pilote.



$$S_2 = \frac{Q_p * D}{E_s} (1 - \nu^2) I_{wp}$$

: Asentamiento del pilote por carga en la punta.

$$S_3 = \frac{Q_f * D}{\omega L * E_s} (1 - \nu^2) I_{ws}$$

: Asentamiento del pilote por carga a lo largo del fuste.

Donde:  $E_p$  : Modulo de elasticidad del concreto.

$E_s$  : Modulo de elasticidad del suelo

$\nu$  : Relación de Poisson

$I_{wp}, I_{ws}$  : Factores de influencia por punta y por fuste respectivamente.

De acuerdo con la formulación anterior, se obtuvieron valores de asentamientos totales de 16,5 mm.

### Pilotes sometidos a carga lateral

En caso de requerirse utilizar el valor de  $K_s$ , para fines de diseño estructural, se podrá emplear los siguientes valores:

De 0.0 a 3.0 m  $K_s = 0$

De 3.0m a 12.0m  $K_s$ = Varía linealmente de 0 a 4150 KN/m<sup>3</sup>

De 12.0 a 20.0 m  $K_s$ = Varía Linealmente de 4150 a 9995 KN/m<sup>3</sup>

Para la obtención del valor de  $K_s$  se utilizó la siguiente formulación, que tiene en cuenta los valores de  $E_s$  y  $U$ , así como diámetro del pilote.

$$k_s' = \frac{22.4E_s(1 - \mu)}{(1 + \mu)(3 - 4\mu)[2 \ln(2L_p/B) - 0.433]} \quad (\text{units of } E_s)$$

where  $L_p$  = pile length, m or ft

$B$  = pile width, m or ft

Las deformaciones sobre la tablestaca fueron definidas en el análisis estructural preliminar que se presentan en el volumen "Prediseño Estructural".

### Parámetros de Diseño Sísmico

Según el nuevo Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, todo el departamento del Chocó se encuentra catalogado como de amenaza sísmica alta. Según este reglamento la aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos en la zona del sistema de transporte propuesto es de 0,25 a 0,45 g (9.8m/s<sup>2</sup>) y para períodos de vibración intermedios es de 0,25 a 0,40 g.



Teniendo en cuenta el tipo de suelo encontrado en el sector se determinó que el área está conformada por un **perfil de suelo tipo D**.

### DISEÑO GEOTECNICO PRELIMINAR PARA VIAS INTERNAS

Teniendo en cuenta que los materiales superficiales hasta aproximadamente 3 metros de profundidad presentan consistencias muy blandas y poseen material orgánico compresible, y adicionalmente el sector estará afectado por las mareas, lo cual requerirá levantar el nivel de piso del puerto, se propone que las vías internas y zonas de parqueo se apoyen sobre estructuras o losas de concreto apoyado sobre pilotes hincados. El diseño de la losa y los pilotes deberá tener en cuenta la capacidad de carga de los pilotes estimada en los numerales anteriores.

En el presente informe no se incluye el diseño de la estructura de pavimento para los sitios potenciales de puerto, dado que no hace parte del alcance para esta fase.



## 10 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- Según la exploración del subsuelo en el sitio denominado “Calle Quibdó” el perfil estratigráfico general consiste en un primer estrato de arcilla blanda con alto contenido de materia orgánica que varía entre cuatro y doce metros de profundidad, suprayaciendo una arena limo arcillosa, la cual a su vez suprayace una grava limo arcillosa pobemente gradada hasta la profundidad de 30 metros. Con base en este perfil es claro que para cimentar estructuras en estos predios se debe pensar en cimentaciones profundas como mínimo en el estrato arenoso.
- Según la exploración del subsuelo en el sitio denominado “Casimiro” el perfil estratigráfico general consiste en un primer estrato de arcilla blanda con alto contenido de materia orgánica que varía entre cuatro y nueve metros de profundidad, suprayaciendo una arena limosa pobemente gradada, la cual a su vez suprayace una grava limosa probremente gradada hasta la profundidad de 30 metros. Con base en este perfil es claro que para cimentar estructuras en estos predios se debe pensar en cimentaciones profundas como mínimo en el estrato arenoso.
- Según la exploración del subsuelo en el sitio de localización del puerto marítimo en el Golfo de Urabá (Tarena), el perfil estratigráfico general consiste en una secuencia de arcilla café y arenas limo arcillosas de baja capacidad portante hasta los 30 metros explorados. Con base en este perfil es claro que para cimentar estructuras en estos predios se debe pensar en pilotes que funcionen por fricción.
- La alternativa más recomendable de las tres descritas para la fijación de la orilla de la curva Casimiro es la ataguía (Cofferdam).
- La alternativa más recomendable de las tres descritas para el muro de contención de los muelles del puerto en el golfo de Urabá es el muro combinado, perfiles en H y tablestaca metálica.
- Las obras de abrigo en el puerto del golfo de Urabá podrían ser pedraplenes (escolleras) o tablestacas metálicas que resistan esfuerzos de tracción.
- Para mejorar la estabilidad de las obras en los puertos se debe considerar el drenaje de las primeras capas de arcilla blanda.
- Las cargas vivas de las gruas en los puertos definidas por el ingeniero naval no deben ser soportadas por los muros de contención de los muelles, deben ser soportadas por placas sobre pilotes independientes.



- Los suelos de los sitios para la construcción de los puertos deben ser mejorados o por remplazo o químicamente.
- Según el análisis multitemporal realizado en el convenio 3479 de 2008 y con base en el documento “Cambios del nivel del mar durante el Holoceno en el Litoral Caribe Colombiano” de los profesores Robertson y Martínez de la Universidad Nacional, el delta del río Atrato no presenta variaciones significativas en los últimos 150 años, por lo cual se concluye que el sitio para la localización del puerto marítimo en el Golfo de Urabá **es un sitio estable morfodinámicamente**, sin embargo es necesario fijar la orilla de la bahía Rotico con obras permanentes como las tablestacas metálicas.
- Según el nuevo Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, toda la zona pacífica de Colombia se encuentra catalogada como de amenaza sísmica alta. Según este reglamento la aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos en la zona del sistema de transporte propuesto es de 0,25 a 0,45 g ( $9.8\text{m/s}^2$ ) y para períodos de vibración intermedios es de 0,25 a 0,40 g.



## 11 RECOMENDACIONES

- Para la fase de diseños definitivos (fase III) del sistema de transporte propuesto se hace fundamental un programa de investigación del subsuelo denso que permita hacer ensayos de laboratorio como triaxiales para mejorar la confiabilidad en la caracterización de los materiales y por ende mejorar los diseños.
- Se hace necesario modelar el comportamiento estático y dinámico de las estructuras de contención con métodos numéricos (Elementos finitos o Diferencias finitas).
- Si en la fase III de diseño definitivo se establece que las tablestacas tienen dificultad para su instalación se debe considerar el uso de pilotes en concreto o muros diafragma aunque estos involucren mayores costos y procedimientos constructivos mas complejos.
- Se debe implementar una red sísmica regional que permita monitorear esfuerzos y deformaciones en tiempo real.
- La cuenca del Atrato se debe instrumentar no solo sísmicamente sino también geotécnicamente.
- Los estudios geotécnicos de fase III deben incluir la investigación geotécnica de detalle donde se incluyan un numero suficiente de sondeos exploratorios que pueden alcanzar profundidades entre 20 y 40 metros, de tal manera que se logre identificar con gran detalle las posibles variaciones tanto en profundidad como lateralmente de los depósitos sedimentarios que conforman las zonas de los posibles puertos.
- Es necesario incluir en la investigación geotécnica los ensayos de laboratorio correspondientes, como cortes directos, triaxiales y demás ensayos que permitan caracterizar adecuadamente los materiales que servirán de apoyo de las diferentes estructuras que harán parte del puerto.
- Para el diseño de las diferentes estructuras de pavimento, será necesario incluir estudio de suelos detallado para determinar las mejores estructuras que se acomoden a las condiciones del terreno. Estos estudios deben incluir obtención de Modulos resilientes o en su defecto CBR o ensayos de placa, para determinar la resistencia de la subrasante y en combinación con los parámetros de tránsito y cargas que se movilizarán definir las alternativas de estructura que mejor se acomoden a las condiciones del terreno.



## BIBLIOGRAFÍA

- Convenio 3479 de 2008, INVIAST-UTCH, 2010.
- Advice on the technical principle of the quay wall structure. Fundación DELTARES, Delft, The Netherlands, May 2013.
- Steel Foundation Solutions for Projects, Steel Sheet Piling, General Catalogue, Arcelor Mittal, 2012.



## ANEXO 1 MEMORIAS DE CÁLCULO PUERTO CASIMIRO

### CORRECCION DEL VALOR DE N

DATOS CORREGIDOS DE PENETRACIÓN (Energía del 60 %)												
PROYECTO PUERTO QUIBÓ (CASIMIRO)												
SONDEOS P1 y P3												
TABLAESTACADO												
Longitud del tramos de varillaje (m)		3										
Diámetro de perforación (mm)		50										
NF (m)	0	Cu T-Gn*TanO 5,6625589										
Profundidades (m)	Ncampo	$\sigma'$ (t/m <sup>2</sup> )	C <sub>N</sub>	$\eta_1$	$\eta_2$	$\eta_3$	$\eta_4$	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	$\phi$	$\tau$ (t/m <sup>2</sup> )	C <sub>u</sub> (t/m <sup>2</sup> )	E (t/m <sup>2</sup> )
De	A											
1	1,45	1	0,98	1,465	0,72	0,85	1	1	19	0,337	0,319	31,906
2	2,45	1	1,78	1,465	0,72	0,85	1	1	19	0,613	0,580	57,951
3	3,45	2	2,58	1,455	0,72	0,95	1	1	20	0,939	0,882	88,241
4	4,45	3	3,38	1,365	0,72	0,95	1	1	21	1,297	1,211	121,128
5	5,45	5	4,18	1,293	0,72	0,95	1	1	22	1,689	1,566	156,586
6	6,45	8	4,98	1,235	0,72	0,95	1	1	24	2,217	2,026	202,555
7	7,45	9	5,78	1,185	0,72	1	1	8	25	2,695	2,443	244,273
8	8,45	13	6,58	1,142	0,72	1	1	11	27	3,353	2,987	298,726
9	9,45	16	7,38	1,103	0,72	1	1	13	28	3,924	3,465	346,470
10	10,45	19	8,18	1,069	0,72	1	1	15	29	4,534	3,966	396,574
11	11,45	22	8,98	1,038	0,72	1	1	16	29	4,978	4,354	435,359
12	12,45	28	9,78	1,009	0,72	1	1	20	31	5,876	5,037	503,707
13	13,45	42	10,58	0,983	0,72	1	1	30	34	7,136	5,916	591,626
14	14,45	57	11,38	0,959	0,72	1	1	39	34	7,676	6,364	636,362
15	15,45	96	12,18	0,936	0,72	1	1	65	34	8,216	6,811	681,097
16	16,45	100	12,98	0,915	0,72	1	1	66	34	8,755	7,258	725,832

### CAPACIDAD DE CARGA PILOTES

CALCULO CAPACIDAD DE CARGA PILOTE HINCADO																		
Tipo de cimentacion																		
Pilote hincado																		
Estrato	prof	N campo	C <sub>n</sub>	Ncorreg	y	$\sigma_v$	u	$\sigma_v'$	$\phi$	K	Tan δ	Nq	ffu	Qfu	Qfa	Qpu	Qpa	Qat
	m				kN/m <sup>3</sup>	kPa	kPa	kPa	grados				kPa	kN	kN	kN	kN	kN
Arcilla blanda	1	1	2	1	15	15,00	10	5	19	1,8	0,25	12,93	1,1	1	0	5	2	2
	2	2	2,00	2	15	30,00	20	10	19	1,8	0,25	12,93	3,4	4	1	9	3	4
	3	2	2,00	2	15	45,00	30	15	20	1,8	0,27	13,60	6,2	10	3	14	5	8
	4	3	2,19	2	15	60,00	40	20	21	1,9	0,28	14,31	9,4	19	6	20	7	13
Limo y arenas finas	5	5	1,92	4	16	76,00	50	26	22	2,0	0,30	15,06	13,3	32	11	28	9	20
	6	8	1,73	5	16	92,00	60	32	24	2,1	0,32	16,71	19,6	50	17	38	13	29
	7	9	1,59	6	16	108,00	70	38	25	2,1	0,34	17,61	25,4	74	25	47	16	40
	8	13	1,48	9	16	124,00	80	44	27	2,3	0,37	19,59	34,4	106	35	61	20	56
	9	16	1,38	11	16	140,00	90	50	28	2,3	0,38	20,68	42,3	146	49	73	24	73
	10	19	1,31	12	16	156,00	100	56	29	2,4	0,40	21,84	51,1	194	65	86	29	94
	11	22	1,24	14	16	172,00	110	62	29	2,4	0,40	21,84	56,9	248	83	96	32	115
	12	28	1,18	18	17	189,00	120	69	31	2,6	0,43	24,40	72,3	316	105	119	40	145
	13	42	1,12	26	17	206,00	130	76	34	2,8	0,48	28,93	97,8	408	136	155	52	188
	14	57	1,07	34	17	223,00	140	83	34	2,8	0,48	28,93	107,2	509	170	170	57	226
	15	100	1,03	59	17	240,00	150	90	34	2,8	0,48	28,93	116,7	619	206	184	61	268
	16	100	0,99	58	17	257,00	160	97	34	2,8	0,48	28,93	126,1	738	246	198	66	312



## PUERTO TARENA

### CORRECCION DEL VALOR DE N

DATOS CORREGIDOS DE PENETRACIÓN (Energía del 60 %)												
PUERTO TARENA												
SONDEO P3												
TABLESTACADO												
Longitud del tramos de varillaje (m)	3											
Diámetro de perforación (mm)	60											
NF (m)	0											
Profundidades (m)	Ncampo	$\sigma' \text{ (t/m}^2\text{)}$	$C_N$	$\eta_1$	$\eta_2$	$\eta_3$	$\eta_4$	$(N_1)_{60}$	$\phi$	$\tau \text{ (t/m}^2\text{)}$	$C_u \text{ (t/m}^2\text{)}$	$E \text{ (t/m}^2\text{)}$
De	A											
1	1,45	1	0,98	1,465	0,72	0,85	1	1	19	0,337	0,319	31,906
2	2,45	1	1,78	1,465	0,72	0,85	1	1	19	0,613	0,580	57,951
3	3,45	1	2,58	1,455	0,72	0,95	1	1	19	0,888	0,840	83,997
4	4,45	2	3,38	1,365	0,72	0,95	1	1	20	1,230	1,156	115,603
5	5,45	4	4,18	1,293	0,72	0,95	1	1	22	1,689	1,566	156,586
6	6,45	5	4,98	1,235	0,72	0,95	1	1	22	2,012	1,866	186,554
7	7,45	4	5,78	1,185	0,72	1	1	1	21	2,219	2,071	207,137
8	8,45	5	6,58	1,142	0,72	1	1	1	22	2,658	2,465	246,491
9	9,45	7	7,38	1,103	0,72	1	1	1	24	3,286	3,002	300,172
10	10,45	7	8,18	1,069	0,72	1	1	1	23	3,472	3,196	319,618
11	11,45	10	8,98	1,038	0,72	1	1	1	24	3,998	3,652	365,250
12	12,45	6	9,78	1,009	0,72	1	1	1	22	3,951	3,664	366,365
13	13,45	9	10,58	0,983	0,72	1	1	1	24	4,711	4,303	430,327
14	14,45	11	11,38	0,959	0,72	1	1	1	25	5,307	4,809	480,940
15	15,45	11	12,18	0,936	0,72	1	1	1	24	5,423	4,954	495,405
16	16,45	13	12,98	0,915	0,72	1	1	1	26	6,331	5,690	569,006
17	17,45	15	13,78	0,895	0,72	1	1	1	26	6,721	6,041	604,075
18	18,45	16	14,58	0,876	0,72	1	1	1	26	7,111	6,391	639,145
19	19,45	15	15,38	0,858	0,72	1	1	1	26	7,501	6,742	674,215
20	20,45	17	16,18	0,841	0,72	1	1	1	26	7,892	7,093	709,285
21	21,45	15	16,98	0,825	0,72	1	1	1	26	8,282	7,444	744,354
22	22,45	17	17,78	0,809	0,72	1	1	1	26	8,672	7,794	779,424
23	23,45	19	18,58	0,795	0,72	1	1	1	27	9,467	8,435	843,514
24	24,45	20	19,38	0,781	0,72	1	1	1	27	9,875	8,798	879,834
25	25,45	21	20,18	0,767	0,72	1	1	1	27	10,282	9,162	916,153
26	26,45	24	20,98	0,754	0,72	1	1	1	28	11,155	9,850	984,951
27	27,45	25	21,78	0,741	0,72	1	1	1	28	11,581	10,225	1022,509
28	28,45	26	22,58	0,729	0,72	1	1	1	28	12,006	10,601	1060,067
29	29,45	22	23,38	0,718	0,72	1	1	1	27	11,913	10,614	1061,430
30	30,45	26	24,18	0,707	0,72	1	1	1	28	12,857	11,352	1135,182



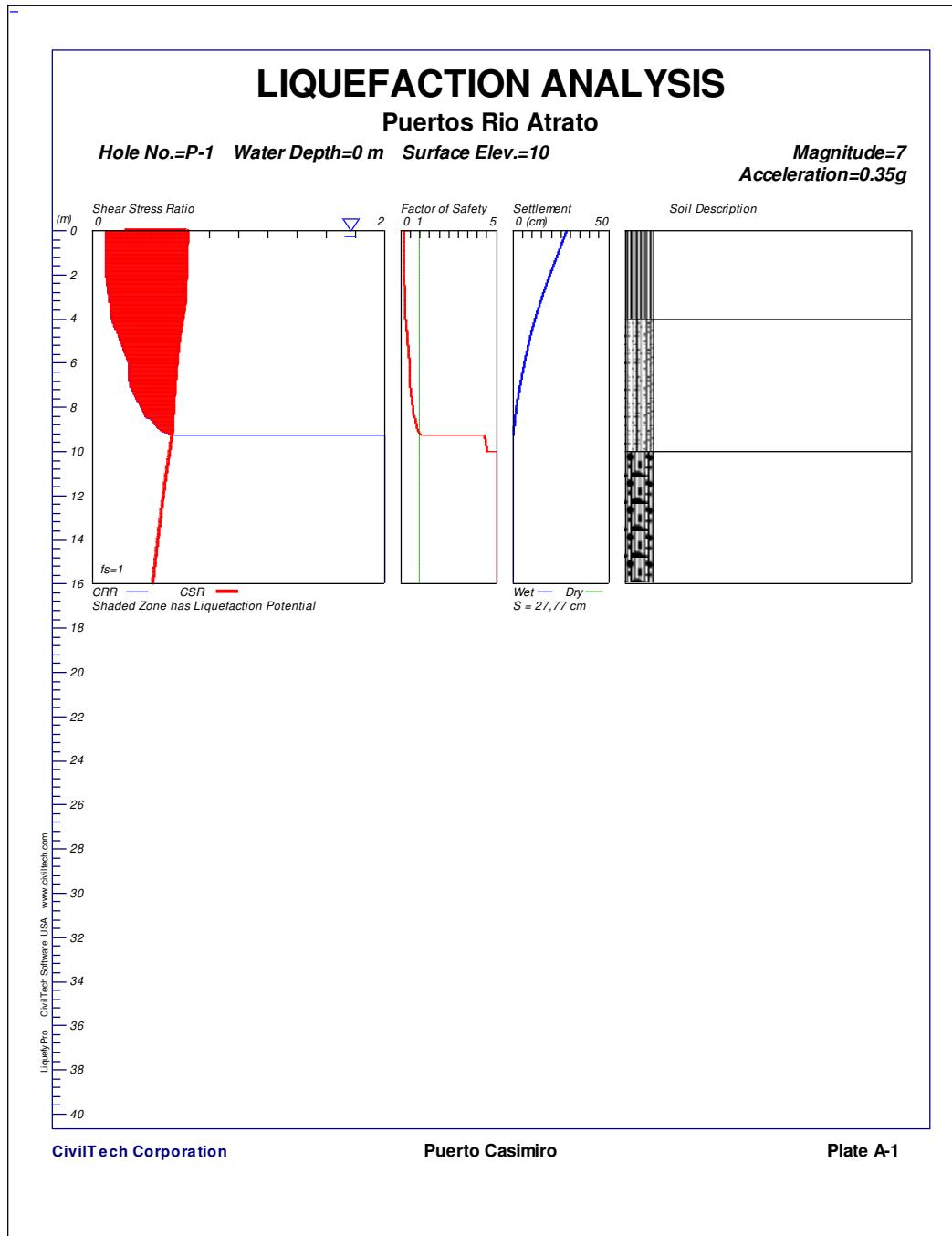
## CAPACIDAD DE CARGA PILOTES

CALCULO CAPACIDAD DE CARGA PILOTE HINCADO																		
Tipo de cimentacion																		
Pilote hincado																		
					Diametro pilote	0,3 m		δ	3/4*φ						η	75		
					Factor seg fuste	3	Factor seg Punta	3							1,309			
Estrato	prof	N campo	Cn	Ncorreg	γ	σv	u	σv	φ	K	Tan δ	Nq	f <sub>u</sub>	Q <sub>f</sub>	Q <sub>p</sub>	Q <sub>a</sub>		
	m				kN/m <sup>3</sup>	kPa	kPa	kPa	grados				kPa	kN	kN	kN		
Arcilla blanda	1	1	2	1	15	15,00	10	5	19	1,8	0,25	12,93	1,1	1	0	5	2	2
	2	1	2,00	1	15	30,00	20	10	19	1,8	0,25	12,93	3,4	4	1	9	3	4
	3	1	2,00	1	15	45,00	30	15	19	1,8	0,25	12,93	5,7	10	3	14	5	8
	4	2	2,19	2	15	60,00	40	20	20	1,8	0,27	13,60	8,7	18	6	19	6	12
	5	4	1,92	4	16	76,00	50	26	22	2,0	0,30	15,06	13,3	30	10	28	9	19
	6	5	1,73	4	16	92,00	60	32	22	2,0	0,30	15,06	16,8	46	15	34	11	27
	7	4	1,59	3	16	108,00	70	38	21	1,9	0,28	14,31	18,8	64	21	38	13	34
	8	5	1,48	4	16	124,00	80	44	22	2,0	0,30	15,06	23,8	86	29	47	16	44
	9	7	1,38	6	16	140,00	90	50	24	2,1	0,32	16,71	31,7	116	39	59	20	58
	10	7	1,31	5	16	156,00	100	56	23	2,0	0,31	15,86	33,2	148	49	63	21	70
	11	10	1,31	7	16	172,00	110	56	24	2,1	0,32	16,71	37,8	183	61	66	22	83
	12	6	1,31	4	17	189,00	120	56	22	2,0	0,30	15,06	32,5	214	71	60	20	91
	13	9	1,31	6	17	206,00	130	56	24	2,1	0,32	16,71	37,8	249	83	66	22	105
	14	11	1,31	8	17	223,00	140	56	25	2,1	0,34	17,61	40,7	288	96	70	23	119
	15	11	1,31	7	17	240,00	150	56	24	2,1	0,32	16,71	37,8	323	108	66	22	130
	16	13	1,31	9	17	257,00	160	56	25	2,1	0,34	17,61	40,7	362	121	70	23	144
	17	15	1,31	10	17	274,00	170	56	25	0,8	0,34	17,61	14,3	375	125	70	23	148
	18	16	1,31	10	17	291,00	180	56	25	0,8	0,34	17,61	14,3	389	130	70	23	153
	19	15	1,31	9	17	308,00	190	56	25	0,8	0,34	17,61	14,3	402	134	70	23	157
	20	17	1,31	10	17	325,00	200	56	25	0,8	0,34	17,61	14,3	415	138	70	23	162
	21	15	1,31	9	17	342,00	210	56	26	0,8	0,35	18,57	14,9	430	143	74	25	168
	22	17	1,31	10	17	359,00	220	56	26	0,8	0,35	18,57	14,9	444	148	74	25	172
	23	19	1,31	11	17	376,00	230	56	27	0,8	0,37	19,59	15,5	458	153	78	26	179
	24	20	1,31	11	17	393,00	240	56	27	0,8	0,37	19,59	15,5	473	158	78	26	183
	25	21	1,31	12	17	410,00	250	56	27	0,8	0,37	19,59	15,5	487	162	78	26	188
	26	24	1,31	13	17	427,00	260	56	28	0,8	0,38	20,68	16,1	503	168	82	27	195
	27	25	1,31	13	17	444,00	270	56	28	0,8	0,38	20,68	16,1	518	173	82	27	200
	28	26	1,31	14	17	461,00	280	56	28	0,8	0,38	20,68	16,1	533	178	82	27	205
	29	22	1,31	11	17	478,00	290	56	27	0,8	0,37	19,59	15,5	548	183	78	26	208
	30	26	1,31	13	17	495,00	300	56	28	0,8	0,38	20,68	16,1	563	188	82	27	215



## PUERTO CASIMIRO

### ANALISIS DE LICUACION





\*\*\*\*\*

\*\*\*

## LIQUEFACTION ANALYSIS CALCULATION SHEET

Copyright by CivilTech Software

[www.civiltech.com](http://www.civiltech.com)

(425) 453-6488 Fax (425) 453-5848

\*\*\*\*\*

\*\*\*

Licensed to , 03/11/2013 09:01:23 p.m.

Input File Name: UNTITLED

Title: Puertos Rio Atrato

Subtitle: Puerto Casimiro

### Input Data:

Surface Elev.=10

Hole No.=P-1

Depth of Hole=16,0 m

Water Table during Earthquake= 0,0 m

Water Table during In-Situ Testing= 0,5 m

Max. Acceleration=0,35 g

Earthquake Magnitude=7,0

Earthquake Magnitude=7,0

2. Settlement Analysis Method: Ishihara / Yoshimine\*

3. Fines Correction for Liquefaction: Idriss/Seed (SPT only)

4. Fine Correction for Settlement: During Liquefaction\*

5. Settlement Calculation in: All zones\*

6. Hammer Energy Ratio, Ce=1

7. Borehole Diameter, Cb=1

8. Sampeling Method, Cs=1

fs=1, Plot one CSR (fs=1)

10. Use Curve Smoothing: Yes\*

\* Recommended Options

### In-Situ Test Data:

Depth SPT	Gamma	Fines
m	kN/m <sup>3</sup> %	

0,0	1,0	15,0	78,0
1,0	1,0	15,0	78,0



2,0	1,0	15,0	78,0
3,0	2,0	15,0	78,0
4,0	3,0	16,5	76,0
5,0	5,0	16,5	76,0
6,0	8,0	16,5	76,0
7,0	9,0	16,5	45,0
8,0	13,0	16,5	45,0
9,0	16,0	16,5	45,0
10,0	19,0	17,5	NoLiq
11,0	22,0	17,5	NoLiq
12,0	28,0	17,5	NoLiq
13,0	42,0	17,5	NoLiq
14,0	57,0	17,5	NoLiq
15,0	60,0	17,5	NoLiq
16,0	60,0	17,5	NoLiq

#### Output Results:

Calculation segment, dz=0,025 m

User defined Print Interval, dp=1,00 m

#### CSR Calculation:

Depth	gamma	sigma	gamma'	sigma'	rd	CSR	fs	CSRfs
m	kN/m <sup>3</sup> tsf	kN/m <sup>3</sup> tsf	(user)		w/fs			

0,00	5,2	0,000	5,2	0,000	1,00	0,23	1,0	0,23
1,00	15,0	0,157	5,2	0,054	0,99	0,65	1,0	0,65
2,00	15,0	0,313	5,2	0,109	0,98	0,65	1,0	0,65
3,00	15,0	0,470	5,2	0,163	0,98	0,64	1,0	0,64
4,00	16,5	0,634	6,7	0,225	0,97	0,62	1,0	0,62
5,00	16,5	0,807	6,7	0,295	0,96	0,60	1,0	0,60
6,00	16,5	0,979	6,7	0,365	0,95	0,58	1,0	0,58
7,00	16,5	1,151	6,7	0,435	0,95	0,57	1,0	0,57
8,00	16,5	1,323	6,7	0,505	0,94	0,56	1,0	0,56
9,00	16,5	1,496	6,7	0,575	0,93	0,55	1,0	0,55
10,00	17,5	1,673	7,7	0,650	0,91	0,53	1,0	0,53
11,00	17,5	1,856	7,7	0,730	0,88	0,51	1,0	0,51
12,00	17,5	2,039	7,7	0,811	0,85	0,49	1,0	0,49
13,00	17,5	2,221	7,7	0,891	0,83	0,47	1,0	0,47
14,00	17,5	2,404	7,7	0,971	0,80	0,45	1,0	0,45
15,00	17,5	2,587	7,7	1,052	0,77	0,43	1,0	0,43



16,00 17,5 2,770 7,7 1,132 0,75 0,42 1,0 0,42

---

CSR is based on water table at 0,0 during earthquake

CRR Calculation from SPT or BPT data:

Depth (N1)60f m	SPT Cebs CRR7.5	Cr	sigma' Cn	(N1)60 tsf	Fines	d(N1)60 %
-----------------------	-----------------------	----	-----------	---------------	-------	--------------

---

0,00	1,00	1,00	0,75	0,000 1,70	1,28	78,00 5,26	6,53	0,08
1,00	1,00	1,00	0,75	0,105 1,70	1,28	78,00 5,26	6,53	0,08
2,00	1,00	1,00	0,75	0,160 1,70	1,28	78,00 5,26	6,53	0,08
3,00	2,00	1,00	0,85	0,214 1,70	2,89	78,00 5,58	8,47	0,09
4,00	3,00	1,00	0,85	0,276 1,70	4,34	76,00 5,87	10,20	0,11
5,00	5,00	1,00	0,95	0,346 1,70	8,08	76,00 6,62	14,69	0,16
6,00	8,00	1,00	0,95	0,416 1,55	11,78	76,00 7,36	19,14	0,21
7,00	9,00	1,00	0,95	0,486 1,43	12,27	45,00 7,45	19,72	0,21
8,00	13,00	1,00	0,95	0,556 1,34	16,56	45,00 8,31	24,88	0,28
9,00	16,00	1,00	1,00	0,626 1,26	20,22	45,00 9,04	29,27	0,39
10,00	19,00	1,00	1,00	0,701 1,19	22,69	45,00 9,54	32,23	2,00
11,00	22,00	1,00	1,00	0,781 1,13	24,89	NoLiq 9,98	34,87	2,00
12,00	28,00	1,00	1,00	0,862 1,08	30,16	NoLiq 11,03	41,19	2,00
13,00	42,00	1,00	1,00	0,942 1,03	43,27	NoLiq 13,65	56,92	2,00
14,00	57,00	1,00	1,00	1,023 0,99	56,37	NoLiq 16,27	72,64	2,00
15,00	60,00	1,00	1,00	1,103 0,95	57,13	NoLiq 16,43	73,56	2,00
16,00	60,00	1,00	1,00	1,183 0,92	55,16	NoLiq 16,03	71,19	2,00

---

CRR is based on water table at 0,5 during In-Situ Testing

Factor of Safety, - Earthquake Magnitude= 7,0:

Depth m	sigC' tsf	CRR7.5 tsf	Ksigma	CRRv	MSF w/fs	CRRmCSRfs CRRm/CSRfs	F.S.
------------	--------------	---------------	--------	------	-------------	-------------------------	------

---

0,00	0,00	0,08	1,00	0,08	1,19	0,09	0,23	0,40 *
1,00	0,07	0,08	1,00	0,08	1,19	0,09	0,65	0,14 *
2,00	0,10	0,08	1,00	0,08	1,19	0,09	0,65	0,14 *
3,00	0,14	0,09	1,00	0,09	1,19	0,11	0,64	0,17 *
4,00	0,18	0,11	1,00	0,11	1,19	0,13	0,62	0,21 *
5,00	0,22	0,16	1,00	0,16	1,19	0,19	0,60	0,32 *

---



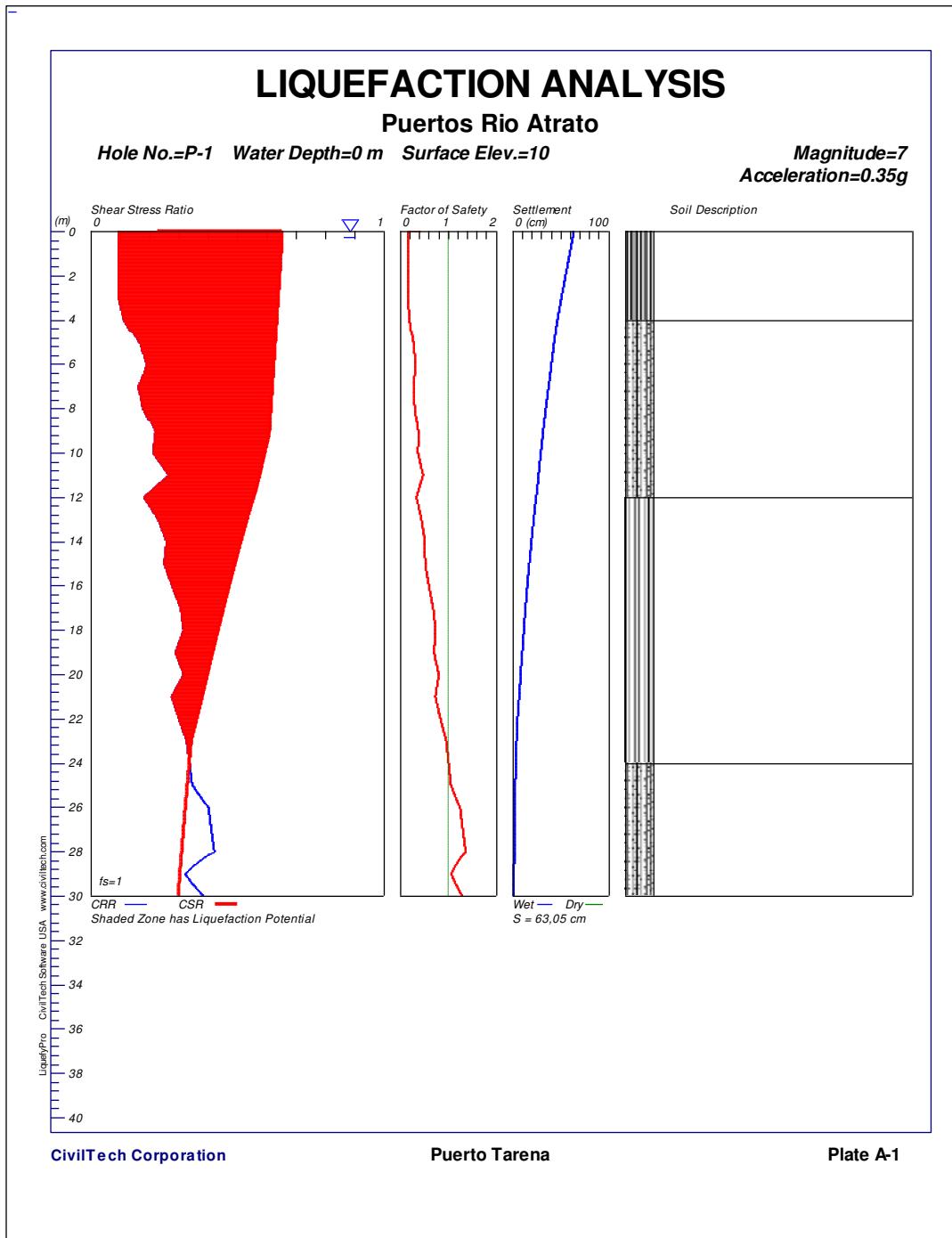
6,00	0,27	0,21	1,00	0,21	1,19	0,25	0,58	0,42	*
7,00	0,32	0,21	1,00	0,21	1,19	0,25	0,57	0,45	*
8,00	0,36	0,28	1,00	0,28	1,19	0,33	0,56	0,60	*
9,00	0,41	0,39	1,00	0,39	1,19	0,46	0,55	0,84	*
10,00	0,46	2,00	1,00	2,00	1,19	2,39	0,53	4,49	
11,00	0,51	2,00	1,00	2,00	1,19	2,00	0,51	5,00	
12,00	0,56	2,00	1,00	2,00	1,19	2,00	0,49	5,00	
13,00	0,61	2,00	1,00	2,00	1,19	2,00	0,47	5,00	
14,00	0,66	2,00	1,00	2,00	1,19	2,00	0,45	5,00	
15,00	0,72	2,00	1,00	2,00	1,19	2,00	0,43	5,00	
16,00	0,77	2,00	1,00	2,00	1,19	2,00	0,42	5,00	

---

\* F.S.<1: Liquefaction Potential Zone. (If above water table: F.S.=5)  
(F.S. is limited to 5, CRR is limited to 2, CSR is limited to 2)



## PUERTO TARENA ANALISIS DE LICUACIÓN



\*\*\*\*\*

\* \* \*



## LIQUEFACTION ANALYSIS CALCULATION SHEET

Copyright by CivilTech Software

[www.civiltech.com](http://www.civiltech.com)

(425) 453-6488 Fax (425) 453-5848

\*\*\*\*\*

\*\*\*

Licensed to , 03/11/2013 09:31:21 p.m.

Input File Name: D:\Documentos\TRABAJOS\2011\Puerto quibdo y uraba\Tarena.liq

Title: Puertos Rio Atrato

Subtitle: Puerto Tarena

### Input Data:

Surface Elev.=10

Hole No.=P-1

Depth of Hole=30,0 m

Water Table during Earthquake= 0,0 m

Water Table during In-Situ Testing= 0,0 m

Max. Acceleration=0,35 g

Earthquake Magnitude=7,0

Earthquake Magnitude=7,0

2. Settlement Analysis Method: Ishihara / Yoshimine\*

3. Fines Correction for Liquefaction: Idriss/Seed (SPT only)

4. Fine Correction for Settlement: During Liquefaction\*

5. Settlement Calculation in: All zones\*

6. Hammer Energy Ratio, Ce=1

7. Borehole Diameter, Cb=1

8. Sampeling Method, Cs=1

fs=1, Plot one CSR (fs=1)

10. Use Curve Smoothing: Yes\*

\* Recommended Options

### In-Situ Test Data:

Depth	SPT	Gamma	Fines
m		kN/m <sup>3</sup>	%

0,0	1,0	15,0	94,0
1,0	1,0	15,0	94,0
2,0	1,0	15,0	94,0
3,0	1,0	15,0	94,0



4,0	2,0	15,0	36,0
5,0	4,0	15,0	36,0
6,0	5,0	15,0	36,0
7,0	4,0	15,0	36,0
8,0	5,0	15,0	36,0
9,0	7,0	15,0	36,0
10,0	7,0	15,0	36,0
11,0	10,0	15,0	36,0
12,0	6,0	16,0	36,0
13,0	9,0	16,0	76,0
14,0	11,0	16,0	76,0
15,0	11,0	16,0	76,0
16,0	13,0	16,0	76,0
17,0	15,0	16,0	76,0
18,0	16,0	16,0	76,0
19,0	15,0	16,0	76,0
20,0	17,0	16,0	76,0
21,0	15,0	16,0	76,0
22,0	17,0	17,0	76,0
23,0	19,0	17,0	76,0
24,0	20,0	17,0	42,0
25,0	21,0	17,0	42,0
26,0	24,0	17,0	42,0
27,0	25,0	17,0	42,0
28,0	26,0	17,0	42,0
29,0	22,0	17,0	42,0
30,0	26,0	17,0	42,0

#### Output Results:

Calculation segment, dz=0,025 m

User defined Print Interval, dp=1,00 m

#### CSR Calculation:

Depth	gamma	sigma	gamma'	sigma'	rd	CSR	fs	CSRfs
m	kN/m <sup>3</sup> tsf	kN/m <sup>3</sup> tsf		(user)	w/fs			

0,00	5,2	0,000	5,2	0,000	1,00	0,23	1,0	0,23
1,00	15,0	0,157	5,2	0,054	0,99	0,65	1,0	0,65
2,00	15,0	0,313	5,2	0,109	0,98	0,65	1,0	0,65
3,00	15,0	0,470	5,2	0,163	0,98	0,64	1,0	0,64



4,00	15,0	0,627	5,2	0,217	0,97	0,64	1,0	0,64
5,00	15,0	0,783	5,2	0,272	0,96	0,63	1,0	0,63
6,00	15,0	0,940	5,2	0,326	0,95	0,63	1,0	0,63
7,00	15,0	1,097	5,2	0,380	0,95	0,62	1,0	0,62
8,00	15,0	1,253	5,2	0,434	0,94	0,62	1,0	0,62
9,00	15,0	1,410	5,2	0,489	0,93	0,61	1,0	0,61
10,00	15,0	1,566	5,2	0,543	0,91	0,60	1,0	0,60
11,00	15,0	1,723	5,2	0,597	0,88	0,58	1,0	0,58
12,00	16,0	1,885	6,2	0,657	0,85	0,56	1,0	0,56
13,00	16,0	2,052	6,2	0,721	0,83	0,54	1,0	0,54
14,00	16,0	2,219	6,2	0,786	0,80	0,51	1,0	0,51
15,00	16,0	2,386	6,2	0,851	0,77	0,49	1,0	0,49
16,00	16,0	2,553	6,2	0,916	0,75	0,47	1,0	0,47
17,00	16,0	2,720	6,2	0,980	0,72	0,45	1,0	0,45
18,00	16,0	2,887	6,2	1,045	0,69	0,44	1,0	0,44
19,00	16,0	3,054	6,2	1,110	0,67	0,42	1,0	0,42
20,00	16,0	3,222	6,2	1,175	0,64	0,40	1,0	0,40
21,00	16,0	3,389	6,2	1,239	0,61	0,38	1,0	0,38
22,00	17,0	3,561	7,2	1,309	0,59	0,36	1,0	0,36
23,00	17,0	3,738	7,2	1,384	0,56	0,34	1,0	0,34
24,00	17,0	3,916	7,2	1,460	0,55	0,34	1,0	0,34
25,00	17,0	4,093	7,2	1,535	0,54	0,33	1,0	0,33
26,00	17,0	4,271	7,2	1,610	0,54	0,32	1,0	0,32
27,00	17,0	4,448	7,2	1,685	0,53	0,32	1,0	0,32
28,00	17,0	4,626	7,2	1,760	0,52	0,31	1,0	0,31
29,00	17,0	4,804	7,2	1,836	0,51	0,30	1,0	0,30
30,00	17,0	4,981	7,2	1,911	0,50	0,30	1,0	0,30

CSR is based on water table at 0,0 during earthquake

CRR Calculation from SPT or BPT data:

Depth (N1)60f	SPT CRR7.5	Cebs	Cr	sigma' Cn	(N1)60	Fines	d(N1)60
m			tsf		%		

0,00	1,00	1,00	0,75	0,000	1,70	1,28	94,00	5,26	6,53	0,08
1,00	1,00	1,00	0,75	0,054	1,70	1,28	94,00	5,26	6,53	0,08
2,00	1,00	1,00	0,75	0,109	1,70	1,28	94,00	5,26	6,53	0,08
3,00	1,00	1,00	0,85	0,163	1,70	1,45	94,00	5,29	6,73	0,08
4,00	2,00	1,00	0,85	0,217	1,70	2,89	36,00	5,58	8,47	0,09
5,00	4,00	1,00	0,95	0,272	1,70	6,46	36,00	6,29	12,75	0,14



6,00	5,00	1,00	0,95	0,326	1,70	8,07	36,00	6,61	14,69	0,16
7,00	4,00	1,00	0,95	0,380	1,62	6,16	36,00	6,23	12,40	0,13
8,00	5,00	1,00	0,95	0,434	1,52	7,21	36,00	6,44	13,65	0,15
9,00	7,00	1,00	1,00	0,489	1,43	10,01	36,00	7,00	17,02	0,18
10,00	7,00	1,00	1,00	0,543	1,36	9,50	36,00	6,90	16,40	0,18
11,00	10,00	1,00	1,00	0,597	1,29	12,94	36,00	7,59	20,53	0,22
12,00	6,00	1,00	1,00	0,657	1,23	7,40	36,00	6,48	13,88	0,15
13,00	9,00	1,00	1,00	0,721	1,18	10,60	76,00	7,12	17,71	0,19
14,00	11,00	1,00	1,00	0,786	1,13	12,41	76,00	7,48	19,89	0,21
15,00	11,00	1,00	1,00	0,851	1,08	11,92	76,00	7,38	19,31	0,21
16,00	13,00	1,00	1,00	0,916	1,04	13,58	76,00	7,72	21,30	0,23
17,00	15,00	1,00	1,00	0,980	1,01	15,15	76,00	8,03	23,18	0,26
18,00	16,00	1,00	1,00	1,045	0,98	15,65	76,00	8,13	23,78	0,26
19,00	15,00	1,00	1,00	1,110	0,95	14,24	76,00	7,85	22,09	0,24
20,00	17,00	1,00	1,00	1,175	0,92	15,68	76,00	8,14	23,82	0,26
21,00	15,00	1,00	1,00	1,239	0,90	13,47	76,00	7,69	21,17	0,23
22,00	17,00	1,00	1,00	1,309	0,87	14,86	76,00	7,97	22,83	0,25
23,00	19,00	1,00	1,00	1,384	0,85	16,15	76,00	8,23	24,38	0,27
24,00	20,00	1,00	1,00	1,460	0,83	16,55	42,00	8,31	24,86	0,28
25,00	21,00	1,00	1,00	1,535	0,81	16,95	42,00	8,39	25,34	0,29
26,00	24,00	1,00	1,00	1,610	0,79	18,91	42,00	8,78	27,70	0,34
27,00	25,00	1,00	1,00	1,685	0,77	19,26	42,00	8,85	28,11	0,35
28,00	26,00	1,00	1,00	1,760	0,75	19,60	42,00	8,92	28,51	0,36
29,00	22,00	1,00	1,00	1,836	0,74	16,24	42,00	8,25	24,49	0,27
30,00	26,00	1,00	1,00	1,911	0,72	18,81	42,00	8,76	27,57	0,33

CRR is based on water table at 0,0 during In-Situ Testing

Factor of Safety, - Earthquake Magnitude= 7,0:

Depth m	sigC' tsf	CRR7.5 tsf	Ksigma	CRRv	MSF w/fs	CRRmCSRfs	F.S. CRRm/CSRfs
---------	-----------	------------	--------	------	----------	-----------	-----------------

0,00	0,00	0,08	1,00	0,08	1,19	0,09	0,23	0,40 *
1,00	0,04	0,08	1,00	0,08	1,19	0,09	0,65	0,14 *
2,00	0,07	0,08	1,00	0,08	1,19	0,09	0,65	0,14 *
3,00	0,11	0,08	1,00	0,08	1,19	0,09	0,64	0,14 *
4,00	0,14	0,09	1,00	0,09	1,19	0,11	0,64	0,17 *
5,00	0,18	0,14	1,00	0,14	1,19	0,16	0,63	0,26 *
6,00	0,21	0,16	1,00	0,16	1,19	0,19	0,63	0,30 *
7,00	0,25	0,13	1,00	0,13	1,19	0,16	0,62	0,26 *
8,00	0,28	0,15	1,00	0,15	1,19	0,18	0,62	0,29 *



9,00	0,32	0,18	1,00	0,18	1,19	0,22	0,61	0,36 *
10,00	0,35	0,18	1,00	0,18	1,19	0,21	0,60	0,35 *
11,00	0,39	0,22	1,00	0,22	1,19	0,27	0,58	0,46 *
12,00	0,43	0,15	1,00	0,15	1,19	0,18	0,56	0,32 *
13,00	0,47	0,19	1,00	0,19	1,19	0,23	0,54	0,43 *
14,00	0,51	0,21	1,00	0,21	1,19	0,26	0,51	0,50 *
15,00	0,55	0,21	1,00	0,21	1,19	0,25	0,49	0,50 *
16,00	0,60	0,23	1,00	0,23	1,19	0,28	0,47	0,58 *
17,00	0,64	0,26	1,00	0,26	1,19	0,30	0,45	0,67 *
18,00	0,68	0,26	1,00	0,26	1,19	0,31	0,44	0,72 *
19,00	0,72	0,24	1,00	0,24	1,19	0,29	0,42	0,69 *
20,00	0,76	0,26	1,00	0,26	1,19	0,32	0,40	0,79 *
21,00	0,81	0,23	1,00	0,23	1,19	0,27	0,38	0,72 *
22,00	0,85	0,25	1,00	0,25	1,19	0,30	0,36	0,82 *
23,00	0,90	0,27	1,00	0,27	1,19	0,33	0,34	0,95 *
24,00	0,95	0,28	1,00	0,28	1,19	0,33	0,34	0,99 *
25,00	1,00	0,29	1,00	0,29	1,19	0,34	0,33	1,04
26,00	1,05	0,34	1,00	0,33	1,19	0,40	0,32	1,23
27,00	1,10	0,35	0,99	0,34	1,19	0,41	0,32	1,29
28,00	1,14	0,36	0,98	0,35	1,19	0,42	0,31	1,35
29,00	1,19	0,27	0,98	0,27	1,19	0,32	0,30	1,05
30,00	1,24	0,33	0,97	0,32	1,19	0,38	0,30	1,28

\* F.S.<1: Liquefaction Potential Zone. (If above water table: F.S.=5)  
(F.S. is limited to 5, CRR is limited to 2, CSR is limited to 2)



Investigación para la complementación de los estudios Fase II(Factibilidad)  
para la navegabilidad del río Atrato



## ANEXO 2. RESULTADOS DE LABORATORIO.

Ver archivo anexo.