



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 II**

**ESTUDIO DE GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA PARA INGENIERÍA**

**QUIBDÓ – CHOCÓ**

**FEBRERO 2013**



## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	4
2	OBJETIVOS Y ALCANCES .....	5
2.1	OBJETIVO GENERAL .....	5
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
2.3	ALCANCES .....	5
3	GENERALIDADES .....	6
3.1.1	Localización geográfica.....	6
3.1.2	Aspectos climáticos.....	7
3.1.3	Pisos térmicos .....	8
3.1.4	Fisiografía .....	8
4	METODOLOGÍA.....	10
5	ESTUDIO DE ANTECEDENTES.....	11
5.1	GEOLOGÍA.....	11
5.1.1	LITOESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO.....	11
5.1.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO.....	36
5.2	TECTÓNICA DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO .....	41
5.2.1	Marco geotectónico global .....	41
5.2.2	Tectónica y sismicidad colombianas .....	42
5.2.3	Caracterización de la tectónica de la cuenca del río Atrato.....	43
5.3	GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO .....	49
5.3.1	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL RÍO ATRATO .....	50
5.3.2	EROSIÓN FLUVIAL EN EL ATRATO .....	50
5.3.3	PERFIL LONGITUDINAL DEL RÍO ATRATO (QUIBDÓ-URABÁ).....	52
5.3.4	CANAL DEL RÍO ATRATO .....	53
5.3.5	DELTA DEL RÍO ATRATO.....	55
5.3.6	ASPECTOS MORFOESTRUCTURALES DEL PACÍFICO COLOMBIANO. ....	58
5.3.7	CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO SEGÚN LA “INVESTIGACIÓN INTEGRAL DEL ANDÉN PACÍFICO COLOMBIANO” (IGAC-INGEOMINAS, 2001-2005), TRAMO COMPRENDIDO ENTRE QUIBDÓ Y SU DESEMBOCADURA POR EL BRAZO TARENA (PK 494 - PK 0).....	60
	Plancha 164 – Quibdó .....	60
	Plancha 144 - Río Tagachí .....	73
	Plancha 128 - Río Murri.....	75
	Plancha 113 - Murindó.....	78
	Plancha 101 – 102 Domingodó-Riosucio.....	82
	Plancha 89 – 90 Ciénaga la Honda - Chigorodó.....	84
	Plancha 79 – 79BIS Turbo - Tagarí .....	86



Unidades de origen marino y fluvio-marino (M) .....	86
6 ESTUDIOS DE CAMPO .....	94
6.1 Trabajo de campo en el sitio denominado “calle quibdó” .....	95
6.1.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO en el sitio denominado “calle quibdó” .....	98
6.1.2 ANÁLISIS MULTITEMPORAL-DINÁMICA FLUVIAL DEL SITIO DENOMINADO “CALLE QUIBDÓ” .....	106
6.2 Trabajo de campo en el sitio denominado “caSIMIRO” .....	106
6.2.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO EN EL SITIO DENOMINADO “CASIMIRO” .....	108
6.2.2 ANÁLISIS MULTITEMPORAL-DINÁMICA FLUVIAL DEL SITIO DENOMINADO “CASIMIRO” .....	118
6.3 TRABAJO DE CAMPO EN EL SITIO DE UBICACIÓN DEL PUERTO DE TARENA EN EL GOLFO DE URABÁ .....	120
6.3.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO PARA EL FUTURO PUERTO DE TARENA EN EL GOLFO DE URABÁ .....	122
6.3.2 ANÁLISIS MULTITEMPORAL-DINÁMICA FLUVIO-MARÍNA DEL SITIO PARA IMPLEMENTAR EL PUERTO DE TARENA EN EL GOLFO DE URABÁ .....	134
7 ESTUDIO DE FUENTES DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y SITIOS DE DISPOSICIÓN DE SOBRANTES .....	135
7.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y SITIOS DE DISPOSICIÓN DE SOBRANTES PARA EL PUERTO FLUVIAL DE QUIBDÓ .....	135
7.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y SITIOS DE DISPOSICIÓN DE SOBRANTES PARA EL PUERTO MARÍTIMO DE TARENA EN EL GOLFO DE URABÁ .....	137
8 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	139
RECOMENDACIONES .....	144
BIBLIOGRAFÍA .....	145



## 1 INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que a través del convenio 2141 de 2011 se debía hacer el complemento a los estudios de fase II (factibilidad) del canal navegable del río Atrato y debido a que en el convenio 3479 de 2008 se hizo una caracterización geológica y geomorfológica de la cuenca del río Atrato a escala 1:100.000, se definió con la Interventoría que para esta etapa complementaria se debía hacer una caracterización geológica y geomorfológica de los dos posibles sitios de ubicación del puerto de Quibdó y para el sitio de ubicación del puerto de Tarena en el Golfo de Urabá. Dicha caracterización se hace en este volumen con énfasis en la Geomorfología fluvial, para lo cual se tuvo en cuenta el análisis multitemporal realizado en el convenio entre la UTCH y el INVIAS pero adicionalmente se amplió el rango de tiempo de dicho análisis de tal manera que se tuviera más certeza en lo que tiene que ver con la estabilidad de las orillas de los sitios en donde se ubicarán los puertos más importantes del canal navegable del río Atrato (Quibdó y Tarena).

La caracterización geológica y geomorfológica de los sitios de interés para los puertos de Quibdó y Tarena se presenta a escala 1:10.000, la cual se realizó a través de fotointerpretación, visitas de campo y se complementó con la exploración del subsuelo que se realizó en cada uno de los sitios para los puertos. En estos sitios el río se evaluó como un hidrosistema con tres ejes bidireccionales: aguas arriba y abajo, márgenes del canal, ambientes superficiales y subterráneos (Piégay y Schumm, 2003), teniendo en cuenta la energía de la corriente y el tamaño del sedimento del lecho como variables independientes y la geometría del canal, la sección transversal y el perfil longitudinal como variables dependientes y que a su vez constituyen la morfología completa y están íntimamente interrelacionadas.

## **2 OBJETIVOS Y ALCANCES**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Complementar la caracterización geológica y geomorfológica del canal navegable del río Atrato con énfasis en los sitios de intervención con la construcción de puertos y dragados.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar geológica y geomorfológicamente los posibles sitios de ubicación de los puertos de Quibdó y Tarena a escala 1:10.000.
- Complementar la caracterización geológica y geomorfológica de la bifurcación de la isla grande del río Atrato.
- Complementar a través de fotografías aéreas o imágenes de satélite el análisis multitemporal en los posibles sitios de intervención del canal navegable del río Atrato.

### **2.3 ALCANCES**

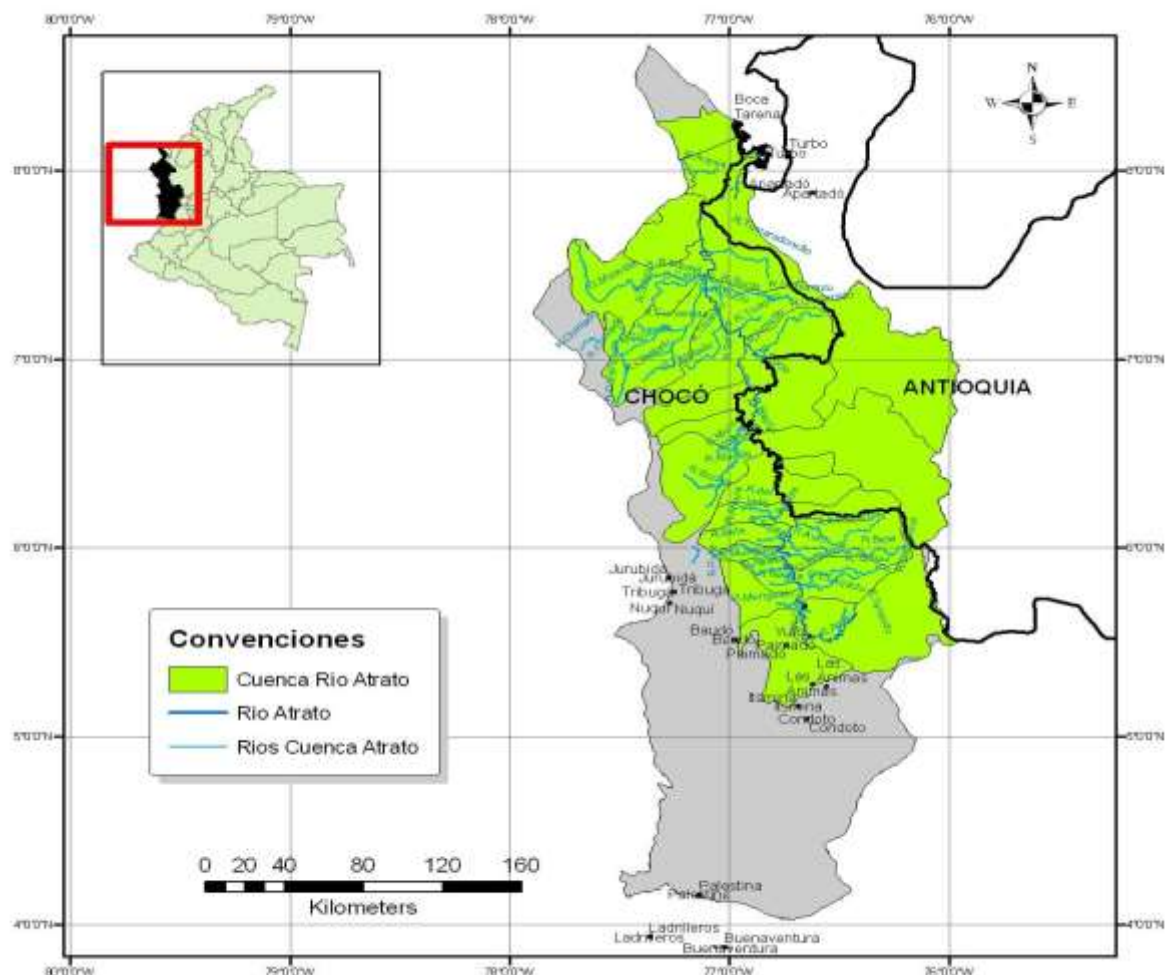
- Elaborar a escala 1:10.000 la caracterización geológica y geomorfológica de los dos posibles sitios de ubicación del puerto de Quibdó.
- Elaborar a escala 1:10.000 la caracterización geológica y geomorfológica del sitio de ubicación del puerto de Tarena en Turbo-Antioquia.
- Analizar desde el punto de vista de la dinámica fluvial la estabilidad de las orillas de los sitios de ubicación de puertos para la implementación del canal navegable del río Atrato.
- Definir con el componente de Geotecnia la ubicación de las exploraciones del subsuelo.
- Recomendar los sitios más apropiados para fuentes de materiales de construcción.
- Recomendar los sitios más apropiados para disposición de sobrantes.
- Hacer conjuntamente con el componente de Geotecnia las recomendaciones en términos de estabilidad para la etapa de construcción del proyecto.

### 3 GENERALIDADES

Como se definió en los estudios adelantados por la UTCH a través del convenio 3479 de 2008, el canal navegable del río Atrato se destaca por su importancia y condición de eje estructurante para el sistema de transporte intermodal propuesto, desde la ciudad de Quibdó hasta su desembocadura en el delta, localizado en el Golfo de Urabá.

### 3.1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La cuenca del río Atrato se encuentra localizada en el noroccidente de Colombia e involucra a los departamentos del Chocó y Antioquia, según el componente SIG de estos estudios, dicha cuenca tiene un área total de 36.586 km<sup>2</sup>, de los cuales en el departamento del Chocó hay 24.928 km<sup>2</sup> y en Antioquia hay 11.658 km<sup>2</sup>. Ver Figura.



### 3.1.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS

El clima chocoano y especialmente el de la cuenca del Atrato, está influenciado por los siguientes factores:

- Influencia marítima: Como resultado de las corrientes marítimas del océano pacífico, se presenta un intercambio de temperaturas entre la masa oceánica y la masa atmosférica del continente que genera variación en el clima de éste.
- Los vientos de la costa pacífica: Los vientos saturados del occidente que son desviados por la corriente de Humboldt y atraídos por el vacío que crean las calmas ecuatoriales, son notorios en la zona durante la mayoría de los meses del año.
- Pluviosidad: El departamento del Chocó es una de las zonas geográficas más lluviosas del mundo, con más de 9.000 mm de precipitación anual.







- Orografía: La Cordillera Occidental separa tanto geográfica como climatológicamente al Chocó de la región Andina, situación ésta que sumada a los otros factores produce el clima húmedo y superhúmedo chocoano.

### 3.1.3 PISOS TÉRMICOS

El Departamento del Chocó en su gran mayoría de extensión es de valles bajos cálidos con altura inferior a 1.000 m.s.n.m., lo que básicamente constituye un Piso Térmico Cálido, el cual a su vez se caracteriza por altas precipitaciones y altas temperaturas, con más de 250 días de lluvias al año.

### 3.1.4 FISIOGRAFÍA

El río Atrato nace en la vertiente occidental de la cordillera occidental, en el cerro El Plateado, sobre una cota de 3.600 m.s.n.m., en el municipio del Carmen de Atrato, en el departamento del Chocó.

Con una superficie aproximada de 36.586 km<sup>2</sup>, la cuenca del Atrato se encuentra limitada por la cordillera Occidental al oriente, la serranía del Baudó al occidente y las prominencias del istmo de San Pablo al sur. Su cuenca hidrográfica no es muy grande pero, al encontrarse en la zona de mayor precipitación pluvial de América, su caudal es inmenso.

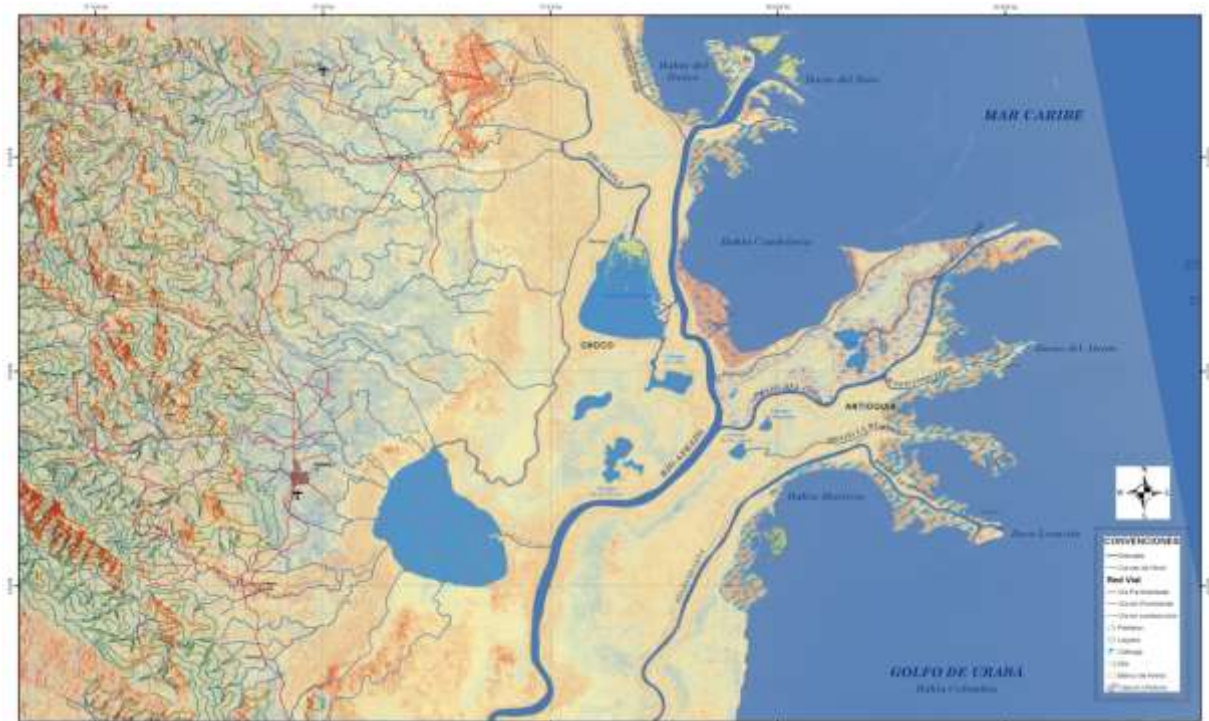
La cuenca del río Atrato se considera como una de las cuencas de mayor rendimiento del mundo. El Atrato es el **río con el mayor caudal relativo de agua en el mundo (0,112m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>)**, entendiendo esto como la comparación de su caudal promedio (4.082m<sup>3</sup>/s) en relación con su área de captación (36.586 km<sup>2</sup>), lo que lo convierte en un río muy navegable desde el Golfo hasta la ciudad de Quibdó y por lo tanto en el principal medio de transporte de la región. El volumen promedio de su descarga se estima en 344 millones de m<sup>3</sup>/día, lo que corresponde a un aforo de 4.000-5.800 m<sup>3</sup>/s.

El río, en el tramo entre Quibdó y su desembocadura tiene una longitud de 494 km, un ancho variable entre 150 a 500 m y una profundidad máxima de 38 m que se encuentra en la confluencia de los brazos Montañón y Murindó. Desemboca en el golfo de Urabá por 7 bocas (Leoncito, La Burrera, Coquitos (Bocas), Matuntugo, Pavas, El Roto y Tarena) que conforman el delta del río. Recibe a lo largo de su recorrido alrededor de 150 ríos y 3.000 quebradas. Está considerado por el Fondo Mundial de Vida Silvestre como uno de los bancos genéticos más ricos del mundo.



El río Atrato forma un amplio valle de tierras planas y anegadizas. Varios caseríos y núcleos urbanos se asientan en la proximidad de sus riberas a lo largo de su extenso curso. Los más importantes son: La Honda, Tumaradó, Riosucio, Domingodó, Curvaradó, Vigía de Curvaradó, Vigía del Fuerte, Bellavista, Buchadó, Tagachí, Beté, Quibdó. A esta fuente vierten sus aguas numerosos afluentes entre los que se destacan: Cabí, Negua, Quito, Munguidó, Beté, Buey, Bebará, Bebaramá, Tagachí, Murri, Arquía, Buchadó, Bojayá, Murindó, Opogadó, Montaña, Curvaradó, Domingodó, Truandó, Salaquí, La Larga y Cacarica.

### Delta del río Atrato - Golfo de Urabá



Fuente: IGAC

El área comprendida desde su nacimiento hasta la población de Yuto se conoce como región del **alto Atrato**.

Desde la población de Yuto hasta el río Murindó se conoce como región del **medio Atrato**, la cual es una región cenagosa, cubierta de selva húmeda y de alta precipitación.

Entre el río Murindó y la población de Riosucio se conoce como región del **bajo Atrato**, es una región también cenagosa pero su llanura de inundación es más ancha que la del medio Atrato.

En la región del Darién y en el Golfo de Urabá la fisiografía es típica de deltas controlados fluvialmente.

## 4 METODOLOGÍA

La metodología utilizada para llevar a cabo la complementación de la caracterización geológica y geomorfológica del canal navegable del río Atrato fue partir de los resultados del estudio realizado por la UTCH a través del convenio 3479 de 2008, el cual caracterizó geológica y geomorfológicamente la cuenca del río Atrato a escala 1:100.000.

Conjuntamente con la Interventoría se definió que para este complemento de los estudios se debía hacer una caracterización geológica y geomorfológica de los dos posibles sitios de ubicación del puerto de Quibdó y para el sitio de ubicación del puerto de Tarena en el Golfo de Urabá a escala 1:10.000, para lo cual se tuvo en cuenta el análisis multitemporal realizado en el convenio entre la UTCH y el INVIAS pero adicionalmente se amplió el rango de tiempo de dicho análisis de tal manera que se pudiera tener más certeza en lo que tiene que ver con la estabilidad de las orillas de los sitios en donde se ubicarán los puertos más importantes del canal navegable del río Atrato (Quibdó y Tarena).

Los resultados de la caracterización geológica y geomorfológica de los sitios de interés para los puertos de Quibdó y Tarena se presentan a escala 1:10.000, la cual se realizó a través de fotointerpretación, visitas de campo y se complementó con la exploración del subsuelo que se realizó en cada uno de los sitios para los puertos. En estos sitios el río se evaluó como un hidrosistema con tres ejes bidireccionales: aguas arriba y abajo, márgenes del canal, ambientes superficiales y subterráneos (Piégay y Schumm, 2003), teniendo en cuenta la energía de la corriente y el tamaño del sedimento del lecho como variables independientes y la geometría del canal, la sección transversal y el perfil longitudinal como variables dependientes y que a su vez constituyen la morfología completa y están íntimamente interrelacionadas.

## 5 ESTUDIO DE ANTECEDENTES

Como la base del complemento de la caracterización del canal navegable del río Atrato son los resultados presentados por la UTCH a través del convenio 3479 de 2008, presentamos a continuación lo que utilizaremos para el complemento solicitado a través del convenio 2141 de 2011.

### 5.1 GEOLOGÍA

#### 5.1.1 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, Napipí, 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 cuenda".

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 va 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

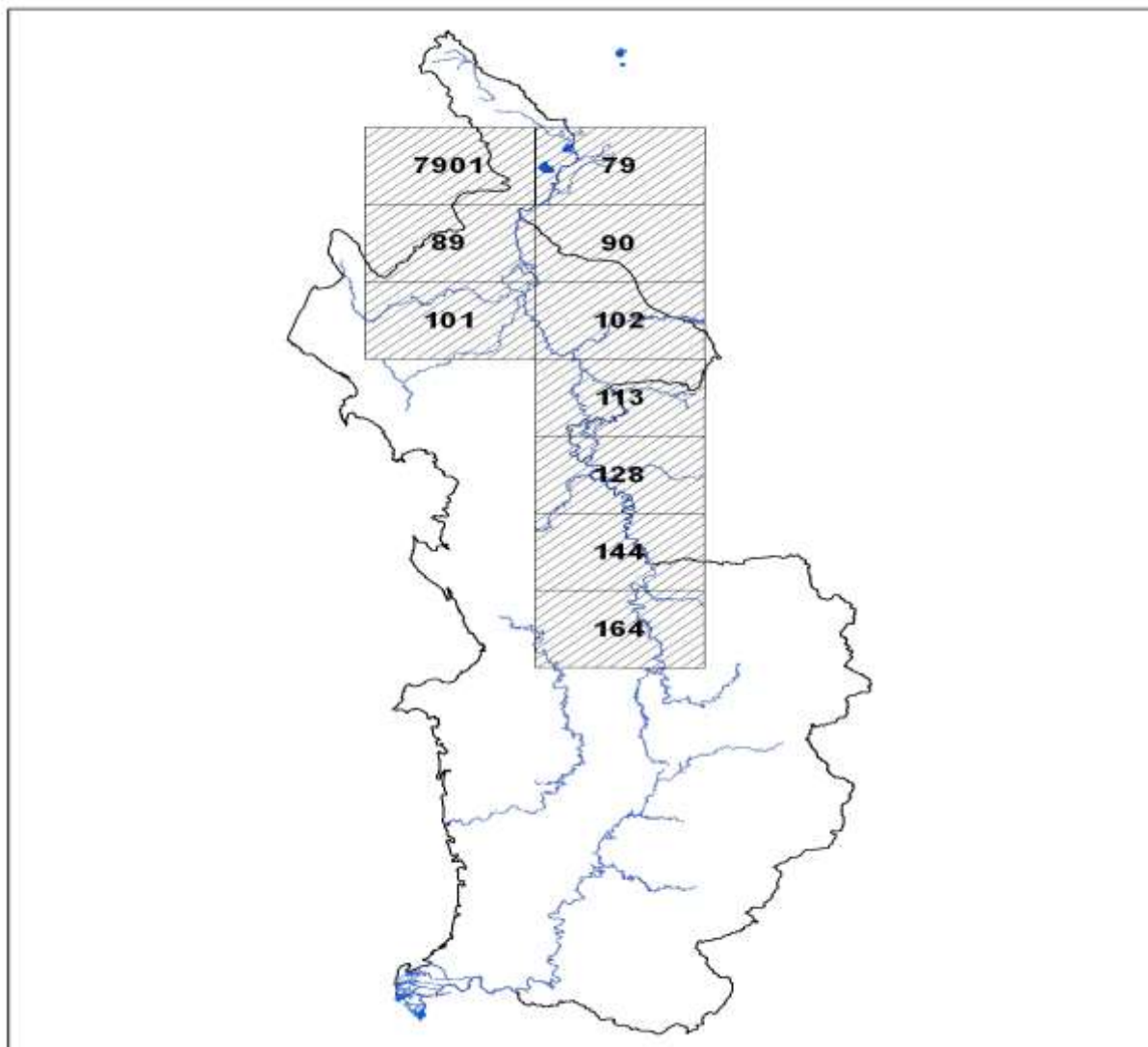
del río. El incremento de los sedimentos debido a la deforestación que sufre la cuenca es una de las causas de las inundaciones en las zonas más planas de la misma.

- **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.

#### **5.1.1.1 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, ver figura, índice de planchas geológicas, escala 1:100.000, Ingeominas, 2005, "Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano", convenio IGAC-INGEOMINAS, 2001-2005.

Figura. Índice de planchas geológicas de la "Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano"



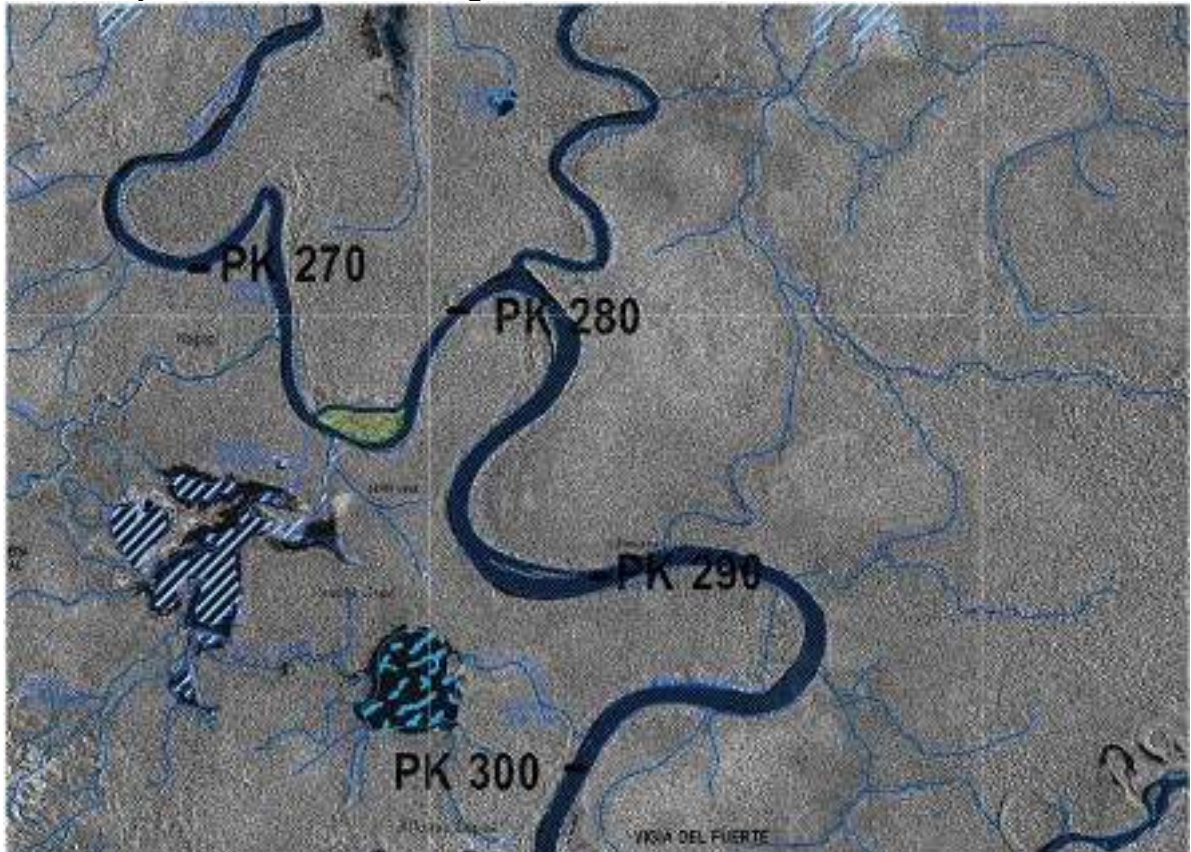
Los ríos se clasifican de acuerdo al patrón de tránsito de su canal principal en la llanura aluvial, por patrón de tránsito se entiende cómo se ve el río desde una toma aérea, fotografía o imagen de satélite. Dicho patrón está controlado por el gradiente del río, el caudal y sus fluctuaciones y el tipo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

### **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, abanicos 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 centrífugas 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 donde 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.

### **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.



La erosión lateral del río Atrato se controla naturalmente de dos maneras:

- Diques bien desarrollados.
- Aparición de sedimentos cohesivos en las orillas.

#### **5.1.1.2 Descripción de la litoestratigrafía de la cuenca del río Atrato según la “Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano” (IGAC-INGEOMINAS, 2001-2005), del tramo comprendido entre Quibdó y su desembocadura por el brazo Tarena (pk 494 - pk 0).**

Con base en el índice de planchas geológicas de la "Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano", la litoestratigrafía del tramo comprendido entre Quibdó y su desembocadura por el brazo Tarena, es así:

**Plancha 164 - Quibdó:** Esta plancha comprende el tramo PK 494 - PK 425 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 164-Quibdó, escala 1:100.000.

El río transita por un depósito aluvial reciente (Q2al), el cual según la **"Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano"**, representa el aporte detrítico 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 detrítico, 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, diabasas 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. Presenta un ancho promedio en esta plancha entre 8 y 9 km y a la altura del PK 430 (beté) se estrecha a unos 5,5 km, sitio en el que el río se recuesta a la Formación Quibdó, ver Foto.

**Foto. Suelo residual de la formación Quibdó (Beté)**

En la parte norte de la plancha, en el PK 430 se presentan dos terrazas aluviales consolidadas (Q2tc), las cuales corresponden a depósitos asociados en particular a las zonas de transición entre la llanura aluvial y los depósitos suavemente inclinados. Se componen de material detrítico redondeado, de carácter polimíctico, suelto a compacto, mal seleccionado, con granulometría variable y predominio de la fracción gruesa, embebida en una matriz de arena, limo y arcilla. Presentan estratificación gradada, cruzada y lenticular con un espesor que puede alcanzar hasta 30 ó 35 m. La posición de las terrazas aluviales es discordante sobre las formaciones de edades anteriores. Presentan compactación de la matriz y podrían corresponder al Plioceno Tardío.

En la parte nororiental de la plancha, aguas abajo del PK 450, se presentan depósitos fluvio torrenciales (Q2fto), los cuales son el producto de eventos excepcionales de avenidas torrenciales, las cuales se generan por causas meteorológicas o represamiento y posterior liberación de las aguas de ríos provenientes de la cordillera y las serranías adyacentes. La gran cantidad de

energía acumulada por dichos eventos, genera el arrastre de los materiales superficiales de las laderas de los valles intramontanos, los cuales al abandonar los cauces estrechos y encontrar áreas de topografía más plana, se explayan, formando abanicos de piedemonte de la cordillera Occidental. Corresponden a depósitos no consolidados, constituidos por material clástico de granulometría gruesa, que incluye bloques, guijos, guijarros y gravas, angulosos, polimícticos, mal seleccionados, embebidos en una matriz areno-conglomerática y con disposición totalmente caótica. La única selección de estos depósitos, consiste en el predominio de las fracciones más gruesas, en las partes proximales y las más finas en las porciones distales. Composicionalmente, dominan los clastos de rocas ígneas plutónicas (granitos, cuarzodioritas, gabros, monzonitas), algunos fragmentos de rocas volcánicas (basaltos, diabasas y andesitas), rocas sedimentarias, metasedimentarias (chert, limolitas, calizas) y también es importante la fracción de cuarzo lechoso detrítico. Las estructuras sedimentarias están ausentes por completo. Su edad probable es Holoceno, pero algunos de ellos pueden ser anteriores.

**Al costado oriental de la llanura de inundación, a lo largo de toda la plancha, afloran las formaciones sedimentarias "Quibdó (N2qb)" y "Sierra (N1sr)".**

- **Formación Quibdó (N2qb)**

Descrita por Haffer (1967) en la carretera Quibdó – Medellín (plancha 164 Quibdó), al este de Quibdó, cerca al sitio La Troje y constituida por arcillolitas abigarradas con interestratificaciones de arenitas de grano medio y conglomerados poco consolidados de cuarzo lechoso.

Esta formación aflora en la margen occidental del río Quito y oriental del río Atrato, forma franjas alargadas de hasta 7 km de ancho, separadas por depósitos cuaternarios de 15 km de ancho. Se observa en el flanco oeste del Sinclinorio del Atrato, en las carreteras Las Ánimas– Nuquí, Las Ánimas – Taridó y río Taridó (plancha 184 Lloró) y en su parte más sur, en la quebrada Dos Bocas (plancha 203 Istmina).

El contacto inferior de esta formación, Haffer (1967), lo considera claramente inconforme. En el río Murri el contacto es transgresivo sobre la Formación Salaquí. En las secciones del río Naurita, río Mumbara, río Pato, carretera Medellín–Quibdó, el contacto es transgresivo sobre la Formación Sierra. El espesor definido por Haffer (1967) al sureste de Quibdó (plancha 164 Quibdó) es 700 - 900 m.

La Formación Quibdó está conformada principalmente por arcillolitas masivas de color gris azulado con remanentes de plantas e intercalaciones de arenitas y

conglomerados. Hacia la base de la secuencia aflora un banco de conglomerado de aproximadamente 15 m de espesor, compuesto por guijarros de chert, cuarzo lechoso, limolita, arenisca y niveles de arenisca conglomerática; el cual, presenta estratificación cruzada. En la parte superior del afloramiento aparece un lente de lodolita con restos de materia vegetal. Es característico en las lodolitas, el color abigarrado. Además, se observan arcillolitas blancas plásticas con laminillas de materia carbonosa que forman niveles dentro de los estratos de arenisca. En la base de la secuencia afloran limolitas de color gris oscuro interestratificadas con arenas de grano fino, de color gris amarillento; hacia el techo se tienen lentes de arena y grava con algunos niveles de turba que gradan a conglomerados y arenitas lodosas. Hacia la base, los niveles de arenas son más frecuentes. Los conglomerados son de guijos con diámetro 5 a 10 cm, de rocas volcánicas y sedimentarias flotantes en una matriz areno lodosa de color amarillo. Las areniscas son de grano grueso a medio, de color amarillo, con matriz lodosa.

El ambiente considerado para la sedimentación de la Formación Quibdó es continental de alta energía, marcado por el predominio de gravas y arenas gruesas en esta unidad (Zapata, 2002). Duque – Caro (1990 b) plantea que el hiato (3,7 – 3,1 Ma), que marca el contacto entre las formaciones Munguidó (Sierra) y Quibdó indica el inicio de la sedimentación fluvial y lacustre en la cuenca del Atrato.

**Edad.** Debido a los escasos fósiles en la Formación Quibdó, su edad no ha sido precisada, por este motivo, las edades postuladas momentáneamente son tentativas y responden a dataciones relativas con base en la posición estratigráfica. Por estar por encima de la Formación Sierra del Mioceno medio al Mioceno superior, Haffer (1967) asigna una edad dentro del rango del Mioceno tardío al Plioceno. Duque– Caro (1990 b) considera que el techo de la Formación Munguidó (Formación Sierra) no es más joven que 3,4 Ma; por lo tanto, la Formación Quibdó que la suprayace no puede ser más antigua que Plioceno.

Haffer (1967) correlaciona la Formación Quibdó con la Formación Gatún del este de Panamá y con la Formación Corpa al noroeste de Montería en la Cuenca del Sinú (Zapata, 2002).

- **Formación Sierra (N1sr)**

Definida por Haffer (1967) en el río Munguidó, afluente del río Atrato cerca al poblado de La Sierra (actualmente desaparecido, plancha 164 Quibdó) y con levantamiento de secciones complementarias en los ríos Uva y Napipí. Es una secuencia monótona de limolitas que gradan localmente a arcillolitas y arenitas finogranulares con algunos horizontes de conglomerados y rocas carbonatadas. Posteriormente, Duque–Caro (1990 b), basado en la descripción del Pozo Opogadó – 1 (plancha 128 Río Murri) y el contraste litológico y geomorfológico en

el área tipo, subdivide la secuencia original en dos y crea una nueva, la Formación Munguidó, y conserva el nombre de Formación Sierra para la secuencia más antigua; en campo es difícil realizar esta separación así que se toma la definición original de Haffer (1967).

Esta formación aflora en la margen oriental del río Baudó, en una franja de aproximadamente 15 – 20 km de ancho; en los ríos Uva, Napipí (plancha 127 Cupica), Bojayá (plancha 128 río Murri), Buchadó, Tagachí y Buey (plancha 144 río Tagachí); incluye los flancos de los anticlinales de Urudó y Berreberre, los núcleos de los sinclinales de Pavarandó y Chigorodó (plancha 184 Lloró), en ambos flancos del Sinclinorio del Atrato (planchas 164 Quibdó y 184 Lloró) y en las quebradas Chiparadó y San Joaquín (plancha 203 Istmina).

Bouman (1965) y Haffer (1967) consideran que el contacto de la Formación Sierra con la Formación Napipí es normal y está definido por el cambio de arcillolitas grises a areniscas de grano muy fino a fino. Con la suprayacente Formación Quibdó, Cossio (2002 b) lo ha interpretado como una discordancia angular erosiva, marcado por la presencia del conglomerado polimítico basal de la Formación Quibdó. Duque – Caro (1990 b) considera que el contacto entre las formaciones Sierra y Napipí es una discordancia marcada por un hiato del Mioceno medio, al igual que entre Sierra y Quibdó.

Haffer (1967) calculó espesores variables para la Formación Sierra: en el área del río Uva–Buchadó (plancha 128 Río Murri) y al occidente de Quibdó (río Munguidó) 3.000 m, al sur de Quibdó 1.000 a 1.800 m. Bouman (1965) menciona un espesor de 3.300 m entre los ríos Baudó y Atrato. En la carretera Las Ánimas–Nuquí se calculó un espesor de 1.650 m (flanco occidental del Sinclinorio del Atrato). La secuencia observada por Cossio (2002 b) en el río Napipí permite subdividirla de la siguiente manera:

La parte inferior (N1srl) conformada por areniscas de grano muy fino a fino, en capas muy gruesas que tienden a separarse en gruesas, medias y delgadas, planas paralelas a planas levemente onduladas, localmente con laminación plana paralela, están cortadas frecuentemente por concreciones calcáreas, elongadas y subparalelas a los planos de estratificación. Interestratificadas con las areniscas se encuentran niveles de limolitas y arcillolitas en capas con igual geometría a las de las areniscas y en éstas se presentan numerosos restos de conchas, huesos y dientes de peces.

La parte media (N1srac) está representada por niveles de lodolitas y arenisca ligeramente conglomeráticas a conglomeráticas con gránulos y guijos de arenisca, arcillolitas, calizas, chert, cuarzo y roca sedimentaria y volcánica. Las areniscas





son de color gris claro a oscuro de grano muy fino a fino, en capas gruesas a muy gruesas onduladas y paralelas. Las lodolitas son de color gris oscuro y se observan en capas cuneiformes que separan los paquetes de areniscas.

La parte superior (N1sr) está conformada fundamentalmente por limolitas negras y grises que varían a amarillo, blanco y pardo por meteorización; en capas muy gruesas que tienden a separarse en medias y delgadas, planas paralelas, por lo general, sin laminación interna visible, pero localmente con laminación plana paralela, plana no paralela y lenticular, con lentes de areniscas de grano muy fino, que contienen abundantes fragmentos fósiles de peces (escamas, vértebras y dientes) y conchas. Dentro de las limolitas se intercalan paquetes de arcillolitas, areniscas cuarzosas de grano muy fino y areniscas lodosas de colores negro y gris, y blancas y amarillas por oxidación, en capas planas paralelas, delgadas y medias que varían a gruesas hacia la parte superior, con laminación ondulada no paralela. Es común la bioturbación que ocasiona la pérdida de la laminación. Se encuentran moldes y cavidades dejadas por la disolución del material de las conchas calcáreas.

La secuencia sedimentaria de la Formación Sierra refleja oscilaciones en las condiciones ambientales del depósito, dentro de una cuenca marina desde plataforma somera hasta un frente de playa, con frecuentes variaciones locales de ascenso y descenso del nivel del mar (Duque – Caro, 1990a, b). El dominio de areniscas, en la parte inferior, indica el depósito de sedimentos de grano muy fino dentro de una plataforma con muy baja energía, reflejado en la continuidad lateral de las capas y la presencia ocasional de laminación plana paralela y no paralela, con ascenso frecuente del nivel del mar, que produjo el depósito de material calcáreo. La parte superior indica el descenso paulatino del mar. Las limolitas y arenas de grano muy fino y fino intercaladas con las arcillolitas corresponden a un ambiente intermedio entre el frente de playa y la plataforma, con un gran aporte de sedimentos siliciclásticos especialmente de tamaño arena y limo (Cossio 2002 b). Edad. La edad de la Formación Sierra, según Haffer (1967), es Mioceno medio. En la Formación Sierra se incluye, la denominada por Duque–Caro (1990 b) Formación Munguidó, por lo tanto, la edad de esta unidad está en el rango Mioceno medio – Plioceno temprano.

Duque–Caro (1990 b) correlaciona la Formación Sierra con las formaciones Charapotó, Angostura y Ozole del Ecuador.

**Al costado occidental de la llanura de inundación, a lo largo de toda la plancha, afloran las formaciones sedimentarias "Quibdo (N2qb)", "Sierra (N1sr)", "Napipí (N1np) y "Uva (E3N1uv)".**



- **Formación Napipí (N1np)**

Definida por Haffer (1967) con la localidad tipo en el río Napipí, al norte de la población de Bojayá (Chocó). En las planchas 164 Quibdó y 184 Lloró, esta unidad aflora en una franja de 5 – 8,5 km de ancho en la margen occidental del río Baudó.

Esta unidad forma los núcleos de los anticlinales de Urudó y Berreberre, aunque los afloramientos son escasos. Bouman (1965) y Haffer (1967) plantean que el contacto de la Formación Napipí con la Formación Uva es normal, pero Duque – Caro (1990b) lo considera discordante debido al hiato del límite Mioceno inferior - Mioceno medio con desaparición de los radiolarios. El contacto superior con la Formación Sierra, Haffer (1967) y Bouman (1965) lo consideran normal y Duque–Caro (1990 b) lo presenta como una discordancia marcada por el hiato del Mioceno medio. Según Haffer (1967), el espesor promedio en el valle del Atrato es de 700 m, en el río Uva es de 500 m, en el río Salaquí 1.200 m, en el pozo Opogadó – 1 es de 534 m (plancha 128 Río Murri) y en el río Mumbaradó es de 850 m (plancha 185 Bagadó). Bouman (1965) calcula un espesor de 1.500 m a lo largo del río Baudó.

La formación está conformada por arcillolitas nodulares masivas de color gris verdoso, laminado, en capas finas bien definidas, con concreciones redondeadas y lenticulares de calizas y zonas de arcillolitas y areniscas finogranulares. En los ríos Nauritá y Neguá, los estratos expuestos son de color verde oliva a gris oscuro, micáceos, localmente carbonosos, granulometría arcillosa y con lentes de arena fina. Sobre la carretera Medellín-Quibdó, la unidad consta de bancos delgados de arcillolitas, micáceas, silíceas y en parte carbonosas o calcáreas (Álvarez et al., 1987). En los ríos Mumbaradó, Capá y Atrato, se presentan facies conglomeráticas, con guijarros de chert negro, calizas arenosas, limos calcáreos y fragmentos de rocas ígneas (Rojas, 1967).

La Formación Napipí, se presenta en fajas estrechas alargadas de dirección aproximadamente N - S, dispuestas sobre los dos flancos, el oriental y occidental del amplio Sinclinal del Atrato.

Según Bouman (1965) y Duque–Caro (1990 b), el ambiente de sedimentación de esta formación es de baja energía, en aguas con profundidad mayor de 2 m, de las zonas Globigerinatella insueta y Globorotalia fohsi, con sedimentos ricos en materia orgánica y oxígeno restringido (Zapata, 2003).

Edad. Tanto Haffer (1967) como Duque–Caro (1990 b) proponen para la Formación Napipí una edad del Mioceno medio.



Haffer (1967) correlaciona esta unidad con la Formación Aquagua del este de Panamá y Duque–Caro (1990 b) la correlaciona con las formaciones miocénicas marinas del Ecuador costero y del área caribeña (Zapata, 2003).

- **Formación Uva (E3N1Uv)**

Definida por Haffer (1967), en el río del mismo nombre (plancha 143 Bahía Solano), afluente del río Bojayá, sobre la margen occidental de la Cuenca del Atrato, donde se levantó una sección incompleta constituida por intercalaciones delgadas de margas, arcillolitas, calizas detríticas y areniscas calcáreas de grano fino a medio; cubriendo un área que va desde la frontera con Panamá, en el norte (plancha 79 Bis Cerro Tagarí), hasta los alrededores de la desembocadura del río Baudó (plancha 222 San Agustín); ocupando gran parte de la estructura anticlinal del mismo nombre. Buenos afloramientos de esta unidad se localizan en la parte oriental de la plancha 163 Nuquí y occidental de las planchas 145 Urrao, 164 Quibdó y 184 Lloró, en casi toda la plancha 183 Coquí; en general es la formación más continua y extensa encontrada en el Pacífico.

Según Haffer (1967), el contacto con la Formación Napipí que la cubre es concordante y con la infrayacente Formación Salauquí es discordante. Duque-Caro (1990 b) propone ambos contactos discordantes. La Formación Uva estaría discordante sobre la Formación Salauquí e inconforme sobre los basaltos del Baudó (Zapata, 2002).

Según Haffer (1967), el espesor de esta unidad, en la región del Atrato, es variable y aumenta hacia el sur del sitio donde fue definida, en el río Salauquí (plancha 128 río Murri) tiene 1.600 m, en la carretera Quibdó-Medellín (plancha 165 Carmen de Atrato) 2.000 m, en Mumbaradó (plancha 185 Bagadó) 2.300 m.

Bouman (1965) menciona un espesor de 2.170 m en el río Baudó, donde no está expuesta la base. Duque - Caro (1990 a) en el Pozo Opogadó (plancha 128 río Murri) reporta un espesor de 427 m. En las planchas 183 Coquí y 184 Lloró, se levantó una sección de aproximadamente 1.600 m de espesor en el río Amporá y la quebrada Pavarandó de la parte media hacia el tope de la formación.

La Formación Uva está conformada por areniscas, limolitas, calizas y margas. En la base de la secuencia afloran intercalaciones de lodolitas y areniscas en capas planas paralelas continuas medias con espesor desde 0,15 m que aumentan hacia el techo de la secuencia hasta formar capas muy gruesas; las capas de lodolita alcanzan hasta 5 m y los estratos de arenisca hasta 10 m de espesor. Las areniscas son compactas de color gris oscuro a gris verdoso, con variaciones de tamaño de grano de fino a grueso con predominio del grano medio, compuestas por cuarzo, plagioclasa y fragmentos de chert, lodolitas, basaltos y algunas

conchas; las capas son planas paralelas medias a gruesas. Las lodolitas son de color gris medio a oscuro, se presentan en capas bien definidas de menor espesor que las de areniscas, blandas, masivas, algunas con cemento calcáreo e interestratificadas con bancos de areniscas. Las calizas son macizas de color blanco a rosado, compactas, micríticas, afloran en “Agua Caliente” en la depresión Coquí - Evarí - Jella. En el río Panguí afloran micritas con 25 -30% de fósiles bien conservados, trazas de opacos y 70 - 75% de micrita.

Se considera que las rocas de la Formación Uva, en la parte occidental (área de cabo Corrientes, plancha 183 Coquí), se depositaron en un ambiente de mar somero de plataforma externa con influencia de arrecife, por las características litológicas observadas: calizas algáceas, areniscas, lodolitas y margas y en la cuenca del Atrato a profundidad batial superior, zona de Globorotalia opima; según Duque - Caro (1990 b), la ocurrencia de microfauna planctónica es indicativa de aguas profundas (Zapata, 2002).

**Edad.** La edad asignada por Haffer (1967) es Oligoceno tardío - Mioceno temprano y para Duque-Caro (1990 b) Oligoceno tardío (Globorotalia opima) - Mioceno medio (Globorotalia peripheroronda).

Haffer (1967) correlaciona esta unidad con la Formación Aruza del este de Panamá, de edad Oligoceno medio-tardío y compuesta principalmente por margas tufáceas.

Duque-Caro (1990 b) hace la correlación con las formaciones oligocénicas y miocénicas de la costa ecuatoriana y Colombia noroccidental, sin mencionar una formación en particular.

**Plancha 144:** Esta plancha comprende el tramo PK 425 - PK 355 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 144, escala 1:100.000.

El río continúa su tránsito por el depósito aluvial reciente (Q2al), descrito en la plancha anterior. Del PK 420 al PK 390 se distinguen en ambos márgenes del río, depósitos fluvio-lacustres (Q2fl), los cuales según la **"Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano"** representan los depósitos de materiales acumulados por la acción de la dinámica fluvial y las sedimentaciones netamente lacustres, desarrolladas en las zonas de desborde adyacentes al río Atrato. Los depósitos son clásticos, sueltos, compuestos por sedimentos detríticos arcillosos y limosos bien seleccionados. Mineralógicamente predominan las micas y el cuarzo anguloso muy fino, que se sedimentaron en las áreas de desborde del río durante las épocas de crecientes. En edad corresponden al Pleistoceno superior y Holoceno.

En el costado suroriente de la plancha se presentan depósitos Fluvio Torrenciales (Q2fto), como los descritos en la plancha anterior.

**Al costado oriental de la llanura de inundación, afloran las formaciones sedimentarias "Quibdó (N2qb)", "Uva (E3N1uv) y el "Complejo Santa Cecilia la Equis, K2E1csce", roca ígnea volcánica.**

- **Complejo Santa Cecilia la Equis (K2E1csce).**

Las rocas ígneas volcánicas del flanco Occidental de la cordillera Occidental, en el departamento de Antioquia denominadas basaltos olivínicos (Álvarez & González, 1978), Formación Santa Cecilia (Calle & Salinas, 1986) y andesitas de la Formación La Equis, (Calle & Salinas, 1986) se agrupan con el nombre compuesto Complejo Santa Cecilia–La Equis, diferenciándolas del mismo nombre utilizado por Salazar et al. (1991) quienes incluyen en este Complejo las rocas plutónicas del Batolito de Mandé y sus facies marginales hipoabisales (González, 2001). Sus principales afloramientos se localizan por el río San Juan y por la carretera paralela a él, entre las quebradas Amurrapá, Condoto y Jingarabá; se encuentra distribuido a lo largo de una franja que cubre desde la plancha 58 Capurganá hasta la 204 Pueblo Rico.

**La unidad Santa Cecilia** aflora al este del Batolito de Mandé, entre Antioquia y Chocó, como una faja continua de orientación N-NW, amplitud variable entre 2 y 7 km, en contacto fallado con sedimentitas y vulcanitas del Grupo Cañasgordas y hacia el sur es limitada por el Batolito de Mandé. Litológicamente es una unidad heterogénea constituida por flujos lávicos básicos, brechas, aglomerados, tobas con niveles locales de lavas almohadilladas e intercalaciones de limolitas, lodolitas calcáreas, chert y calizas; tanto en las tobas como en los flujos basálticos existen vesículas rellenas con ceolitas, clorita y calcita, pumpellyita y clorita, prehnita y epidota.

**La unidad La Equis** se localiza al occidente del Batolito de Mandé, constituyendo una faja alargada N-S, con una amplitud promedia de 6 km. Al este el contacto es probablemente fallado y es intruida por el Batolito de Mandé del Eoceno. Hacia el oeste subyace una secuencia de calizas pelágicas, Formación Uva, del Oligoceno (Haffer, 1967).

Esta unidad la conforma básicamente, una secuencia de flujos basálticos, aglomerados, brechas y tobas que indican un proceso de volcanismo complejo, con algunos cuerpos de lavas ácidas, a veces con estructura brechoide. Los aglomerados y brechas aparecen intercalados con tobas y basaltos en contactos tajantes y están constituidos por una asociación caótica de fragmentos angulares a subangulares, de rocas volcánicas básicas a intermedias. Las rocas volcánicas del Complejo Santa Cecilia – La Equis conjuntamente con el Batolito de Mandé, hacen parte de un arco volcánico insinuado en los trabajos de geología regional de

noroccidente colombiano, denominado Arco de Sautatá (Haffer, 1967; Case et al., 1971), Arco de Dabeiba (Duque - Caro, 1989) o de Mandé ubicado en el terreno Cuna (Restrepo & Toussaint, 1989). Los análisis químicos disponibles (Calle & Salinas, 1986; Salazar et al., 1991), indican una tendencia toleítica para las rocas volcánicas de la unidad Santa Cecilia, mientras que en las de la unidad La Equis, la tendencia es calco-alcalina (Salazar et al., 1991), lo cual implicaría un modelo de arco magmático generado en un proceso de subducción de este a oeste (González, 2001).

Tanto la unidad Santa Cecilia como La Equis están suprayacidas por sedimentos piroclásticos con la parte más gruesa hacia el eje y más fina hacia las partes distales de la estructura del arco; sobre éstos se depositaron en discordancia sedimentos marinos del Grupo Atrato al oeste; al este se observa una deformación intensa de los sedimentos pre-Mioceno, evidencia del levantamiento del arco durante su acreción a la cordillera Occidental (González, 2001).

**Edad.** La edad de las rocas, diferente a la edad de la acreción, en la unidad Santa Cecilia, está definida por los fósiles hallados en los niveles de caliza intercalados con las vulcanitas que indican edades por encima del Coniaciano, posiblemente Campaniano (Calle & Salinas, 1986). La unidad La Equis está cubierta por la Formación Uva del Oligoceno (Haffer, 1967) y es intruida por el Batolito de Mandé del Eoceno (Maya, 1992); fuera de lo anterior no es posible determinar con mayor precisión su edad. Sin embargo, ella está enmarcada por la presencia de margas con restos de nummulites que indican Paleógeno inferior (González, 2001).

**Al costado occidental de la llanura de inundación, afloran las formaciones sedimentarias "Quibdó (N2qb)", Sierra (N1sr) y Napipí (N1np) a lo largo de toda la plancha.**

**Plancha 128:** Esta plancha comprende el tramo PK 355 - PK 255 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 128, escala 1:100.000.

El río continúa su tránsito por el depósito aluvial reciente (Q2al), descrito en las planchas anteriores. Sobre la llanura de inundación en el costado oriental del canal activo se presentan depósitos Fluvio-Lacustres (Q2fl), aproximadamente entre el PK 345 y el PK 335. Aguas abajo del PK 330, a lado y lado del canal activo, se distinguen depósitos de terrazas aluviales (Q2t) y terrazas aluviales consolidadas (Q2tc), depósitos lacustres (Q2l) que corresponden a sedimentos clásticos depositados en condiciones de baja energía en antiguas lagunas o lagos que posteriormente fueron colmatados por material clástico y lodos ricos en materia orgánica. Los depósitos son clásticos, no consolidados, compuestos principalmente por sedimentos detríticos arcillosos y limosos bien seleccionados. Mineralógicamente predominan las micas y el cuarzo anguloso muy fino. En edad

corresponden al Pleistoceno superior y Holoceno hasta la actualidad; depósitos Fluvio-Lacustres (Q2fl) y depósitos Fluvio-Torrenciales (Q2fto). Se destaca a partir del PK 310 y hasta el PK 255 una ampliación significativa de la llanura de inundación.

**Al costado oriental de la llanura de inundación, afloran las formaciones sedimentarias "Quibdó(N2qb)" y "Salaquí (E2sl)" en sentido norte-sur y las rocas ígneas volcánicas del "Complejo Santa Cecilia la Equis(K2E1csce)" a lo largo de toda la plancha, conjuntamente con las rocas ígneas plutónicas del "Batolito de Mandé(Etm)" y los Pórfidos Andesíticos de Pantanos (E2padp)".**

- **Formación Salaquí (E2sl).**

Definida por Haffer (1967) en la parte alta del río Salaquí, Bajo Atrato chocoano, cerca de la frontera con Panamá; Álvarez et al., (1987), la denominaron Formación Bebará, en el sector oeste de la cordillera Occidental; pero, hoy en día se le conoce en los mapas publicados por INGEOMINAS, con el primer nombre asignado. La sección tipo consiste en capas bien estratificadas de 5 -20 cm de espesor, de chert silíceo y calcáreo con intercalaciones de margas tobáceas, limolitas y areniscas de grano fino a medio.

Aflora sobre el flanco occidental de la cordillera Occidental, en el río Purricha y en otros lugares de la serranía del Darién sobre el sector del río Salaquí, asociados principalmente a fallas de cabalgamiento y a los ejes de anticlinales distribuidos en las planchas 69 Necoclí, 79 Turbo, 79 Bis Cerro Tagarí, 89 Ciénaga La Honda, 101 Riosucio, 102 Domingodó, 113 Murindó y 128 río Murrí.

En la región del Baudó, la Formación Salaquí yace inconformemente sobre los basaltos del Baudó (Haffer, 1967). En la región Murrí - Bebará, suprayace a las rocas del Complejo Santa Cecilia - La Equis, representando una variación en la base del Cenozoico de rocas volcánicas a sedimentarias. Hacia el techo está cubierta por los sedimentos margosos de la Formación Uva (Álvarez et al., 1987); se considera que es discordante, tal como lo es en el valle del río Atrato, según Haffer (1967) o corresponde a una inconformidad por erosión (Suárez, 1990). El espesor mínimo calculado por Haffer (1967) para esta formación en el río Salaquí, es de 700 m.

Esta unidad consiste en una secuencia de chert silíceo a calcáreo de color verde a blanco y jaspe rojo bien estratificado, con interestratificaciones de limolitas silíceas y capas de lutitas carbonosas y hacia la base, se presentan sedimentos tobáceos y areniscas de grano fino a medio de color verde a pardo en capas delgadas, planas y paralelas. Presenta estratificación casi vertical, por efecto de replegamientos y se encuentran amplias zonas de milonitización.



Las rocas de esta unidad, afloran tanto al este, como al oeste del Sinclinal del Atrato y están dispuestas en fajas de dirección aproximada N – S. Se considera que estas rocas se depositaron en un ambiente de mar abierto a profundidades abisales de hasta 6.000 m en la zona de *Bulimina jacksonensis* (Haffer, 1967).

**Edad.** La edad asignada oscila entre Eoceno inferior y Oligoceno inferior. Haffer (1967), considera, con base en determinaciones paleontológicas, que la Formación Salaquí se depositó en el Eoceno tardío – Oligoceno temprano. Álvarez et al., (1987) de acuerdo con las relaciones de campo, la consideran de edad pre-Eoceno; Suárez (1990) la asigna al Eoceno inferior–Oligoceno inferior.

- **Batolito de Mandé (Etm).**

El nombre de Batolito de Mandé fue utilizado por Álvarez (1971a, b) para referirse a un cuerpo granítico que aflora en la región septentrional de la cordillera Occidental y que bordea el valle del río Atrato por unos 200 km con un ancho máximo de 20 km en los departamentos de Antioquia y Chocó y que se prolonga hacia el noroccidente hasta la región de Acandí para seguir hacia Panamá y termina en el Departamento de Risaralda a la altura de la población de Santa Cecilia. Es el cuerpo batolítico de mayor extensión en esta cordillera; en general presenta forma alargada, en dirección N45°W, con contactos irregulares y discordantes con respecto a las estructuras regionales. Recibe su nombre del corregimiento de Mandé, Municipio de Urrao, Antioquia, localizado en el extremo suroccidental de la plancha 129 Cañasgordas (González & Londoño, 2003). Sus mejores afloramientos se encuentran en las carreteras Bolívar (Antioquia) – Quibdó (Chocó), Santa Cecilia (Risaralda) – Las Ánimas (Chocó); en los ríos Mandé, Murri, Penderisco, Pantanos, Murindó y Chaquenodá en el Departamento de Antioquia; en los ríos Bebaramá, Tigre, Arquía y Acandí en el Departamento de Chocó y en el río San Juan en el Departamento de Risaralda. Tanto en el extremo sur como hacia el norte presenta contactos intrusivos con la secuencia volcánica de Santa Cecilia - La Equis, originando una zona estrecha de brechas; estos contactos corresponden a una zona de debilidad tectónica, marcada por fallas regionales con efectos de metamorfismo dinámico intensos, pero donde aún es posible reconocer claramente el contacto intrusivo entre el cuerpo granítico y el volcánico que quedó adherido a él y separado del resto del volcánico por fallamiento. El contacto oeste, en las zonas de Pantanos y Murindó, está modificado por la Falla Murindó y fallas relacionadas, de dirección N30°W. La roca está fuertemente cizallada y cuerpos de serpentinita se han emplazado tectónicamente, a veces acompañados de rocas volcánicas y plutónicas básicas, constituyendo una asociación de afinidad ofiolítica (González, 2001).

El Batolito de Mandé presenta una amplia diversidad litológica variando en composición y textura entre tonalitas – granodioritas en la facies predominante, a

tonalitas y cuarzodioritas porfídicas y a pórfidos cuarzodioríticos con facies más básicas hacia los bordes, debido probablemente a diferentes niveles de emplazamiento y a efectos dinámicos. La roca predominante es fanerítica, equigranular, de grano medio, maciza de color gris moteado de negro por la presencia de ferromagnesianos. Hacia los bordes predominan estructuras inequigranulares porfídicas y localmente foliadas, producidas por protoclasia o por efectos dinámicos. Los minerales esenciales son: cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa en proporciones variables, con hornblenda, biotita y clinopiroxeno como minerales caracterizantes. La variedad textural y petrográfica tan amplia, las facies marginales con evidencias de asimilación y los contactos discordantes con truncamientos de las estructuras regionales son características de cuerpos plutónicos emplazados en la epizona, en el sentido de Buddington (1959). Además la asociación con las rocas hipoabisales porfídicas de Murindó, Pantanos, Mandé, río Amparradó y otros sitios localizados hacia el borde occidental del cuerpo, con los cuales se encuentran relacionados varios prospectos de Cu - Mo y Cu -Au, indican una relación genética donde las rocas porfídicas representan una facies subvolcánica tardía que autointruye la masa principal intrusiva, formando un complejo volcánico – intrusivo (González, 2001).

**Edad.** Se han obtenido edades isotópicas del Batolito de Mandé, tanto en la facies granitoide normal como en las rocas porfídicas que contienen las mineralizaciones diseminadas de Cu -Mo y sus zonas de alteración hidrotermal. La edad más reciente es de 34 Ma (K/Ar biotita; Botero, 1975), mientras que para muestras de Pantanos-Pegadorcito y Murindó se tiene edades radiométricas (K/Ar) de  $42 \pm 0,9$  Ma y  $54,7 \pm 1,3$  Ma respectivamente (Sillitoe et al., 1982). Además existe una edad de  $47,1 \pm 2,5$  Ma obtenida en hornblenda (Göbel y Stibane, 1979) en una muestra de tonalita del oriente de Quibdó. Teniendo en cuenta el nivel de emplazamiento y las características del batolito, las edades obtenidas pueden asumirse como de cristalización lo cual indicaría que ésta comenzó en el Paleoceno y se extendió posiblemente hasta el Eoceno, por lo tanto las rocas volcánicas encajantes, al menos serían de finales del Cretácico al Paleoceno temprano, descartando cualquier edad más joven que haya sido asignada a esta unidad (González, 2001).

En la literatura geológica del noroccidente Colombiano posterior a 1971, no se han establecido correlaciones litológicas, en edades o por posición estructural del Batolito de Mandé con otros cuerpos plutónicos en la cordillera Occidental; por las características petrográficas, ocurrencia de prospectos de pórfidos cupríferos y continuidad geográfica, se considera que el cuerpo del río Pito en Panamá, es la prolongación hacia el noroeste del Batolito de Mandé, además, el Batolito de Acandí, en el sentido empleado por INGEOMINAS – NACIONES UNIDAS (1982) y Sillitoe et al., (1982) es la continuación hacia el norte de la masa principal del



Batolito de Mandé en territorio colombiano y está separado de ésta por depósitos aluviales cuaternarios del río Atrato (González & Londoño, 2002b).

- **Pórfidos Andesíticos de Pantanos (E2padp).**

Se denominan Pórfidos de Pantanos al conjunto de rocas hipoabisales que afloran en la región de la vereda Pantanos (plancha 129 Cañasgordas), relacionadas espacialmente al Batolito de Mandé y que en los trabajos de evaluación del proyecto Pantanos (Ramírez et al., 1979; Álvarez et al., 1984) fueron descritos como pórfidos de Pegadorcito, Chontaduro, Pantanos o Lanito (González & Londoño, 2003). Su cercanía a una sola región geográfica, Pantanos y similitud petrográfica, permiten considerarlos, a escala regional, como una sola unidad cartográfica, de donde recibe el nombre de Pórfidos Andesíticos de Pantanos (González & Londoño, 2003); aunque localmente presentan diferencias en textura y composición. Los mejores afloramientos se encuentran en las quebradas Chontaduro, Lano y en el cerro Pantanos localizados en la plancha 129 Cañasgordas; en la plancha 128 Río Murri y en los ríos Chuigo, Cuchadó, Churina y Andágueda ubicados en la plancha 185 Bagadó. Estos pórfidos intruyen al Batolito de Mandé y presentan una tendencia a emplazarse hacia las márgenes del plutón, como se observa en las quebradas Batató y río Chuigo (Feldhaus et al., 1988), en el río Comitá al norte de la plancha 185 Bagadó se observan relaciones de contactos similares entre los pórfidos y el batolito (Calle & Salazar, 1991).

Los pórfidos varían en composición de andesítica a dacítica. Los andesíticos se caracterizan por la presencia de fenocristales subhedrales de hornblenda, hasta de 5 mm de longitud, en una matriz cristalina constituida por feldespato no maclado y cuarzo finogranular. Los fenocristales de plagioclasa son subhedrales tabulares, con zonamiento normal fuerte y composición entre An<sub>34</sub> y An<sub>44</sub>. El cuarzo bipiramidal se presenta como accesorio, con inclusiones de apatito y una delgada corona de reacción en el contacto con la matriz. La hornblenda presenta una alteración propilitica intensa y se encuentra reemplazada en gran parte por agregados de clorita, epidota, calcita y sulfuros.

Los pórfidos dacíticos y las dacitas porfídicas se caracterizan por tener un contenido bajo de máficos, por lo general, reemplazados por agregados de clorita y mica blanca, por la presencia de cuarzo bipiramidal como mineral esencial (8 - 15%) y por la intensa alteración hidrotermal. La matriz es de color gris claro, holocristalina, afanítica, rica en feldespatos con fenocristales de cuarzo que presentan bordes corroídos. La plagioclasa es subhedral y está intensamente argilizada. El máfico predominante es biotita en cristales hexagonales reemplazados por clorita y mica blanca y como accesorios se encuentran magnetita, circón, apatito y sulfuros en proporción variable.



Las características faciales y petrográficas del Batolito de Mandé y de las rocas hipoabisales de composición andesítica a dacítica en el área de Pantanos, a las cuales se encuentran relacionadas mineralizaciones de Cu -Mo (Ramírez et al., 1979; Álvarez et al., 1984) indican una relación genética entre estas rocas, donde los pórfidos representarían una actividad subvolcánica tardía que autointruye la masa principal del batolito y forma un complejo intrusivo-volcánico (González & Londoño, 2003).

**Edad.** La edad del batolito, corresponde por geocronología al intervalo Eoceno temprano – Eoceno tardío, por una edad de  $38 \pm 3$  Ma para la facies de alteración hidrotermal fílica en el prospecto de Acandí en el extremo norte del Batolito de Mandé en territorio colombiano, relacionada probablemente a la etapa de intrusión de las rocas porfídicas en límite Eoceno– Oligoceno (Sillitoe et al., 1982 en: González & Londoño, 2003).

**Al costado occidental de la llanura de inundación, afloran las formaciones sedimentarias "Quibdó (N2qb)" y "Sierra (N1sr)" en sentido norte-sur.**

**Plancha 113:** Esta plancha comprende el tramo PK 255 - PK 187 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 113, escala 1:100.000.

El río continúa su tránsito por el depósito aluvial reciente (Q2al), descrito en las planchas anteriores. A través de toda la llanura de inundación se presentan depósitos lacustres (Q2l) y Fluvio-Lacustres (Q2fl) en ambiente de ciénaga. En el costado oriental y a manera de transición entre la llanura de inundación y los cuerpos ígneos (volcánicos e intrusivos), se presentan depósitos Fluvio-Torrenciales (Q2fto), desde le PK 255 al PK 200. A la altura del PK 250, en el costado derecho del canal activo se diferencia una terraza aluvial (Q2t) aislada, lo mismo ocurre pero en el costado izquierdo en el PK 210.

**Al costado oriental de la llanura de inundación, afloran la formación sedimentaria "Salaquí (E2sl)", el "batolito de Mandé (Etm)" y el "Complejo Santa Cecilia la Equis (K2E1csce)".**

**Al costado occidental de la llanura de inundación, afloran las formaciones sedimentarias "Sierra (N1sr)" y "Napipí (N1np)", la formación Sierra aflora en sentido Norte-Sur a lo largo de toda la plancha, la formación Napipí aflora en el extremo NW.**

**Plancha 101-102:** Esta plancha comprende el tramo PK 187 - PK 117 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 101-102, escala 1:100.000.

El río continúa su tránsito por el depósito aluvial reciente (Q2al), descrito en las planchas anteriores. A partir del PK 170 y hasta el PK 120 a lado y lado del canal activo se presentan depósitos lacustres (Q2l), Fluvio - Lacustres (Q2fl) y Terrazas aluviales (Q2t).

En el extremo NE de la plancha aflora aisladamente el batolito de Mandé (Etm).  
**Al costado occidental de la llanura de inundación, afloran las formaciones sedimentarias "Sierra (N1sr)", "Napiquí (N1np)", "Uva (E3N1uv)" y "Salaquí (E2sl)" en dirección NE-SW.**

**Plancha 89-90:** Esta plancha comprende el tramo PK 117 - PK 57 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 89-90, escala 1:100.000.

El río continúa su tránsito por el depósito aluvial reciente (Q2al), descrito en las planchas anteriores. A lado y lado del canal activo se presentan depósitos lacustres (Q2l), Fluvio - Lacustres (Q2fl) y Terrazas aluviales (Q2t).

En el costado oriental aflora aisladamente el batolito de Mandé (Etm).

**Al costado Nor-occidental de la llanura de inundación, afloran las formaciones sedimentarias "Sierra (N1sr)", "Napiquí (N1np)", "Uva (E3N1uv)", "Salaquí (E2sl)" y "Clavo (E2cl), conjuntamente con el "Batolito de Mandé (Etm)".**

- **Formación Clavo (E2cl).**

Definida por Haffer (1967), en la parte alta del río Uva (tributario del río Bojayá, plancha 143 Bahía Solano), sobre la margen occidental del río Atrato, al noroeste del departamento del Chocó, cerca al caserío de El Clavo, (hoy desaparecido). Esta formación, corresponde a la unidad de rocas sedimentarias más antiguas de edad terciaria, expuestas y que afloran en el Pacífico; se presentan como una faja alargada con disposición N-S, en la zona occidental del Baudó; afloran en la margen sur del río Napiquí, río Memequerá y en el área Sautatá - Tilupo (planchas 79 Bis Cerro Tagarí, 89 Ciénaga La Honda, 127 Cupica y 143 Bahía Solano).

Según Haffer (1967), el contacto inferior con el Complejo Santa Cecilia-La Equis, es discordante. En la zona occidental, su contacto inferior con los basaltos del Baudó y el superior con la Formación Uva, es fallado (Cossio, 1994). Suárez (1990), basado en información sísmica, considera que el límite superior con la Formación Salaquí corresponde a una inconformidad por erosión. El espesor de la Formación Clavo, varía entre 300 y 400 m, según los diferentes autores que han trabajado en la región del Pacífico.

Desde el punto de vista litológico, esta formación consta de lodolitas de color negro, duras, intercaladas con láminas de limolitas calcáreas de 1 a 2 m de espesor, la cual presenta variaciones a arenisca calcárea fina a media y calizas de 1 a 3 cm de espesor, constituyendo así, una facies pelítica, levemente calcárea. Suárez (1990) define esta formación de manera general, a partir de la información obtenida de pozos de exploración, como una unidad compuesta principalmente de limolitas, localmente calcáreas, con ocurrencia de niveles de arcillolita y ocasionalmente arenitas.

Fue depositada en un ambiente abisal a batial inferior, probablemente, durante un “lowstand systems tract” (Suárez, 1990).

**Edad.** Haffer (1967) le asigna una edad entre el Paleoceno al Eoceno temprano, posiblemente más del Eoceno temprano, basado en foraminíferos. Hubach (1930) menciona remanentes de “amonitas” en shale de color gris oscuro en la quebrada “Mequerá”. Esta quebrada no se encuentra en ningún mapa del área, pero podría ser un pequeño afluente del río Doguadó, que a su vez vierte sus aguas al río Napipí. Si la referencia de Hubach es correcta, la edad de la Formación Clavo sería cretácica. Sin embargo, Cossio (2002 b) con base en los análisis faunísticos de Haffer (1967), asigna una edad del Eoceno temprano para esta formación, basado en que en ninguna otra parte de la cuenca del río Atrato se han reportado amonitas.

**Plancha 79-7901:** Esta plancha comprende el tramo PK 57 - PK 0 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 79-7901, escala 1:100.000.

El río continúa su tránsito por el depósito aluvial reciente (Q2al), descrito en las planchas anteriores. A lado y lado del canal activo se presentan depósitos lacustres (Q2l), Fluvio-Lacustres (Q2fl), Terrazas aluviales (Q2t) y depósitos Fluvio-Torrenciales (Q2to). En el delta se encuentran depósitos intermareales (Q2m) y de Playa (Q2p).

- **Depósitos de Playa (Q2p)**

Estos depósitos marinos se encuentran distribuidos alrededor del Golfo de Urabá. Debido a la predominancia de arenas cuarzosas y material bioclástico su color es claro. Están constituidos por sedimentos no consolidados y medianamente seleccionados, de granulometría variable: gravilla, arena y limo, pero con predominio de la fracción fina angulosa. Mineralógicamente están compuestos en su mayoría de líticos, cuarzo y mica, con contenido variable de material bioclástico. Se caracterizan por estar desprovistos de vegetación. Todos los depósitos de playa son recientes (Holoceno superior). Los más antiguos

presentan coberturas de vegetación arbórea y arbustiva, producto de la colonización natural de las especies o plantaciones de palmas de coco sembradas por el hombre. Ver Foto

**Foto. Depósito de Playa (Q2p)**



- **Depósitos Intermareales (Q2m)**

Son 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 Foto. Todos los depósitos intermareales son de edad reciente (Holoceno Superior).



**Foto. Depósito Intermareal (Q2m) cubierto de mangle**



**Al costado Occidental de la llanura de inundación, afloran las formaciones sedimentarias "Napipí (N1np)", "Uva (E3N1uv)", "Salaquí (E2sl)" y "Clavo (E2cl)", conjuntamente con el "Batolito de Mandé (Etm)" y el "Complejo Santa Cecilia la Equis (K2E1csce)".**

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

### 5.1.2.1 Caracterización estructural de la cuenca del río Atrato desde Quibdó hasta Tarena en el golfo de Urabá

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°.

**Geología estructural de la plancha 164 – Quibdó:** Esta plancha comprende el tramo PK 494 - PK 425 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 164-Quibdo, escala 1:100.000.

En la cuenca del río Atrato, en ésta plancha, estructuralmente resaltan: El sinclinal del Atrato, la falla quebrada Santa Bárbara, el anticlinal CalaHora, el sinclinal de Ogodó, el anticlinal de Santa Rita y la Serranía de Baudó. Los cuales están claramente definidos en el corte A-A' de dicha plancha. La serranía de Baudó se menciona ya que es la divisoria de aguas de la cuenca.





### **Sinclinal del Atrato**

Es una estructura asimétrica y ancha, de buzamientos suaves que se manifiesta en Lloró y Quibdó con el eje paralelo al río Atrato. El núcleo está cubierto por depósitos cuaternarios y en los flancos afloran las formaciones Quibdó y Sierra; el flanco oriental es más amplio (Zapata, 2002).

### **Falla Quebrada Santa Bárbara**

La falla Quebrada Santa Bárbara se puede apreciar con claridad en las imágenes de radar INTERA y en el campo, como una estructura con dirección N–S en los ríos Cértégui y Tanandó, con buzamiento de 72° al oeste, que afecta el contacto entre las formaciones Quibdó y Sierra. Sobre la carretera Medellín–Quibdó esta falla afecta las rocas de la Formación Sierra y produce pliegues del orden decimétrico a métrico y cambio en la disposición de los estratos por unos pocos metros.

### **Anticlinal Calahora**

El Anticlinal Calahora fue definido por Bouman (1965) en el río Munguidó, es una estructura con dirección N–S a N5°W adyacente al Sinclinal de Ogodó, con el cual guarda proporciones similares de amplitud. En superficie afloran únicamente rocas de la Formación Sierra. El buzamiento en los flancos es inferior a 10° (Zapata, 2002).

### **Sinclinal de Ogodó**

Bouman (1965), definió el Sinclinal de Ogodó en la Formación Sierra entre los ríos Tinguí y Munguidó a lo largo de unos 12 km; tiene buzamientos suaves y simétricos, entre 8–15° NE en el flanco oeste y 3–10° NW en el este (Zapata, 2002).

### **Anticlinal Santa Rita**

El anticlinal Santa Rita, es una estructura con dirección N–S a N12°E al oriente de la Serranía del Baudó, tiene una expresión en superficie de aproximadamente 8 km. En superficie afloran rocas de la formación Sierra y Napipí.

Otras estructuras que se destacan en ésta plancha son:

### **Anticlinal de Bella Luz**

El Anticlinal fue definido en los afloramientos a lo largo del río Suruco. Es una estructura estrecha y de corta longitud, de aproximadamente 1 km de ancho y es

paralelo al Sinclinal de Bellaluz, con buzamiento de sus flancos menor a 10° (Zapata, 2002).

### **Sinclinal de Bella Luz**

El Sinclinal fue definido en los afloramientos a lo largo del río Suruco. Es una estructura estrecha y de corta longitud, de aproximadamente 1 km de ancho y es paralelo al Anticlinal de Bellaluz, con buzamiento de sus flancos menor a 10° (Zapata, 2002).

### **Anticlinal del Salado**

El Anticlinal El Salado se localiza en las cabeceras del río Beté; tiene expresión a lo largo de unos 12 km con dirección N–S, el flanco oeste tiene buzamiento de 8–19° al W y el flanco este de 10–18° E (Zapata, 2002).

### **Falla Río Beté**

La Falla río Beté se observa, con rumbo N60–80°E a lo largo de las cabeceras del río Beté; esta estructura se extiende por la Formación Sierra a lo largo de unos 23 km.

En el sector NW y E de la plancha se encuentran lineamientos fotogeológicos con dirección predominante NE-SW en la formación Sierra.

**Geología estructural de la plancha 144:** Esta plancha comprende el tramo PK 425 - PK 355 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 144, escala 1:100.000.

En la cuenca del río Atrato, en ésta plancha, estructuralmente resaltan: El Anticlinal y el Sinclinal de Buchadó.

### **Anticlinal de Buchadó**

Toma el nombre de la localidad del mismo nombre. Aflora en el río Tagachí y se extiende a Murri. Es un anticlinal asimétrico cuyo eje axial tiene rumbo N–S a N10°W; una expresión en superficie de 25 km de longitud y 5 km de ancho. El buzamiento en ambos flancos, es de 10°. Este anticlinal tiene una expresión de domo asimétrico en la imagen de radar.

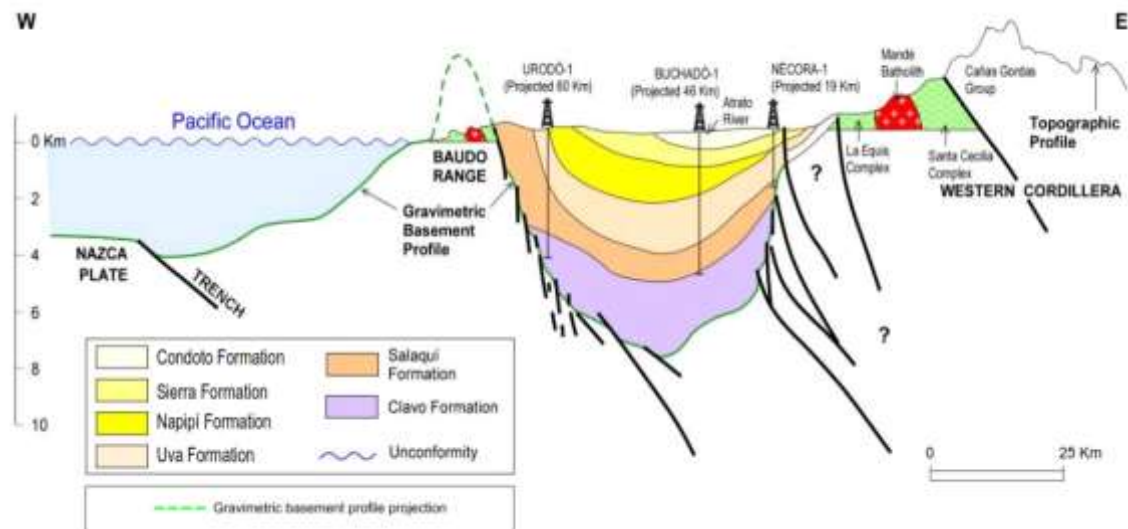
### **Sinclinal de Buchadó**

Al igual que el anticlinal de Buchadó toma el nombre de esta localidad. Se localiza al occidente del anticlinal de Buchadó. Es un sinclinal asimétrico cuyo eje axial

tiene rumbo N-S a N10°W; una expresión en superficie de 25 km de longitud y 5 km de ancho. El buzamiento inferido en ambos flancos es de 10°.

En el costado occidental de la plancha aparecen lineamientos fotogeológicos de manera densa, en las formaciones Sierra y Napipí con dirección predominante NW-SE y NE-SW.

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



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

**Geología estructural de la plancha 128:** Esta plancha comprende el tramo PK 355 - PK 255 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 128, escala 1:100.000.

En la cuenca del río Atrato, en ésta plancha, estructuralmente resaltan: La falla Murindó y el anticlinal y sinclinal de Buchadó.

### Falla Murindó

Esta falla se localiza sobre el flanco occidental de la cordillera Occidental. Se puede considerar inversa, pero en algunos tramos tiene comportamiento de falla de rumbo. Presenta además fallas satélites en dirección NE y NW donde la falla principal, tiene una dirección N10°W y se extiende por muchos kilómetros, siendo el rasgo más destacado entre la cuenca del Atrato y el flanco oeste de la cordillera Occidental. Su expresión es de alineación débil de zonas angostas, tramos rectos y boquerones en las crestas de los cerros. Presenta una zona de efectos dinámicos de 200 m de ancho a lado y lado de la falla con formación de protomilonitas hasta ultramilonitas.



La mayoría de los sismos ocurridos en el occidente colombiano, como los de octubre 17 y 18 de 1992, han sido atribuidos a la falla de Murindó, ya que desencadenaron gran cantidad de efectos superficiales en el área del municipio de Murindó, lo cual indica una actividad reciente a lo largo de esta falla.

Se presentan en toda la plancha lineamientos fotogeológicos con dirección NW-SE y SE-NW.

**Geología estructural de la plancha 113:** Esta plancha comprende el tramo PK 255 - PK 187 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 113, escala 1:100.000. En la cuenca del río Atrato, en ésta plancha, estructuralmente resaltan: La falla Murindó y el Anticlinal de Opogodó.

### **Anticlinal de Opogodó**

Es un anticlinal simétrico cuyo eje axial tiene un rumbo N8°E y un cabeceo en la misma dirección; una expresión en superficie de 21 km de longitud y 6 km de ancho. El buzamiento en ambos flancos es de 40°.

En el costado oriental de la plancha se presentan lineamientos fotogeológicos con dirección NE-SW y NW-SE.

**Geología estructural de la plancha 101-102:** Esta plancha comprende el tramo PK 187 - PK 115 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 101-102, escala 1:100.000.

En la cuenca del río Atrato, en ésta plancha, estructuralmente resaltan: El Anticlinal en las formaciones Uva y Napipí.

**Geología Estructural de la Plancha 89-90:** Esta plancha comprende el tramo PK 115 - PK 55 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 89-90, escala 1:100.000.

En la cuenca del río Atrato, en ésta plancha, estructuralmente resaltan: El sinclinal en la formación Sierra, en el extremo SW de la plancha.

**Geología Estructural de la Plancha 79-7901:** Esta plancha comprende el tramo PK 55 - PK 0 del río Atrato. Ver Plancha Geológica 79-7901, escala 1:100.000.

En la cuenca del río Atrato, en ésta plancha, estructuralmente resaltan: Los lineamientos fotogeológicos del costado occidental de la plancha en dirección NW-SE y NE-SW.

## 5.2 TECTÓNICA DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO

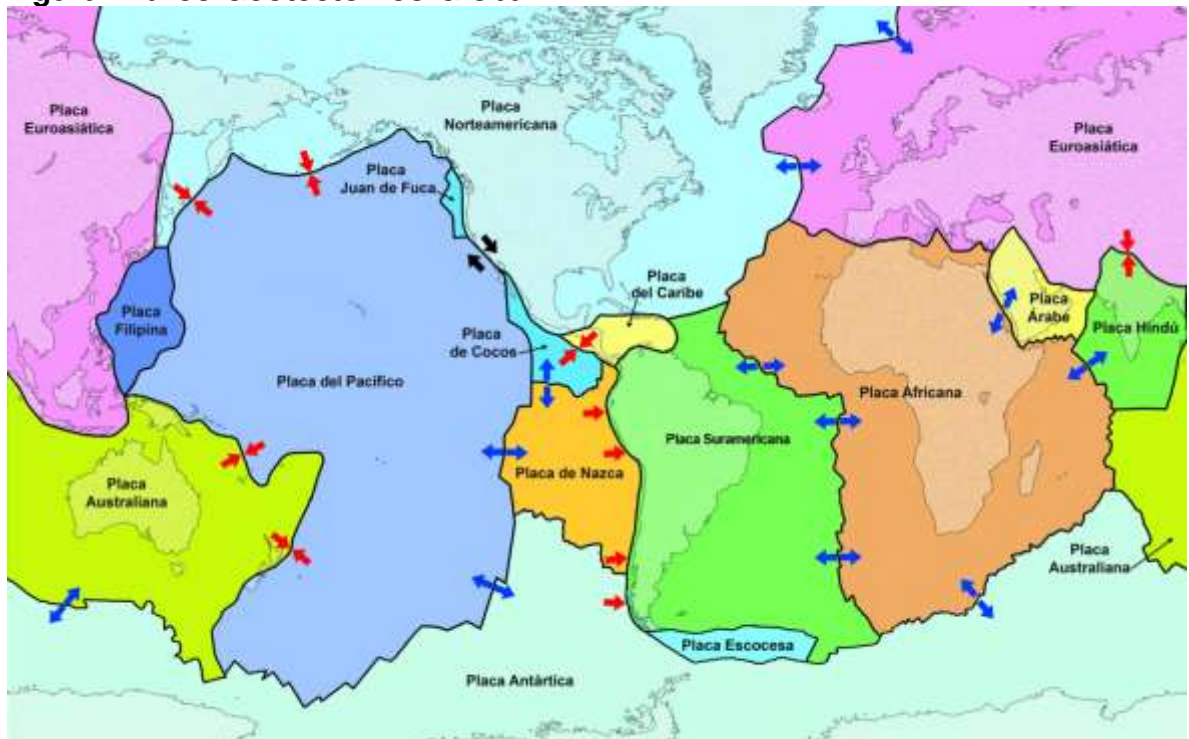
### 5.2.1 MARCO GEOTECTÓNICO GLOBAL

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.

**Figura. 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 Litósfera 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 sí 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 destructivos o convergentes.

### 5.2.2 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 ocurre 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.

### 5.2.3 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-destal secuencial del Reino Tectónico Occidental (WTR) oceánico a lo largo de la margen Pacífica 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 Figura 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.

**Figura. Unidades litotectónicas y morfoestructurales del Bloque Andino Norte**

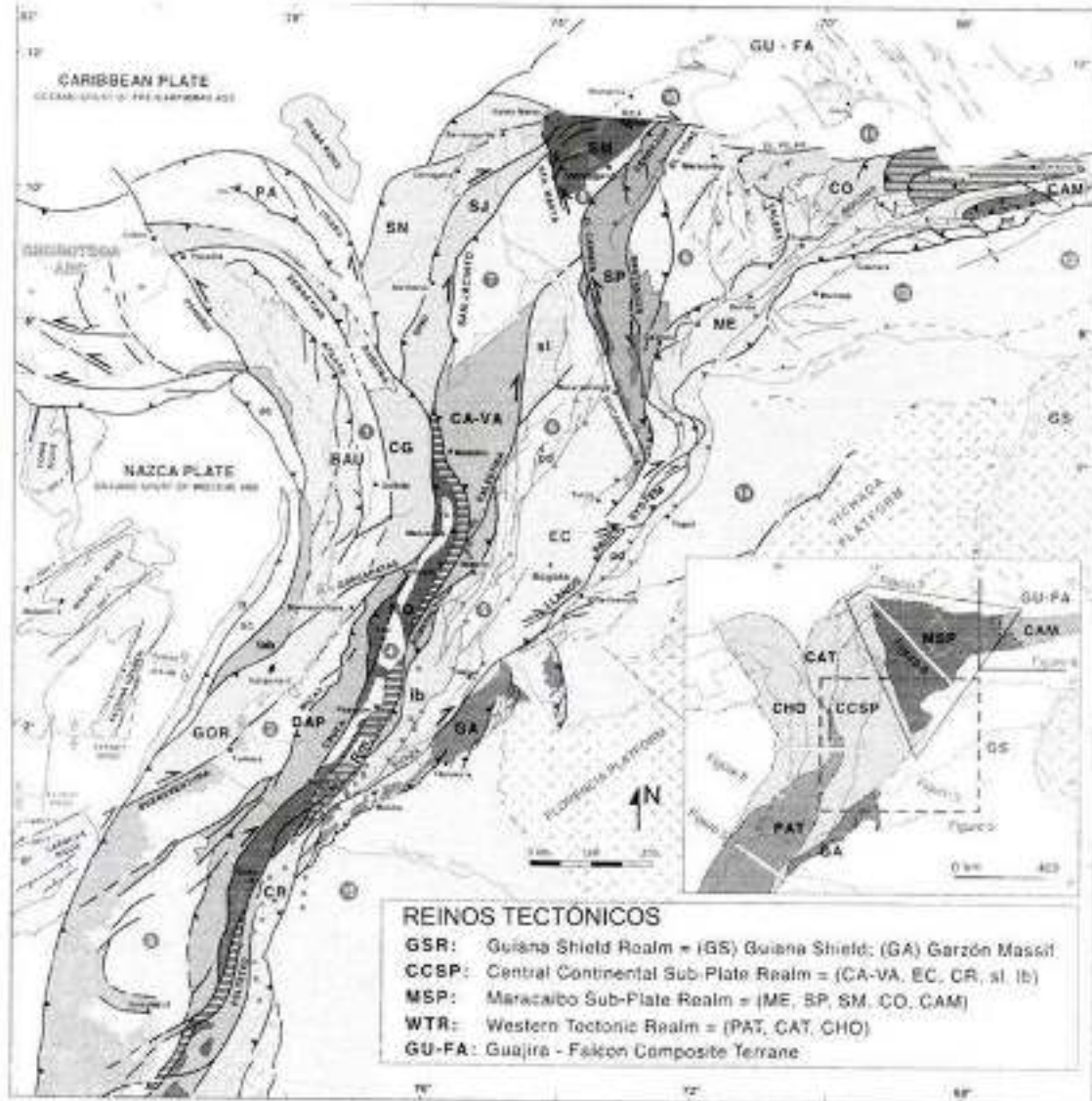


FIGURA No.2 Lithotectonic and morphostructural map of northwestern South America. GS = Guiana Shield; GA = Garzón massif; SP = Santander massif-Serranía de Perijá; ME = Sierra de Mérida; SM = Sierra Nevada de Santa Marta; EC = Eastern Cordillera; CO = Carora basin; CR = Cordillera Real; CA-VA = Cajamarca-Valdivia terrane; sl = San Lucas block; lb = 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 = Sinú terrane; GU-FA = Guajira-Falcon terrane; CAM = Caribbean Mountain terrane; RM = Romeral melange; fab = fore arc basin; ac = accretionary prism; tf = trench fill; pd = piedmont; 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 = Falcon 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 Litosférica 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 interoceánicas y ofiolitas. Todo desarrollado en un ambiente oceánico, como se ha demostrado por información paleo magnética y reconstrucciones paleo geográficas (Estrada, 1995; Cediell 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.

### 5.2.3.1 Discusión y recomendación sobre el modelo tectónico

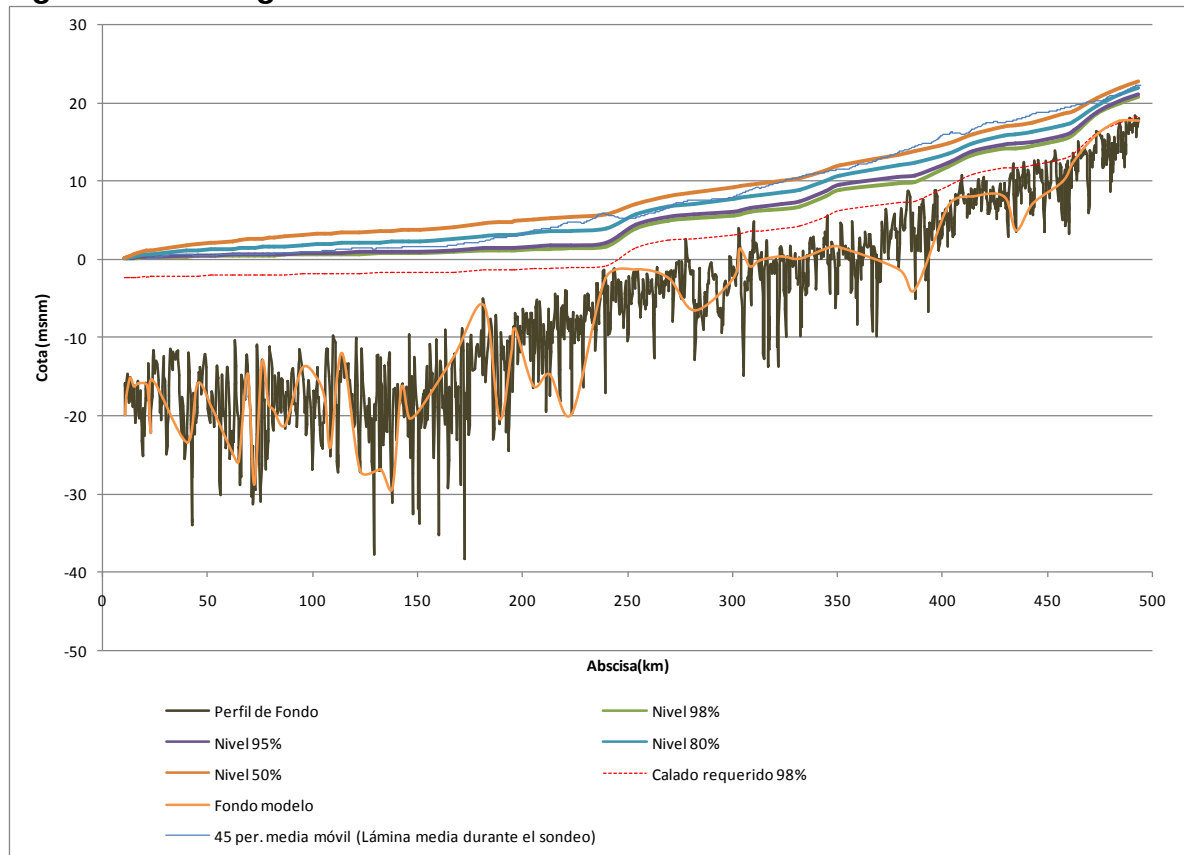
Después de evidenciar la complejidad de este modelo tectónico planteado, cabe preguntarse a modo de discusión cómo la tectónica regional afecta el geosistema del río Atrato y particularmente las condiciones de su vulnerabilidad a las inundaciones, a la erosión, al cambio de gradiente hidráulico, a los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

Del análisis del perfil longitudinal del río Atrato (Figura) 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 Montaña y brazo Murindó) se observa una pendiente promedio del orden de  $1,5 \times 10^{-4}$  en aproximadamente 100 km contados por el brazo Montaña.



**Figura. 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 dónde 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.

### 5.3 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.

### 5.3.1 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 fono** 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.

### 5.3.2 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 Foto.

**Foto. Socavación lateral río Atrato**

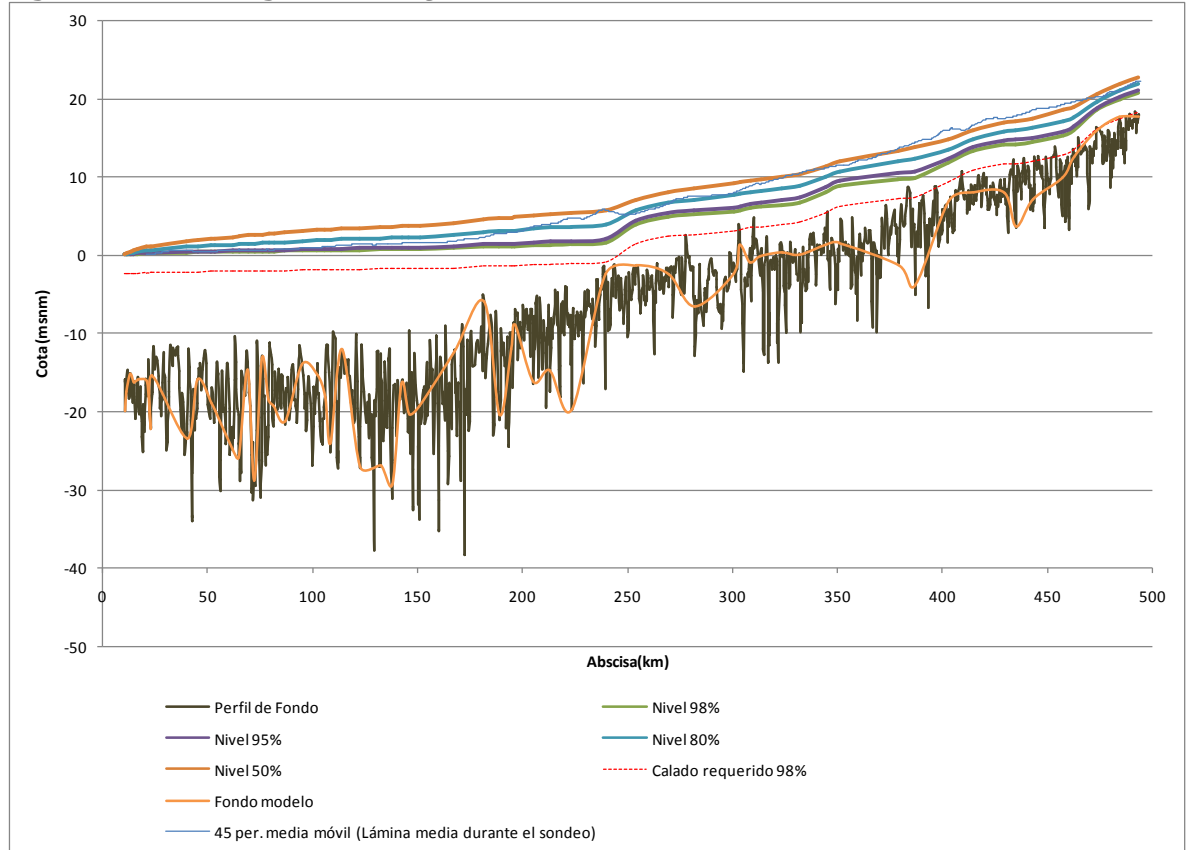




### 5.3.3 PERFIL LONGITUDINAL DEL RÍO ATRATO (QUIBDÓ-URABÁ).

El perfil longitudinal del río Atrato se obtuvo a través del levantamiento topobatimétrico realizado por la UTHC. Ver Figura.

**Figura. Perfil Longitudinal, Quibdó-Urabá**

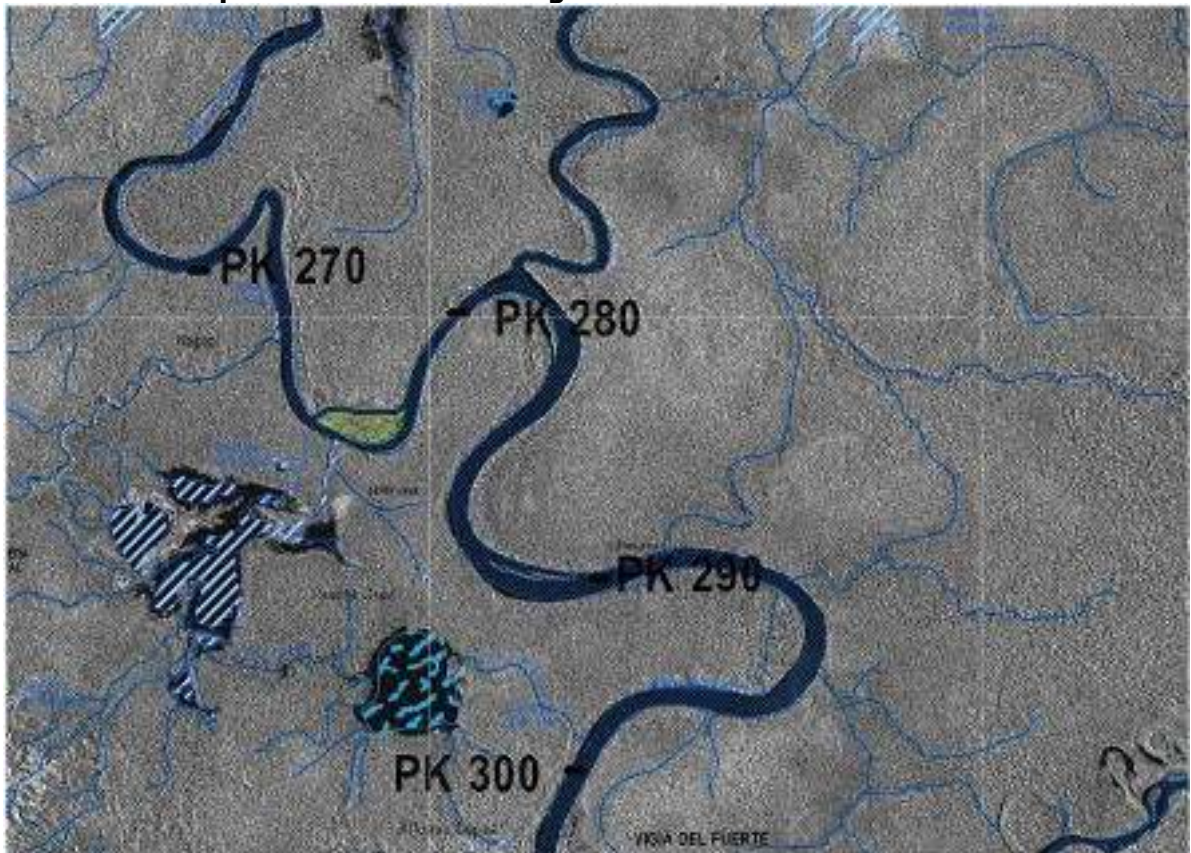


Puesto que el río Atrato transita hacia el mar, presenta una pendiente hacia el mismo, y su valle es controlado por el nivel del mar. En general se puede decir que es cóncavo, aunque en el tramo comprendido entre los PK-240 y PK 494 se presentan cambios bruscos de pendiente que pueden deberse a neotectónica 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.

### 5.3.4 CANAL DEL RÍO ATRATO

El canal del río Atrato es un canal meandriforme con un alto grado de sinuosidad, 1,63 ( $493.466 = \text{Longitud del canal} / 301992 = \text{Longitud del valle}$ ), 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 Foto.

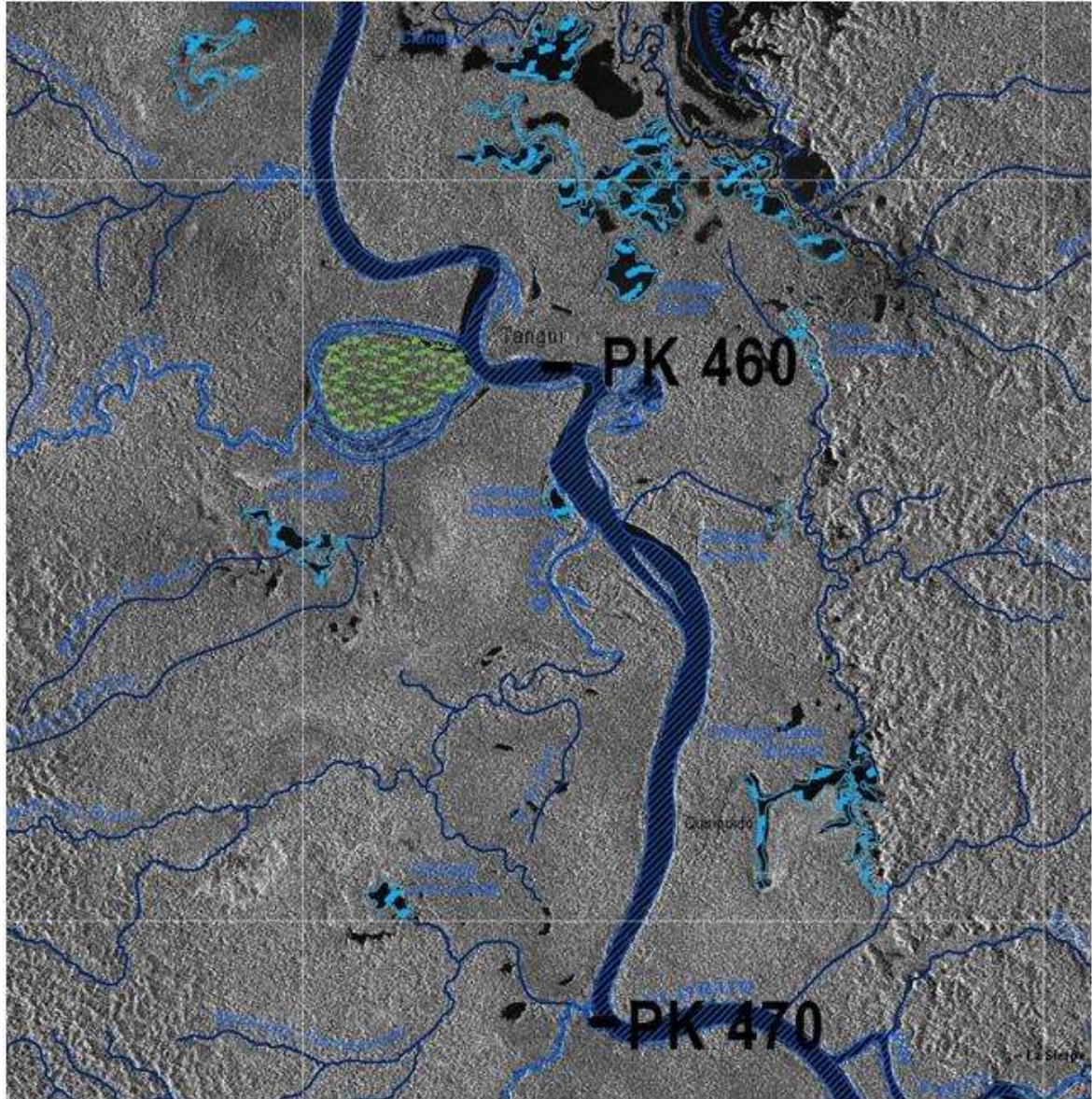
**Foto. Radarmapa ilustrativo del alto grado de sinuosidad del canal del Atrato.**



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, abanicos de desborde y depósitos orgánicos ricos en turba. Ver Foto.



**Foto. 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.

#### 5.3.4.1 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 (Q2a1). 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.

#### 5.3.5 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 Pleamares y Bajamares 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 Radarmapa.

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.



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



### 5.3.6 ASPECTOS MORFOESTRUCTURALES DEL PACÍFICO COLOMBIANO.

Según la **"INVESTIGACIÓN INTEGRAL DEL ANDÉN PACÍFICO COLOMBIANO"** en el Pacífico colombiano se distinguen cuatro provincias geomorfológicas, a saber:

"Cordillera Occidental, Serranías del Baudó y Darién, Depresión del Atrato y San Juan y la provincia correspondiente a la Costa del Pacífico colombiano. Desde el punto de vista Geoestructural, las dos primeras provincias corresponden a cordilleras de plegamiento del sistema andino suramericano, mientras que las dos últimas se asocian a las grandes cuencas sedimentarias de esta parte del subcontinente suramericano.

Para comprender el origen y desarrollo morfogenético de estas provincias geomorfológicas es necesario analizar las características geotectónicas regionales a través de varios esquemas propuestos por autores como Case et al (1971), Estrada (1972), Toussaint y Restrepo (1976) y Barlow (1981), quienes coinciden en señalar que durante el Cretáceo Tardío y el Terciario Temprano hubo un salto de la zona de subducción hacia el occidente de la antigua zona de subducción (trench o fosa del Valle del Cauca) de la placa de Nazca con creación de un nuevo trech o fosa que actualmente corresponde a la depresión Atrato-San Juan y cuya actividad se reflejó en el levantamiento y evolución de la cordillera Occidental.

Ese bloque del Atrato (dentro del geosinclinal Bolívar de Nygren, 1950), está conformado por una potente secuencia de rocas sedimentarias del Terciario y potentes rellenos de sedimentos del Cuaternario; esta secuencia yace sobre un basamento deformado, corrido y plegado del Cretáceo, el cual generó entonces dos arcos, uno interno correspondiente a la cordillera Occidental y otro externo constituido por la serranía del Baudó. Ambos están conformados por vulcanitas básicas intruidas por stocks ultrabásicos y félsicos y ocupan las márgenes de la actual depresión del Atrato tomado de Dickinson y Seely, 1979 citados por Gómez, H, (1986). En consecuencia, el Andén Pacífico y específicamente la porción más norte perteneciente a los departamentos de Chocó y Antioquia parece abarcar tres dominios estructurales, a saber:

1. El arco de Baudó, presente en el sector noroccidental; está conformado por una acreción de escamas tectónicas definidas por fallas inversas, con convergencia hacia el oeste, las cuales muestran regionalmente un efecto de dirección sinextral.

2. El flanco occidental de la cordillera Occidental, que viene a constituir el frente de Subducción de la “escama” del Atrato, como arco interno y como frente de la primera placa migratoria hacia el oriente.
3. La cuenca plegada del Chocó, cuyo dominio estructural ocupa la mayor parte de la superficie localizada entre las estructuras anteriores, pero que se prolongan hacia el sur en los departamentos de Valle, Cauca y Nariño."

### 5.3.6.1 Morfogénesis y morfografía del Pacífico Colombiano

"Un repaso rápido de las principales características geomorfológicas del Pacífico colombiano ha permitido deducir que éstas han sido el resultado de la interacción de procesos tectodinámicos y morfodinámicos, a través del tiempo geológico. Entre los primeros se destaca la Orogénesis, proceso complejo responsable del levantamiento de la cordillera Occidental y de las serranías del Darién y Baudó, acompañado de fuertes plegamientos y fracturamientos de los materiales volcánicos (producto del volcanismo básico submarino) y las acumulaciones sedimentarias producidas con anterioridad sobre la margen continental que bordeaba entonces a la ya levantada cordillera Central. Acompañado igualmente de hundimientos, movimientos sísmicos, intrusiones magmáticas puestas de manifiesto con los batolitos de Mandé, Anchicayá y otros plutones menores, y un metamorfismo primario de los materiales volcano-sedimentarios. El volcanismo subaéreo sólo se ha manifestado de manera directa en el sector meridional, con importantes acumulaciones de flujos de lavas, depósitos piroclásticos y sedimentos hidrovulcánicos procedentes de los volcanes Cumbal y Azufral. Más al norte, la incidencia volcánica ha sido indirecta ya que incluye algunas acumulaciones volcano-eólicas procedentes del complejo volcánico Ruiz-Tolima sobre la cordillera Central.

Con respecto a los procesos morfodinámicos exógenos, indudablemente los que mayor impacto han tenido en el modelado del relieve, tanto de la cordillera Occidental y serranía del Baudó, como de los lomeríos que se extiende a todo lo largo de la depresión central, son los de denudación fluvio-erosional, probablemente más intensos en el pasado (eras glaciales del Pleistoceno), tal como se ha mencionado antes.

Complementariamente está el trabajo de los procesos de agradación sobre los piedemontes, valles y llanuras aluviales, e igualmente en las planicies costero-marinas, sobre las cuales debe destacarse la incidencia de procesos neotectónicos.

La conjugación de los procesos anteriores ofrece hoy en día un escenario conformado por diversos conjuntos de geoformas, aparentemente estables en función a su exuberante cobertura boscosa, determinada por el clima cálido-superhúmedo, probablemente prevaleciente a todo lo largo del Holoceno. No obstante, un análisis más detallado de la dinámica reciente y actual, especialmente de la relacionada con la actividad antrópica y los procesos neotectónicos, seguramente conducirá a una descripción más real del panorama presente. Entonces, para el análisis y descripción de las geoformas definidas en el área de estudio se sigue el orden de la leyenda que acompaña a los mapas geomorfológicos, la cual se ha estructurado en forma jerárquica, partiendo de las provincias geomorfológicas: cordillera Occidental, serranías del Baudó y Darién, depresión del Atrato-San Juan y Costa del Pacífico; analizando dentro de cada una de ellas sus unidades genéticas de relieve y su correspondientes paisajes geomorfológicos."

### **5.3.7 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO ATRATO SEGÚN LA "INVESTIGACIÓN INTEGRAL DEL ANDÉN PACÍFICO COLOMBIANO" (IGAC-INGEOMINAS, 2001-2005), TRAMO COMPRENDIDO ENTRE QUIBDÓ Y SU DESEMBOCADURA POR EL BRAZO TARENA (PK 494 - PK 0).**

Con base en el índice de planchas geomorfológicas de la "Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano", Figura, **la caracterización geomorfológica de la cuenca del río Atrato, tramo comprendido entre Quibdó y la desembocadura por el brazo Tarena, es así:**

#### **PLANCHA 164 – QUIBDÓ**

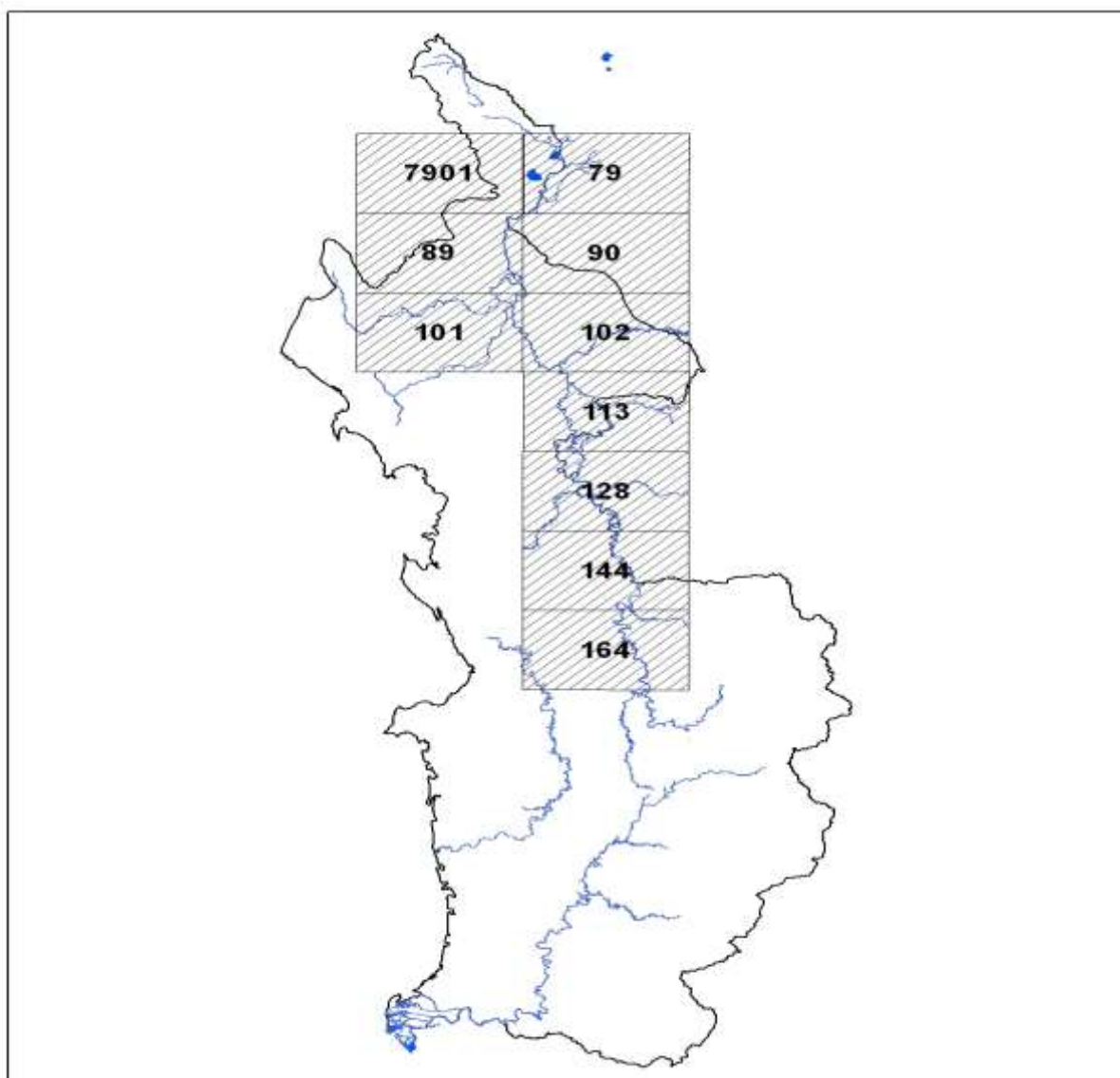
Esta plancha comprende el tramo PK 494 - PK 425 del río Atrato. Ver Plancha Geomorfológica 164-Quibdo, escala 1:100.000.

El río Atrato, en esta plancha geomorfológica, transita desde Quibdó (PK 494) y hasta el PK 425, a través de una unidad geomorfológica de origen aluvial denominada en el estudio "Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano" como **"Plano de desborde del río Atrato (L1)"**. La llanura de inundación del río Atrato está no sólo conformada por esta unidad sino también por la unidad denominada **"Terrazas agradacionales ocasionalmente inundables del río Atrato y tributarios mayores (L2)"** y la unidad **"Plano de inundación deltaico de tributarios mayores del Atrato (L3)"**.



En el costado oriental de la llanura de inundación en esta plancha se distinguen "GEOFORMAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO-SAN JUAN Y COSTA DEL PACÍFICO" concretamente **"Unidades de Origen Agradacional de Piedemonte": Abanicos aluvio-torrenciales subrecientes y antiguos de la Cordillera Occidental (P3)"** y **"Unidades de Origen Estructural-Erosional y Fluvio-Erosional": Superficie de lomas y colinas en complejo de areniscas, lodolitas y conglomerados (C1) y Cresta homoclinal y/o anticlinal en areniscas y calizas (C2)".**

**Figura. Índice de planchas geomorfológicas**





## **GEOFORMAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO – SAN JUAN Y COSTA DEL PACÍFICO - “INVESTIGACIÓN INTEGRAL DEL ANDÉN PACÍFICO COLOMBIANO” (IGAC-INGEOMINAS, 2001-2005)”**

"El tercer dominio morfoestructural del Pacífico corresponde a una gran cuenca plegada localizada entre la cordillera Occidental y la serranía del Baudó al norte y el océano Pacífico, al Sur-Occidente. Se trata de un geosinclinal fuertemente comprimido entre fallas regionales, cubierto con sucesivas capas de sedimentos clásticos, químicos y orgánicos desde el Cretáceo superior hasta el Mioceno, cuando fueron deformados, plegados y parcialmente degradados, para posteriormente ser recubiertos con materiales sueltos del Cuaternario en algunos tramos. Procesos morfodinámicos de intensa erosión fluvial ocurridos en períodos secos del Pleistoceno; un neotectonismo activo en el presente por intermedio de fallas como las de Murindó, Chachajó, Cuía, Arquía, Remolino, Timbiquí y otras; e intensa sedimentación aluvial, fluvio-volcánica, fluvio marina y marina, ocurrida en su mayor parte durante el Holoceno y la época actual, estos eventos parecen ser los responsables de las características de las unidades genéticas de esta provincia morfológica, entre las que se destacan:

1. Un extenso lomerío estructural - fluvio erosional.
2. Un piedemonte aluvial-diluvial.
3. Llanuras y valles aluviales.
4. Llanuras fluvio-marinas y marinas.

### **Unidades de origen aluvial o fluvial de valles y llanuras (L)**

"Estas unidades representativas de las llanuras y valles aluviales, ocupan las posiciones más bajas de la depresión chocoana. Por tratarse de una de las regiones más lluviosas del planeta, es comprensible que el sistema hidrográfico esté conformado por ríos caudalosos, con gran capacidad de acarreo de sedimentos. Un grupo muy importante de estas corrientes, tributan sus aguas al mar Caribe a través del río Atrato; que en conjunto conforman una compleja y extensa llanura aluvial, que en una gran parte es pantanosa, por lo que se ha llamado a la zona como el “Tapón del Darién”. Los paisajes que se desarrollan asociados a estas corrientes, han dado lugar a valles aluviales."

### **Plano aluvial de desborde del río Atrato (L1)**

El río Atrato es una corriente de régimen meándrico que transcurre por una llanura de muy bajo gradiente, factor que incide directamente sobre el patrón de

inundaciones por desbordamiento lateral y, consecuentemente, sobre su patrón de sedimentación selectiva. Esta última ha generado como rasgos morfológicos para destacar, un dique natural incipiente, ver Foto, cuyos materiales dominantes corresponden a aluviones arcillosos y material orgánico (turbas) en diferente estado de descomposición. Los sectores más bajos están ocupados hoy en día por ciénagas y sus pantanos circundantes; en consideración a su extensión éstos se han identificado cartográficamente con el símbolo (L0).

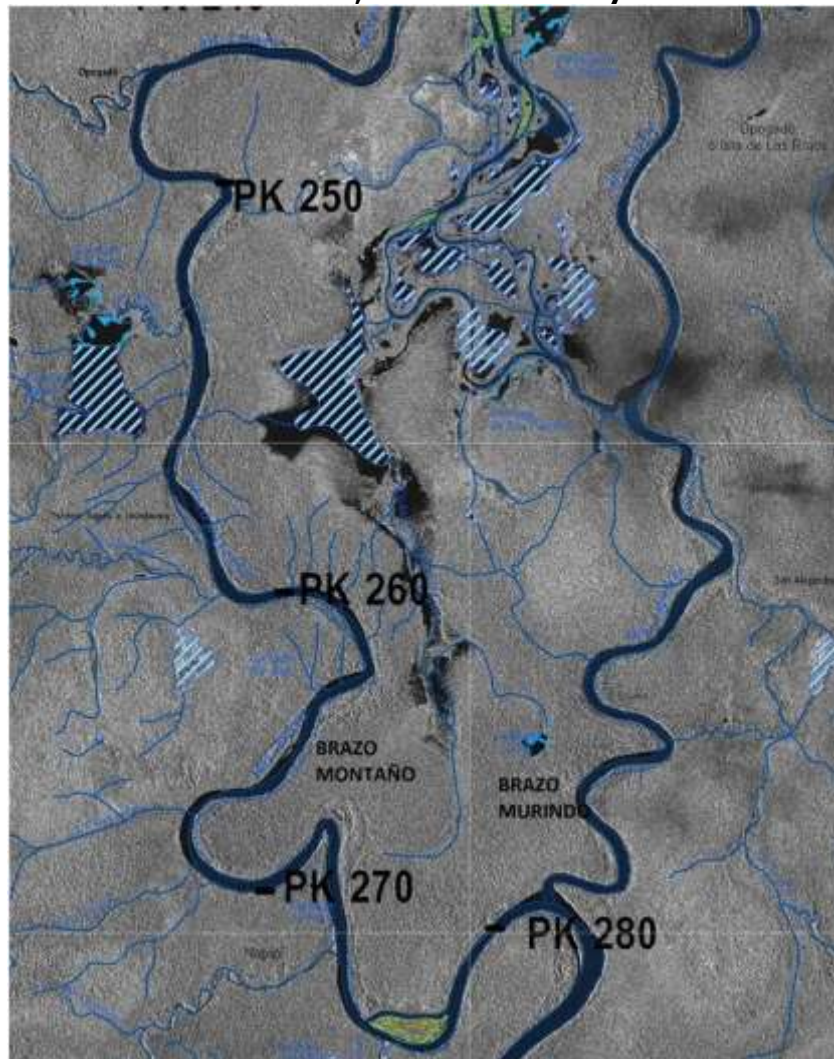
**Foto. Plano aluvial de desborde del río Atrato (L1)**



Otros rasgos para destacar en el plano de desborde del río Atrato son unos pocos meandros abandonados y complejos de orillares, especialmente en el trayecto entre los poblados de Quibdó y Vigía del Fuerte, lo cual insinúa una baja actividad de la corriente respecto al proceso de formación de los meandros y migración lateral. En cambio, aguas abajo de la segunda población mencionada, el plano inundable se ensancha y la corriente se divide en dos brazos mayores, el de Murindó y el Montañón, ver Foto, que encierran la denominada Isla Grande, de alrededor de 90 kilómetros de longitud y unos 8 a 15 kilómetros de amplitud. En el mismo sector, numerosos difluentes menores se desprenden de los brazos principales, determinando un complejo sistema de depresiones fluvio-deltaicas.

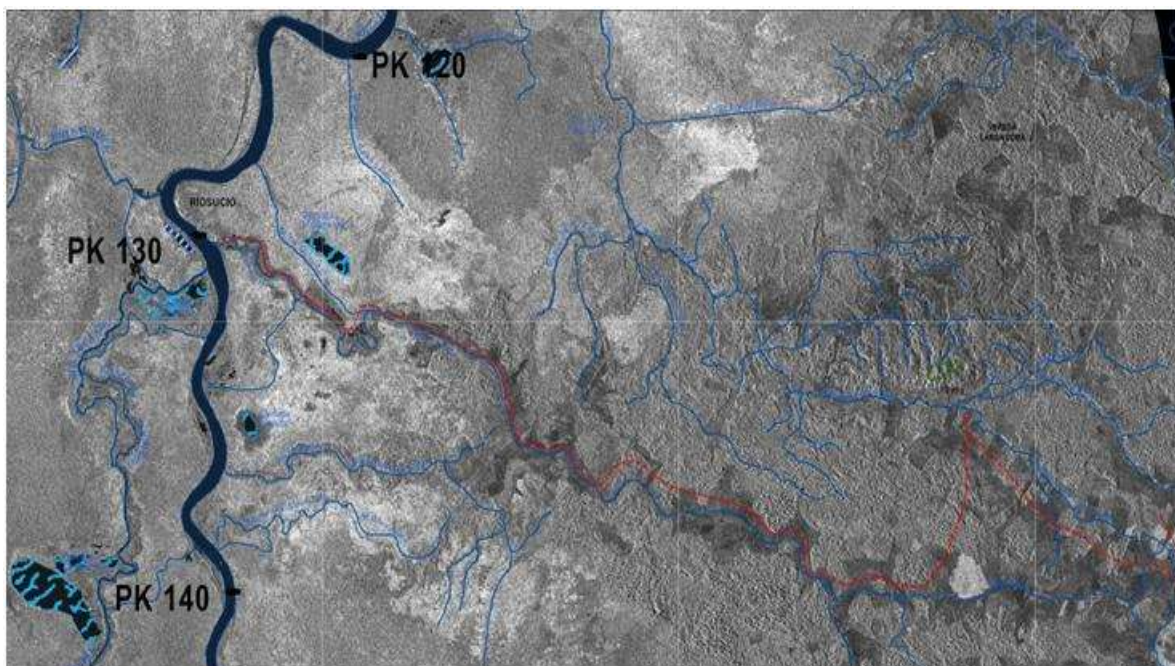
Parece evidente que la abundante sedimentación lateral del río Sucio, por la margen derecha y un ramal de la serranía del Baudó, por la izquierda, han contribuido a estrechar el plano de desborde del río Atrato, ver Foto, aguas abajo del cierre de la isla Grande, ver Foto, incidiendo en las características morfológicas de la mencionada depresión.

**Foto. Bifurcación en la Isla Grande, Brazo Montañó y Brazo Murindó, PK 281**



**Foto. Desembocadura del río "Riosucio" en el Atrato, PK 130**





**Foto 5-1. Cierre de la "Isla Grande", PK 196**



Unos 7 kilómetros al norte de Tumaradó, el río Atrato termina su recorrido formando un delta controlado fluvialmente, ver Fotos, que penetra mar adentro en las aguas del golfo de Urabá por medio de varios brazos (Leoncito, Coquitos (Bocas del Atrato), Matuntungo, Pavas, el Roto y Tarena), ver Fotos.

**Foto. Brazo Leoncito, Delta del Atrato**



**Foto. Brazo Coquitos (Bocas del Atrato), Delta del Atrato**





**Foto. Brazo el Roto, Delta del Atrato**



**Foto. Brazo Tarena, Delta del Atrato**



La escasa profundidad del lecho marino en el golfo de Urabá; la baja intensidad de sus corrientes de deriva litoral; el enorme caudal del río Atrato, con su abundante carga de sedimentos en forma de aluviones y quizás la predominancia de sales de calcio y magnesio en las aguas del mar, probablemente sean los factores que han contribuido al desarrollo del delta.

**Foto. Golfo de Urabá**



**Terraza agradacional del río Atrato y sus tributarios (L2)**

Hacia las márgenes del plano aluvial del Atrato y de sus principales afluentes se han cartografiado terrazas agradacionales discontinuas, aparentemente correspondientes a uno o quizás dos niveles, difícilmente discernibles en las imágenes de radar y aún en el terreno, debido al denso bosque que las cubre y al escaso desnivel de sus taludes. Teóricamente, las terrazas son anteriores niveles de sedimentación que han quedado en posiciones más elevadas respecto a la corriente madre, al punto de no ser inundables por ésta, debido a incisión en sus

propios sedimentos ocasionada por un descenso repentino del nivel de base de erosión.

Para el caso del río Atrato, parece que esa incisión no ha sido significativa, predominando más bien una continúa agradación y nivelación hacia arriba. Por ello, los mejores ejemplos de terrazas corresponden a sus tributarios, entre los que se destacan los ríos San Pablo-Quito, al sur y oeste de Yuto; Truandó-Chintadó; Domingodó y Riosucio.

En todos los casos las terrazas son geoformas de relieve plano, con pendientes casi a nivel, cruzadas por numerosas corrientes menores y caños que les comunican una microtopografía algo irregular, con sectores plano-convexos y otros plano-cóncavos; todas son encharcables por las constantes lluvias que caen en la región y algunas quizás sean esporádicamente inundables. Internamente las terrazas muestran capas de aluviones relativamente frescos, de granulometría mediana y oscurecidas por abundante materia orgánica en los estratos superiores; más finas en los intermedios y con fuertes evidencias de hidromorfismo, especialmente en los sectores cóncavos. A mayor profundidad suelen aparecer capas de cantos rodados del tipo cascajo y gravilla, ricos en chert, cuarzo, arenisca y diabasas, las cuales yacen a su vez sobre otras capas arcillosas de color blancuzco y de mayor espesor.

### **Plano de inundación deltaico de afluentes del río Atrato (L3)**

La llanura compleja del Atrato se complementa con los extensos planos de inundación de sus tributarios de las dos márgenes, ríos Sucio, Jiguamiandó, Truandó, Salaquí y otros menores, además del río León, los cuales muestran un patrón especial de sedimentación. En efecto, al penetrar estas corrientes en el plano aluvial pantanoso del río Atrato, han explayado sobre éste su carga de sedimentos en suspensión, a modo de un delta, dentro del cual están cambiando continuamente de curso, en especial después de crecidas excepcionales, o por efecto de los frecuentes movimientos telúricos que afectan a la región, caso reciente del río Salaquí, o también por las empalizadas que suelen formarse en algunos puntos del lecho de los ríos, con los troncos desprendidos y acarreados por éstos. La morfología de estos planos de inundación deltaica permite destacar superficies regulares, con pendientes entre 0-2%, dentro de las cuales se aprecian:

- a) Albardones incipientes y estrechos asociados a los cauces abandonados y activos, los cuales comprenden aluviones medianos y un microrelieve suavemente convexo; características que inciden en su moderada condición de drenaje.



b) Áreas interfluviales que abarcan la mayor extensión de topografía plana inundadas y encharcadas. Si bien estas unidades son frecuentemente inundadas y encharcadas, las aguas no se estancan por períodos prolongados tal como sucede en el plano pantanoso del Atrato, donde sólo crece vegetación hidrófila, herbácea y arbustiva. No obstante, su utilización requiere de la construcción de sistemas de avenamiento."

### **Abanicos aluvio-torrenciales subrecientes y antiguos de la cordillera Occidental (P3)**

Los abanicos subrecientes y antiguos (Holoceno inferior-Pleistoceno) que se explayan a partir del río Murri hacia el sur, en su mayoría están recubriendo parcialmente las colinas y lomas de la gran depresión intercordillerana, parte de las cuales, están siendo exhumadas nuevamente debido a la acción de la erosión fluvial. Los abanicos de esta unidad son de mayores dimensiones, con inclinaciones que varían entre 3-7-12%, algunos mostrando cierto desnivel en su parte superior ocasionada por la actividad de la falla de Murindó. En el pasado parecen haber sido disectados con diferente intensidad o por períodos de tiempo variables; así lo atestiguan los barrancos, taludes y cárcavas que los cruzan de este a oeste, estabilizadas hoy en día por una densa cobertura vegetal. Además de las características externas descritas antes, estas geoformas presentan materiales polimícticos, heterométricos y heterogéneos, no siempre bien sorteados, con cantos rodados de 5 a 30 cm o más de diámetro, bastante alterados, y con una matriz arcillosa probablemente de neoformación. Es indudable que los estratos inferiores pedregosos, fueron producto de una sedimentación torrencial, mientras que las capas superiores lo fueron de una depositación aluvial en ambiente más tranquilo. La mayoría de las corrientes que dieron origen a los depósitos de abanicos más antiguos, aparecen ahora incisando sus propios sedimentos, y dando origen a vallecitos colmatados.

### **Superficie de lomas y colinas (C1)**

Corresponde a una superficie de lomas y colinas bajas, con desniveles de 5 a 30 metros, desarrolladas en estratos delgados de areniscas feldespáticas, arcillolitas, limolitas y conglomerados, materiales que afloran indistintamente en las laderas, recortados por la erosión, proceso que ha borrado casi por completo los rasgos estructurales originales, especialmente aquellos debidos al plegamiento.

Esta unidad se localiza exclusivamente a los lados del plano inundable (curso medio e inferior) del río Atrato, desde las fuentes del río Quito hasta la confluencia con los ríos Perancho y Tamboral, especialmente sobre la margen izquierda, donde aparece de manera continua, alcanzando en varios sectores alrededor de 12 kilómetros de amplitud. En la margen derecha, las colinas y lomas sólo se

presentan a partir del río Murri, hacia el sur, en forma discontinua, claramente afectadas por la falla Murindó. La mayor energía de los ríos que descienden de la cordillera Occidental ha determinado el acarreo de una mayor carga de sedimentos, la cual se ha explayado al pie de la misma, recubriendo parcialmente al lomerío. Los mantos de meteorización son muy espesos y con signos de una fuerte evolución pedogenética, más aún, cuando los estratos superiores son de limolitas y arcillolitas. A pesar de la topografía colinada, las alteritas muestran signos de hidromorfismo (colores grises, azulosos), indudablemente ocasionada por las fuertes y constantes lluvias que caracterizan a la región. La red de drenaje que presenta es del típico patrón dendrítico, muy denso y moderadamente profundo, con segmentos cortos. Estos drenajes tienen una sección transversal en V, casi siempre cubiertas de bosque protector y sin huellas de una acción degradacional activa. No obstante, en aquellos sectores donde se ha talado el bosque y se han construido vías de penetración, se advierte una gran fragilidad del paisaje con relación a la erosión fluvial.

### **Cresta homoclinal y/o anticlinal en areniscas y calizas (C2)**

Son lomas alargadas, de unos 50 a 100 m de desnivel, correspondientes a estructuras anticlinales y crestas homoclinales desarrolladas en areniscas y calizas interestratificadas.

En el costado occidental de la llanura de inundación en ésta plancha (164) se distinguen "GEOFORMAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO-SAN JUAN Y COSTA DEL PACÍFICO" concretamente **"Unidades de Origen Estructural-Erosional y Fluvio-Erosional": Superficie de lomas y colinas en complejo de areniscas, lodolitas y conglomerados (C1)** a través de toda la plancha en sentido Norte-Sur. Adicionalmente se distinguen "GEOFORMAS DE LAS SERRANÍAS DEL BAUDÓ DARIÉN" concretamente **"Unidades de Origen Estructural-Erosional": Espinazo homoclinal en limolita, lodolita y arenisca arcillosa (S1) y Espinazo homoclinal y/o anticlinal compuesto de caliza, limolita calcárea y arenisca conglomerática (S2). "Unidades de Origen Agradacional": Valle aluvial-plano inundable (V2) y Piedemonte aluvial y/o coluvial (V4).**

### **Unidades de Origen Estructural-Erosional (S)**

Se trata de geoformas predominantes en la vertiente oriental de la serranía del Baudó, en donde conforman uno de los flancos de un enorme sinclinal, cuyo eje sigue aproximadamente el curso del río Atrato; éste ha sido originado por compresión de potentes capas de rocas sedimentarias de edad terciaria, durante el levantamiento de la cordillera Occidental y de la propia serranía del Baudó. Justamente sobre el primero de los orógenos se recuestan los materiales del otro flanco del sinclinal, a modo de una pequeña serranía marginal.





Con excepción de algunos pocos pliegues de tipo anticlinal y sinclinal, definidos en los alrededores de los ríos Salaquí y Truandó; y en la zona del Alto Baudó (Pie de Pató), los cuales se extienden con rumbo SW-NE, hasta hundirse por debajo de los aluviones del río Atrato; la mayor parte de los estratos buzan hacia el oriente en una secuencia escalonada (echelon) que desciende gradualmente hasta la propia depresión chocoana.

### **Espinazo homoclinal en limolita, lodolita y arenisca arcillosa (S1)**

Este tipo de relieve ocupa los sectores más bajos de la serranía del Baudó, sobre su vertiente oriental, en donde tiende a confundirse con el lomerío de la depresión del Atrato, debido a la intensa disección que afectó en el pasado a las limolitas, lodolitas y areniscas arcillosas de su esqueleto. Justamente, esa disección fluvial ha sido la responsable de la fuerte modificación producida en sus rasgos estructurales originales, a tal punto de dificultarse en algunos casos la identificación y definición de los tipos de estructuras (tipo homoclinal) al que corresponde sobre las imágenes.

Esta unidad se extiende desde la frontera con Panamá hasta la parte baja del río Baudó, alcanzando de uno a diez kilómetros de amplitud y desniveles inferiores a 100 metros. Su red de drenaje es bastante densa, de aspecto dendrítico-angular, con segmentos secundarios medianamente incisados. El manto edáfico (solum) es delgado pero las rocas componentes aparecen fuertemente alteradas, aun cuando conservan su estructura de roca original.

### **Espinazo homoclinal y/o anticlinal compuesto de caliza, limolita calcárea y arenisca conglomerática (S2)**

Es una Geoforma de montañas bajas, moderadamente disectadas por un patrón de drenaje angular o paralelo de incisión media o poco profunda; con la mayoría de las corrientes hidrográficas fluyendo hacia el río Atrato, excepto el río Baudó que fluye hacia el sur hasta tributar sus aguas al océano Pacífico, dividiendo la serranía del Baudó en dos ramales: el primero conocido como Cugucnú-Coqui y el segundo Chachajó-Tauró. Al igual que la geoforma S1, ésta también se extiende desde la frontera con la república de Panamá al noroccidente, hasta el bajo Baudó.

### **Unidades de Origen Agradacional (V)**

Corresponde a un grupo de geoformas de acumulación, expuestas entre las serranías del Baudó y Darién, donde han sido construidas por sucesivos procesos de acumulación, principalmente de tipo aluvial y coluvial, entre las depresiones intramontañas circundantes.

## Valle aluvial-plano inundable (V2)

La mayoría de los ríos intramontanos que fluyen sobre las serranías de El Darién y Baudó, han originado valles aluviales, de considerable longitud y amplitud, con una topografía plana característica, sobre la cual, se ha propiciado el avance de una importante colonización que poco a poco se ha ido expandiendo con una tala indiscriminada del bosque natural para sustituirlo por pastizales y cultivos de subsistencia.

## Piedemonte aluvial y/o coluvial (V4)

En algunas depresiones intramontanas de las serranías del Darién y Baudó, así como en la parte superior de pequeñas bahías del mar Caribe y del océano Pacífico, varias corrientes fluviales han explayado sus cargas de sedimentos dando origen a pequeños piedemontes aluviales y abanicos aislados. Igualmente, los materiales de deslizamientos se han acumulado en la base de algunas laderas, construyendo piedemontes coluviales, conos y glacis coluviales aislados.

## PLANCHA 144 - RÍO TAGACHÍ

Esta plancha comprende el tramo PK 425 - PK 355 del río Atrato. Ver Plancha Geomorfológica 144- Río Tagachí, escala 1:100.000.

El río Atrato, en esta plancha geomorfológica, transita a través de la unidad geomorfológica de origen aluvial denominada en el estudio "Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano" como "**Plano de desborde del río Atrato (L1)**", con excepción del tramo comprendido entre el PK 392 y PK 386 que transita por la unidad "**Plano de inundación deltaico de los ríos Tagachí y Arquía, tributarios mayores del Atrato (L3)**".

En el costado oriental de la llanura de inundación en ésta plancha se distinguen "GEOFORMAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO-SAN JUAN Y COSTA DEL PACÍFICO" concretamente "**Unidades de Origen Estructural-Erosional y Fluvio-Erosional**": **Superficie de lomas y colinas en complejo de areniscas, lodolitas y conglomerados (C1)** de forma aislada en el sector Norte y Sur de la plancha. "**Unidades de Origen Agradacional de Piedemonte**": **Abanicos aluvio-torrenciales subrecientes y antiguos de la Cordillera Occidental (P3)**. Adicionalmente se distinguen "GEOFORMAS DE LAS SERRANÍAS DEL BAUDÓ DARIÉN" concretamente "**Unidades de Origen Estructural-Erosional**": **Espinazo homoclinal y/o anticlinal compuesto de caliza, limolita calcárea y arenisca conglomerática (S2)**. Y "GEOFORMAS DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL" específicamente "**Unidades Modeladas por Denudación Fluvio-**

**Gravitacional": Montañas erosionables ramificadas en rocas ígneas-intrusivas intermedias y félsicas (D1) y Montañas erosionables ramificadas en rocas piroclásticas-sedimentarias (D4). "Unidades de Origen Depositacional: Aluvial-coluvial": Coluvio de remoción en masa y glacis coluvial (A4).**

### **Unidades Modeladas por Denudación Fluvio-Gravitacional (D)**

En principio se incluyen en esta unidad genética de relieve, las montañas y elevaciones menores del terreno cuya morfología se atribuye exclusivamente a la acción de los procesos de erosión fluvial y remoción en masa, tal como la esculpida en las rocas intrusivas intermedias-félsicas y máficas-ultramáficas. Sin embargo, también se cobijan las montañas originadas por plegamiento y volcanismo, como las correspondientes a las formaciones litológicas volcánicas efusivas y explosivas, rocas sedimentarias y metasedimentarias, las cuales han sido casi totalmente modificadas en sus rasgos morfológicos iniciales por el trabajo de los agentes denudacionales.

#### **Montañas erosionables ramificadas en rocas ígneas-intrusivas intermedias y félsicas (D1)**

La unidad de mayores dimensiones correspondiente a este paisaje se presenta en el ramal marginal noroccidental de la cordillera Occidental, sobre el denominado batolito de Mandé, extendiéndose de sur a norte por unos 250 kilómetros, prácticamente desde el río Tamaná hasta el cerro del Cuchillo en la zona de Urabá, con una amplitud que varía entre 5 y 20 kilómetros aproximadamente. Entre los ríos Tamaná y Atrato se presenta en forma interrumpida, para luego continuar hacia el norte como una unidad compacta, enmarcada en su mayor parte por montañas cuyo esqueleto principal está constituido por rocas de composición diabásico basálticas y volcano-sedimentarias.

La falla de Murindó y sus sistemas satélites asociados afectan esta unidad de sur a norte; las evidencias de actividad reciente, parecen haber determinado un fuerte fracturamiento de las rocas de composición diorítica, horbléndica, monzonítica y cuarzomonzonítica favoreciendo con ello una intensa meteorización, con generación de espesos mantos de alteritas. Estos mantos de saprolito fueron parcialmente removidos por grandes y numerosos deslizamientos inducidos por los fuertes movimientos sísmicos ocurridos en 1992 y que han afectado seriamente a una parte de la región.

### **Montañas erosionables ramificadas en rocas piroclásticas-sedimentarias (D4)**

Intercaladas entre las montañas de composición ígnea intrusiva y extrusiva, a lo largo de unos 80 kilómetros, se localiza un paisaje de montañas poco ramificadas, y de menor elevación, con cimas e interfluvios subagudos a semirredondeados, laderas cortas y algo irregulares, surcadas por una red de drenaje subparalelo, medianamente densa, poco profundo, con cierto control estructural determinado por sistemas de diaclasas que se destacan sólo en algunos sectores. Con algún intervalo sobresalen varios cerros de aspecto cónico, con un patrón de drenaje radial a semiradial, los cuales rompen la monotonía del paisaje.

Una pequeña unidad de aspecto colinado a alomado, muy densamente disectada, fue reconocida a orillas del río Pavarandó, cerca a la confluencia con el río Sucio. Los materiales geológicos conformados principalmente por aglomerados, tobas y brechas estratificadas, con algunas lavas intercaladas, se hallan afectados por una fuerte denudación.

En el costado occidental de la llanura de inundación en ésta plancha se distinguen "GEOFORMAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO-SAN JUAN Y COSTA DEL PACÍFICO" concretamente **"Unidades de Origen Estructural-Erosional y Fluvio-Erosional": Superficie de lomas y colinas en complejo de areniscas, lodolitas y conglomerados (C1)** a través de toda la plancha en sentido Norte-Sur. Adicionalmente se distinguen "GEOFORMAS DE LAS SERRANÍAS DEL BAUDÓ DARIÉN" concretamente **"Unidades de Origen Estructural-Erosional": Espinazo homoclinal en limolita, lodolita y arenisca arcillosa (S1) y Espinazo homoclinal y/o anticlinal compuesto de caliza, limolita calcárea y arenisca conglomerática (S2).**

### **PLANCHA 128 - RÍO MURRÍ**

Esta plancha comprende el tramo PK 355 - PK 255 del río Atrato. Ver Plancha Geomorfológica 128- Río Murrí, escala 1:100.000.

El río Atrato, en esta plancha geomorfológica, transita a través de la unidad geomorfológica de origen aluvial denominada en el estudio "Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano" como **"Plano de desborde del río Atrato (L1)"**. La llanura de inundación en este tramo presenta también **"Terrazas agradacionales ocasionalmente inundables del río Atrato y tributarios mayores (L2)"** y la unidad **"Plano de inundación deltaico de tributarios mayores del Atrato (L3)"**, entre los que se destacan los de los ríos Murri y Bojayá.



La llanura de inundación del río Atrato en esta plancha, se amplía considerablemente aguas abajo del PK 310, exactamente a partir de la desembocadura de los ríos Murri y Bojaya.

En el costado oriental de la llanura de inundación en ésta plancha se distinguen "GEOFORMAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO-SAN JUAN Y COSTA DEL PACÍFICO" concretamente **"Unidades de Origen Estructural-Erosional y Fluvio-Erosional": Superficie de lomas y colinas en complejo de areniscas, lodolitas y conglomerados (C1)** de forma aislada en el sector Sur y Noreste de la plancha. **"Unidades de Origen Agradacional de Piedemonte": Abanicos aluvio-torrenciales subrecientes y antiguos de la Cordillera Occidental (P3) y Abanicos aluviales recientes (P2)**. Adicionalmente se distinguen "GEOFORMAS DE LAS SERRANÍAS DEL BAUDÓ DARIÉN" concretamente **"Unidades de Origen Estructural-Erosional": Espinazo homoclinal y/o anticlinal compuesto de caliza, limolita calcárea y arenisca conglomerática (S2) y Espinazo homoclinal en limolita, lodolita y arenisca arcillosa (S1)**. Se identifican también "GEOFORMAS DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL" específicamente **"Unidades Modeladas por Denudación Fluvio-Gravitacional": Montañas ramificadas en rocas lávicas máficas, con o sin mantos de toba y/o ceniza volcánica (D3) y "Unidades de Origen Depositacional: Aluvial-Coluvial": Coluvios de remoción en masa y glaciares coluvial (A4).**

### **Abanicos Aluviales Recientes (P2)**

Son los abanicos más jóvenes (Holoceno), localizados en el tramo norte, en los alrededores de Murindó y caracterizados por su topografía regular, ligeramente inclinada a casi plana, sin disección visible. En la parte proximal, los sedimentos son arcillosos, con regulares fragmentos gravillosos en el subsuelo; parecen corresponder a coluviones finos, de reciente acumulación y cuya alteración no ha sido in situ. En los sectores medio y distal, los materiales son medianos (francosos), bien sorteados, con pocas gravillas en las capas inferiores. La base parece sumergirse bajo los aluviones del río Atrato, cuya capacidad de acumulación de sedimentos lógicamente es mayor.

### **Coluvios de remoción y glaciares coluvial (A4)**

Este paisaje comprende geoformas dispersas en terreno montañoso, determinadas por acumulación gravitacional e hidrogravitacional, tanto de los productos heterométricos de deslizamientos, desprendimientos y desplomes, como de flujos de lodo y material fino translocado por reptación y escurrimiento difuso.

Al este y sureste de la población de Murindó y hasta el río Murri se identificaron varios depósitos coluviales al pie de las montañas ramificadas del batolito de Mandé, lógicamente estos depósitos están constituidos por coluviones derivados de rocas tipo: monzonitas, monzodioritas y tonalitas. Es probable que el terremoto de octubre de 1992, ocasionado por la actividad de la falla de Murindó, hubiera incrementado tanto la carga de sedimentos en el lecho de los ríos, como el espesor de los depósitos coluviales, ya que las espesas alteritas félsicas e intermedias de las montañas circundantes fueron afectadas por numerosos deslizamientos de tipo rotacional.

### **Montañas ramificadas en rocas lávicas máficas, con o sin mantos de toba y/o ceniza volcánica (D3)**

Si se toma en cuenta la naturaleza de los materiales que dieron cuerpo a la cordillera Occidental, podrá entenderse porque las lavas almohadilladas constituyen la columna vertebral de este sistema en toda su extensión, y la razón para que su relieve característico aparezca por todos los pisos térmicos altitudinales de las dos vertientes.

Concretándonos a la franja climática cálido-húmeda del flanco occidental, allí se hallan cadenas de montañas asimétricas, con considerable desnivel, con sus crestas subagudas moderadamente ramificadas y un patrón de disección subparalelo a subdendrítico de mediana densidad y regular profundidad de los drenajes secundarios.

Debido a que sobre los basaltos y diabasas se suelen desarrollar mantos espesos de meteorización, especialmente bajo condiciones climáticas agresivas, sobre estas montañas no se aprecian rasgos estructurales bien definidos, tales como aquellos determinados por diaclasamiento. A lo anterior, hay que agregar la presencia de mantos de ceniza volcánica procedentes del complejo Ruiz-Tolima, los cuales contribuyen a la suavización del paisaje y a la atenuación de ciertos rasgos del tipo de relieve preexistente.

Inicialmente aparecen unos 10 kilómetros al sur del río Sucio (departamento del Chocó), enmarcando por este y oeste a las montañas del batolito de Mandé; cruza hacia el sur por el río Murindó continuando hasta el río Murri (departamento de Antioquia).

En el costado occidental de la llanura de inundación en ésta plancha se distinguen "GEOFORMAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO-SAN JUAN Y COSTA DEL PACÍFICO" concretamente **"Unidades de Origen Estructural-Erosional y Fluvio-Erosional": Superficie de lomas y colinas en complejo de areniscas,**

**lodolitas y conglomerados (C1)** a lo largo de toda la plancha. **"Unidades de Origen Agradacional de Piedemonte": Abanicos aluvio-torrenciales subrecientes y antiguos de la Cordillera Occidental (P3).** Adicionalmente se distinguen **"GEOFORMAS DE LAS SERRANÍAS DEL BAUDÓ DARIÉN"** concretamente **"Unidades de Origen Estructural-Erosional": Espinazo homoclinal y/o anticlinal compuesto de caliza, limolita calcárea y arenisca conglomerática (S2) y Espinazo homoclinal en limolita, lodolita y arenisca arcillosa (S1), Valle aluvial: Terrazas no inundables (V3).**

### **Valle aluvial: Terrazas no inundables (V3)**

Las terrazas son geoformas que también hacen parte de los valles aluviales, dentro de los cuales ocupan posiciones más altas que el plano inundable, siendo por ello menos susceptibles a las inundaciones periódicas, pero no exentas de los encharcamientos por lluvias. Además, los sedimentos son más antiguos, sin posibilidad de rejuvenecerse por nuevos aportes, sino más bien con tendencia a seguir su curso normal de alteración y el nuevo desarrollo de suelos.

Al igual que en los planos de inundación, la naturaleza de los aluviones de las terrazas está ligada a las características litológicas de las cuencas hidrográficas drenadas. Los siguientes valles incluyen terrazas: ríos Salaquí, Opogodó y Napipí. En todos se reconocen extensas terrazas bajas, probablemente de edad subactual (Holoceno Superior), con sedimentos francos o finos y arcillosos de composición básica. Dada la densa cobertura de bosque que sustentan y la escasa actividad antrópica, es probable que actualmente correspondan a unidades geomorfológicamente estables.

## **PLANCHA 113 - MURINDÓ**

Esta plancha comprende el tramo PK 255 - PK 187 del río Atrato. Ver Plancha Geomorfológica 113 - Murindó, escala 1:100.000.

El río Atrato, en esta plancha geomorfológica, transita a través de la unidad geomorfológica de origen aluvial denominada en el estudio "Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano" como **"Plano de desborde del río Atrato (L1)".** La llanura de inundación en este tramo presenta también la unidad **"Plano de inundación deltaico de tributarios mayores del Atrato (L3)",** entre los que se destacan los de los ríos Opogodó y Domingodó. En la llanura de inundación se destacan las zonas inundables y las ciénagas (L0).

En el costado oriental de la llanura de inundación en ésta plancha se distinguen **"GEOFORMAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO-SAN JUAN Y COSTA DEL**

PACÍFICO" concretamente **"Unidades de Origen Agradacional de Piedemonte": Abanicos aluvio-torrenciales subrecientes y antiguos de la Cordillera Occidental (P3) y Abanicos aluviales recientes (P2).** Adicionalmente se distinguen "GEOFORMAS DE LAS SERRANÍAS DEL BAUDÓ DARIÉN" concretamente **"Unidades de Origen Estructural-Erosional": Espinazo homoclinal y/o anticlinal compuesto de caliza, limolita calcárea y arenisca conglomerática (S2).** Se identifican también "GEOFORMAS DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL" específicamente **"Unidades Modeladas por Denudación Fluvio-Gravitacional": Montañas ramificadas en rocas lávicas máficas, con o sin mantos de toba y/o ceniza volcánica (D3), Montañas erosionables ramificadas en rocas ígneas-intrusivas intermedias y félsicas (D1), Montañas ramificadas (erosional-estructural) en rocas sedimentarias limo-arcillosas, conglomeráticas y calizas con intercalaciones de basaltos y diabasas (D7); "Unidades de Origen Depositacional: Aluvial-Coluvial": Coluvios de remoción en masa y glacis coluvial (A4), Valle aluvial intercolinar de ríos meándricos (A1), Valles aluvio-coluviales intramontanos (A3), Terraza aluvial nivel bajo (A5).**

### **Terraza aluvial nivel bajo (A5)**

Asociadas genética y espacialmente a los valles aluviales intercolinarios de la región de Urabá, se encuentra un nivel de terraza inferior, especialmente asociado a los ríos Mulatos, Chigorodó y Jiguamiando; estas terrazas son planas, excepcionalmente inundables, con aluviones arcillosos y francosos ricos en bases, dispuestos en capas alternas, con rasgos incipientes de alteración pedogenética puesta de manifiesto por el oscurecimiento del estrato superior y el cambio a color pardo de las capas inferiores.

Sobre el tramo contiguo a las colinas se advierte cierto recubrimiento coluvial, en tanto que hacia el talud tiende a manifestarse un hidromorfismo incipiente.

En el caso de los ríos intramontanos Bebaramá, Negua, Atrato, Munguidó, Riecito, Yantin, Timbiquí, Iscuandé, Guapí y Telembí. Éstos se han incidado en sus propios sedimentos, originando uno o más niveles de terrazas, difícilmente discernibles y mapificables a la escala de las imágenes usadas para el estudio. No obstante, en el terreno se reconoce un plano inundable y estrecho (menos de 200 m), discontinuo, con abundantes aluviones gruesos de arenas, gravas y cantos, cuya naturaleza está asociada a las características litológicas de las cuencas tributarias.

Las terrazas también son discontinuas a uno y otro lado de la corriente, con un declive general de uno a tres por ciento e inclinaciones laterales locales, a veces superiores al 3%, y determinadas por acumulaciones coluviales.



Con algunas excepciones, las terrazas también muestran perfiles de sedimentación ricos en cantos rodados y gravas con matriz, ya arcillosa o bien arenosa y francosa, con escasos rasgos y evidencias de meteorización.

### **Valles aluvio-coluviales intramontanos (A3)**

En esta unidad se agrupan todos los valles estrechos inundables, en su tramo montañoso, originados por los ríos que descienden desde la cordillera Occidental hacia las llanuras y planicies aluviales de los ríos Atrato y San Juan y sobre la costa del Pacífico, comprendida aproximadamente entre los ríos Sucio (Chocó) y Mataje (Nariño), en la frontera con Ecuador.

De norte a sur se mencionan los valles de los ríos Jiguamandó, Murindó, Mumbaradó, Condoto, San Juan, Sipí, Aguasucia y Anchicayá. Otros ríos colmataron sus valles en períodos recientes y subrecientes pero, actualmente se han incisado en sus propios sedimentos, dando lugar a terrazas no inundables o excepcionalmente inundables.

El común denominador de los planos inundables y de sus pequeñas terrazas (no cartografiables a la escala de mapeo 1:100.000) es la presencia de abundante grava y cantos rodados, distribuidos en capas irregulares de poco espesor, cuya naturaleza es variada y depende de las características litológicas de las montañas hidrogravitacionales adyacentes que los circundan.

Teniendo en cuenta las altas precipitaciones que caen sobre la vertiente occidental de la cordillera Occidental, la incidencia que ésta tiene sobre los procesos de remoción en masa, y el gradiente del valle, superior al 2%, podrá deducirse el tipo de carga aluvial que reciben las corrientes y en algunos casos debido a su carácter torrencial, durante las épocas de lluvias.

### **Valle aluvial intercolinar de ríos meándricos (A1)**

La amplitud de estos valles varía entre unos 300 y 1.500 metros; son áreas inundables periódicamente y encharcables por lluvias, circunstancia que parece determinar la presencia de aguas freáticas fluctuantes a poca profundidad y por ende, cierto grado de hidromorfismo en los materiales parentales y los suelos.

La mayor parte de los depósitos aluviales son frescos, derivados de materiales de composición básica a intermedia, de granulometría moderadamente finos a muy finos, prácticamente sin fragmentos de roca en el plano inundable; dispuestos en capas delgadas y en patrones un tanto complejos. La mayoría de estas unidades han sufrido la tala de su anterior cobertura de bosque, la cual ha sido substituida por praderas naturales que sustentan una ganadería extensiva.

## **Montañas ramificadas (erosional-estructural) en rocas sedimentarias limo-arcillosas, conglomeráticas y calizas con intercalaciones de basaltos y diabasas (D7)**

Originalmente, el relieve fue determinado por el plegamiento de sedimentos limo-arcillosos, conglomeráticos y calcáreos interestratificados con basaltos y diabasas; no obstante, la prolongada acción de los procesos de meteorización-denudación, bajo una repetida interacción entre las fuerzas endógenas y exógenas, ha conducido a la modificación casi total del relieve inicial. Hoy en día se presenta como un conjunto de montañas muy ramificadas, de mediana altura, con cimas e interfluvios estrechos y laderas algo irregulares. La escorrentía superficial, ha labrado una red de drenaje dendrítico a subdendrítica denso, con segmentos de longitud media e incisión regular, especialmente los de segundo orden. No se observa un control estructural significativo, pero si hay una falta de uniformidad en el patrón de drenaje que seguramente está relacionado con la complejidad litológica de la unidad.

En el departamento del Chocó, se reconocieron unidades de poca extensión entre los ríos Jiguamiandó y Murindó y entre el río Tamaná y sur del río Sipí; estas montañas, se caracterizan por su bajo relieve, con aspecto colinado y fuertemente disectado.

En el costado occidental de la llanura de inundación en ésta plancha se distinguen "GEOFORMAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO-SAN JUAN Y COSTA DEL PACÍFICO" concretamente **"Unidades de Origen Agradacional de Piedemonte": Abanicos aluviales recientes (P2) y "Unidades de Origen Estructural-Erosional y Fluvio-Erosional": Superficie de lomas y colinas en complejo de areniscas (C1).** Adicionalmente se distinguen "GEOFORMAS DE LAS SERRANÍAS DEL BAUDÓ DARIÉN" concretamente **"Unidades de Origen Estructural-Erosional": Espinazo homoclinal y/o anticlinal compuesto de caliza, limolita calcárea y arenisca conglomerática (S2), Espinazo homoclinal en limolita, lodolita y arenisca arcillosa (S1), Valle aluvial: Terrazas no inundables (V3) y Valles coluvio-aluviales (V1).**

### **Valles coluvio-aluviales (V1)**

Se trata de geoformas muy estrechas (menores de 300 m de ancho), alargadas, de fondo cóncavo ó plano-cóncavo, localizadas en los cursos superiores o medios de ríos menores, tales como: el Arquía, Tigre y Tolo, en la serranía del Darién, los cuales se caracterizan por presentar aluviones muy gruesos, con abundante gravilla y cascajo, derivados de basaltos y granodioritas producto de procesos de sedimentación fluvio- torrencial.

## PLANCHA 101 – 102 DOMINGODÓ-RIOSUCIO

Esta plancha comprende el tramo PK 187 - PK 117 del río Atrato. Ver Plancha Geomorfológica 101- 102, escala 1:100.000.

El río Atrato, en esta plancha geomorfológica, transita a través de la unidad geomorfológica de origen aluvial denominada en el estudio "Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano" como **"Plano de desborde del río Atrato (L1)"**. La llanura de inundación en este tramo presenta también la unidad **"Plano de inundación deltaico de tributarios mayores del Atrato (L3)"**, entre los que se destacan los de los ríos Riosucio y Truando. En la llanura de inundación se destacan las ciénagas (L0).

En el costado oriental de la llanura de inundación en ésta plancha se distinguen "GEOFORMAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO-SAN JUAN Y COSTA DEL PACÍFICO" concretamente y de manera aislada a la altura del PK 134, **"Unidades de Origen Estructural-Erosional y Fluvio-Erosional": Superficie de lomas y colinas en complejo de areniscas (C1)**. Se identifican también "GEOFORMAS DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL" específicamente y de manera aislada en el PK 120, **"Unidades Modeladas por Denudación Fluvio-Gravitacional": Montañas erosionables ramificadas en rocas ígneas-intrusivas intermedias y félsicas (D1)**.

En el costado occidental de la llanura de inundación en esta plancha se distinguen "GEOFORMAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO-SAN JUAN Y COSTA DEL PACÍFICO" a lo largo de toda la plancha **"Unidades de Origen Agradacional de Piedemonte": Abanicos aluviales recientes y subactuales de la región de Uraba (P1)** y **"Unidades de Origen Estructural-Erosional y Fluvio-Erosional": Superficie de lomas y colinas en complejo de areniscas (C1)**. Adicionalmente se distinguen a lo largo de toda la plancha "GEOFORMAS DE LAS SERRANÍAS DEL BAUDÓ DARIÉN" concretamente **"Unidades de Origen Estructural-Erosional": Espinazo homoclinal y/o anticlinal compuesto de caliza, limolita calcárea y arenisca conglomerática (S2), Espinazo homoclinal en limolita, lodolita y arenisca arcillosa (S1) y Crestón homoclinal disectado en shales, limolitas calcáreas y lodolitas (S3)**.

### **Crestón homoclinal disectado en shales, limolitas calcáreas y lodolitas (S3)**

Este tipo de relieve hace parte de las geoformas desarrolladas sobre las alteritas derivadas de las rocas sedimentarias más antiguas, expuestas en la serranía del

Baudó cuya secuencia está conformada por shales, limolitas calcáreas y lodolitas interestratificadas, probablemente del Cretáceo superior (Maestrichtiano).

Se trata entonces de una unidad de escasa amplitud, discontinua, cuyas fracciones se extienden de sur a norte entre las cabeceras de los ríos Baudó y Salaquí, marcando el contacto con las montañas desarrolladas sobre el basamento de las vulcanitas submarinas de la serranía.

Debido a la alta susceptibilidad de los materiales rocosos a la denudación (especialmente las lutitas y lodolitas), los rasgos morfológicos estructurales tienen poca expresión, destacándose entonces una morfología de crestas ramificadas, en unos sitios con patrones de drenajes dendríticos densos; en otros casos con patrones paralelos tendiendo a trellis debido al control estructural.

En general el relieve es irregular, poco destacado e inaccesible bajo las condiciones actuales a causa de la densa cobertura boscosa, común denominador de la mayoría de los paisajes del Andén Pacífico.

### **Abanicos aluviales recientes y subactuales de la región de Urabá (P1)**

Asociados a los ríos que provienen de la serranía de Abibe (El Águila) con dirección al golfo de Urabá y al río Atrato, tales como: Guadualito, Currulao, Grande, Apartadó, Carepa, Chigorodó y Guapá, los cuales han explayado sus aluviones a lo largo de unos 80 kilómetros, dando lugar a un extenso piedemonte suavemente inclinado hacia el oeste, con su topografía muy regular, prácticamente sin disección, lo cual implica que los abanicos coalescentes son jóvenes y que los ríos que los originaron tienen baja energía y poca capacidad de arrastre de los sedimentos, debido en parte a la escasa elevación de las serranías circundantes. Además, la naturaleza fresca de los aluviones corrobora la anterior apreciación; éstos muestran un claro sorteamiento vertical en sus diferentes capas, y en sentido longitudinal desde la parte apical hacia la parte distal. Las capas inferiores, especialmente aquellas próximas a las corrientes mayores, están constituidas por cantos rodados de tamaños grava y guijarros embebidos en una matriz arenosa; hacia la superficie la granulometría es más fina, con predominio de fracciones limosas y arenosas finas. La arcilla se incrementa hacia la base del piedemonte, al contacto con el plano aluvial del río León, en donde desmejoran las condiciones de drenaje. Éstas, no obstante, han sido corregidas por los bananeros mediante la construcción de una densa red de canales de avenamiento en la mayor parte de las fincas existentes en el área. Indudablemente, el carácter básico de los aluviones y su granulometría franca, ha transmitido a los suelos unas características físicas y químicas inmejorables y una buena fertilidad, al punto de que la Unidad se ha convertido en una de las zonas agrícolas más intensamente explotadas del país. En la margen opuesta del río Atrato y al pie del tramo norte de



la serranía del Baudó, aparece un área de piedemonte de menores dimensiones, formados por coalescencia de los abanicos aluviales asociados a los ríos Perancho, La Raya, Salaquí y Truandó, cuyas características morfológicas externas e internas son similares a las de la Unidad antes descrita. Quizás la granulometría sea algo más fina y la condición de drenaje, un poco más restringida. Hoy en día la Unidad sustenta un exuberante bosque de cativo, el cual está sometido a un intenso aprovechamiento artesanal e industrial, con las consecuencias negativas que puede acarrear el segundo por el uso de equipo pesado de extracción, como por ejemplo la compactación del suelo, proceso que afectaría el movimiento de agua y aireación de los suelos. El límite inferior del piedemonte es transicional y algo difícil de precisar, ya que gradualmente pasa a un plano de inundación con características fluvio-deltaicas, el que a su vez se confunde con el plano fluvio-lacustre pantanoso del río Atrato.

## PLANCHA 89 – 90 CIÉNAGA LA HONDA - CHIGORODÓ

Esta plancha comprende el tramo PK 117 - PK 57 del río Atrato. Ver Plancha Geomorfológica 89-90, escala 1:100.000.

El río Atrato, en esta plancha geomorfológica, transita a través de la unidad geomorfológica de origen aluvial denominada en el estudio "Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano" como **"Plano de desborde del río Atrato (L1)"**. La llanura de inundación en este tramo presenta también la unidad **"Plano de inundación deltaico de tributarios mayores del Atrato (L3)"**, entre los que se destacan los de los ríos Cacarica en el Choco y el río León en Antioquia. En la llanura de inundación se destacan las ciénagas (L0).

En el costado oriental de la llanura de inundación en ésta plancha se distinguen "GEOFORMAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO-SAN JUAN Y COSTA DEL PACÍFICO" de manera aislada a la altura del PK 78, **"Unidades de Origen Agradacional de Piedemonte": Abanicos aluviales recientes y subactuales de la región de Uraba (P1)**. Se identifican también "GEOFORMAS DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL" específicamente y de manera aislada en los PK 92 y PK 98, **"Unidades Modeladas por Denudación Fluvio-Gravitacional": Montañas erosionables ramificadas en rocas ígneas-intrusivas intermedias y félsicas (D1)**.

En el costado occidental de la llanura de inundación en ésta plancha se distinguen "GEOFORMAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO-SAN JUAN Y COSTA DEL PACÍFICO" a lo largo de toda la plancha **"Unidades de Origen Agradacional de Piedemonte": Abanicos aluviales recientes y subactuales de la región de Uraba (P1)** y **"Unidades de Origen Estructural-Erosional y Fluvio-Erosional"**:

**Superficie de lomas y colinas en complejo de areniscas (C1).** Adicionalmente se distinguen "GEOFORMAS DE LAS SERRANÍAS DEL BAUDÓ DARIÉN" en el PK 70 "**Unidades de Origen Estructural-Erosional**": **Espinazo homoclinal y/o anticlinal compuesto de caliza, limolita calcárea y arenisca conglomerática (S2), Espinazo homoclinal en limolita, lodolita y arenisca arcillosa (S1).** "**Unidades de origen fluvio-erosional (F)**": **Lomas y colinas residuales en rocas plutónicas félsicas (F4) y Crestas y colinas ramificadas en rocas piroclásticas (F5)** del PK 60 al PK 70.

### **Unidades de origen fluvio-erosional (F)**

En la totalidad de la serranía del Darién colombiano y en la vertiente occidental de la serranía del Baudó predomina hoy en día un relieve montañoso y colinado, modelado exclusivamente por procesos de erosión fluvial y procesos de remoción en masa. En la primera se han afectado alteritas derivadas de rocas plutónicas félsicas y volcánicas efusivas y explosivas; en la segunda, las rocas ígneas intrusivas félsicas y máficas, e igualmente rocas extrusivas máficas e intermedias. La diferenciación de los tipos de relieve sobre los paisajes geomorfológicos, se ha llevado a cabo mediante un análisis combinado de las características de los patrones de drenaje (forma, densidad, profundidad de disección) y del relieve predominante por ciertos atributos tales como altura, longitud, regularidad, forma y grado de las pendientes, estimados sobre las imágenes de radar.

### **Lomas y colinas residuales en rocas plutónicas félsicas (F4)**

En la planicie aluvial del Urabá chocoano, bañada por los ríos Tolo y Tanela, se encuentra una superficie colinado-alomada recortada por los valles de los anteriores ríos y sus tributarios, cuyo material litológico parece corresponder a una extensión de la unidad anterior, pero con la particularidad de no formar parte de la serranía del Darién y de presentar rasgos aparentemente relacionados con procesos de aplanamiento por denudación fluvio-erosional, tales como: bajo relieve local, cierta concordancia de cumbres, mantos de meteorización profundos y suelos rojizos muy desarrollados. La concordancia de los niveles interfluviales, es menos clara en las colinas del pie de la serranía del Darién, en donde además éstas alcanzan mayores alturas.

En todos los casos se advierte una disección dendrítica muy densa, poco profunda, con segmentos cortos, la cual evidentemente es heredada y seguramente asociada a un clima pasado más seco. La densa cobertura vegetal actual brinda a la unidad una adecuada protección contra los procesos de erosión fluvial y procesos de remoción en masa, muy comunes en la región donde se han presentado procesos de deforestación y/o se han desarrollado actividades de pastoreo de ganado.

### **Crestas y colinas ramificadas en rocas piroclásticas (F5)**

Como en el paisaje anterior, éste también se presenta exclusivamente en el Urabá chocoano, y se desarrolla sobre aglomerados volcánicos y también en brechas de aspecto gabroide. En el primer caso se han configurado pequeñas serranías colinadas, con apariencia de espinazos homoclinales las cuales bordean por ambos costados a la superficie colinado-alomada y a los valles aluviales de los ríos Tolo y Tanela. Entre éstas se destacan las serranías costeras de Triganá y Titumate que alcanzan desniveles superiores a 100 m y muestra unas laderas labradas por drenajes de patrón paralelo a subparalelo, poco incisados y poco densos.

En el extremo sur de la serranía del Darién, se ha desarrollado una superficie de colinas altas ramificadas sobre brechas volcánicas de composición gabroide, cuya morfología permite destacar una red de drenaje dendrítica, densa y moderadamente profunda. Su morfología se parece más a la del paisaje F4 que a la de los “espinazos” desarrollados sobre los aglomerados. No obstante, se han agrupado en un mismo paisaje por sus relaciones espaciales y su afinidad litológica.

### **PLANCHA 79 – 79BIS TURBO - TAGARÍ**

Esta plancha comprende el tramo PK 57 - PK 0 del río Atrato. Ver Plancha Geomorfológica 79-79BIS, escala 1:100.000.

El río Atrato, en esta plancha geomorfológica, transita a través de la unidad geomorfológica de origen aluvial denominada en el estudio "Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano" como "**Plano de desborde del río Atrato (L1)**". La llanura de inundación en este tramo presenta también la unidad "**Plano de inundación deltaico de tributarios mayores del Atrato (L3)**", entre los que se destacan los de los ríos Tigre y Cutí en el Choco. En la llanura de inundación se destacan las ciénagas de Marriaga y Matuntugo (L0). En el ambiente deltaico se destacan los "**Marismas con Mangle y Herbáceas (M2)**", especialmente en los brazos Leoncito, Coquitos (Bocas del Atrato) y el Roto. Las "**Playas y Barras de Playas (M1)**" son características en las bahías el Roto y Tarena.

### **UNIDADES DE ORIGEN MARINO Y FLUVIO-MARINO (M)**

Corresponden al ambiente morfogenético agradacional, marino y fluvio-marino, el cual se localiza tanto en la costa del mar Caribe, alrededor del golfo de Urabá, como a todo lo largo de la costa del Pacífico. Aplicando la clasificación de costas propuesta por strahler (1974) se han obtenido los siguientes tipos:

a) Costa de montañas y colinas, catalogada como de inmersión debido a su irregularidad, con numerosas entrantes (bahías, ensenadas, estuarios) y salientes (cabos, promontorios y puntas). Comprende dos sectores representativos, uno correspondiente a la serranía del Darién entre la bahía de Cevera, ver Foto, y Cabo Tiburón, sobre la costa caribeña; otro, representado por la costa chocoana en el Pacífico y correspondiente a las márgenes de la serranía del Baudó, entre la frontera con Panamá y unos 20 kilómetros al sur de cabo Corrientes.

En estos casos, las únicas geoformas agradacionales de origen marino y localizadas en forma discontinua en bahías y ensenadas corresponden a playas, barras de playa, y cordones litorales identificadas cartográficamente con M1, ver Foto, cuyos sedimentos son principalmente arenas bien sorteadas acumuladas por las corrientes de deriva litoral.

**Foto. Costa de Colina, Bahía de Tarena (Cevera)**



**Foto. Playa de Tarena, golfo de Urabá**



- b) Costa sumergida de relieve colinado-alomado, en los alrededores de bahía Málaga y bahía de Buenaventura. La penetración de las aguas del mar hacia tierra, en forma alargada y relativamente amplia, pero con una boca estrecha, no es el mejor ejemplo de bahías construidas por la acción erosiva de las olas. Corresponden más bien a antiguos valles o planos aluviales inundados, ya por un ascenso del nivel del mar o bien por subsidencia de las tierras, relacionada con fallas activas. Para el caso de las bahías Málaga y Buenaventura, éstas probablemente correspondían a anteriores desembocaduras del río San Juan, que luego se hundieron por acción tectónica ligada a fallas detectadas en la zona.
- c) Costa de deltas, ver Foto, agrupada dentro del tipo neutral; por no depender de regresión ni transgresión marina, sino de una acción continental fluvio-marina. Este tipo de costas se encuentran en la desembocadura de los ríos Atrato, San Juan, Patía-Tapaje-Iscuandé y Mira.



**Foto. Costa del delta del río Atrato**



En este tipo de costas predominan los rasgos de carácter puramente marino, como los marismas-manglares que bordean el delta del Atrato.

d) Costa emergida de bajo relieve, correspondiente a los siguientes sectores:

- Costa oriental del golfo de Urabá y su prolongación desde Punta Arenas hacia las poblaciones de Mulatos y Arboletes.
- Bahía Colombia, en el extremo sur del golfo de Urabá.
- Probablemente los tramos del Pacífico entre sur de cabo Corrientes y el río San Juan, y entre los ríos Anchicayá y Guapi.

Las costas de regresión son el resultado de un descenso del nivel del mar o de una elevación de las tierras y bloques continentales adyacentes. Como el fondo del mar es esencialmente un ambiente de sedimentación, por lo general su línea de costa es regular y la topografía de los sectores emergidos es aplanada y con

suave declive hacia el mar. Es entonces en este ambiente donde se encuentra la mayoría de los paisajes geomorfológicos agradacionales de origen marino y fluvio-marino.

### **Playas, barras de playa y cordones litorales (M1)**

Paisajes de acumulación litoral determinada por el trabajo de las olas y corrientes costeras que remueven y depositan tanto los derrubios producidos por la demolición de acantilados y demás costas altas e irregulares, como también los aluviones acarreados por los ríos hasta el propio océano. Cuando se acumulan mantos de arena bien sorteada y guijarros sobre la llamada plataforma de abrasión, se conforma una playa, cuyo perfil es inestable, dependiendo de las características del oleaje. Cuando las olas rompientes tienden a empujar arena hacia lo alto de la playa terminan formando una berma paralela a la línea de costa; al repetirse el proceso, acompañado de abundante provisión de sedimentos, se forman nuevas bermas paralelas a las anteriores, dando lugar a barras de playa que progradan hacia el mar. Estas constituyen un complejo de camellones y depresiones alargadas, de sección transversal ondulada, compuestas de arena seleccionada y capitas de limo y arcilla acumuladas en las áreas cóncavas. A menudo encierran terrenos deprimidos y pantanosos conocidos como marismas.

En cuanto a los cordones litorales, se trata igualmente de depósitos de arena bien sorteada, con aspecto de camellón alargado, que se extiende por varios kilómetros a lo largo de la línea de costa, impulsado por las corrientes de deriva litoral. Del grupo de geoformas descritas se reconocieron buenos ejemplos en las bahías de Zapzurro, Capurganá y sureste de Acandí en el Urabá Chocoano; en la desembocadura del brazo Tarena del delta del Atrato; en Punta Arenas y en las costas de Mulatos a Arboletes; en las bahías chocoanas de Humboldt, Aguacate, Cupica, Solano, Utría, Tribugá, Nuquí y otras menores y prácticamente a todo lo largo de la costa del Pacífico al sur de la desembocadura del río Baudó.

### **Marismas, manglares y pantanos (M2)**

Este paisaje geomorfológico abarca las áreas bajas y pantanosas que resultan de la colmatación con lodos y cienos marinos, materia orgánica y arcilla, de las cubetas aisladas del mar por barras de playa, cordones litorales y rebordes deltaicos. Como a estas unidades llegan fangos procedentes de la deriva litoral y aluviones continentales, entonces se consideran de carácter fluvio-marino. Allí se desarrolla con frecuencia una vegetación particular, el mangle (*Rizophora mangle*), cuyo nombre asociado (manglar) suele usarse para denominar a estas geoformas. Ver Foto.

**Foto. Manglar del delta del río Atrato**



Son comunes los marismas bordeando el delta del Atrato y bahía Colombia, hasta la altura de la población de Turbo.

En el costado occidental de la llanura de inundación en ésta plancha se distinguen "GEOFORMAS DE LAS SERRANÍAS DEL BAUDÓ DARIÉN" a lo largo de toda ella **"Unidades de origen fluvio-erosional (F)": Lomas y colinas residuales en rocas plutónicas félsicas (F4), Crestas y colinas ramificadas en rocas piroclásticas (F5), Montañas ramificadas en rocas plutónicas félsicas (F3) y Colinas altas en lavas volcánicas intermedias (F6).** **"Unidades de origen agradacional": Valle aluvial: plano inundable (V2), Piedemonte aluvial y/o coluvial (V4) y Valle aluvial: Terrazas no inundables (V3).** Adicionalmente y de manera aislada se encuentran "GEOFORMAS DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL" en el PK 15 **"Unidades de origen estructural-erosional (E)": Lomas anticlinal en areniscas (E3).**

### **Montañas ramificadas en rocas plutónicas félsicas (F3)**

Sobre la ladera media de la serranía del Darién aflora la mayor unidad de montañas ramificadas modeladas en alteritas de rocas ígneas intrusivas ácidas, limitando aguas arriba con montañas de basaltos y diabasas y hacia abajo, con montañas bajas de rocas piroclásticas.

La morfología del paisaje encaja dentro de los patrones estándares, esto es, con cimas agudas a subagudas, valles en V, configurando una densa red de drenaje dendrítico, de mediana a profunda incisión. Los mantos de meteorización han alcanzado un considerable espesor, gracias a las condiciones climáticas imperantes en la región. No obstante, el desarrollo pedogenético sobre estos depósitos es muy incipiente.

En la serranía del Baudó se reconocieron pequeñas unidades dispersas al norte del Cabo Corrientes, generalmente asociadas a unidades de naturaleza sedimentaria (S2), cuya remoción parcial por procesos de denudación, ha puesto al descubierto las rocas ígneas intrusivas. Su expresión morfológica, no muestra diferencias significativas en comparación con las unidades encontradas en la serranía del Darién.

### **Colinas altas en lavas volcánicas intermedias (F6)**

Este tipo de relieve está conformado por pequeñas unidades dispersas en el Urabá chocoano, sobre un paisaje de escasa extensión, en jurisdicción de los municipios de Acandí y Ungía; se caracteriza por su topografía de colinas de altura media.

Los materiales involucrados en esta unidad son principalmente andesitas, que desarrollan alteritas sobre las cuales han sido esculpidas las colinas irregulares de cimas estrechas, laderas rectas a cóncavas y valles erosionables con fondo cóncavo, conformando una densa red de drenaje.

### **Valle aluvial: Terrazas no inundables (V3)**

Las terrazas son geoformas que también hacen parte de los valles aluviales, dentro de los cuales ocupan posiciones más altas que el plano inundable, siendo por ello menos susceptibles a las inundaciones periódicas, pero no exentas de los encharcamientos por lluvias. Además, los sedimentos son más antiguos, sin posibilidad de rejuvenecerse por nuevos aportes, sino más bien con tendencia a seguir su curso normal de alteración y el nuevo desarrollo de suelos.



Al igual que en los planos de inundación, la naturaleza de los aluviones de las terrazas está ligada a las características litológicas de las cuencas hidrográficas drenadas. Son terrazas bajas, probablemente de edad subactual (Holoceno Superior), con sedimentos francos o finos y arcillosos de composición básica. Dada la densa cobertura de bosque que sustentan y la escasa actividad antrópica, es probable que actualmente correspondan a unidades geomorfológicamente estables.

Además de la terraza baja de la margen derecha del río Tolo, en la región del Darién chocoano se reconocieron terrazas más antiguas y algo disectadas, entre los ríos Cuti y Cuque, cuya superficie es bastante reducida y sus sedimentos más alterados, rojizos y arcillosos, tal vez más lixiviados que las restantes terrazas. En este sector el bosque ha sido substituido por pastos que soportan una ganadería extensiva.

### **Unidades de origen estructural-erosional (E)**

Es una geoforma asociada al relieve de la cordillera Occidental, dentro del piso cálido, corresponde a las montañas bajas y colinas concentradas en la región del Urabá antioqueño (serranía de Abibe), cuya altura y morfología se debe a sucesivos procesos de plegamiento de las rocas sedimentarias y su posterior proceso de denudación parcial, que no ha alcanzado a borrar los rasgos estructurales iniciales.

### **Lomas anticlinal en areniscas (E3)**

Se trata de un paisaje homogéneo en su composición litológica y en su morfología, localizado en una posición central, con el aspecto de una amplia loma alargada, afectada por disección subdendrítica poco profunda, excepto en el tramo meridional en donde aparece fallado y con disecciones mucho más marcadas. Debido a la mayor resistencia de los materiales a la meteorización y a la erosión fluvial, en este paisaje ocurren las mayores elevaciones del conjunto plegado, con algunos cerros que alcanzan los 500 metros de altura. Aquí también se agruparon unidades de pequeña extensión cartografiadas en la margen oriental de la serranía del Darién.



## 6 ESTUDIOS DE CAMPO

Con base en lo acordado con la Interventoría se hizo trabajo de campo 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 figuras.

Figura. Localización de los posibles sitios del puerto de Quibdó, “Casimiro” (amarillo) y “Calle Quibdó” (rojo).

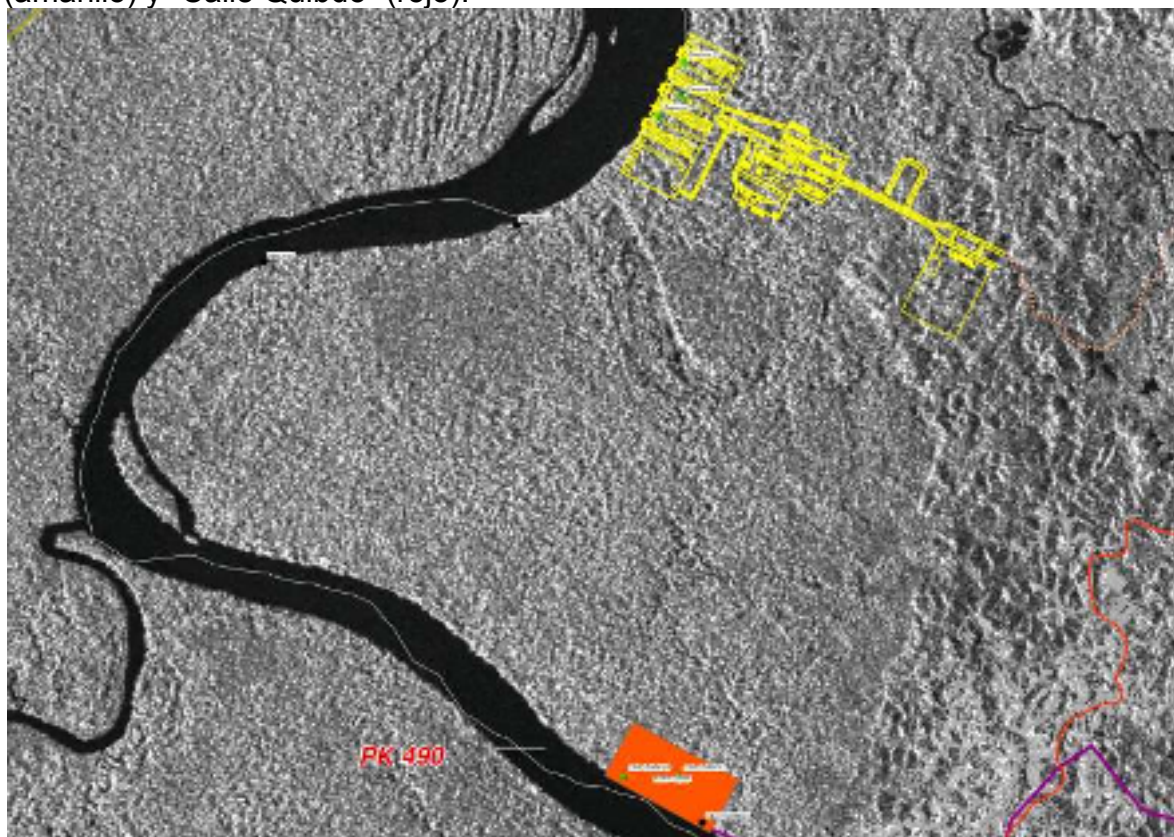
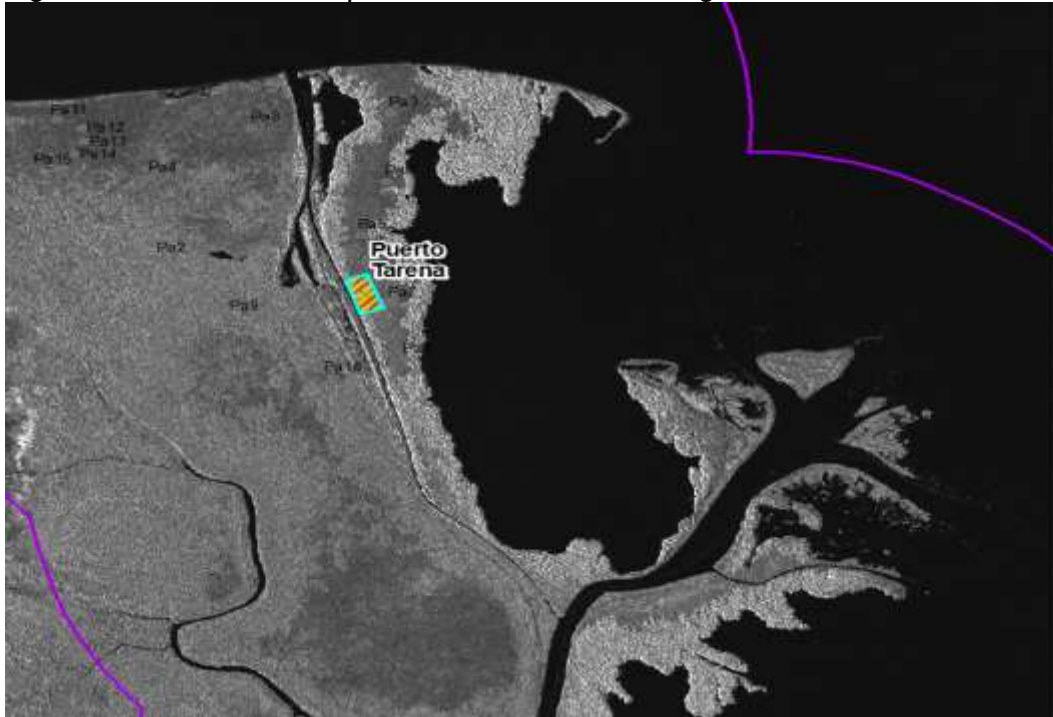


Figura. Localización del puerto de Tarena en imagen de radar.



## 6.1 TRABAJO DE CAMPO EN EL SITIO DENOMINADO “CALLE QUIBDÓ”.

Para este sitio se hizo reconocimiento geológico de superficie y de orilla del río Atrato. Este se ubica en el PK 490 del canal navegable del río y litoestratigráficamente corresponde a un depósito aluvial (Q2a1) de la llanura de inundación del mismo. Los primeros tres metros del depósito, que es lo que se puede observar en el escarpe de la orilla, están constituidos por un estrato limo-arcilloso con bastante contenido de materia orgánica y de color café en los primeros dos metros y gris a partir del segundo metro. Ver fotografía. Según la imagen de radar, Terrasar X, la geología de la plancha 164-Quibdó 1:100.000 (Ingeominas) y el reconocimiento en superficie este es un depósito no afectado por fallamiento regional pero se encuentra en el denominado sinclinal del Atrato suprayaciendo la formación Quibdó (N2qb). Lo más evidente en campo es la manifestación de la morfodinámica a través de la socavación lateral de la orilla por parte del río, lo cual es significativo a la hora de implementar un puerto en este sitio.

Foto. Orilla río Atrato en el sitio denominado “Calle Quibdó”.



Al ingresar a la parte Este (E) del sitio para posible puerto se encuentra un bosque natural denso inundable que no permite la descripción de ningún afloramiento, ver foto, por tal motivo fue necesario para completar el modelo geológico en profundidad hacer exploración con taladro rotopercutor hasta 30 metros en dos sitios y hasta 15 metros en otro sitio, dichos sitios seleccionados conjuntamente con el geotecnista del IIAP, ver exploración del subsuelo en el sitio denominado “Calle Quibdó”.



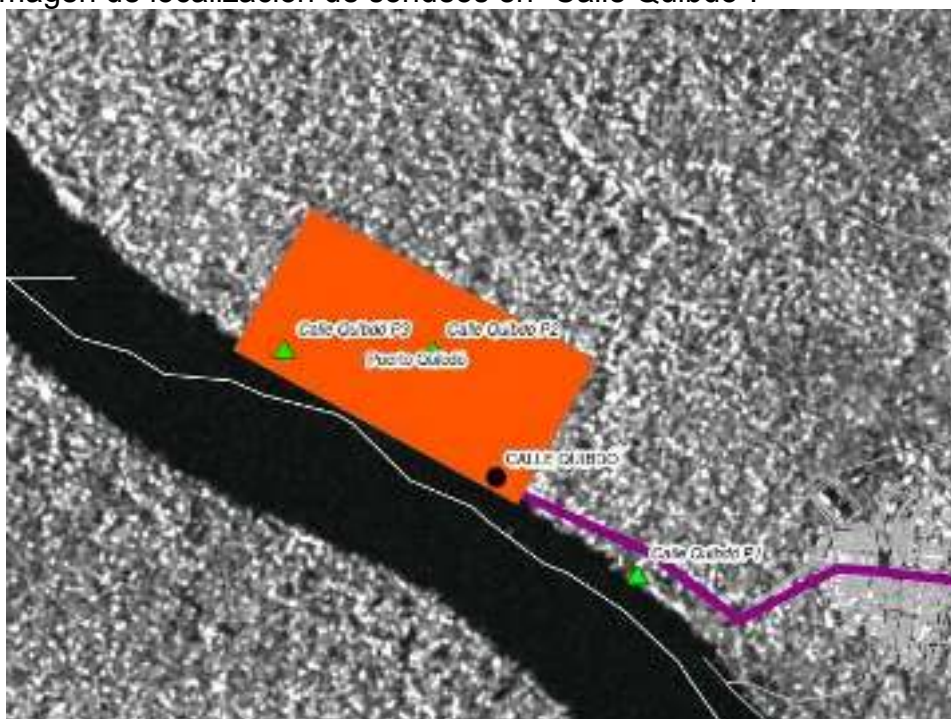
Foto. Bosque Natural denso inundable en el la parte E de “Calle Quibdó”.



### 6.1.1 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 localización de sondeos.

Imagen de localización de sondeos en “Calle Quibdó”.





Fotos. Exploración del subsuelo “P1-Calle Quibdó”



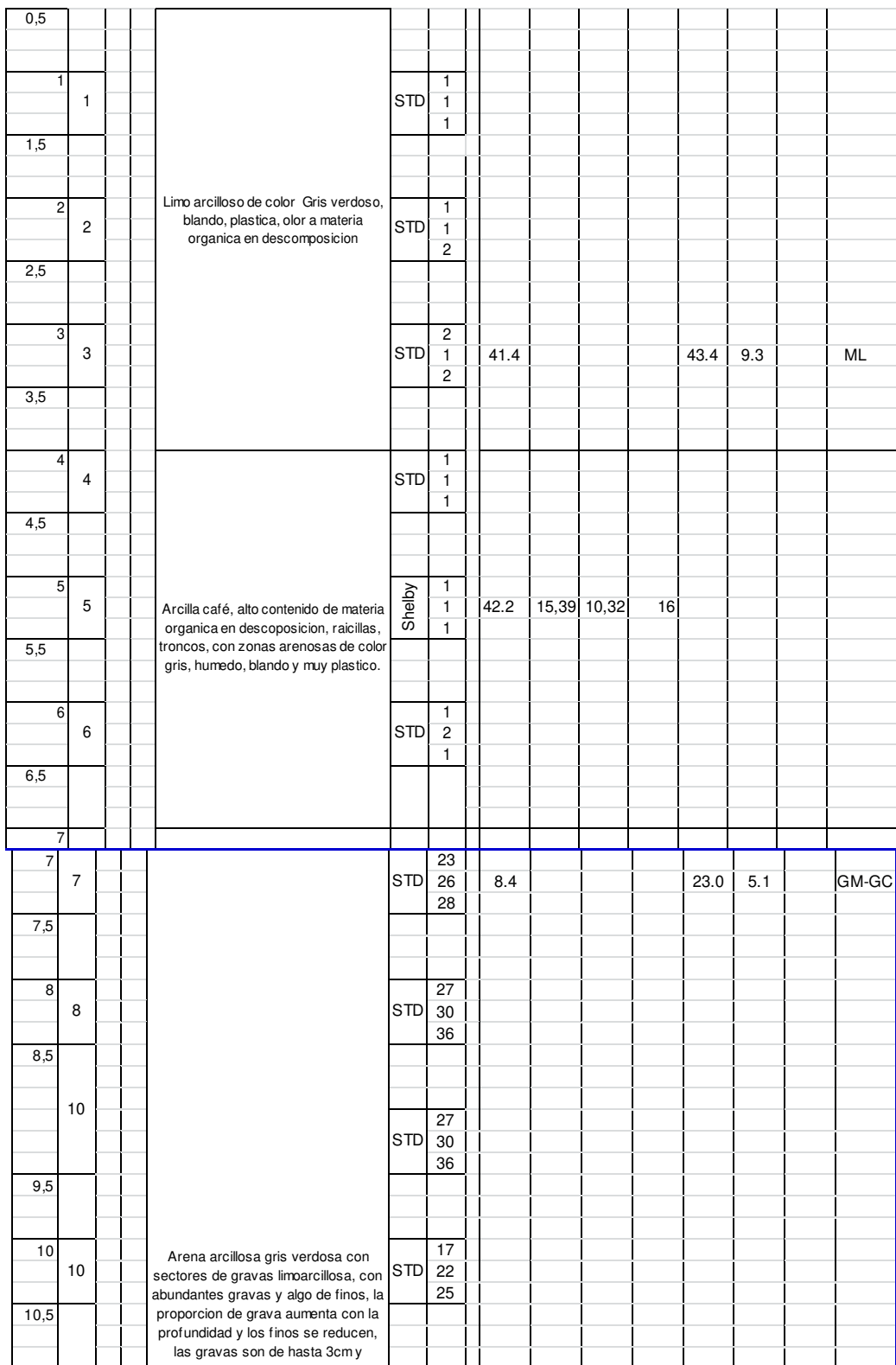
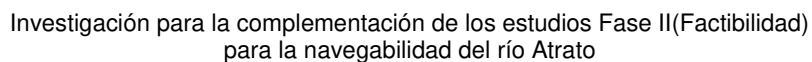
Foto. Exploración del subsuelo “P3-Calle Quibdó”.

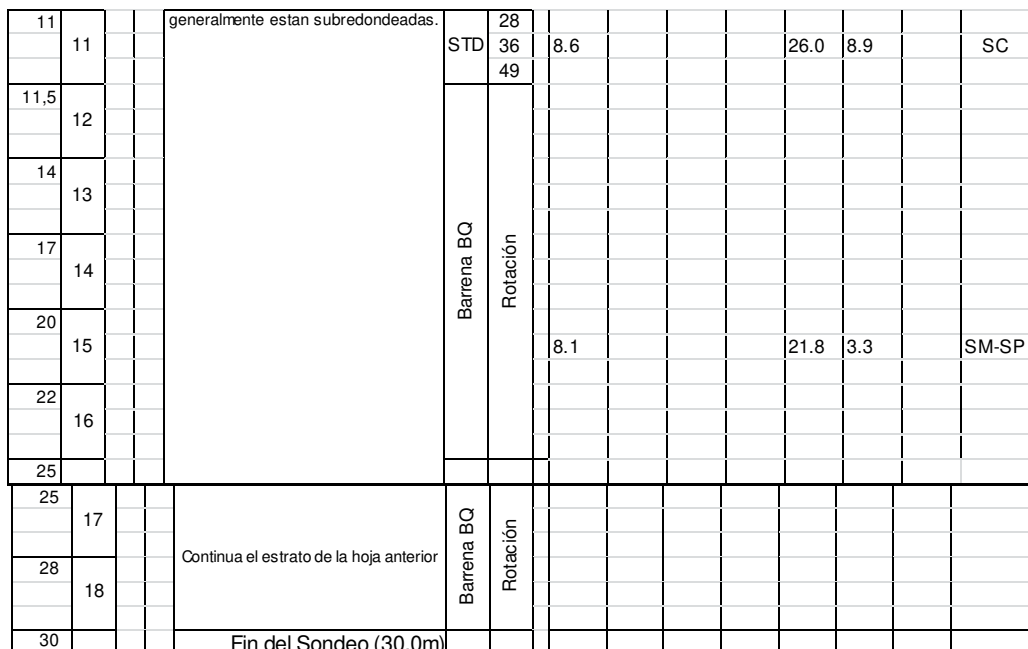
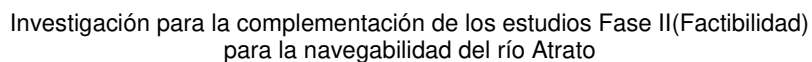


## ESTRATIGRAFÍA DEL SITIO DENOMINADO “CALLE QUIBDÓ”.

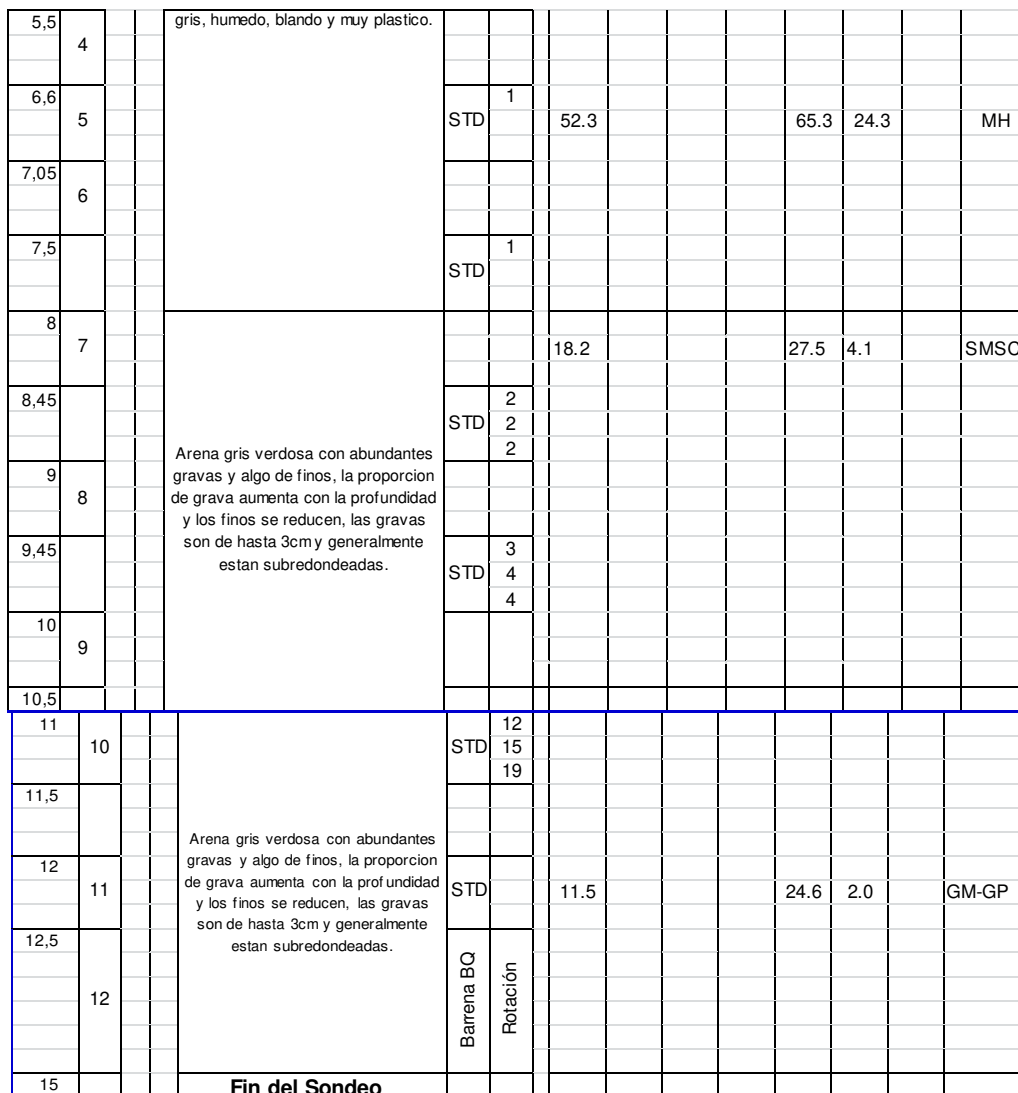
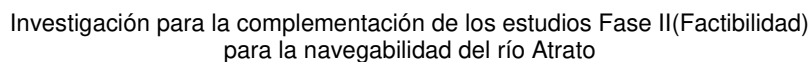
A continuación se presentan los registros de los tres sondeos ejecutados, mediante los cuales se describe la estratigrafía del depósito aluvial (Q2al) cuaternario presente en el denominado sitio “Calle Quibdó”.

[illegible]



VOLUMEN II CONVENIO 2141 DE 2011 INVIAS – IIAP



VOLUMEN II CONVENIO 2141 DE 2011 INVIAS – IIAP

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				Limo Arcilloso café amarillento con zonas grises, se acentúa el color gris en profundidad, consistencia muy blanda y plástico. la muestra 8 tiene alto contenido de materia orgánica.										
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														
7	7			Continúa el estrato descrito en la hoja anterior	STD	6 7 9								
7,5														
8	8				STD	6 8 9								
8,5														
9						5								

9				STD	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													
14	14			STD	30 33 35								
14,5													
15	15			STD	32 46 53								
15,5													
16	16			STD	45 68 R								
16,3	17												
19	18												
21,5	19												
23	20												
25	21												
28	22												
30													
Fin del Sondeo													

### **6.1.2 ANÁLISIS MULTITEMPORAL-DINÁMICA FLUVIAL DEL SITIO DENOMINADO “CALLE QUIBDÓ”.**

En el análisis en planta de la dinámica de las orillas realizado por la UTCH en el convenio 3479 de 2008 no se observó variación de la planta en el período del año 2001 al 2008. Al hacer en este estudio la superposición de la fotografía aérea de 1954 con la imagen de radar de 2008 tampoco se observa variación significativa por lo que podemos concluir que el sitio denominado “Calle Quibdó” ha sido estable en lo que a dinámica fluvial se refiere. Ver imagen de superposición de fotografía aérea e imagen de Radar.

### **6.2 TRABAJO DE CAMPO EN EL SITIO DENOMINADO “CASIMIRO”.**

Para este sitio se hizo reconocimiento geológico de superficie y de orilla del río Atrato. Este se ubica en el PK 484 del canal navegable del río y litoestratigráficamente corresponde a un depósito aluvial (Q2al) de la llanura de inundación del mismo. Lo poco que se puede observar en el escarpe de la orilla, ya que este sitio está ubicado en una curva externa y por lo tanto el thalweg del canal se mantiene muy cercano a la orilla y no permite visualizar el escarpe de ésta, es un estrato limo-arcilloso con bastante contenido de materia orgánica y de color café. Ver fotografía. Según la imagen de radar, Terrasar X, la geología de la plancha 164-Quibdó 1:100.000 y el reconocimiento en superficie este es un depósito no afectado por fallamiento regional pero se encuentra en el denominado sinclinal del Atrato suprayaciendo la formación Quibdó (N2qb). Lo más evidente en campo es la manifestación de la morfodinámica a través de la socavación lateral de la orilla por parte del río, lo cual es significativo a la hora de implementar un puerto en este sitio.



Foto. Orilla derecha río Atrato en el sitio denominado “Casimiro”.



Al ingresar a la parte Este (E) del sitio para posible puerto se encuentra un bosque natural denso inundable que no permite la descripción de ningún afloramiento, ver foto, por tal motivo fue necesario para completar el modelo geológico en profundidad hacer exploración con taladro rotopercutor hasta 30 metros en dos sitios y hasta 15 metros en un sitio, seleccionados conjuntamente con el geotecnista del IIAP.

Foto. Bosque natural denso inundable en el la parte E de “Casimiro”.

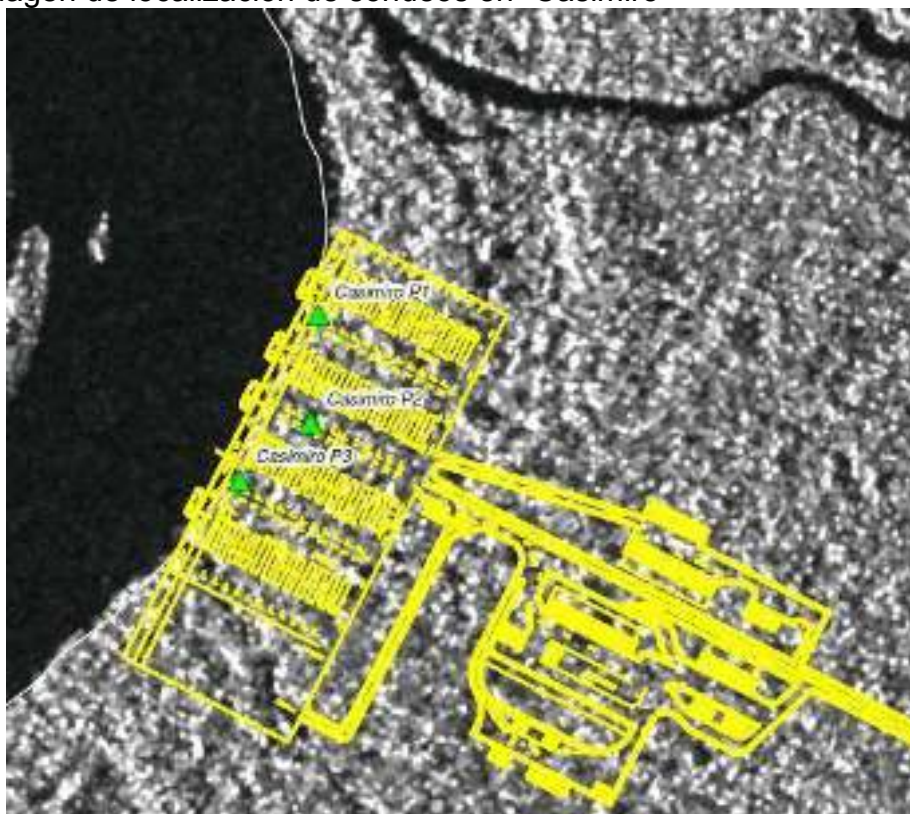


### 6.2.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO EN EL SITIO DENOMINADO “CASIMIRO”.

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 localización de sondeos.



Imagen de localización de sondeos en “Casimiro”



Fotos exploración del subsuelo en el sitio denominado “CASIMIRO”.



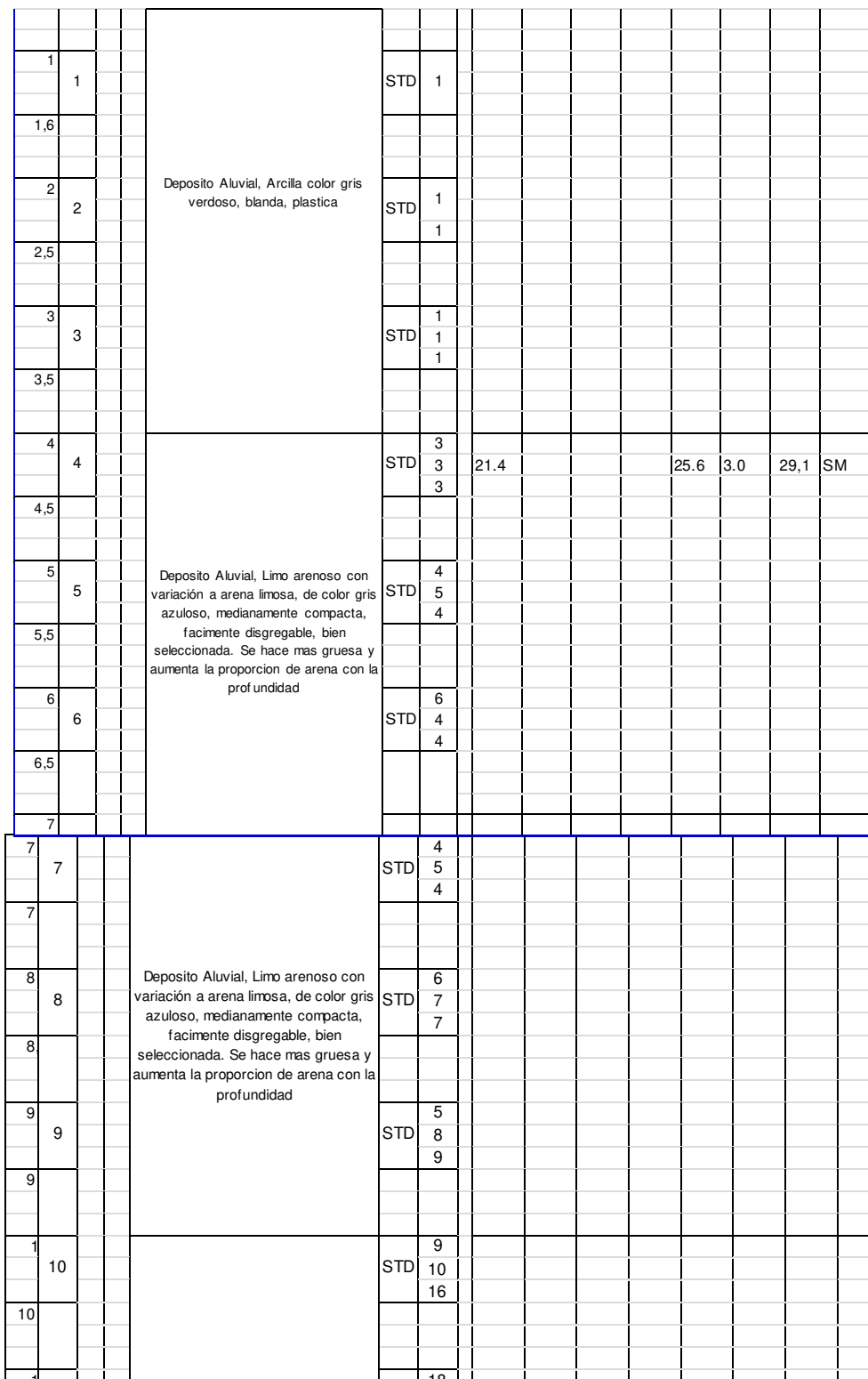
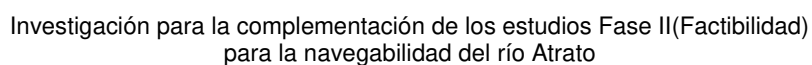


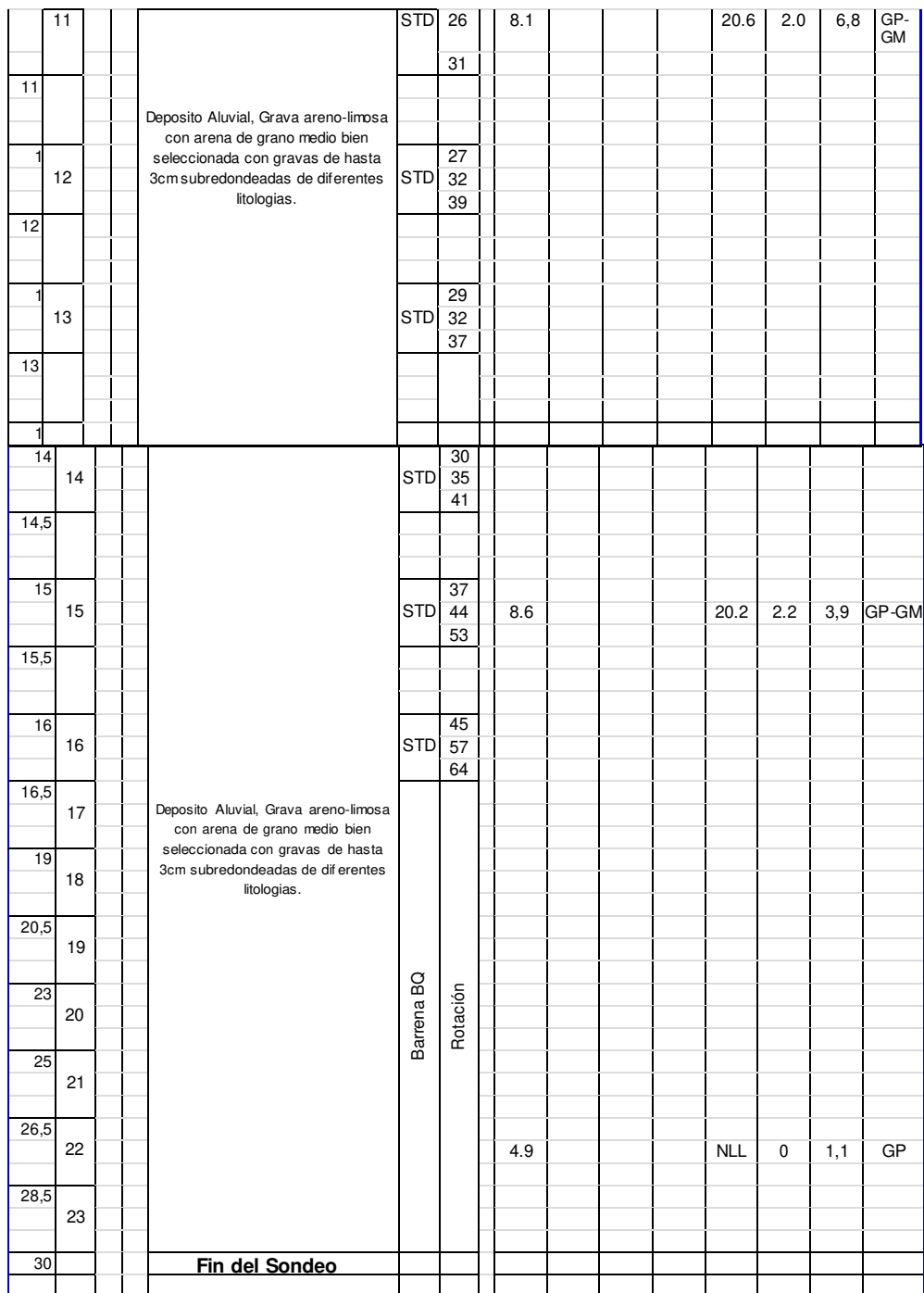
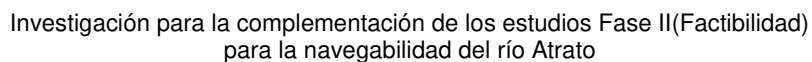
## ESTRATIGRAFÍA DEL SITIO DENOMINADO “CASIMIRO”.

A continuación se presentan los registros de los tres sondeos ejecutados, mediante los cuales se describe la estratigrafía del depósito aluvial (Q2a1) cuaternario presente en el denominado sitio “Casimiro”.

REGISTRO DE PERFORACIÓN																
INFORMACIÓN GENERAL:							Fecha:									
Proyecto:		Puerto Casimiro			COORDENADAS:			diciembre de 2012								
Localización:		Margen derecha Rio Atrato						Perforación No.								
Equipo:		Pety			N:		1									
Perforador:		Alfredo Martinez			E:		Hoja No:									
Responsable:		Nelson Gaona			Z:		de:									
							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																
0.5																





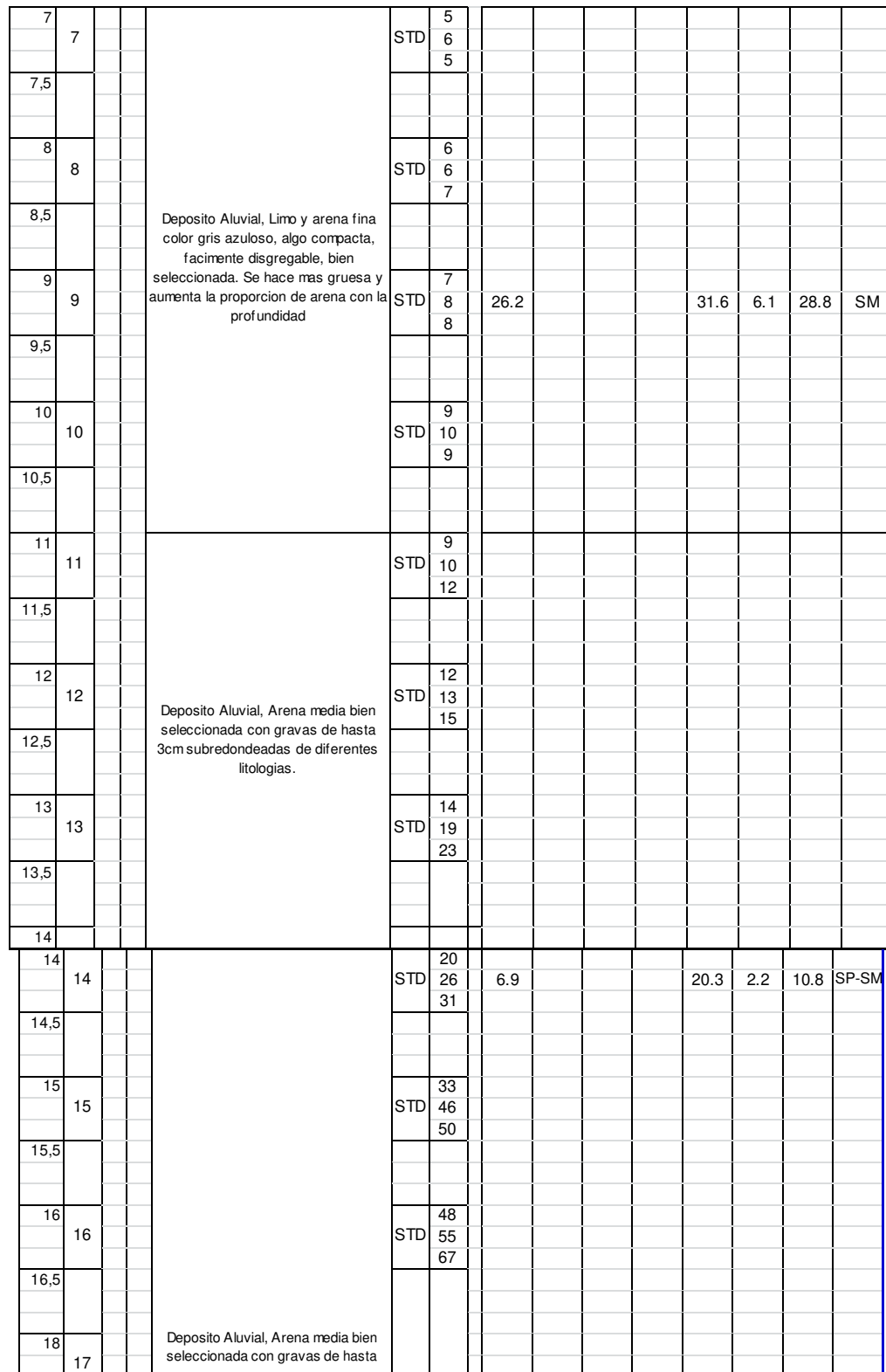
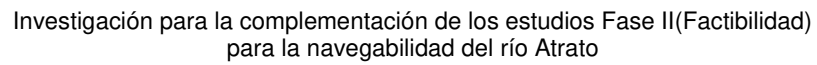


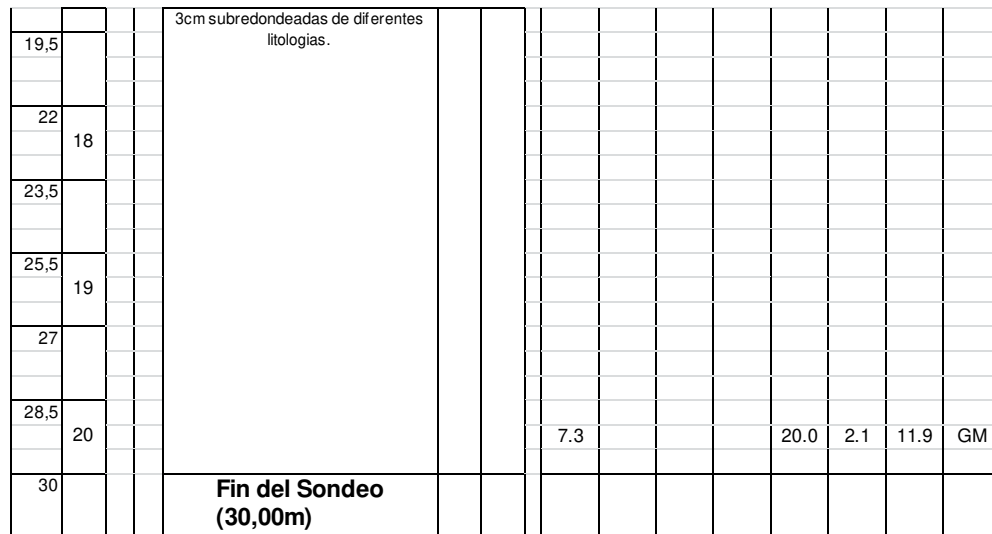
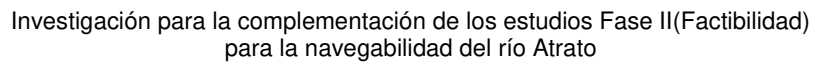
REGISTRO DE PERFORACIÓN													
INFORMACIÓN GENERAL:							Fecha:						
Proyecto:		Puerto Casimiro			COORDENADAS:		diciembre de 2012						
Localización:		Margen derecha Rio Atrato					Perforación No.						
Equipo:		Pety			N:		2						
Perforador:		Alfredo Martinez			E:		Hoja No:						
Responsable:		Nelson Gaona			Z:		de:						
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
0				Deposito Aluvial de inundación compuesto por Arcilla limosa o limo arcilloso de color gris verdoso, blanda, plastica.									
0,5													
1	1				STD	1							
1,5						1							
2	2				STD	1							
2,5						1							
3	3			Deposito Aluvial, Limo con arena fina de color gris azulado con zonas grises y café amarillento	STD	1	59.4			58.0	7.7	73.8	MH
3,5						2							
4	4				STD	2	46.4			34.6	5.8	99.2	ML
4,5						1							
5	5				STD	3							
5,5						3							
6	6				STD	4							
6,5						5							
7						4							





REGISTRO DE PERFORACIÓN														
INFORMACIÓN GENERAL:								Fecha:						
Proyecto:		Puerto Casimiro			COORDENADAS:			diciembre de 2012						
Localización:		Margen derecha Río Atrato						Perforación No.						
Equipo:		Pety			N:			3						
Perforador:		Alfredo Martinez			E:			Hoja No:						
Responsable:		Nelson Gaona			Z:			de:						
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.
0				Deposito Aluvial, Arcilla gris azulosa con zonas café naranja y raicillas algo limosa, moderadamente plastico. Muy humedo, plastico y blando.										
0,5														
1	1				STD	1								
1,5														
2	2				STD	1								
2,5					1									
3	3			Deposito Aluvial, Limo y arena fina color gris azuloso, suelta, facilmente disgregable, bien seleccionada. Se hace mas gruesa y aumenta la proporcion de arena con la profundidad	STD	1	44.1			38.6	9.3	76.6	ML	
3,5					1									
4	4				STD	1								
4,5					2									
5	5				STD	2								
5,5					3									
6	6				STD	3								
6,5					4									
7					5									



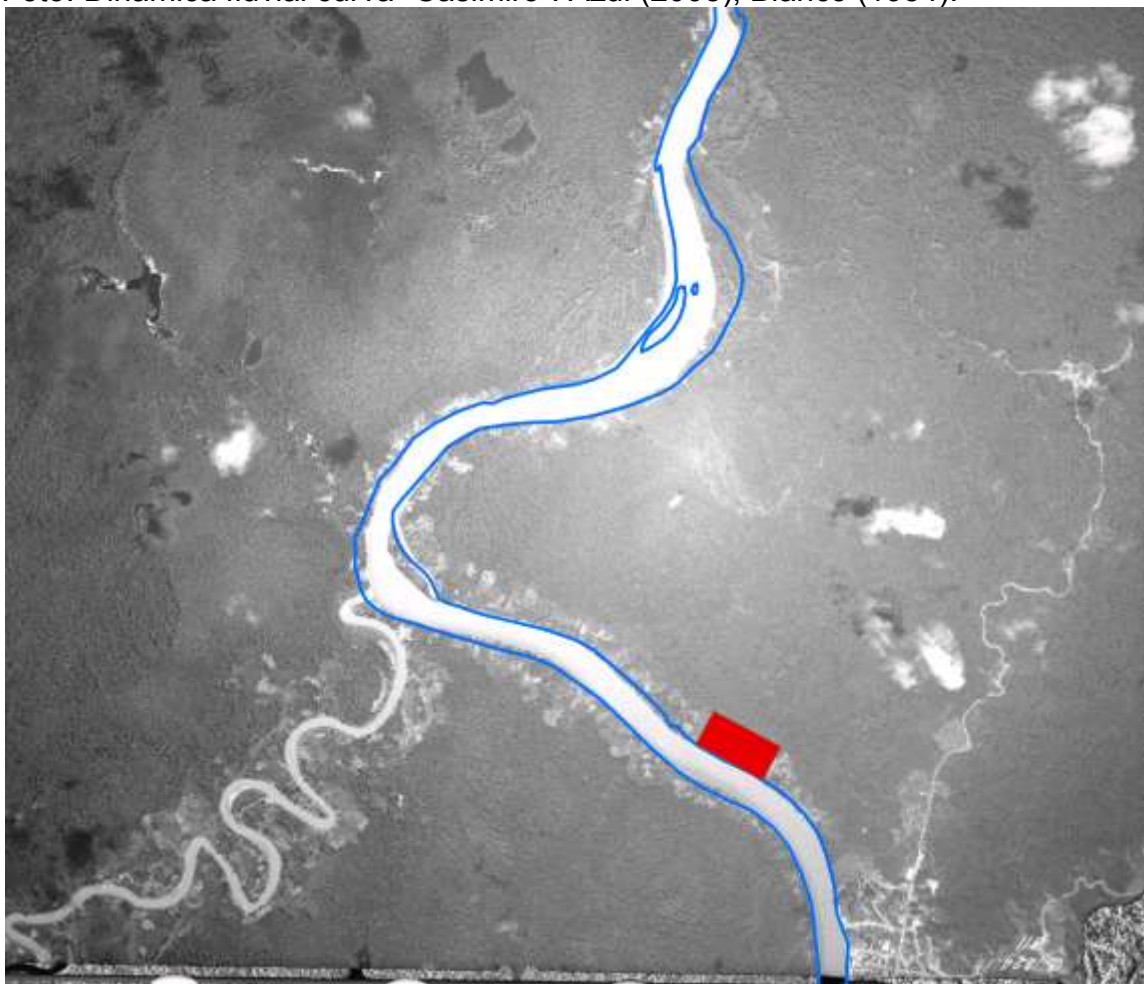


Dado que este sitio de localización del puerto es una curva externa pronunciada se hace necesario un análisis multitemporal que permita cuantificar la dinámica fluvial y así poder hacer la recomendación en lo que tiene que ver con las obras para la fijación de la orilla si es del caso.

En el convenio 3479 de 2008 el ingeniero Erik Mosselman, de la firma DELTARES de Holanda, realizó un análisis multitemporal del río Atrato desde Quibdó hasta su desembocadura en el Golfo de Urabá, usando la Geodatabase 1:100.000 del IGAC de 2001 y las imágenes TERRASAR X del proyecto de 2008 e identificó la curva de “Casimiro” como una “curva aguas arriba de la quebrada Guayabal”, con “Erosión en la parte externa de la curva a lo largo de la orilla derecha” con el “Talweg recostado contra la orilla derecha erodada”. Identifica barras menores alineadas a lo largo de la orilla izquierda que representan barras de desplazamiento que a su vez son signos de migración reciente a la derecha.

Por lo anterior y para poder cuantificar la dinámica fluvial en esta curva se hizo la superposición de la imagen TerraSar X (2008) sobre una fotografía aérea de 1954 del sector utilizando el SIG del proyecto y se obtuvo un desplazamiento de 60 metros a la derecha en un período de 54 años, **lo que equivale a una tasa de desplazamiento de 1.1 metros por año**, ver foto.

Foto. Dinámica fluvial curva “Casimiro”. Azul (2008), Blanco (1954).



Fuente: IGAC y elaboración propia 2013.

### 6.3 TRABAJO DE CAMPO EN EL SITIO DE UBICACIÓN DEL PUERTO DE TARENA EN EL GOLFO DE URABÁ.

Para este sitio se hizo reconocimiento geológico de superficie a través de la trocha que se realizó entre el brazo Tarena y el Golfo de Urabá. Este se ubica en el PK 4 del canal navegable del río y litoestratigráficamente corresponde a un depósito intermareal (Q2m) cubierto de mangle, ver foto.

Foto. Depósito intermareal cubierto de mangle. Brazo Tarena-Golfo de Urabá



Al ingresar al E del sitio a través de la trocha se deja el manglar y se encuentra un bosque denso inundable, en donde **no** se encuentra ningún afloramiento. Al salir al golfo se encuentran otra vez manglar, ver fotos. Por lo anterior para realizar el modelo geológico en profundidad se realizó exploración con taladro rotopercutor hasta 30 metros en tres sitios seleccionados conjuntamente con el geotecnista del IIAP. Tectónicamente este es un sitio complejo debido al choque de la placa del Caribe con la placa de Cocos y con la placa Nazca, esto debe ser tenido en cuenta en la fase de diseños definitivos (Fase III).



Foto. Bosque natural denso inundable en el sitio de la posible ubicación del puerto de “Tarena” en el Golfo de Urabá.



Foto. Localización del puerto de Tarena en el Golfo de Urabá, Bahía Rotico.



### 6.3.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO PARA EL FUTURO PUERTO DE TARENA EN EL GOLFO DE URABÁ.

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 localización de sondeos.

Imagen de localización de sondeo de exploración del subsuelo en “Tarena”.

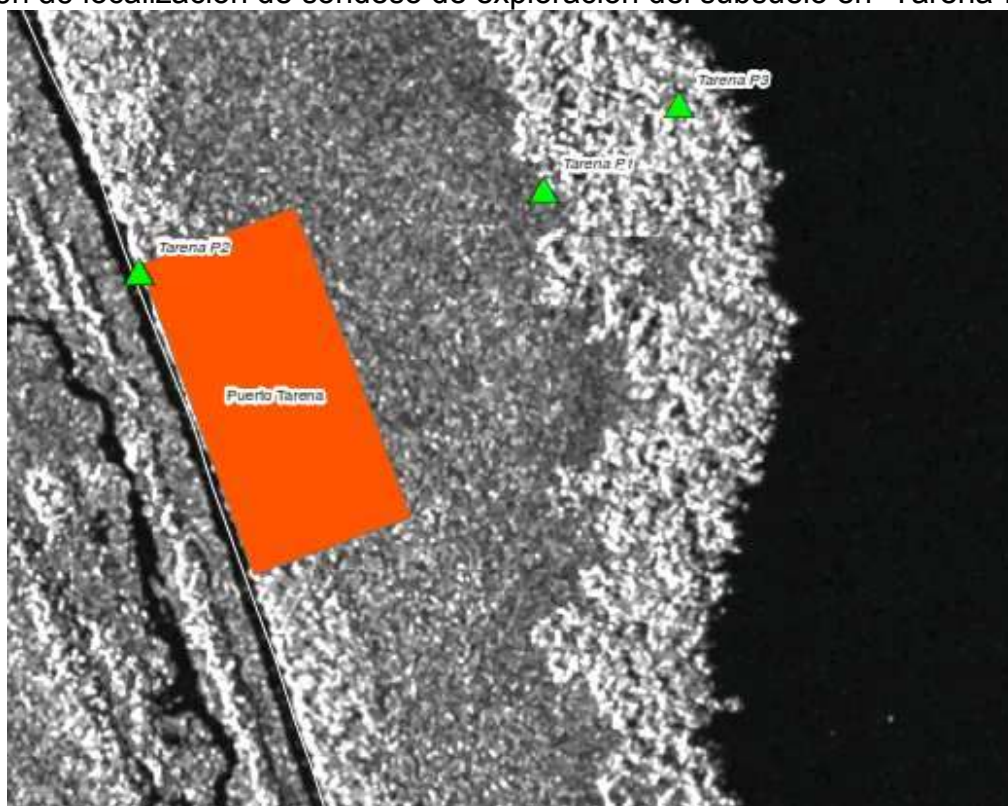




Foto. Exploración del subsuelo en el sitio para el futuro puerto marítimo de “Tarena”.



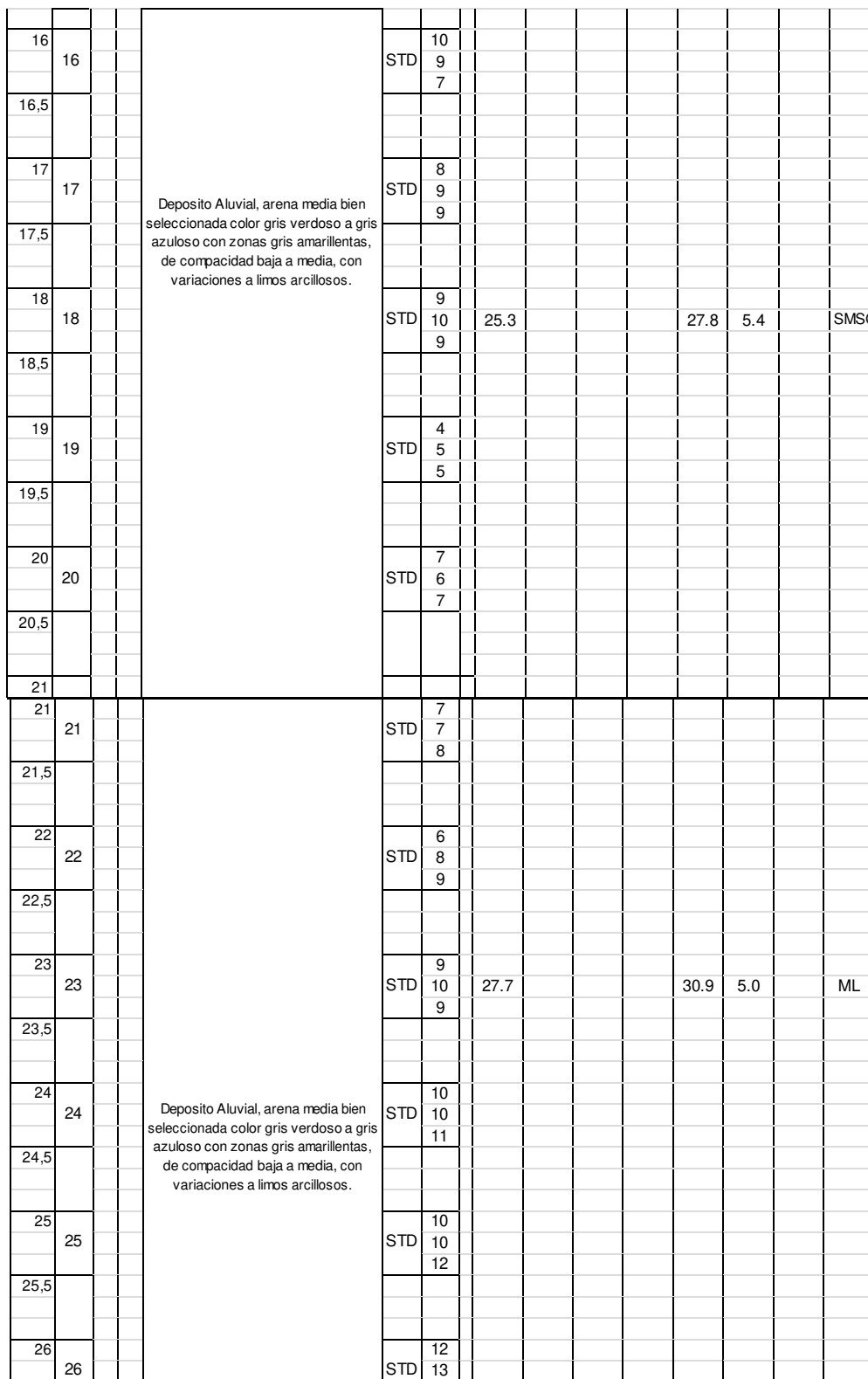
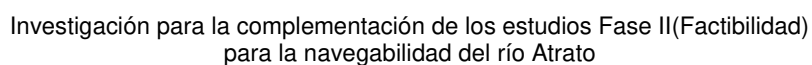
## ESTRATIGRAFÍA DEL SITIO PARA EL FUTURO PUERTO MARÍTIMO DE “TARENA” EN EL GOLFO DE URABÁ – BAHÍA ROTICO.

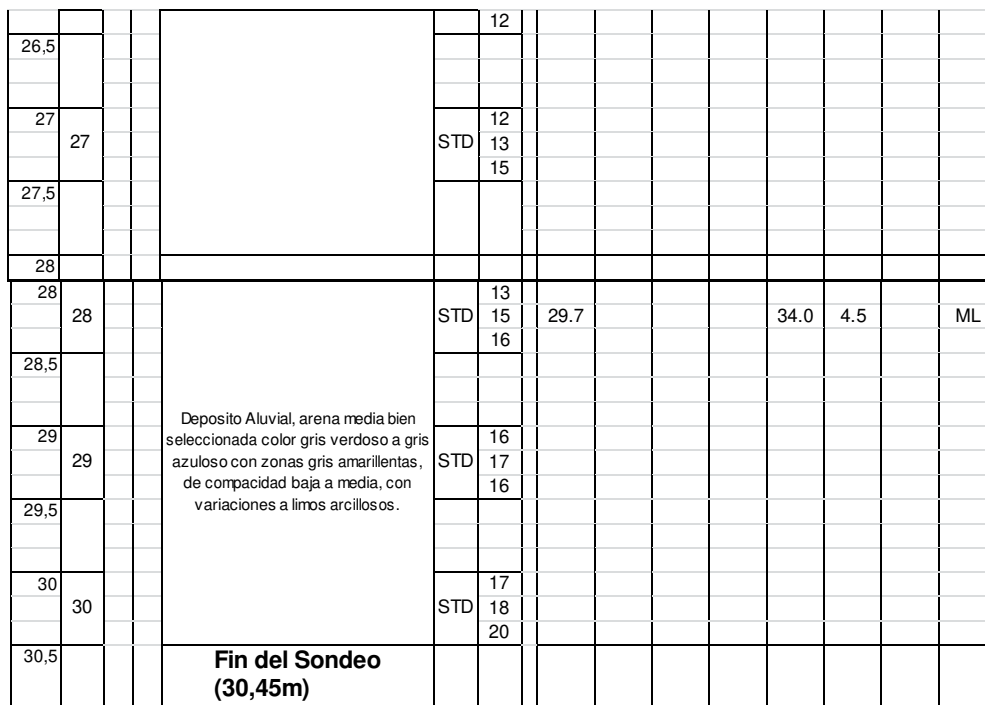
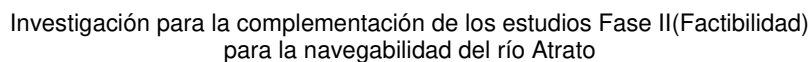
A continuación se presentan los registros de los tres sondeos ejecutados, mediante los cuales se describe la estratigrafía del depósito intermareal (Q2m) cuaternario presente en el sitio para el futuro puerto marítimo de “Tarena” en el Golfo de Urabá – Bahía Rotico.

REGISTRO DE PERFORACIÓN												
INFORMACIÓN GENERAL:							Fecha:					
Proyecto:		Puerto Tarena			COORDENADAS:		enero de 2013					
Localización:		Chocó					Perforación No.					
Equipo:		Pety			N:		1					
Perforador:		Alfredo Martínez			E:		Hoja No:					
Responsable:		Nelson Gaona			Z:		de:					
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 (%)
0				Arcilla Café con zonas grises, fragmentos de troncos y raíces, alta humedad muy blanda y de carácter plástico								
0,5												
1	1				STD	1						
1,6												
2	2				STD	1						
2,5				Deposito Aluvial, compuesto por arena limo arcillosa, de color gris verdoso a gris azulado con zonas gris amarillentas, suelta.								
3	3				STD	1 1						
3,6												
4	4				STD	1 1 1	32,3		30,8	7,0	22,3	SM-SC
4,5												
5	5				STD	4 2 2						
5,5												

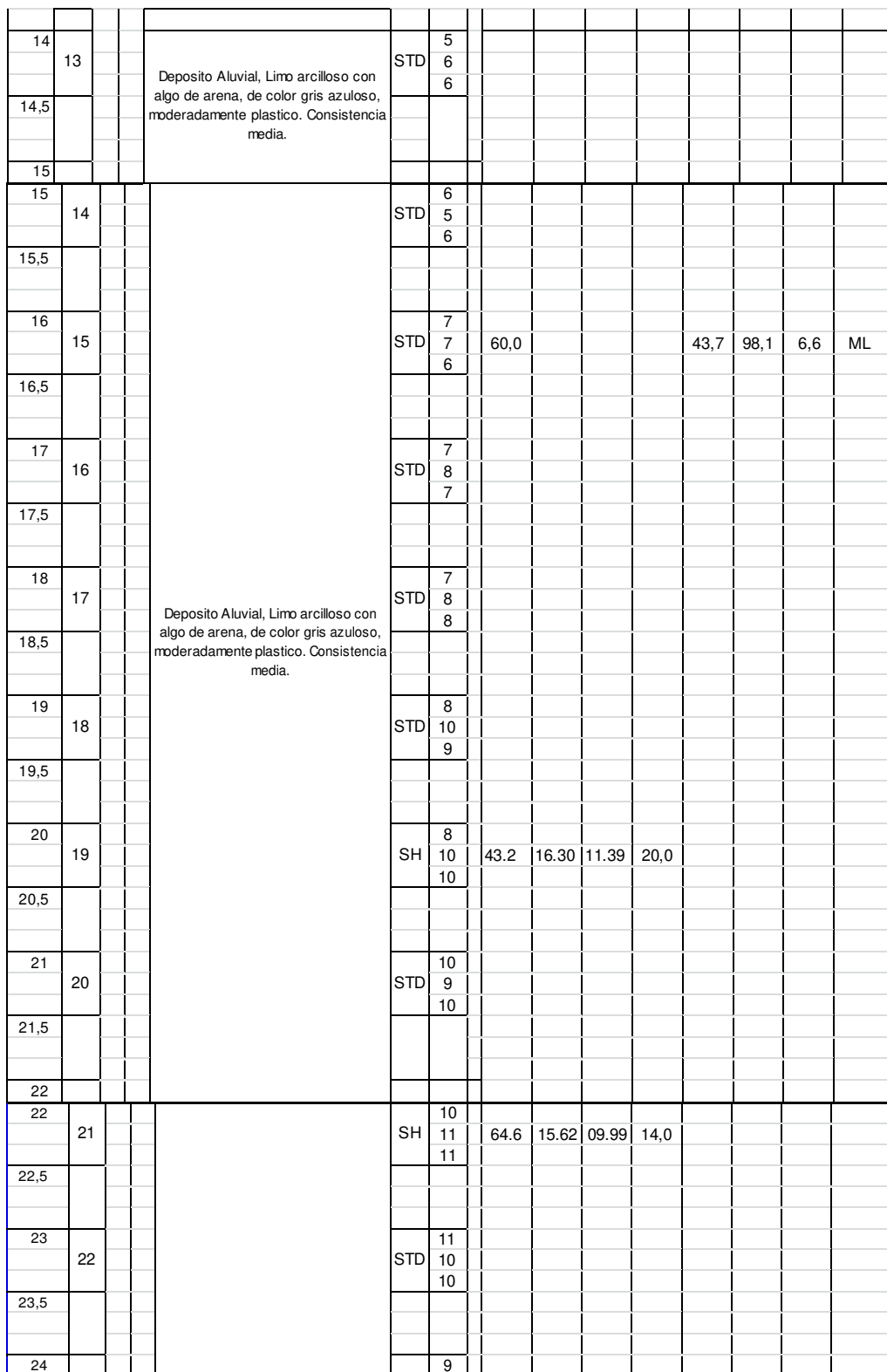
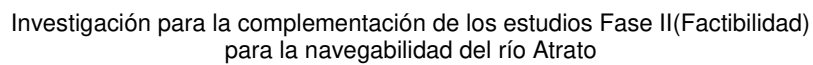
[illegible]



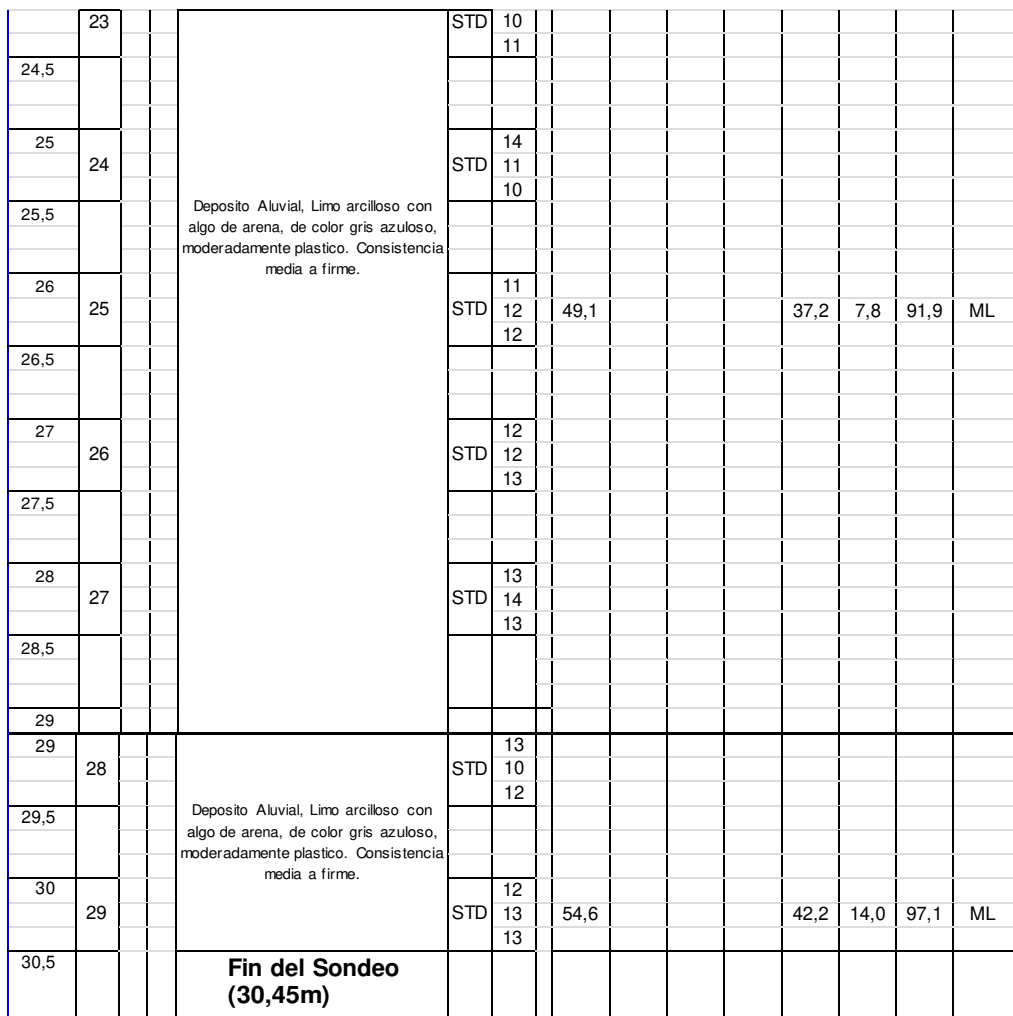
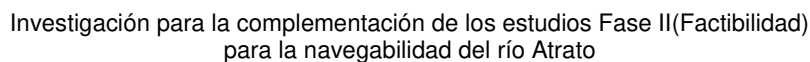


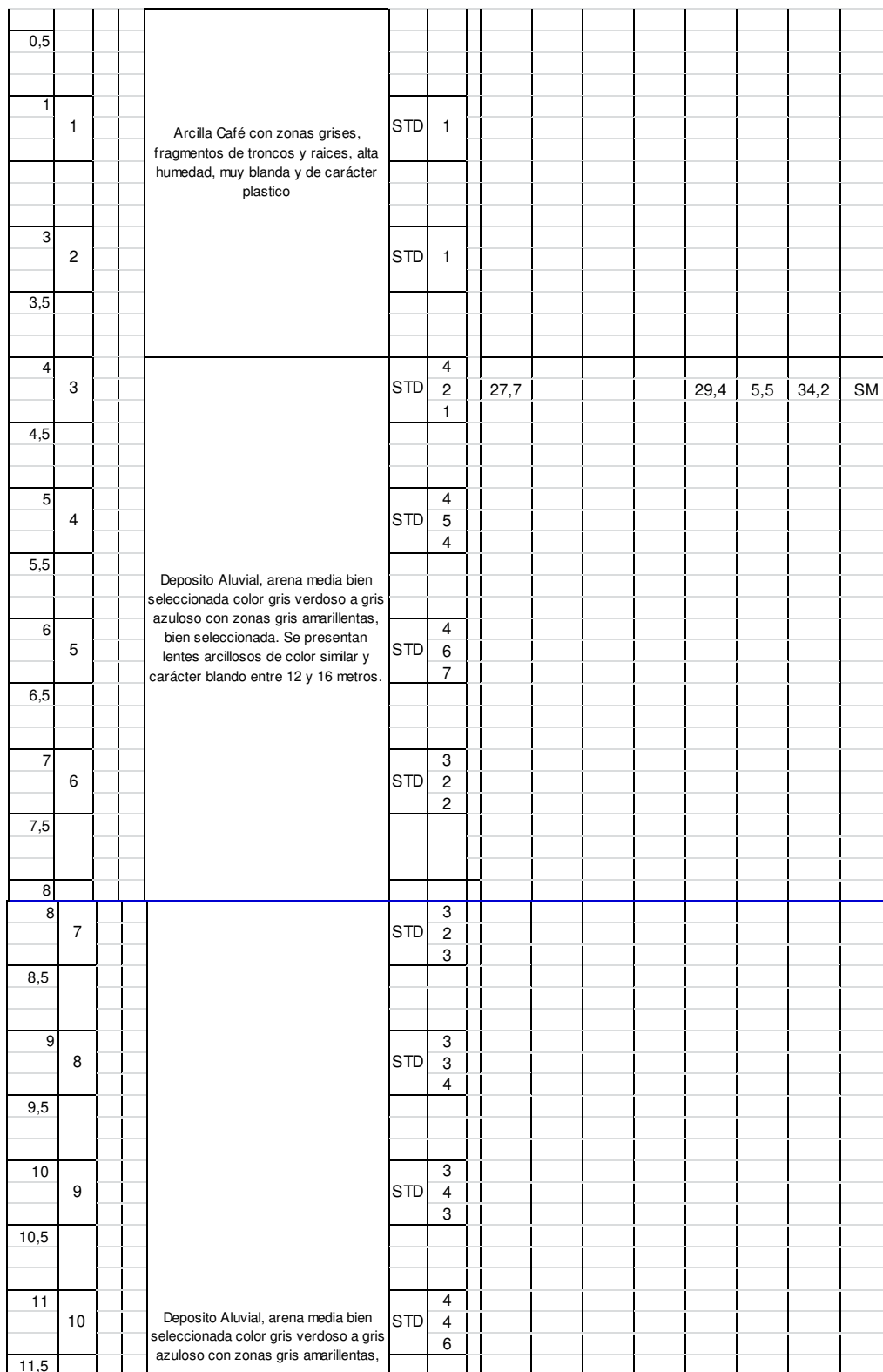
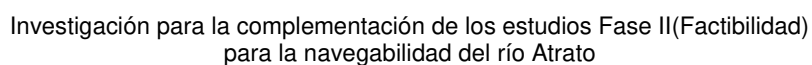
VOLUMEN II CONVENIO 2141 DE 2011 INVIAS – IIAP

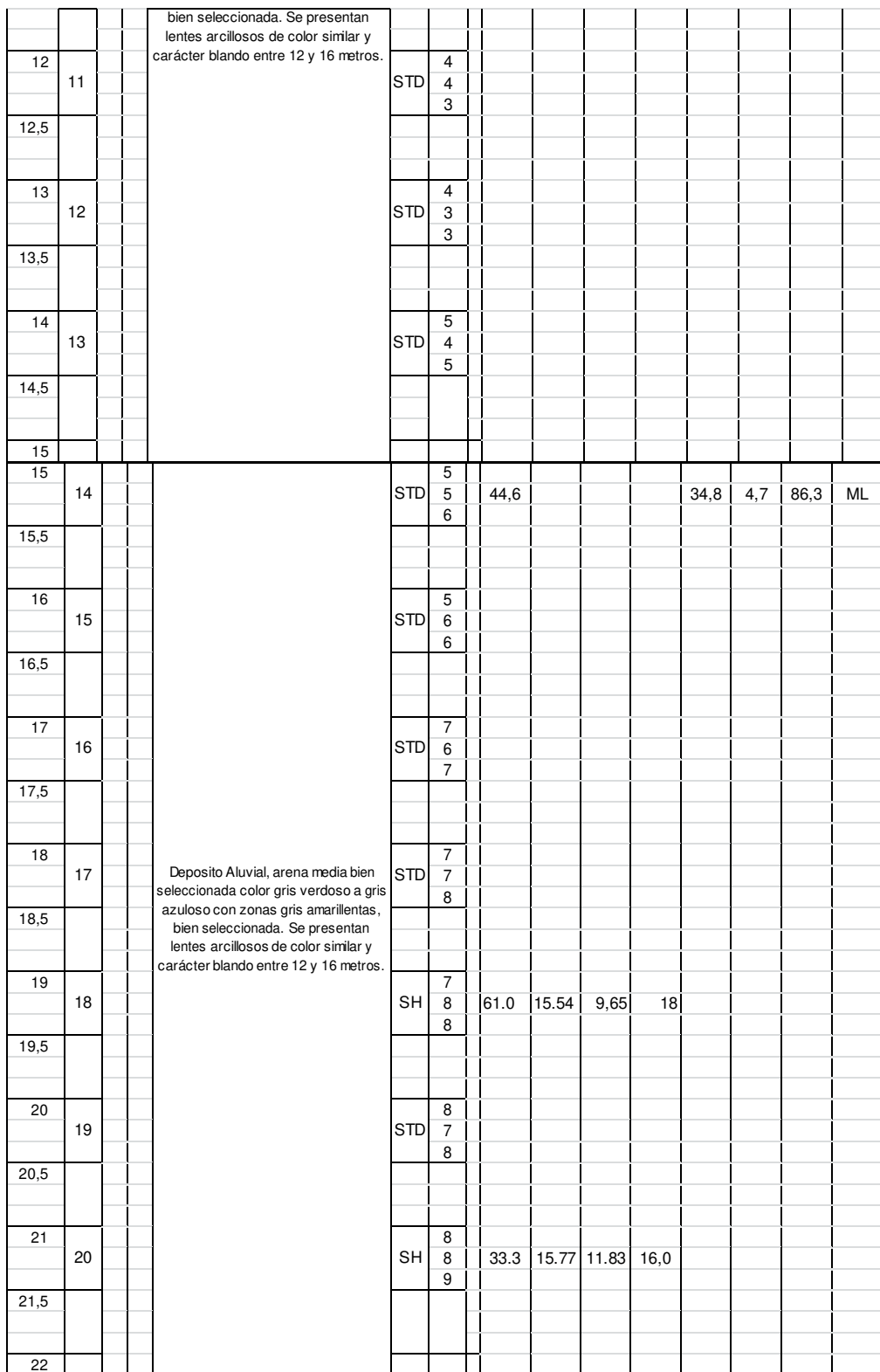
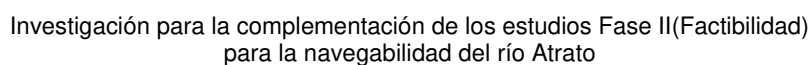






[illegible]





22	21				STD	8 9 9	54,4				42,0	9,2	77,2	ML
22,5														
23	22				STD	9 8 9								
23,5														
24	23				STD	9 10 9								
24,5														
25	24				STD	9 10 10								
25,5														
26	25				STD	10 10 12								
26,5														
27	26				STD	10 12 12								
27,5														
28	27				STD	12 13 12	44,0				35,8	5,9	43,5	SM
28,5														
29														
2	28				STD	12 13 13								
29														
3	29				STD	13 13 15								
30,5														
				<b>Fin del Sondeo (30,45m)</b>										



### **6.3.2 ANÁLISIS MULTITEMPORAL-DINÁMICA FLUVIO-MARÍNA DEL SITIO PARA IMPLEMENTAR EL PUERTO DE TARENA EN EL GOLFO DE URABÁ.**

Según los resultados del convenio 3479 de 2008 aguas abajo del PK 184 las orillas no muestran ninguna dinámica entre el período 2001 y 2008 y plantean que una posible explicación es que a partir del PK 184 la pendiente hidráulica disminuye notablemente, lo que combinado con una llanura de inundación bastante amplia, de más de 10 km, perteneciente al ecosistema deltáico y una vegetación de planicie fluvio-marina densa hacen que las orillas no se vean afectadas por alta energía y así la erosión lateral se controla y no se presentan variaciones significativas en el canal activo.

Adicionalmente, al revisar el estudio “CAMBIOS DEL NIVEL DEL MAR DURANTE EL HOLOCENO EN EL LITORAL CARIBE COLOMBIANO” realizado por los profesores de la Universidad Nacional, Kim Robertson y Néstor Martínez se encuentra que “La morfología litoral del Golfo de Urabá está controlada por la interacción de tres factores principales: la evolución tectónica de la región, los aportes fluviales y la dinámica oceánica, los cuales han determinado un complejo sistema de geoformas erosivas y de acumulación. Hacia el sector sur central del golfo dominan las acumulaciones aluviales provenientes de los sistemas fluviales de los ríos Atrato, León, Turbo, Caimán y otros cauces menores. En esta dinámica, se destaca el crecimiento lento del delta del Atrato sobre la costa occidental del golfo frente al avance rápido de la mayoría de los deltas menores situados en la costa oriental del golfo. Una revisión cartográfica histórica con el apoyo de las imágenes de satélite señala pocos cambios en su extensión y morfología general. De acuerdo con la cartografía antigua de 1817, 1832 y 1846 (IGAC, 1985) el delta del Atrato ha permanecido casi inalterado durante más de 150 años. En este mismo período, la configuración del delta del Atrato solo ha sufrido un cambio significativo, consistente en la desactivación y retroceso de la boca más al norte, Tarena, siendo remplazada por la nueva boca de “El Roto”, un poco más la sur, inexistente en la cartografía antigua. El sistema litoral del golfo de Urabá revela un aparente déficit de sedimentos al sector sur conjugado por un probable proceso de subsidencia. Evidencias como la poca presencia de cordones litorales, la poca progradación del delta del Atrato y el retroceso de las escasas playas del sector sur central indican un litoral en retroceso progresivo. La poca afluencia de sedimentos arenosos sobre el litoral puede deberse al efecto de trampa que configuran el sistema de abanicos aluviales y pantanosos del bajo Atrato, donde se acumularían los aportes terrígenos provenientes de la cordillera Andina. Finalmente, la posición preferencial del delta del Atrato hacia el flanco



occidental del golfo sugiere una subsidencia o basculamiento del valle inferior al oeste (Chevillot et al, 1993). Este proceso de hundimiento podría deberse a la compactación de las grandes acumulaciones fluviomarinadas lodosas, sin descartar una influencia tectónica, haciendo poco probable el cierre próximo del golfo por el delta del Atrato. En cambio, los flancos de esta fosa tectónica y específicamente sectores noreste y noroeste conservan claras evidencias de un mar más elevado en épocas recientes.”

## **7 ESTUDIO DE FUENTES DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y SITIOS DE DISPOSICIÓN DE SOBRANTES.**

Teniendo en cuenta el sistema intermodal de transporte propuesto, las dos grandes obras de infraestructura que demandarán materiales de construcción y sitios de disposición de sobrantes son el puerto fluvial de Quibdó y el puerto marítimo de Tarena en el Golfo de Urabá.

### **7.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y SITIOS DE DISPOSICIÓN DE SOBRANTES PARA EL PUERTO FLUVIAL DE QUIBDÓ.**

Aunque este estudio es fase II (Factibilidad) y es realmente en fase III (Diseño definitivo) en donde se debe hacer el estudio detallado de fuentes de materiales de construcción, se hizo una investigación de campo para identificar las posibles fuentes que se podrán utilizar a la hora de la construcción del puerto fluvial de Quibdó y se revisó el tema de licencias de explotación encontrándose lo siguiente:

- El material del lecho y de las playas del río Atrato es el adecuado para la fabricación de concretos, base granular, sub-base, ver foto.



- Según CODECHOCÓ existe solo una empresa que tiene licencia de explotación y es “Prefabricados del Sur”, el resto de las explotaciones son ilegales, ver foto.



- CODECHOCÓ recomienda que para la construcción del puerto fluvial de Quibdó se tramite una licencia de explotación en la playa al frente del sitio seleccionado para el puerto.
- Existe otra fuente que deberá ser estudiada en fase III y es la denominada cantera del corregimiento de samurindó, ubicada a 15 Km de Quibdó en la vía a Pereira, ver foto.



- En cuanto a los sitios de disposición en las proximidades del proyecto se encuentran bajos que podrán ser sometidos a reconformación morfológica y paisajística. Esto deberá ser detallado en fase III.

## **7.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y SITIOS DE DISPOSICIÓN DE SOBRANTES PARA EL PUERTO MARÍTIMO DE TARENA EN EL GOLFO DE URABÁ.**

Aunque este estudio es fase II (Factibilidad) y es realmente en fase III (Diseño definitivo) en donde se debe hacer el estudio detallado de fuentes de materiales de construcción, se hizo una investigación de campo para identificar las posibles fuentes que se podrán utilizar a la hora de la construcción del puerto marítimo de Tarena en el Golfo de Urabá y se encontró lo siguiente:

- En el área del puerto no se cuenta con fuentes de materiales de construcción aptas para este tipo de proyectos.



- Para resolver esta situación se hizo la averiguación respectiva con los constructores de vías antioqueños y recomiendan utilizar para la construcción del puerto los **depósitos aluviales del río Carepa** que es lo que se está utilizando para las grandes obras de la parte norte de Urabá ya que tienen excelentes propiedades para concretos, bases y sub-bases pues es un material no plástico, sin sobretamaños y con un desgaste bajo.
- En cuanto a los sitios de disposición en las proximidades del proyecto se encuentran bajos que podrán ser sometidos a reconformación morfológica y paisajística. Esto deberá ser detallado en fase III.

## 8 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Litoestratigráficamente 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 va 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 río Atrato es un río meandriforme que muestra un alto grado de sinuosidad de su canal,  $1,63$  ( $493.466 = \text{Longitud del canal} / 301.992 = \text{Longitud del valle}$ ).
- 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.
- 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.
- 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.
- La cuenca del río Atrato se encuentra en el denominado Reino Tectónico Occidental (WTR), el cual consiste de tres ensamblajes de terreno compuestos.





- La cuenca del río Atrato se considera como una de las cuencas de mayor rendimiento del mundo. El Atrato es el río con el mayor caudal relativo de agua en el mundo ( $0,112\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ), entendiendo esto como la comparación de su caudal promedio ( $4.082\text{m}^3/\text{s}$ ) en relación con su área de captación ( $36.257\text{ km}^2$ ). Lo que lo convierte en un río muy navegable desde el Golfo hasta la ciudad de Quibdó y por lo tanto en el principal medio de transporte de la región.
- El río Atrato, en el tramo entre Quibdó y su desembocadura tiene una longitud de 494 km, medido por el brazo Montaña, un ancho variable entre 150 a 500 m y una profundidad máxima de 38 m que se encuentra en la confluencia de los brazos Montaña y Murindó.
- 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.
- En el sistema fluvial del Atrato resaltan no sólo el canal como tal, sino también las zonas de sedimentación de abanicos y el delta, la escorrentía y sedimentos de ladera. Este sistema cambia con el tiempo, debido a la actividad de los procesos erosivos y de sedimentación, y a los cambios climáticos, variaciones del nivel del mar, neotectónica y actividad antrópica.
- 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.
- 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.
- 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.



- El canal del río Atrato es un canal meandriforme con un alto grado de sinuosidad, 1,63 ( $493.466 = \text{Longitud del canal} / 301.992 = \text{Longitud del valle}$ ), y variación irregular del ancho.
- 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.
- 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 en el convenio 3479 de 2008. El tramo PK 0 a PK 184 se puede considerar estable y esto también se puede verificar en el análisis multitemporal mencionado.
- Perteneciendo el río Atrato a una cuenca fluvial grande, que descarga en un mar protegido con olas de poca energía, con pequeño rango mareal (40 cm) y teniendo en cuenta que los canales distributarios son alargados y penetran profundamente los ambientes marinos, originando el típico patrón de "pata de pájaro", el delta del río Atrato se puede clasificar como un delta controlado fluvialmente.
- Las Unidades Geomorfológicas presentes en la cuenca del río Atrato, según la "Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano" pertenecen a tres tipos de geoformas: Geoformas de la depresión Atrato-San Juan y Costa Pacífica, Geoformas de las Serranías del Baudó Darién y Geoformas de la Cordillera Occidental.
- Según la exploración del subsuelo en el sitio denominado "Calle Quibdó" el perfil estratigráfico general consiste en un primer estrato de limo plástico que varía entre cuatro y doce metros de profundidad, suprayaciendo una arena limo arcillosa, la cual a su vez suprayace una grava limo arcillosa pobremente 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 el análisis multitemporal realizado, las orillas del río Atrato en el sitio denominado "Calle Quibdó", no presentan variaciones significativas en planta por lo cual se puede concluir que es un sitio estable morfodinámicamente.

- Según la exploración del subsuelo en el sitio denominado “Casimiro” el perfil estratigráfico general consiste en un primer estrato de limo plástico que varía entre cuatro y nueve metros de profundidad, suprayaciendo una arena limosa pobremente gradada, la cual a su vez suprayace una grava limosa pobremente 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 el análisis multitemporal realizado, las orillas del río Atrato en el sitio denominado “**Casimiro**”, presentan variaciones significativas en planta, 1.1 metros por año, por lo cual se puede concluir que **es un sitio inestable morfodinámicamente** y por lo tanto para la realización de cualquier obra de infraestructura en este sitio es necesario fijar la orilla con obras permanentes como las **tablestacas metálicas**.
- Según la exploración del subsuelo en el sitio de localización del puerto marítimo de Tarena en el Golfo de Urabá, el perfil estratigráfico general consiste en una secuencia de limos plásticos 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.
- 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 de Tarena 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.
- Los materiales de construcción que se deben utilizar para la construcción del puerto fluvial de Quibdó son los materiales de arrastre del río Atrato, concretamente la playa que queda al frente del sitio denominado “Casimiro”.
- Los sitios de disposición de sobrantes para el proyecto de construcción del puerto fluvial de Quibdó deben ser los bajos aledaños al sitio del proyecto, en donde se podrá hacer reconfiguración morfológica y paisajística. Esto deberá ser detallado en la fase de diseños definitivos (fase III).



- Los materiales de construcción que se deben utilizar para la construcción del puerto marítimo de Tarena en el Golfo de Urabá son los materiales de arrastre del río Carepa, población vecina al proyecto, ya que son los materiales más cercanos que cumplen con las especificaciones requeridas para concretos, bases y subbases.
- Los sitios de disposición de sobrantes para el proyecto de construcción del puerto marítimo de Tarena en el Golfo de Urabá deben ser los bajos aledaños al sitio del proyecto, en donde se podrá hacer reconformación morfológica y paisajística. Esto deberá ser detallado en la fase de diseños definitivos (fase III).



## RECOMENDACIONES

- Para la fase de diseños definitivos (fase III) del sistema de transporte propuesto se hace fundamental un programa de investigación enfocado especialmente en la Geología y Geomorfología Tectónica, Paleosismología, Neotectónica y Geodesia, para entender claramente los procesos tectónicos activos presentes en la cuenca del Atrato y con base en eso poder diseñar con mayor certidumbre la infraestructura necesaria para la implementación del sistema de transporte intermodal propuesto.
- Para el análisis de la Geología y Geomorfología del Cuaternario es necesario investigación en técnicas adecuadas de datación.
- La Geomorfología Tectónica debe incluir análisis cualitativos y cuantitativos con la ayuda de ensayos de laboratorio.
- La Geodesia se debe incorporar para investigar las características dinámicas y estáticas de la corteza de las placas Nazca y Suramericana.
- 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 hidrológica y geotécnicamente.
- Se debe continuar con la consecución de imágenes de Radar, al menos cada dos años, para continuar realizando los análisis multitemporales respectivos.





## BIBLIOGRAFÍA

- Convenio 3479 de 2008, INVIAS-UTCH, 2010.
- GEOMORFOLOGIA, PEARSON Prentice Hall, Mateo Gutiérrez Elorza, Madrid, 2008.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI; INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano. [En CD]. Tomo 2: Geomorfología. ISBN 958-97896-1-7. Bogotá, 2005.
- NEOTECTONICS, EARTHQUAKES AND STRIKE-SLIP FAULTS-READER- H. Diederix, ITC-Holanda, 1988.
- CEDIEL, Fabio; SHAW, Robert P; CÁCERES, Carlos. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. En: The Circum – Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitat, basin formation, and plate tectonics. Bartolini, T. T; Buffer and J. Blikwede, eds. AAPG Memoir 79. 2003. p. 815 – 848.
- González de Vallejo Luis, INGENIERÍA GEOLÓGICA, Pearson Prentice Hall, Madrid, 2002.
- Robertson Kim y Martínez Nestor, CAMBIOS DEL NIVEL DEL MAR DURANTE EL HOLOCENO EN EL LITORAL CARIBE COLOMBIANO, Universidad Nacional de Colombia, 1999.