



**ESTUDIO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS Y  
EL ANÁLISIS DE POSIBLE VULNERABILIDAD PARA  
IDENTIFICAR EVENTUALES RIESGOS HIDRÁULICOS EN  
UN SECTOR DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA  
UBICADO ENTRE LA VÍA 40 Y EL GRAN MALECÓN DEL  
RÍO**

**INFORME FINAL**



## TABLA DE CONTENIDO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>RECOPIACION DE LA INFORMACIÓN.....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>3</b> | <b>CARACTERÍSTICAS DEL SECTOR EN ESTUDIO .....</b>                                    | <b>1</b>  |
| 3.1      | LOCALIZACIÓN .....  | 1         |
| 3.2      | DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SECTOR EN ESTUDIO .....                                       | 2         |
| 3.3      | CLIMA .....   | 2         |
| 3.3.1    | Descripción General .....   | 2         |
| 3.3.2    | Lluvias .....   | 2         |
| 3.4      | RÉGIMEN DE VIENTOS .....  | 2         |
| <b>4</b> | <b>CUERPOS DE AGUA.....</b>   | <b>3</b>  |
| 4.1      | ARROYOS Y DRENAJES EXISTENTES.....  | 3         |
| 4.1.1    | Curva IDF .....   | 5         |
| 4.1.2    | Tiempo de Concentración.....  | 6         |
| 4.1.3    | Cálculo de Caudales.....  | 8         |
| 4.2      | RIO MAGDDALENA .....  | 12        |
| 4.2.1    | Tramo Bocas de Ceniza – Puente Laureano Gómez .....                                   | 12        |
| 4.2.2    | Tramo Puente Laureano Gomez – Calamar .....   | 13        |
| 4.2.3    | Características Hidrológicas e Hidráulicas .....                                      | 15        |
| 4.3      | CAÑOS DEL RIO MAGDALENA .....   | 22        |
| 4.4      | RESERVORIOS .....   | 23        |
| <b>5</b> | <b>VULNERABILIDAD, AMENAZA Y RIESGO .....</b>   | <b>24</b> |
| 5.1      | MANCHAS DE INUNDACIÓN .....   | 27        |
| 5.2      | DEFINICION DEL RIESGO .....   | 30        |
| 5.3      | NIVEL DE AMENAZA .....  | 30        |
| 5.4      | ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD .....  | 30        |
| 5.5      | RIESGO .....  | 31        |
| <b>6</b> | <b>SOCAVACIÓN .....</b>   | <b>32</b> |
| 6.1      | DISEÑO HIDRÁULICO Y DETERMINACIÓN DE LA SOCAVACIÓN DEL LECHO<br>DEL PUENTE FIJO ..... | 32        |
| 6.2      | DISEÑO HIDRÁULICO Y DETERMINACIÓN DE LA SOCAVACIÓN DEL LECHO<br>DEL PUENTE MOVIL..... | 37        |
| <b>7</b> | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>   | <b>42</b> |

## 1 INTRODUCCIÓN

PUERTA DE ORO contrató a la empresa CONCEP S.A.S con el fin de realizar un análisis de riesgos hidráulicos de la zona localizada entre la Vía 40 y el Gran Malecón entre la Carrera 46 y el Barrio Siape.

En este informe se presentan los análisis de los cuerpos de agua circundantes al área del proyecto.

El siguiente estudio constó de las siguientes actividades:

- Visita de Campo. Se realizó una visita al sector del proyecto en la cual se identificaron las principales corrientes de agua, las sub cuencas del proyecto y la cuenca general aferente al área del proyecto.
- Procesamiento GIS de cuencas. La información obtenida en campo sirvió para ajustar la topografía existente de la zona, con lo cual se construyeron los planos de sub cuencas.
- Cálculo de caudales.
- Definición de manchas de inundación
- Determinación del riesgo de las zonas estudiadas

## 2 RECOPIACION DE LA INFORMACIÓN

Para el presente estudio se utilizó la información secundaria que se describe a continuación:

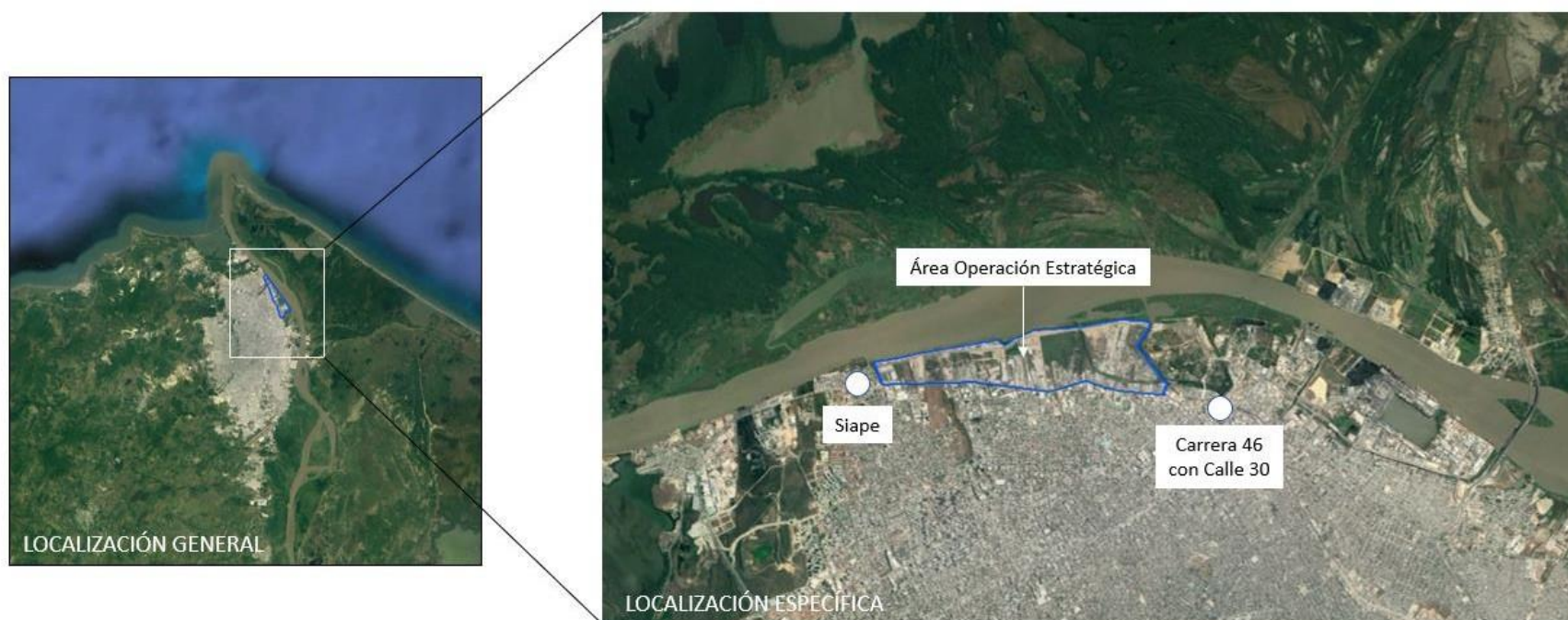
1. MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS. Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Diciembre 2009
2. MINISTERIO DE AGRICULTURA. INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ADECUACION DE TIERRAS. HIMAT. Estudio Piloto de Control de Inundaciones. Bogotá 1999.
3. MINISTERIO DE VIVIENDA. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Bogotá D.C. Año 2016.
4. MINISTERIO DE TRANSPORTE. INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. SUBDIRECCIÓN DE APOYO TÉCNICO. Manual de Drenaje para Carreteras. Bogotá D.C. Año 2009.
5. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad - Duración - Frecuencia para Colombia. Vargas M. R., Díaz - Granados D. M, Santafé de Bogotá, 1998.
6. US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Hydraulic Engineering Circular No 22, Third Edition. Urban Drainage Design Manual. Publication No FHWA-NHI-10-009. Washington D.C, United States of America. September 2009.

### 3 CARACTERÍSTICAS DEL SECTOR EN ESTUDIO

#### 3.1 LOCALIZACIÓN

El sector en estudio del proyecto corresponde a la zona Norte de la Ciudad de Barranquilla, sobre la margen izquierda del Río Magdalena. Al sector discurren diferentes arroyos que tienen alta influencia en el dimensionamiento de las obras de drenaje del proyecto.

Figura 3-1. Localización del Área de Estudio



### **3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SECTOR EN ESTUDIO**

El sector en estudio corresponde a una zona de carácter predominantemente urbano con zonas actualmente vírgenes con proyección constructiva de vocación urbana. En el sector predomina la vegetación típica del clima cálido con alguna presencia de asentamientos urbanos sin mucha impermeabilización.

### **3.3 CLIMA**

#### **3.3.1 Descripción General**

El clima del sector es de tipo tropical seco, es decir, correspondiente a una vegetación propia de la sequedad y altas temperaturas. La temperatura promedio es de 27,4 °C. De noviembre hasta principios de abril, coincidiendo con el invierno boreal, soplan los vientos alisios del noreste, mitigando en parte el intenso calor. Hacia fines de junio soplan los alisios del sureste, produciendo el Veranillo de San Juan.

#### **3.3.2 Lluvias**

El régimen de precipitación de la zona se rige por dos periodos: uno seco, de diciembre a abril, y otro lluvioso que abarca de abril a principios de diciembre. En abril o mayo empiezan las lluvias de "primera". Hacia fines de junio, gran parte de julio y a veces en agosto, tiende a disminuir la lluvia, constituyéndose una "seca" conocida como veranillo de San Juan. La precipitación anual promedio es de 821 mm.

### **3.4 RÉGIMEN DE VIENTOS**

Los vientos dominantes en el sector corresponden a los vientos Alisios del Noreste.

## 4 CUERPOS DE AGUA

A continuación, se presentan la localización de los principales cuerpos de agua existentes en el sector:

- Arroyos
- Río Magdalena
- Caños del Río Magdalena
- Reservorios

### 4.1 ARROYOS Y DRENAJES EXISTENTES

Las cuencas objeto del actual estudio son de gran extensión. En la determinación de las cuencas se utilizó la topografía desarrollada en el marco del contrato “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DE SOLUCIONES ALTERNATIVAS AL DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA” celebrado entre las empresas HIDROESTUDIOS S.A. y CONCEP LTDA con FONADE la cual fue desarrollada por el Servicio Aerofotogramétrico de Colombia S.A (SADEC).

Luego de un proceso de filtrado de la información, el consultor delimitó computacionalmente la cuenca relacionada con el objeto contractual de este estudio. Las cuencas objeto del proyecto se presentan en la Figura 5-1.

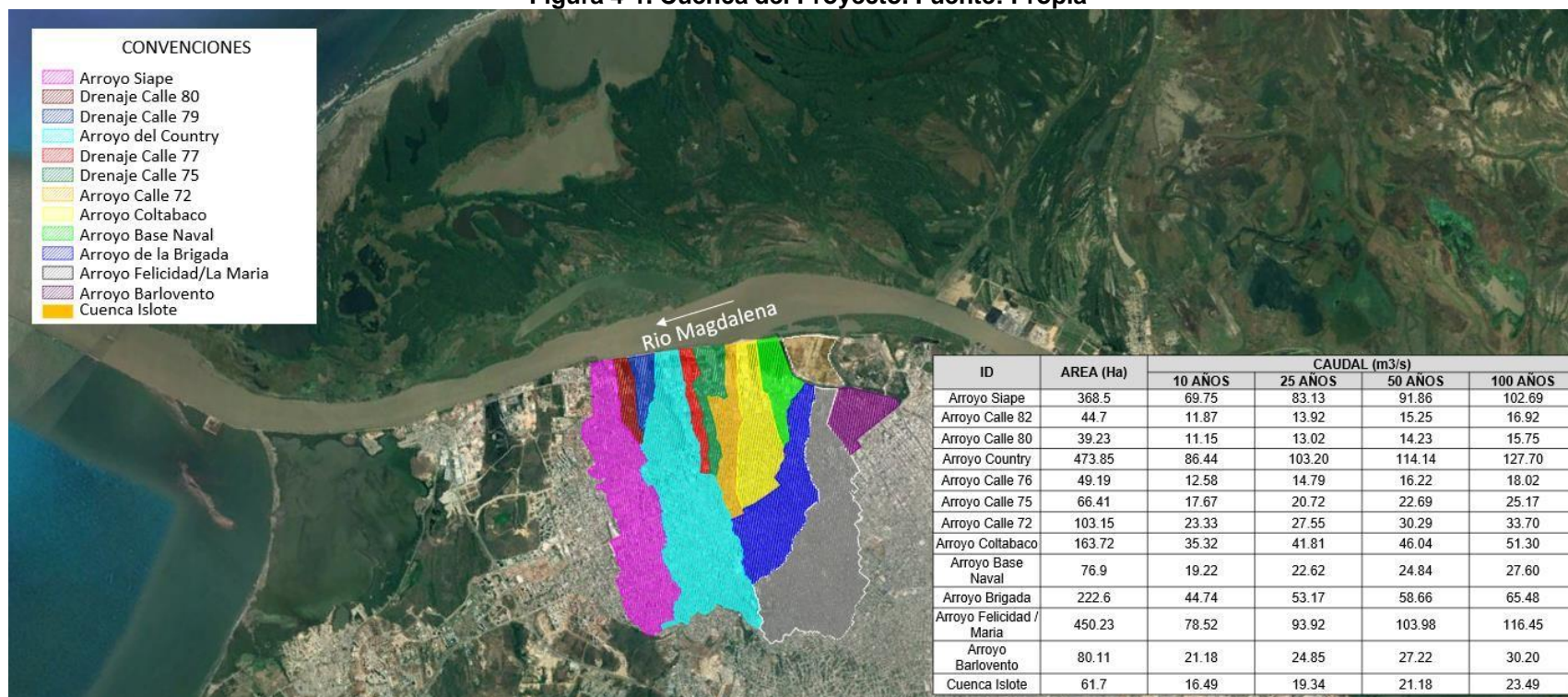
Las Características Morfométricas de las cuencas se presentan a continuación:

**Tabla 4-1. Características Morfométricas de las Sub-Cuencas. Fuente: Propia**

| ID                       | ELEVACION (m) |     | L (m) | S (m/m) | C    | A (Ha) |
|--------------------------|---------------|-----|-------|---------|------|--------|
|                          | MAX           | MIN |       |         |      |        |
| Arroyo Siape             | 140           | 2   | 5448  | 0.0253  | 0.85 | 368.5  |
| Arroyo Calle 82          | 48            | 2   | 1837  | 0.0250  | 0.85 | 44.7   |
| Arroyo Calle 80          | 39            | 2   | 1314  | 0.0282  | 0.85 | 39.23  |
| Arroyo Country           | 107           | 2   | 5389  | 0.0195  | 0.85 | 473.85 |
| Arroyo Calle 76          | 58            | 2   | 2214  | 0.0253  | 0.85 | 49.19  |
| Arroyo Calle 75          | 107           | 2   | 2355  | 0.0446  | 0.85 | 66.41  |
| Arroyo Calle 72          | 67            | 2   | 2859  | 0.0227  | 0.85 | 103.15 |
| Arroyo Coltabaco         | 62            | 2   | 3152  | 0.0190  | 0.85 | 163.72 |
| Arroyo Base Naval        | 31            | 2   | 1936  | 0.0150  | 0.85 | 76.9   |
| Arroyo Brigada           | 103           | 2   | 4363  | 0.0231  | 0.85 | 222.6  |
| Arroyo Felicidad / María | 103           | 2   | 5794  | 0.0174  | 0.85 | 450.23 |
| Arroyo Barlovento        | 23            | 2   | 1458  | 0.0144  | 0.85 | 80.11  |
| Cuenca Islote            | 5             | 2   | 750   | 0.0040  | 0.85 | 61.7   |



Figura 4-1. Cuenca del Proyecto. Fuente: Propia

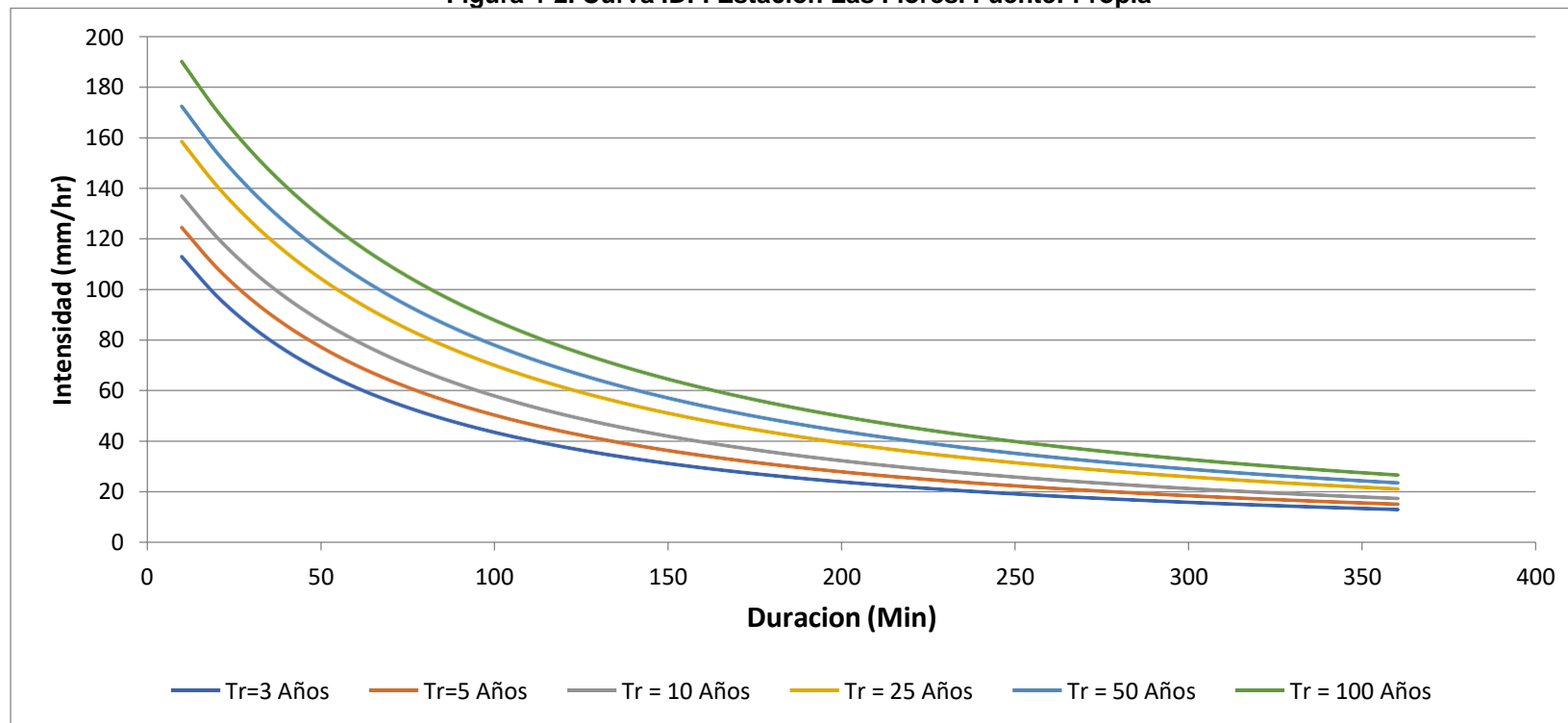




#### 4.1.1 Curva IDF

Se utilizó la curva IDF de la Estación Las Flores, localizada aledaños al proyecto.

**Figura 4-2. Curva IDF. Estación Las Flores. Fuente: Propia**



#### 4.1.2 Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración se define como el tiempo que se necesita para que toda la cuenca genere escorrentía superficial en una sección determinada, es decir, es el tiempo que demora una gota de agua en salir de la cuenca siendo que ésta partió desde el punto más lejano de la cuenca. El tiempo de concentración depende de factores como forma de la cuenca, porcentaje de impermeabilidad de la cuenca, área de la cuenca, pendiente de la cuenca y cauce principal.

En este estudio se utilizaron las fórmulas para estimar el tiempo de concentración propuestas por Kirpich, Témez, y FAA. En las siguientes figuras se presenta cada una de las anteriores formulas junto con sus variables.

Existen muchas ecuaciones que permiten determinar dicho tiempo de concentración. A continuación, las tres ecuaciones evaluadas en el siguiente estudio:

- Kirpich

$$T_c = 0.06628 \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

Donde: L es la longitud del cauce principal (Km)  
S es la pendiente entre las elevaciones máxima y mínima del cauce principal, en metros por metro (m/m)  
Tc es el tiempo de concentración en horas

- Témez

$$T_c = 0.30 \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.76}$$

Donde: L es la longitud del cauce principal (Km)  
S es la pendiente entre las elevaciones máxima y mínima del cauce principal (%)  
Tc es el tiempo de concentración en horas

- FAA

$$T_c = \frac{0.707 \left( \frac{1.1 - C}{S} \right)^{1/2} L}{S^{1/3}}$$

Donde: L es la longitud del cauce principal  
S es la pendiente entre las elevaciones máxima y mínima del cauce principal  
Tc es el tiempo de concentración en minutos

Considerando que las zonas de estudio tienen un alto nivel de impermeabilización se propone la utilización de un coeficiente de escorrentía desarrollado de 0.85.

**Figura 4-3. Tiempos de Concentración. Fuente: Propia.**

| ID                       | ELEVACION (m) |     | L (m) | S (m/m) | TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (min) |       |       |          |
|--------------------------|---------------|-----|-------|---------|-------------------------------|-------|-------|----------|
|                          | MAX           | MIN |       |         | Kirpich                       | Temez | FAA   | PROMEDIO |
| Arroyo Siape             | 140           | 2   | 5448  | 0.0253  | 60.40                         | 54.72 | 44.16 | 53.09    |
| Arroyo Calle 82          | 48            | 2   | 1837  | 0.0250  | 26.27                         | 24.00 | 25.74 | 25.34    |
| Arroyo Calle 80          | 39            | 2   | 1314  | 0.0282  | 19.40                         | 18.20 | 20.93 | 19.51    |
| Arroyo Country           | 107           | 2   | 5389  | 0.0195  | 66.26                         | 57.04 | 47.93 | 57.08    |
| Arroyo Calle 76          | 58            | 2   | 2214  | 0.0253  | 30.21                         | 27.61 | 28.16 | 28.66    |
| Arroyo Calle 75          | 107           | 2   | 2355  | 0.0446  | 25.47                         | 25.98 | 24.05 | 25.17    |
| Arroyo Calle 72          | 67            | 2   | 2859  | 0.0227  | 38.33                         | 34.22 | 33.16 | 35.23    |
| Arroyo Coltabaco         | 62            | 2   | 3152  | 0.0190  | 44.24                         | 38.11 | 36.94 | 39.76    |
| Arroyo Base Naval        | 31            | 2   | 1936  | 0.0150  | 33.33                         | 27.54 | 31.35 | 30.74    |
| Arroyo Brigada           | 103           | 2   | 4363  | 0.0231  | 52.70                         | 47.02 | 40.72 | 46.81    |
| Arroyo Felicidad / Maria | 103           | 2   | 5794  | 0.0174  | 73.13                         | 61.56 | 51.57 | 62.09    |
| Arroyo Barlovento        | 23            | 2   | 1458  | 0.0144  | 27.20                         | 22.37 | 27.57 | 25.71    |
| Cuenca Islote            | 5             | 2   | 750   | 0.0040  | 26.70                         | 17.22 | 30.29 | 24.74    |

#### 4.1.3 Cálculo de Caudales

**Figura 4-4. Caudales Tr = 10 Años. Fuente: Propia**

| ID                       | ELEVACION (m) |     | L (m) | S (m/m) | C    | TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (min) |       |       |          | A (Ha) | K    | I (mm/hr) | Q (m3/s) |
|--------------------------|---------------|-----|-------|---------|------|-------------------------------|-------|-------|----------|--------|------|-----------|----------|
|                          | MAX           | MIN |       |         |      | Kirpich                       | Temez | FAA   | PROMEDIO |        |      |           |          |
| Arroyo Siape             | 140           | 2   | 5448  | 0.0253  | 0.85 | 60.40                         | 54.72 | 44.16 | 53.09    | 368.5  | 0.95 | 85.24     | 69.75    |
| Arroyo Calle 82          | 48            | 2   | 1837  | 0.0250  | 0.85 | 26.27                         | 24.00 | 25.74 | 25.34    | 44.7   | 1    | 113.58    | 11.87    |
| Arroyo Calle 80          | 39            | 2   | 1314  | 0.0282  | 0.85 | 19.40                         | 18.20 | 20.93 | 19.51    | 39.23  | 1    | 121.62    | 11.15    |
| Arroyo Country           | 107           | 2   | 5389  | 0.0195  | 0.85 | 66.26                         | 57.04 | 47.93 | 57.08    | 473.85 | 0.95 | 82.15     | 86.44    |
| Arroyo Calle 76          | 58            | 2   | 2214  | 0.0253  | 0.85 | 30.21                         | 27.61 | 28.16 | 28.66    | 49.19  | 1    | 109.39    | 12.58    |
| Arroyo Calle 75          | 107           | 2   | 2355  | 0.0446  | 0.85 | 25.47                         | 25.98 | 24.05 | 25.17    | 66.41  | 1    | 113.80    | 17.67    |
| Arroyo Calle 72          | 67            | 2   | 2859  | 0.0227  | 0.85 | 38.33                         | 34.22 | 33.16 | 35.23    | 103.15 | 0.95 | 101.84    | 23.33    |
| Arroyo Coltabaco         | 62            | 2   | 3152  | 0.0190  | 0.85 | 44.24                         | 38.11 | 36.94 | 39.76    | 163.72 | 0.95 | 97.14     | 35.32    |
| Arroyo Base Naval        | 31            | 2   | 1936  | 0.0150  | 0.85 | 33.33                         | 27.54 | 31.35 | 30.74    | 76.9   | 1    | 106.90    | 19.22    |
| Arroyo Brigada           | 103           | 2   | 4363  | 0.0231  | 0.85 | 52.70                         | 47.02 | 40.72 | 46.81    | 222.6  | 0.95 | 90.52     | 44.74    |
| Arroyo Felicidad / María | 103           | 2   | 5794  | 0.0174  | 0.85 | 73.13                         | 61.56 | 51.57 | 62.09    | 450.23 | 0.95 | 78.53     | 78.52    |
| Arroyo Barlovento        | 23            | 2   | 1458  | 0.0144  | 0.85 | 27.20                         | 22.37 | 27.57 | 25.71    | 80.11  | 1    | 113.09    | 21.18    |
| Cuenca Islote            | 5             | 2   | 750   | 0.0040  | 0.85 | 26.70                         | 17.22 | 30.29 | 24.74    | 61.7   | 1    | 114.37    | 16.49    |

**ESTUDIO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS Y EL ANÁLISIS DE POSIBLE VULNERABILIDAD PARA  
IDENTIFICAR EVENTUALES RIESGOS HIDRÁULICOS EN UN SECTOR DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA  
UBICADO ENTRE LA VÍA 40 Y EL GRAN MALECÓN DEL RÍO**

**INFORME FINAL**

**Figura 4-5. Caudales  $T_r = 25$  Años. Fuente: Propia**

| ID                       | ELEVACION (m) |     | L (m) | S (m/m) | C    | TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (min) |       |       |          | A (Ha) | K    | I (mm/hr) | Q (m3/s) |
|--------------------------|---------------|-----|-------|---------|------|-------------------------------|-------|-------|----------|--------|------|-----------|----------|
|                          | MAX           | MIN |       |         |      | Kirpich                       | Temez | FAA   | PROMEDIO |        |      |           |          |
| Arroyo Siape             | 140           | 2   | 5448  | 0.0253  | 0.85 | 60.40                         | 54.72 | 44.16 | 53.09    | 368.5  | 0.95 | 101.59    | 83.13    |
| Arroyo Calle 82          | 48            | 2   | 1837  | 0.0250  | 0.85 | 26.27                         | 24.00 | 25.74 | 25.34    | 44.7   | 1    | 133.22    | 13.92    |
| Arroyo Calle 80          | 39            | 2   | 1314  | 0.0282  | 0.85 | 19.40                         | 18.20 | 20.93 | 19.51    | 39.23  | 1    | 141.98    | 13.02    |
| Arroyo Country           | 107           | 2   | 5389  | 0.0195  | 0.85 | 66.26                         | 57.04 | 47.93 | 57.08    | 473.85 | 0.95 | 98.08     | 103.20   |
| Arroyo Calle 76          | 58            | 2   | 2214  | 0.0253  | 0.85 | 30.21                         | 27.61 | 28.16 | 28.66    | 49.19  | 1    | 128.62    | 14.79    |
| Arroyo Calle 75          | 107           | 2   | 2355  | 0.0446  | 0.85 | 25.47                         | 25.98 | 24.05 | 25.17    | 66.41  | 1    | 133.46    | 20.72    |
| Arroyo Calle 72          | 67            | 2   | 2859  | 0.0227  | 0.85 | 38.33                         | 34.22 | 33.16 | 35.23    | 103.15 | 0.95 | 120.26    | 27.55    |
| Arroyo Coltabaco         | 62            | 2   | 3152  | 0.0190  | 0.85 | 44.24                         | 38.11 | 36.94 | 39.76    | 163.72 | 0.95 | 115.01    | 41.81    |
| Arroyo Base Naval        | 31            | 2   | 1936  | 0.0150  | 0.85 | 33.33                         | 27.54 | 31.35 | 30.74    | 76.9   | 1    | 125.86    | 22.62    |
| Arroyo Brigada           | 103           | 2   | 4363  | 0.0231  | 0.85 | 52.70                         | 47.02 | 40.72 | 46.81    | 222.6  | 0.95 | 107.57    | 53.17    |
| Arroyo Felicidad / María | 103           | 2   | 5794  | 0.0174  | 0.85 | 73.13                         | 61.56 | 51.57 | 62.09    | 450.23 | 0.95 | 93.94     | 93.92    |
| Arroyo Barlovento        | 23            | 2   | 1458  | 0.0144  | 0.85 | 27.20                         | 22.37 | 27.57 | 25.71    | 80.11  | 1    | 132.68    | 24.85    |
| Cuenca Islote            | 5             | 2   | 750   | 0.0040  | 0.85 | 26.70                         | 17.22 | 30.29 | 24.74    | 61.7   | 1    | 134.08    | 19.34    |

Figura 4-6. Caudales  $T_r = 50$  Años. Fuente: Propia

| ID                       | ELEVACION (m) |     | L (m) | S (m/m) | C    | TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (min) |       |       |          | A (Ha) | K    | I (mm/hr) | Q (m3/s) |
|--------------------------|---------------|-----|-------|---------|------|-------------------------------|-------|-------|----------|--------|------|-----------|----------|
|                          | MAX           | MIN |       |         |      | Kirpich                       | Temez | FAA   | PROMEDIO |        |      |           |          |
| Arroyo Siape             | 140           | 2   | 5448  | 0.0253  | 0.85 | 60.40                         | 54.72 | 44.16 | 53.09    | 368.5  | 0.95 | 112.25    | 91.86    |
| Arroyo Calle 82          | 48            | 2   | 1837  | 0.0250  | 0.85 | 26.27                         | 24.00 | 25.74 | 25.34    | 44.7   | 1    | 145.94    | 15.25    |
| Arroyo Calle 80          | 39            | 2   | 1314  | 0.0282  | 0.85 | 19.40                         | 18.20 | 20.93 | 19.51    | 39.23  | 1    | 155.16    | 14.23    |
| Arroyo Country           | 107           | 2   | 5389  | 0.0195  | 0.85 | 66.26                         | 57.04 | 47.93 | 57.08    | 473.85 | 0.95 | 108.47    | 114.14   |
| Arroyo Calle 76          | 58            | 2   | 2214  | 0.0253  | 0.85 | 30.21                         | 27.61 | 28.16 | 28.66    | 49.19  | 1    | 141.08    | 16.22    |
| Arroyo Calle 75          | 107           | 2   | 2355  | 0.0446  | 0.85 | 25.47                         | 25.98 | 24.05 | 25.17    | 66.41  | 1    | 146.20    | 22.69    |
| Arroyo Calle 72          | 67            | 2   | 2859  | 0.0227  | 0.85 | 38.33                         | 34.22 | 33.16 | 35.23    | 103.15 | 0.95 | 132.22    | 30.29    |
| Arroyo Coltabaco         | 62            | 2   | 3152  | 0.0190  | 0.85 | 44.24                         | 38.11 | 36.94 | 39.76    | 163.72 | 0.95 | 126.63    | 46.04    |
| Arroyo Base Naval        | 31            | 2   | 1936  | 0.0150  | 0.85 | 33.33                         | 27.54 | 31.35 | 30.74    | 76.9   | 1    | 138.17    | 24.84    |
| Arroyo Brigada           | 103           | 2   | 4363  | 0.0231  | 0.85 | 52.70                         | 47.02 | 40.72 | 46.81    | 222.6  | 0.95 | 118.67    | 58.66    |
| Arroyo Felicidad / María | 103           | 2   | 5794  | 0.0174  | 0.85 | 73.13                         | 61.56 | 51.57 | 62.09    | 450.23 | 0.95 | 104.00    | 103.98   |
| Arroyo Barlovento        | 23            | 2   | 1458  | 0.0144  | 0.85 | 27.20                         | 22.37 | 27.57 | 25.71    | 80.11  | 1    | 145.38    | 27.22    |
| Cuenca Islote            | 5             | 2   | 750   | 0.0040  | 0.85 | 26.70                         | 17.22 | 30.29 | 24.74    | 61.7   | 1    | 146.85    | 21.18    |

**Figura 4-7. Caudales Tr = 100 Años. Fuente: Propia**

| ID                       | ELEVACION (m) |     | L (m) | S (m/m) | C    | TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (min) |       |       |          | A (Ha) | K    | I (mm/hr) | Q (m3/s) |
|--------------------------|---------------|-----|-------|---------|------|-------------------------------|-------|-------|----------|--------|------|-----------|----------|
|                          | MAX           | MIN |       |         |      | Kirpich                       | Temez | FAA   | PROMEDIO |        |      |           |          |
| Arroyo Siape             | 140           | 2   | 5448  | 0.0253  | 0.85 | 60.40                         | 54.72 | 44.16 | 53.09    | 368.5  | 0.95 | 125.49    | 102.69   |
| Arroyo Calle 82          | 48            | 2   | 1837  | 0.0250  | 0.85 | 26.27                         | 24.00 | 25.74 | 25.34    | 44.7   | 1    | 161.90    | 16.92    |
| Arroyo Calle 80          | 39            | 2   | 1314  | 0.0282  | 0.85 | 19.40                         | 18.20 | 20.93 | 19.51    | 39.23  | 1    | 171.75    | 15.75    |
| Arroyo Country           | 107           | 2   | 5389  | 0.0195  | 0.85 | 66.26                         | 57.04 | 47.93 | 57.08    | 473.85 | 0.95 | 121.36    | 127.70   |
| Arroyo Calle 76          | 58            | 2   | 2214  | 0.0253  | 0.85 | 30.21                         | 27.61 | 28.16 | 28.66    | 49.19  | 1    | 156.68    | 18.02    |
| Arroyo Calle 75          | 107           | 2   | 2355  | 0.0446  | 0.85 | 25.47                         | 25.98 | 24.05 | 25.17    | 66.41  | 1    | 162.17    | 25.17    |
| Arroyo Calle 72          | 67            | 2   | 2859  | 0.0227  | 0.85 | 38.33                         | 34.22 | 33.16 | 35.23    | 103.15 | 0.95 | 147.14    | 33.70    |
| Arroyo Coltabaco         | 62            | 2   | 3152  | 0.0190  | 0.85 | 44.24                         | 38.11 | 36.94 | 39.76    | 163.72 | 0.95 | 141.10    | 51.30    |
| Arroyo Base Naval        | 31            | 2   | 1936  | 0.0150  | 0.85 | 33.33                         | 27.54 | 31.35 | 30.74    | 76.9   | 1    | 153.55    | 27.60    |
| Arroyo Brigada           | 103           | 2   | 4363  | 0.0231  | 0.85 | 52.70                         | 47.02 | 40.72 | 46.81    | 222.6  | 0.95 | 132.47    | 65.48    |
| Arroyo Felicidad / María | 103           | 2   | 5794  | 0.0174  | 0.85 | 73.13                         | 61.56 | 51.57 | 62.09    | 450.23 | 0.95 | 116.48    | 116.45   |
| Arroyo Barlovento        | 23            | 2   | 1458  | 0.0144  | 0.85 | 27.20                         | 22.37 | 27.57 | 25.71    | 80.11  | 1    | 161.29    | 30.20    |
| Cuenca Islote            | 5             | 2   | 750   | 0.0040  | 0.85 | 26.70                         | 17.22 | 30.29 | 24.74    | 61.7   | 1    | 162.87    | 23.49    |



## **4.2 RIO MAGDDALENA**

### **4.2.1 Tramo Bocas de Ceniza – Puente Laureano Gómez**

El río Magdalena en sus últimos 20 Km se caracteriza por tener un comportamiento de río en estado de madurez morfológica, que se manifiesta por un alto transporte de sedimentos, baja pendiente topográfica y cauces relativamente poco profundos, debido a la depositación de sedimentos.

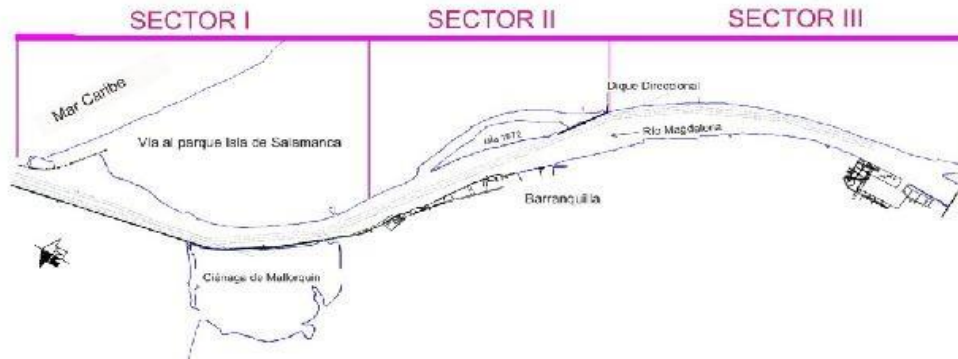
En este tramo las condiciones hidráulicas del río están controladas por la marea, por la rugosidad del cauce y de los materiales que lo conforman, caracterizando su comportamiento como flujo de estado turbulento, de tipo no uniforme y de régimen subcrítico.

El tramo comprendido entre el Puente Laureano Gómez y Bocas de Ceniza se ha dividido en los tres sectores que se presentan a continuación:

- Sector No 1: Localizado entre el muz del Tajamar Occidental (K0) y Las Flores (K8) se caracteriza por tener una curva exterior izquierda, protegida por los diques Boyacá y el Tajamar Occidental con la presencia de la desembocadura del río en el Mar Caribe. En este sector se construyeron recientemente un espolón arraigado en el Dique Interior de Contracción, el Dique de Guía y el Dique de Cierre con el objeto de reducir los dragados de mantenimiento, para permitir el ingreso de embarcaciones hasta de 33 pies de calado.
- Sector No 2: Entre Las Flores (K8) y el anclaje del Dique Direccional (K14). Este sector se caracteriza por la confluencia de dos curvas sucesivas, donde se ubican, en la margen izquierda, los muelles de Cementos del Caribe, Monómeros Colombo Venezolanos y Colterminales. En éste sector se construyó en el transcurso del año 1993 la estructura de estabilización del canal navegable conocida como Dique Direccional (K13-K14) y más recientemente un conjunto de espolones arraigados en la margen derecha con el fin de evitar la erosión de esta margen y mejorar las condiciones de navegación en el canal y acceso al os puertos marginales del sector.
- Sector No 3. Localizado entre el Dique Direccional (K14) y el Puente Laureano Gómez (K22). Este sector se caracteriza por una curva exterior hacia la derecha. En su margen izquierda se localiza la Sociedad Portuaria de Barranquilla y La Zona Franca de Barranquilla. En la margen derecha se encuentra ubicada la Sociedad Portuaria de Palermo y Petrocomercial.

Aguas arriba se encuentra la isla Rondón que sobre su brazo izquierdo actualmente se encuentra pasando aproximadamente el 80% del caudal del río Magdalena.

**Figura 4-8. Sector Canal de Acceso a los Terminales Portuarios de Barranquilla. Fuente: Río Magdalena. Navegación Marítima y Fluvial (1986-2008).**



#### 4.2.2 Tramo Puente Laureano Gomez – Calamar

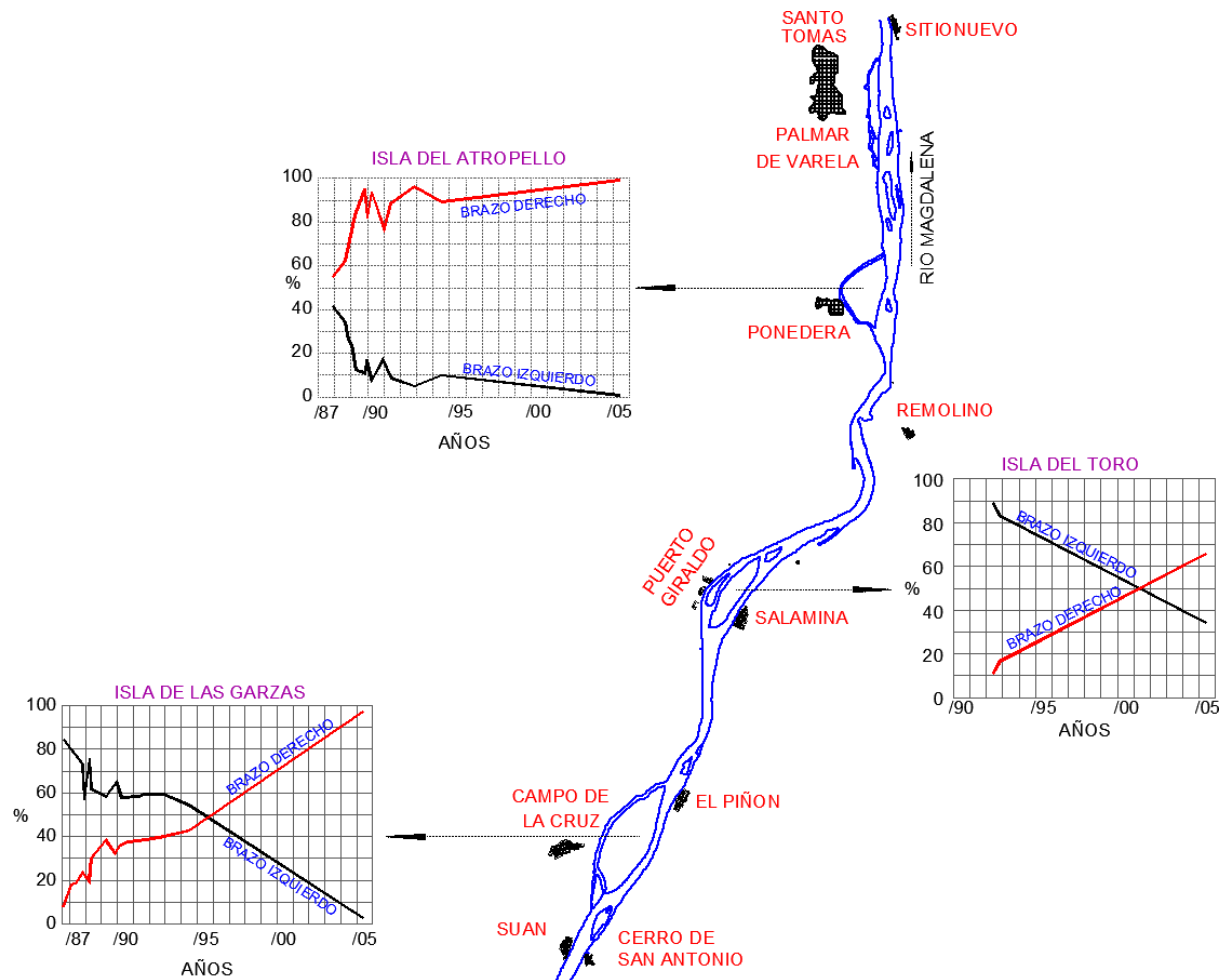
El sector localizado entre el puente Laureano Gomez y Calamar está constituido por un cauce que se bifurca en varios tramos debido a la existencia de islas.

La hidráulica de la zona se ve afectada por la derivación puntual de caudal en el sector del Canal del Dique a la altura del Municipio de Calamar – Departamento de Bolívar el cual extrae aproximadamente el 10% del caudal proveniente aguas arriba de la derivación.

Las islas del tramo son: la isla Cabica, a la altura del Municipio de Soledad; la isla del Atropello, en cercanías al municipio de Ponedera; la isla del toro, en el Corregimiento de Puerto Giraldo; y la isla de las Garzas en el sector de Campo de la Cruz.

La siguiente figura presenta la distribución de caudales en las islas hasta el año 2005.

Figura 4-9. Distribución de Caudales por las Islas del Tramo Puente Laureano Gomez - Calamar

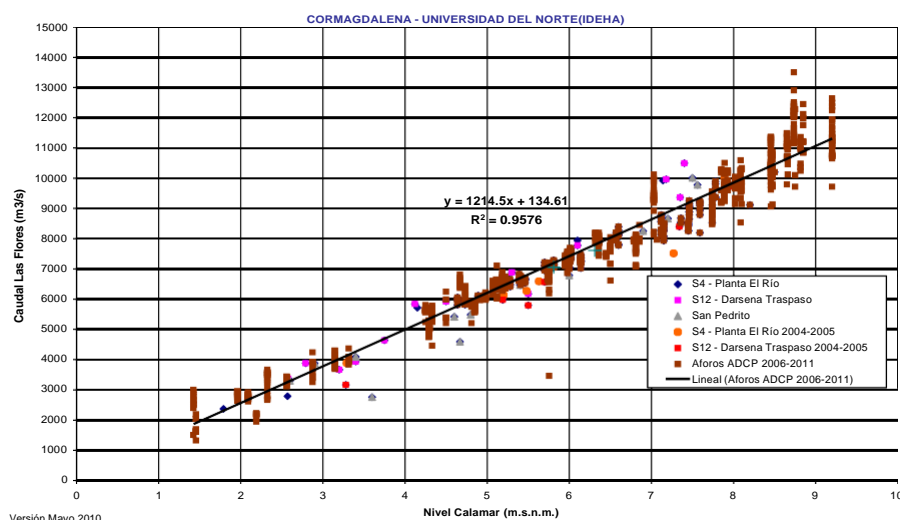


## 4.2.3 Características Hidrológicas e Hidráulicas

### 4.2.3.1 Caudales

Teniendo en cuenta los resultados de las mediciones realizadas por el laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores, la curva que se presenta en la Figura No 37, presenta la relación existente entre los niveles de la estación de Calamar y los Caudales medidos en Las Flores (K7.5). A continuación, la curva mencionada.

**Figura 4-10. Curva de Niveles Calamar (IDEAM) Vs Caudales La Flores**



De acuerdo con las últimas mediciones efectuadas por el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores la correlación fue ajustada obteniendo la siguiente ecuación:

$$Q[m^3/s] = 1122.2 (N.A \text{ Calamar} - 0.2) + 517.15$$

Durante el año 2010 se reportó la máxima lámina de agua histórica reportada. Aplicando las regresiones anteriores y comparándolas con las mediciones de caudal en la fecha de desbordamiento se obtiene:

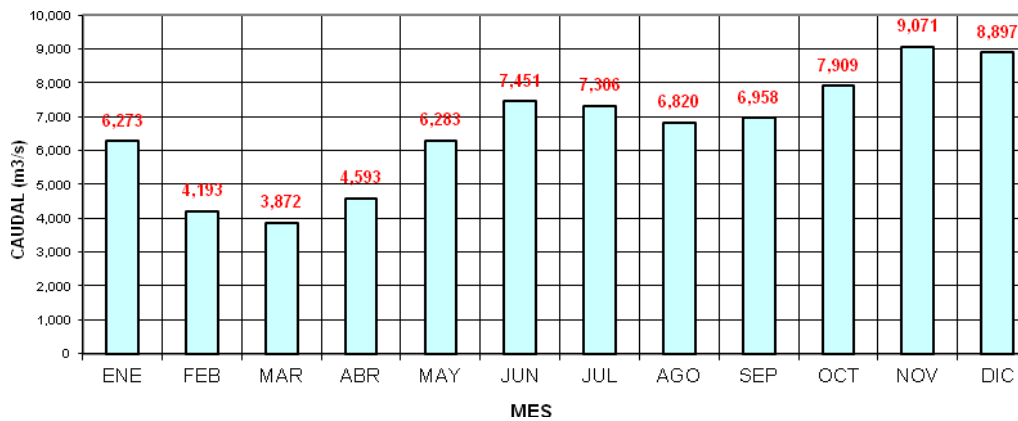
**Tabla 4-2. Caudales Medidos y Correlacionados en el Sector de las Flores**

| N.A. MÁXIMO<br>HISTORICO<br>REPORTADO.<br>AÑO 2010 | CAUDAL<br>PRIMERA<br>CORRELACION<br>(m³/s) | CAUDAL<br>SEGUNDA<br>CORRELACION<br>(m³/s) | CAUDAL<br>MEDIDO<br>(m³/s) |
|--|--|--|----------------------------|
| 9.5  | 11429                                      | 10953                                      | 13557                      |

Como se observa el caudal medido es superior a los resultados de las regresiones efectuadas, razón por la cual en los cálculos subsiguientes se adoptó el caudal medido como el de diseño.

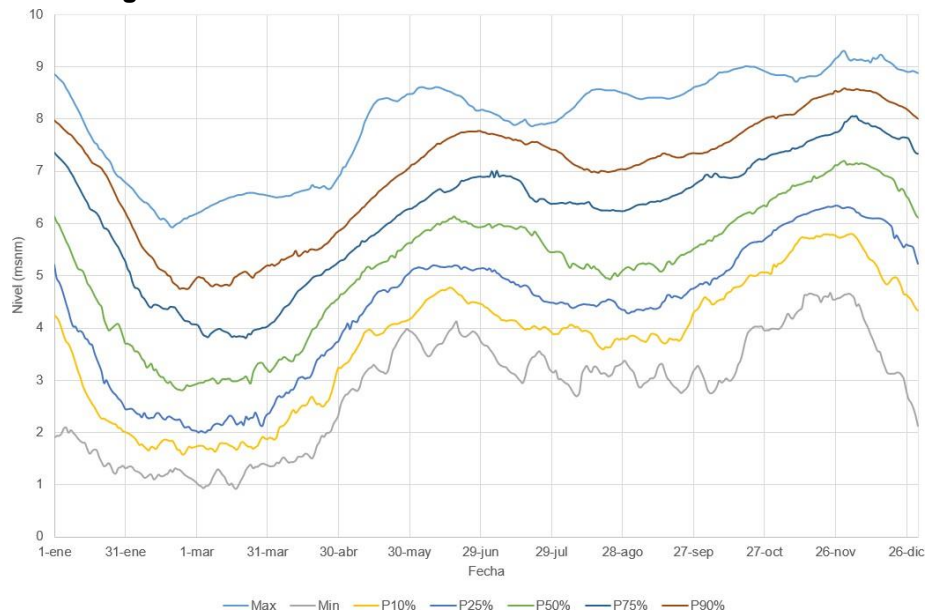
En la Figura No 38 se presenta el histograma de caudales mensuales multianuales en Las Flores (1941–2002). En ella se observa que a partir del mes de abril, y durante los siete meses siguientes del año, el caudal se incrementa suavemente hasta alcanzar su máximo valor a mediados del mes de noviembre, con una recesión en la tendencia de este incremento durante los meses de julio y agosto. El período de estiaje del río se presenta durante los meses de febrero a abril.

**Figura 4-11. Río Magdalena. Histograma de Caudales Medios Mensuales Multianuales en Las Flores. Período 1941 a 2002.**



Teniendo en cuenta los niveles registrados por el IDEAM en la estación Calamar, El Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores desarrolló las siguientes curvas de excedencia, que se muestran en la Figura No 39, que reflejan la probabilidad de que un nivel sea igualado o excedido. Como se observa, la cota de desbordamiento se estima en 8.2 m llegando hasta la 9.2 msnm.

**Figura 4-12. Curva de Niveles Excedidos Estación Calamar.**



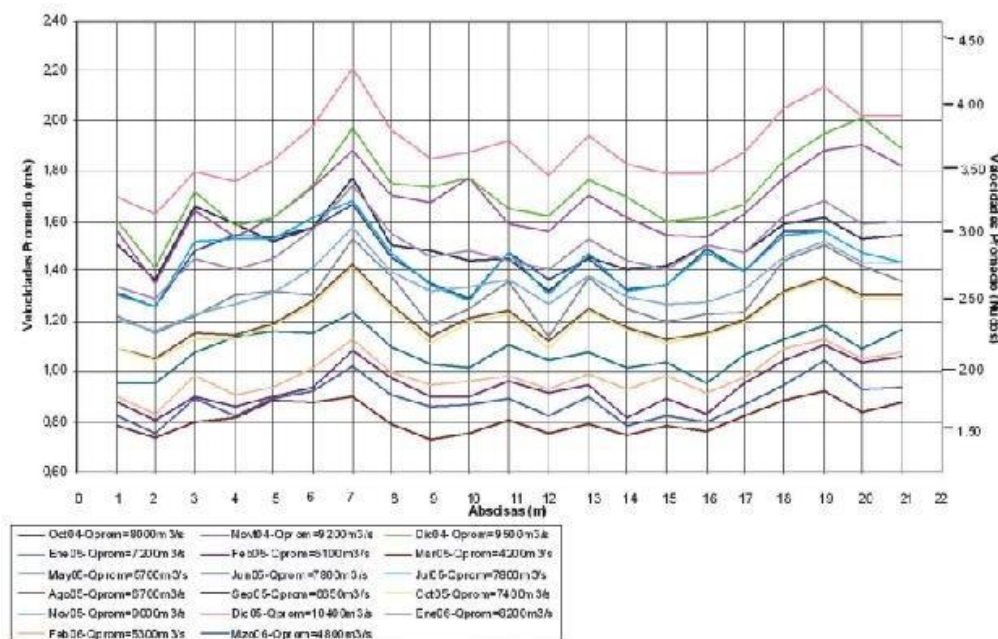
Como se observa los niveles de año 2010 superaron el máximo histórico en más de 1 m.

#### 4.2.3.2 Velocidades Medias

Tomando como referencia los planos consolidados con los levantamientos mensuales del canal de acceso a los terminales de Barranquilla, que se realizan para CORMAGDALENA, se calculó la velocidad media en diferentes secciones transversales cada kilómetro. Ver Figura No 40.

En General, las velocidades medias a lo largo del canal navegable fluctúan entre 0.7 y 2.2 m/s, las cuales se incrementan en función del caudal.

**Figura 4-13 – Velocidad Promedio – Canal de Acceso a los Terminales Portuarios de Barranquilla**

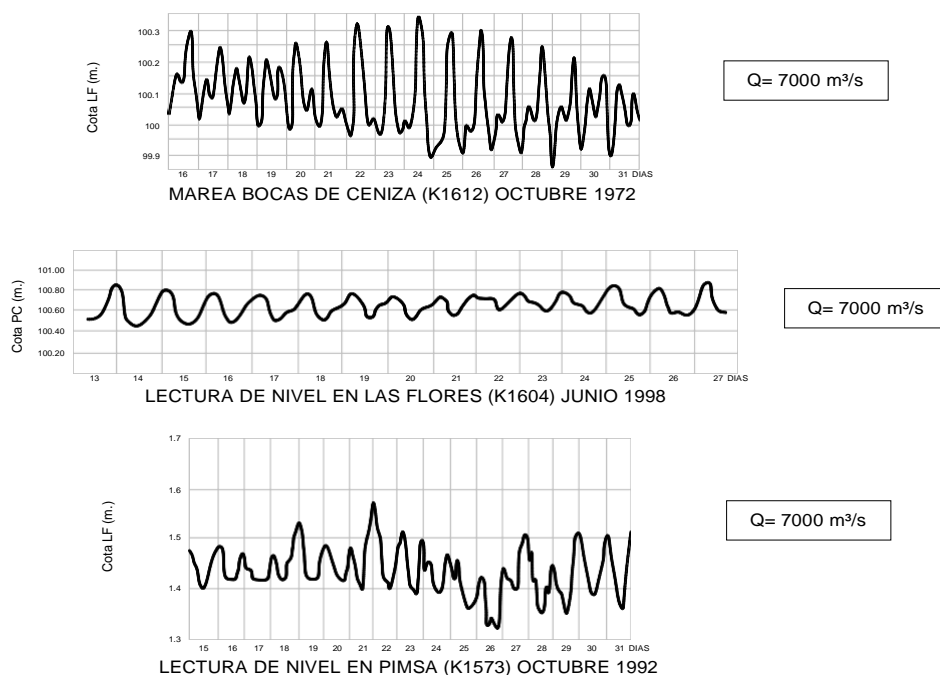


#### 4.2.3.3 Régimen De Mareas

El régimen de mareas en la desembocadura del río Magdalena es de tipo mixto con predominio del armónico diurno. En marea de sicigia se observa un pico diario con un rango del orden de 0,60 m. En cuadratura se observan la presencia dos picos por día que no siempre son iguales.

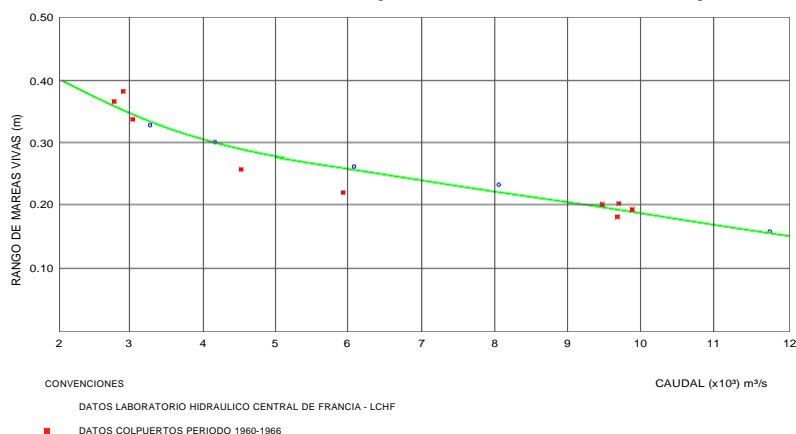
La Figura No 41 presenta para un caudal de 7.000 m³/s, el registro de la marea en Bocas de Ceniza y el comportamiento del nivel del agua del río a 8 y 40 km aguas arriba de Bocas de Ceniza (sectores de Las Flores y PIMSA respectivamente).

**Figura 4-13. Implicaciones del Régimen de Mareas de Bocas de Ceniza a 8 y 40 Km de Bocas de Ceniza. Fuente: Tomado de la caracterización hidrosedimentológica realizada por el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores.**



La atenuación de la onda de marea a medida que se propaga aguas arriba en el río es función del régimen de caudales. La curva de atenuación se presenta en la Figura No 42. En ella se observa que el rango de mareas de sicigia en el Puente Laureano Gomez es del orden de 0,40 m para caudales bajos ( $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y 0,15 m para caudales altos ( $12.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

**Figura 4-15. Río Magdalena Sector Puente Laureano Gomez. Atenuación del Rango de Mareas Vivas. Fuente: Informe Final de la Evaluación y Plan de Mantenimiento del Dique Direccional en el Canal de Acceso al Puerto de Barranquilla. Ministerio de Transporte. Abril 1999.**





En el sitio del proyecto, por tanto, la variación de niveles por efecto de la marea de en el caso extremo (mareas de sicigia) de aproximadamente  $\pm 0.10$  m.

#### 4.2.3.4 Pendiente Hidráulica

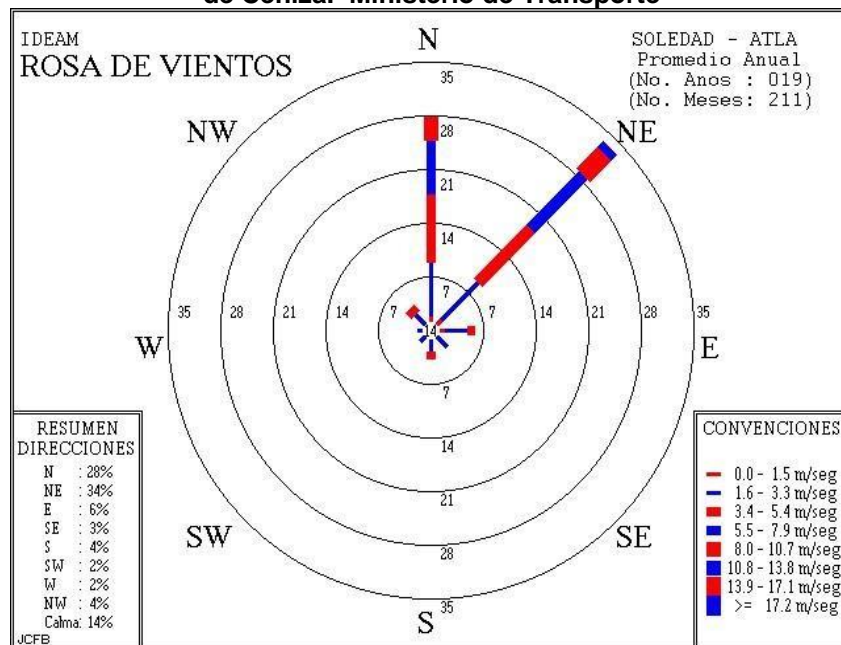
Las mediciones de nivel del río en el sector Las Flores y Puente Laureano Gomez realizadas por el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores, indican que la superficie del agua presenta pendientes que varían entre  $1.2 \text{ E-}5$  y  $6,3 \text{ E-}5$  m/m, para el rango de caudales de 2.000 y 10.000  $\text{m}^3/\text{s}$ .

#### 4.2.3.5 Vientos

La Figura No 43, presenta la rosa de vientos de la estación aeropuerto Ernesto Cortissoz del IDEAM, en ella se indica que el 34% del año los vientos provienen de la dirección NE, con velocidades máximas del orden de 30 m/s.

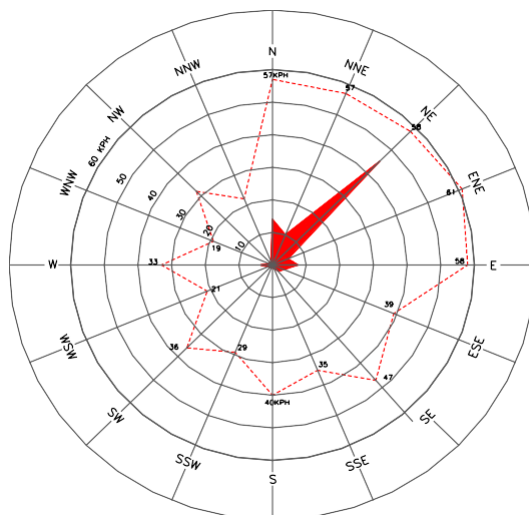
Durante el año el 14% del tiempo se registra vientos en calma, el 68% del año los vientos provienen del cuadrante N-E y el 18% del año los vientos provienen de las otras direcciones con velocidades inferiores a los 7 m/s. En la región de estudio los vientos más fuertes se presentan entre los meses de diciembre a mayo.

**Figura 4-146. Rosa de Vientos Estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz. Fuente: Oficina de Bocas de Ceniza. Ministerio de Transporte**



La oficina de Conservación de Obras de Bocas de Ceniza construyó la rosa de vientos del anemómetro instalado en Las Flores con la información de vientos de los años 1958 a 1964. En ella se observa también el cuadrante N-E como dirección predominante de los vientos, con una frecuencia del 95% del tiempo, en donde a su vez se presentan las velocidades más altas. La velocidad máxima registrada es de 17 m/s.

Figura 4-17. Rosa de Vientos Estación Aeropuerto Ernesto Cortissoz.



#### 4.2.3.6 Rugosidad Aluvial

Dadas las características que presenta el flujo de agua en el sector de estudio, hasta la fecha no se ha podido establecer una relación entre la pendiente hidráulica y la pendiente de energía que permita la determinación de la rugosidad aluvial.

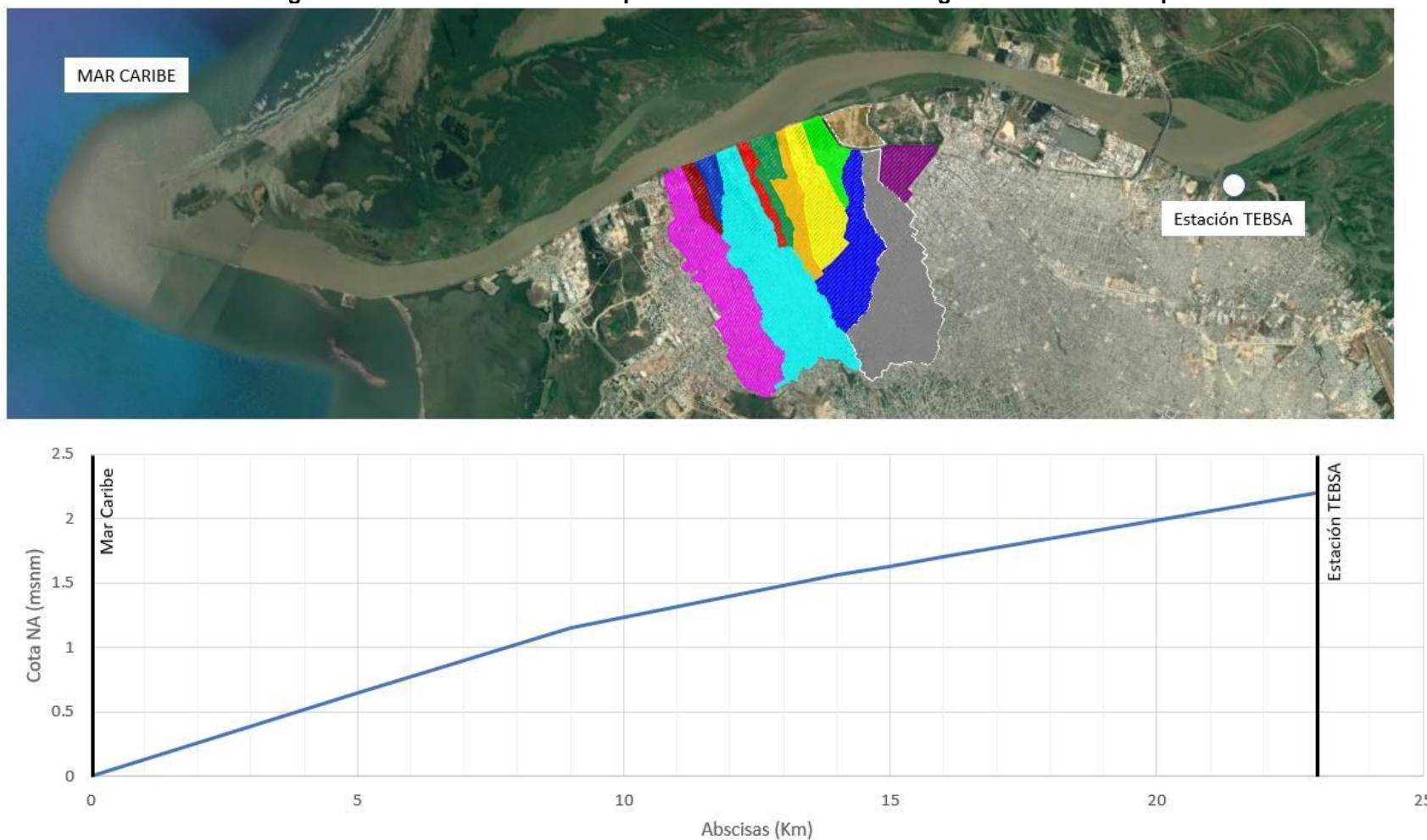
De las mediciones de nivel de agua en el sector y bajo la hipótesis de existencia de flujo uniforme, la rugosidad aluvial expresada en términos del coeficiente de Chezy varía entre 27 y 71  $m^{1/2}/s$ , para caudales entre 2.000 y 10.000  $m^3/s$ .

Los estudios en modelos matemáticos indican valores de rugosidad aluvial expresada en términos del coeficiente de Chezy entre 20 y 100  $m^{1/2}/s$ .

#### 4.2.3.7 Curva de Remanso Sector K0 a K23 para Niveles Máximos Históricos

Se presenta a continuación la curva de remanso de niveles máximos para el sector K0 a K23 del Rio Magdalena.

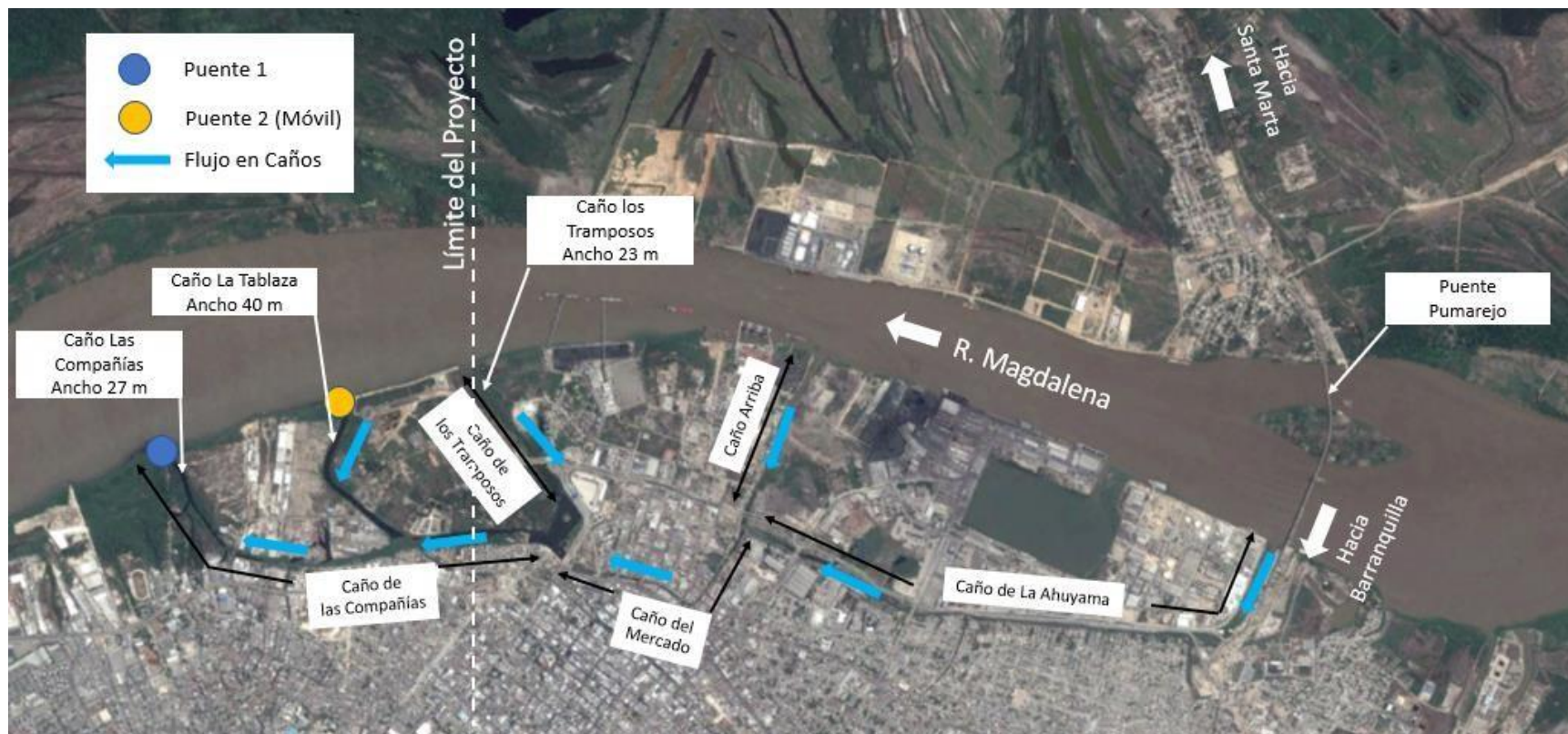
**Figura 4-18. Curvas de Remanso para Niveles Altos del Rio Magdalena. Fuente: Propia**



### 4.3 CAÑOS DEL RIO MAGDALENA

Con base en los análisis topográficos y las visitas de campo se establecen los siguientes cuerpos de agua en la zona estudiada:

Figura 4-19. Caños Rio Magdalena. Fuente: Propia



Al Caño de las Compañías drenan dos cuencas: Arroyo de la Felicidad y Arroyo de Barlovento.



#### 4.4 RESERVORIOS

Se localizan dos reservorios: El localizado en el Antiguo Muelle de Agromar que recibe el caudal del Arroyo de la Calle 72 y el de La Base Naval que recibe las aguas del Arroyo de Coltabaco y de la Brigada.

**Figura 4-20. Reservorios. Fuente: Propia**



## 5 VULNERABILIDAD, AMENAZA Y RIESGO

Realizados los análisis hidrológicos identificando los caudales para diferentes periodos de retorno y considerando los niveles del Río Magdalena a continuación se presentan las áreas ocupadas por el flujo de las aguas para periodos de retorno de 50 años según las siguientes estipulaciones del Artículo 24 del POT de Barranquilla: “En el caso de afluentes menores en suelo urbano y de expansión urbana cuando sean objeto de canalización, desarrollarán estudios hidráulicos e hidrológicos con períodos de retorno no inferiores a 50 años, para la determinación del tipo y características de la canalización y la autoridad ambiental competente, en conjunto con la Secretaría de Planeación, serán las responsables de realizar la evaluación y dar el visto bueno de los estudios de dicha canalización y establecer mediante acto administrativo la respectiva ronda y la ZMPA si se requiere”.

Entonces, debido a que algunas líneas de drenaje de cuencas han venido siendo canalizadas paulatinamente se presenta a continuación una tabla que presenta el estado de la corriente principal:

**Tabla 5-1. Estado Actual de la Corriente Principal.**

| ID              | CONDICIÓN ACTUAL | ID                       | CONDICIÓN ACTUAL                                       |
|-----------------|------------------|--------------------------|--|
| Arroyo Siape    | Canalizado       | Arroyo Coltabaco         | Inundación   |
| Arroyo Calle 82 | Inundación       | Arroyo Base Naval        | Inundación   |
| Arroyo Calle 80 | Inundación       | Arroyo Brigada           | Canalizado. Con un pequeño último tramo por intervenir |
| Arroyo Country  | Canalizado       | Arroyo Felicidad / María | Canalizado   |
| Arroyo Calle 76 | Inundación       | Arroyo Barlovento        | Canalizado   |
| Arroyo Calle 75 | Inundación       | Cuenca Islote            | Según diseño   |
| Arroyo Calle 72 | Canalizado       |                          |  |

Definidos los arroyos sin canalizar se presenta entonces la mancha de inundación proyectada la cual fue dimensionada con el software HEC-RAS versión 5.

El modelo matemático HEC-RAS es un software que permite calcular los perfiles de la superficie de agua en flujos permanentes gradualmente variados en canales naturales o artificiales por medio del método del paso directo. Adicionalmente tiene unas rutinas que permiten el cálculo de perfiles de flujo no permanentes, y algunas condiciones de flujos rápidamente variados.

El cálculo de los perfiles en flujos gradualmente variados se realiza resolviendo la ecuación de energía entre una sección y la siguiente, la cual reza:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde

$Y_1, Y_2$ : Profundidad del agua en cada sección

$Z_1, Z_2$ : Elevación del thalweg (lugar geométrico de los puntos de mayor profundidad) del canal principal

$\alpha_1, \alpha_2$ : Coeficientes de Coriolis

g: Aceleración gravitacional  
he: Cabeza de pérdidas de energía

La cabeza de pérdida de energía entre dos secciones consecutivas obedece a pérdidas por fricción y a pérdidas por contracción o expansión. La ecuación para el cálculo de las pérdidas de energía utilizada es la siguiente:

$$h = LS_f + C \left| \frac{\alpha V_2^2}{2g} - \frac{\alpha V_1^2}{2g} \right|$$

Donde

L : Longitud ponderada del tramo  
S : Pendiente de fricción representativa entre las dos secciones  
C : Coeficiente de contracción o expansión

Ya que el modelo requiere de una base topográfica, el consultor efectuó una compilación topográfica de los sectores generando un Modelo digital del Terreno como el que se muestra en la Figura 5-1.

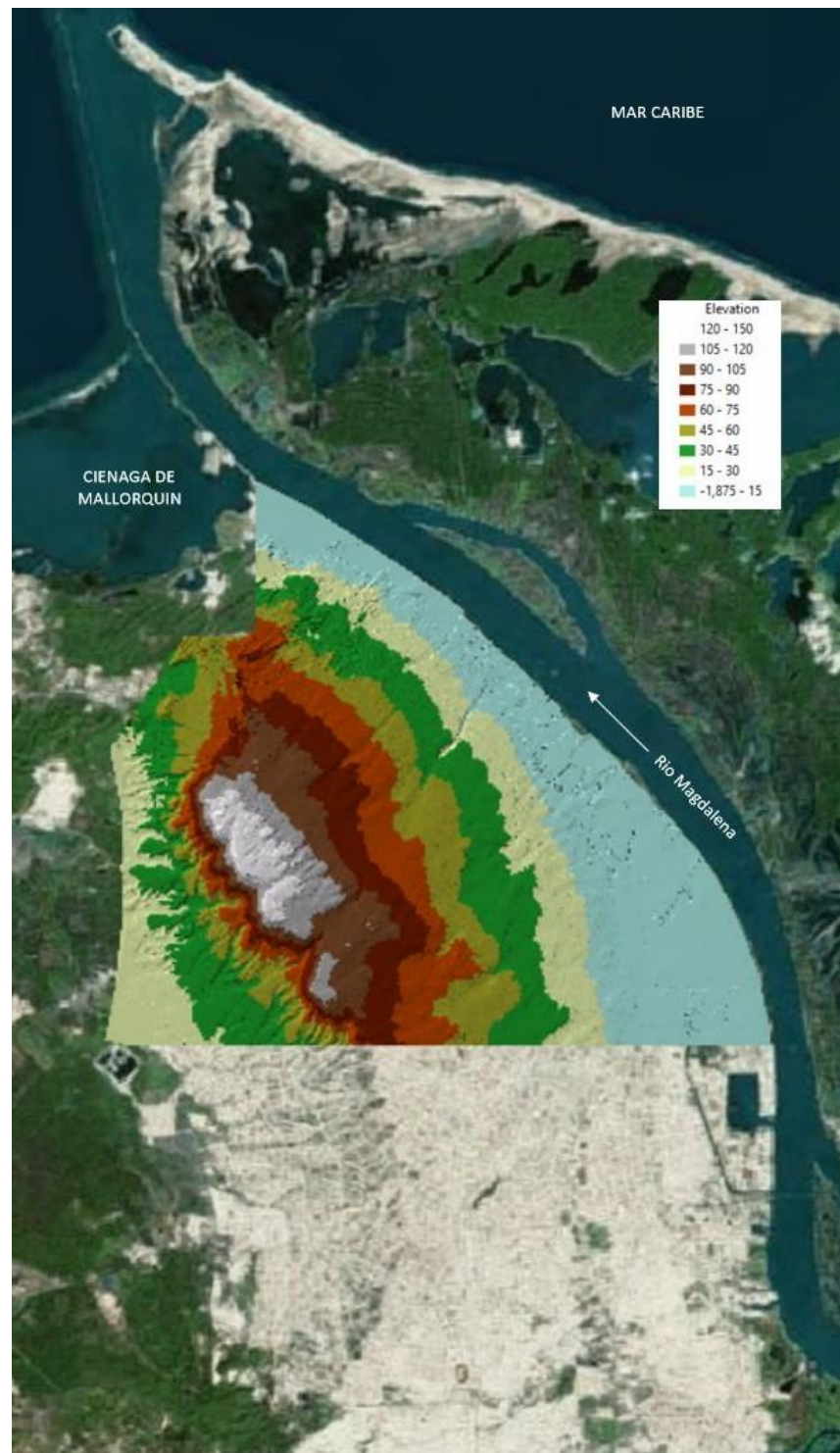
Definida la condición topográfica entonces se presenta a continuación la lámina condición de frontera definida para cada corriente hídrica actualmente no canalizada:

**Tabla 5-2. Condiciones de Frontera de Modelación Hidráulica**

| ID                | Q (m³/s) | CONDICIÓN ACTUAL | NIVEL DE AGUA RIO |
|-------------------|----------|------------------|-------------------|
| Arroyo Calle 82   | 15,25    | Inundación       | 1,24              |
| Arroyo Calle 80   | 14,23    | Inundación       | 1,27              |
| Arroyo Calle 76   | 16,22    | Inundación       | 1,36              |
| Arroyo Calle 75   | 22,69    | Inundación       | 1,40              |
| Arroyo Coltabaco  | 46,04    | Inundación       | 1,51              |
| Arroyo Base Naval | 24,84    | Inundación       | 1,51              |



Figura 5-1. Modelo Digital de Terreno Utilizado



## 5.1 MANCHAS DE INUNDACIÓN

Con base en lo anterior se presentan las manchas de inundación para cada una de las líneas de drenaje definidas según la topografía en las condiciones existentes:

- Calle 82 y Calle 80

Figura 5-2. Manchas de Inundación Arroyos Calle 82 y Calle 80



- Calle 76 y Calle 75

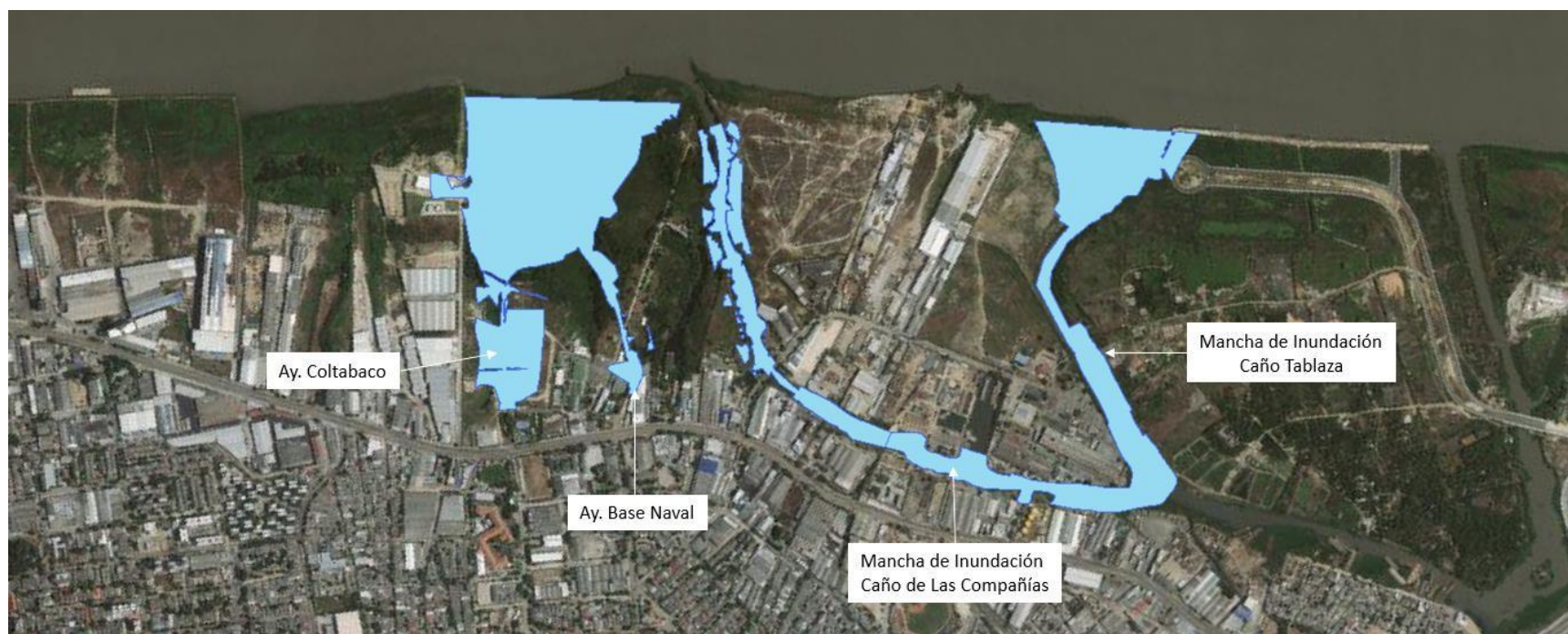
**Figura 5-3. Manchas de Inundación Arroyos Calle 76 y Calle 75**





- Arroyos Coltabaco y Base Naval y Caños Tablaza y Compañías

**Figura 5-4. Manchas de Inundación de Arroyos Coltabaco, Base Naval y Calos Tablaza y las Compañías**



Para facilidad de PUERTA DE ORO se adjuntará al envío de este informe los archivos de las manchas de inundación en formato SHP para su manipulación.

## 5.2 DEFINICION DEL RIESGO

Se define riesgo como la vulnerabilidad existente ante una amenaza:

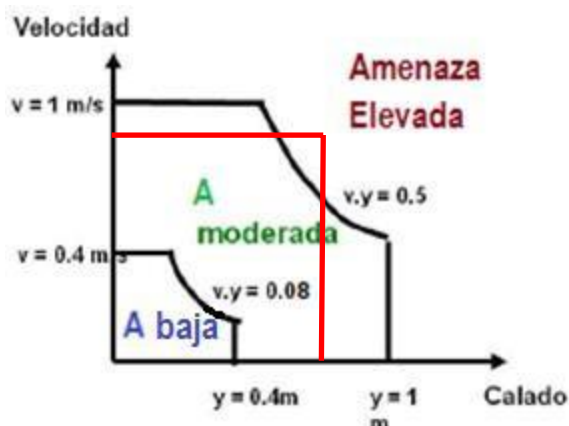
$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

## 5.3 NIVEL DE AMENAZA

En este orden de ideas es importante realizar la identificación de la amenaza asociable al proyecto. En este caso la amenaza existente es la inundación de los predios identificados ya que las figuras muestran los lotes se encuentran sometidos a periodos en los que permanecerán sumergidos durante la época invernal.

El nivel de amenaza en este caso se determina a partir de la información de la Agencia Catalana del Agua que propone la siguiente clasificación:

**Figura 5-5. Nivel de Amenaza. Fuente: Agencia Catalana del Agua**



En este caso se observa que la velocidad del flujo en los sectores inundables se encuentra entre 0.8 y 1 m/s con profundidades de hasta unos 0.8 m. Lo que conlleva a un Nivel de Amenaza Elevado.

## 5.4 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

En el análisis de la vulnerabilidad de los lotes bajo estudio, se tomaron en cuenta los siguientes niveles de vulnerabilidad:

- Vulnerabilidad Elevada: Cuando se producen daños en zonas residenciales pobladas, áreas comerciales, infraestructura de comunicación o servicios públicos y cuando se ve interrumpida la posibilidad de transportarse por inundación de las vías de acceso.
- Vulnerabilidad Moderada: Cuando se producen daños a casas o comercios aislados, instalaciones agrícolas, espacios recreativos como parques o canchas deportivas.

- Vulnerabilidad Baja: Cuando se producen daños leves a casas individuales, zonas inhabitadas, ronda hidráulica de los ríos o cauces.

De acuerdo a las proyecciones urbanísticas, y teniendo en cuenta que las zonas inundables serán urbanizadas en su totalidad con existencia de viviendas y zonas comerciales se determina que el nivel de vulnerabilidad de la zona es Elevado.

## 5.5 RIESGO

Para evaluar el riesgo al que se encuentra expuesto el sector bajo estudio, se tendrá en cuenta la siguiente matriz de riesgo que relaciona el nivel de amenaza con el nivel de vulnerabilidad.

**Tabla 5-3. Riesgo Asociado. Fuente: Agencia Catalana del Agua**

| Riesgo         |       | Amenaza |       |      |
|----------------|-------|---------|-------|------|
|                |       | Bajo    | Medio | Alto |
| Vulnerabilidad | Bajo  |         |       |      |
|                | Medio |         |       |      |
|                | Alto  |         |       |      |

Riesgo Bajo

Riesgo Moderado

Riesgo Alto

Como se observa, el análisis se trata de seleccionar en la matriz los niveles encontrados obteniendo como resultado el nivel de Riesgo que enfrentaría el constructor de las obras.

En este caso con un Nivel de Amenaza Alto y Una Vulnerabilidad Elevada el Riesgo de los lotes inundables es ALTO.

Así las cosas, el paso a seguir es reducir el Riesgo hasta un nivel Bajo, mediante las siguientes posibles obras:

- Construcción y Canalización de Arroyos.
- Urbanismo adaptado a los Arroyos en niveles por encima de dichas canalizaciones
- Relleno con material de préstamo de los lotes afectados hasta una cota segura.

## 6 SOCAVACIÓN

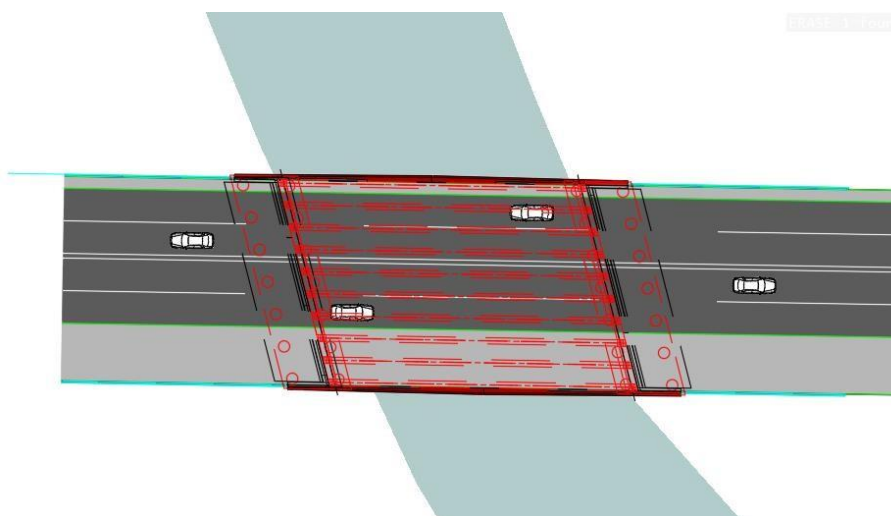
Debido a la inexistencia de información batimétrica y geotécnica primaria en la ejecución de éste proyecto, a continuación se presenta el estudio de socavación realizado por CONCEP SAS para las dos estructuras más vulnerables conformadas por los puentes FIJO Y MÓVIL del GRAN MALECON en el proyecto “DISEÑO HIDRÁULICO UF3 Y UF4” elaborado en Marzo de 2019.

### 6.1 DISEÑO HIDRÁULICO Y DETERMINACIÓN DE LA SOCAVACIÓN DEL LECHO DEL PUENTE FIJO

Antes de presentar los cálculos hidráulicos para la determinación de la socavación del lecho en el sector del puente fijo, resulta importante señalar los criterios involucrados para tal efecto:

- a. De acuerdo con los diseños estructurales el puente no generará ningún tipo de contracción al flujo.

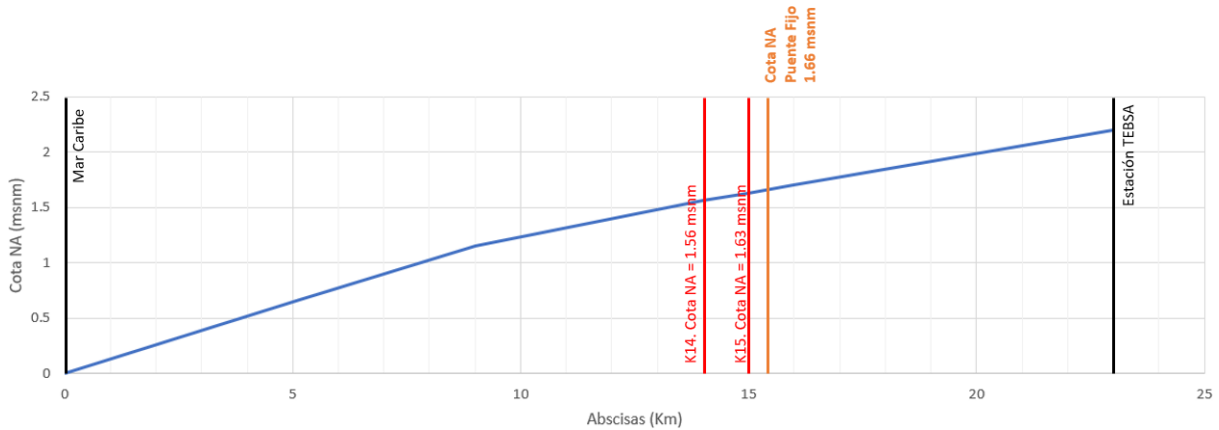
**Figura 6-1. Diseño Estructural del Puente Fijo. Fuente: Diseños Contratista**



- b. El nivel de la lámina de agua en la desembocadura del Caño se encuentra condicionado a los niveles máximos según perfil de remanso del Rio Magdalena



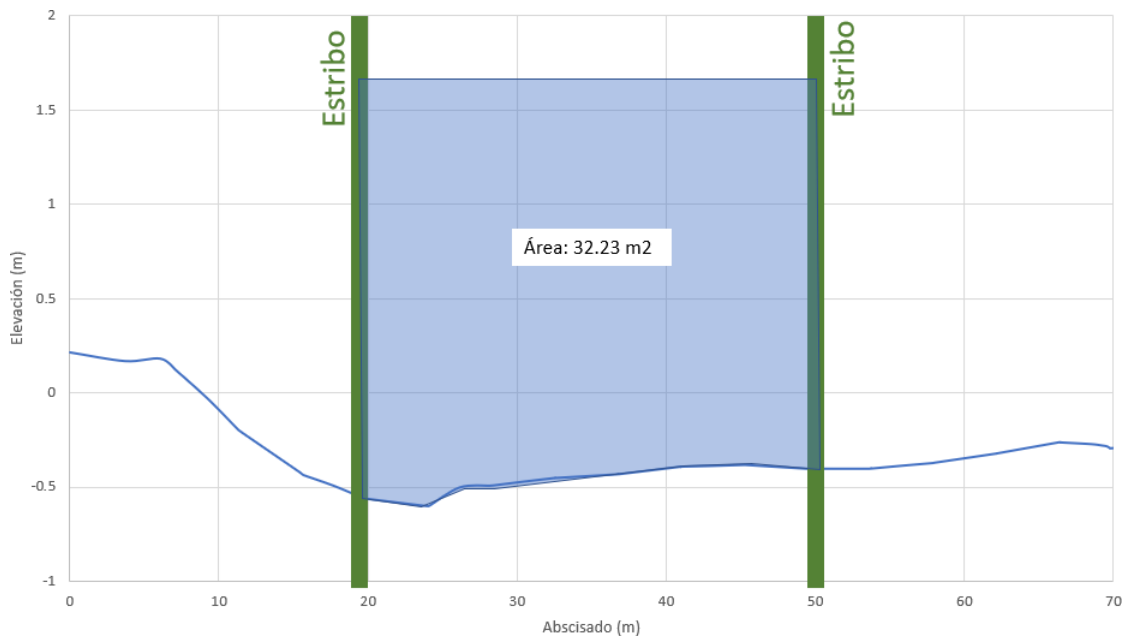
Figura 6-2. Nivel de Agua en la Desembocadura del Caño de las Compañías. Fuente: Propia



Como se observa, la cota de la lámina de agua es 1.66 msnm cuando el Río Magdalena ha estado en su mayor condición histórica de niveles.

- c. Un caudal de  $82.5 \text{ m}^3/\text{s}$  pasará en una sección hidráulica de  $32.23 \text{ m}^2$  según lo muestra la siguiente figura:

Figura 6-3. Sección Hidráulica Disponible Caño de Las Compañías. Fuente: Propia



De acuerdo con lo anterior la velocidad media del flujo es de 2.55 m/s.

Considerando las condiciones hidráulicas, resulta necesario verificar el efecto a largo plazo de la socavación (general) y verificar el efecto de la contracción del ejercida por el puente.

La socavación potencial en el sector del Puente Fijo se calculó a partir del concepto de socavación general que se define como el descenso del fondo del río cuando se presenta una avenida debido a la mayor capacidad que tiene la corriente de transportar partículas en suspensión, partículas que toma del fondo del cauce.

Según Litschvan-Levediev las expresiones para evaluarla son las que se muestran a continuación:

a. Para suelos granulares

$$H_s = \left[ \frac{\alpha \cdot H_b^{5/3}}{0.68 \cdot D_m^{0.28} \cdot \beta \cdot \psi} \right]^{1/1+X}$$

b. Para suelos cohesivos

$$H_s = \left[ \frac{\alpha \cdot H_b^{5/3}}{0.6 \cdot \gamma_s^{1.18} \cdot \beta \cdot \psi} \right]^{1/1+X}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{Qd}{Hm^{5/3} \cdot Be \cdot \mu}$$

Donde:

- $H_s$  : desnivel entre la superficie del agua, y el fondo erosionado.
- $H_o$  : desnivel entre la superficie del agua y el nivel del fondo original.
- $H_m$  : tirante medio medido entre la superficie del agua al pasar la avenida y el fondo original.
- $B_e$  : ancho libre de la superficie al pasar la avenida
- $Q_d$  : caudal de diseño
- $D_m$  : diámetro medio de las partículas
- $\gamma_s$  : peso volumétrico seco del material si es arcilloso
- $X$  : exponente función de  $D_m$  o  $\gamma_s$  según el tipo de suelo
- $\Psi$  : coeficiente que depende de la concentración del material en suspensión
- $\beta$  : coeficiente que depende el horizonte de diseño
- $\mu$  : coeficiente de contracción del cauce.

De acuerdo con la figura a continuación se observa que, en las márgenes derecha del Caño del Las Compañías, la firma INEICA realizó un sondeo denominado S1.

Figura 6-4. Localización del Sondeo S1. Fuente: Estudio Geotécnico INEICA



Según el sondeo S1 existe un estrato cohesivo conformado por limos hasta una profundidad de 3.5 m. Desde los 3.5 m de profundidad hasta los 11 m se extiende una arcilla de baja compresibilidad.

Con las condiciones de la geotecnia del sector, el consultor calculó la socavación a partir del caudal para un periodo de retorno de 100 años que arroja una probabilidad de falla del 1% considerando que dichos suelos cohesivos tienen una densidad seca de 1.3 Ton/m<sup>3</sup>. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 6-1. Resultados Estudio de Socavación. Fuente: Propia

| Abscisado | Cota Lecho (m) | Hs   | Fondo Socavado | Socavación |
|-----------|----------------|------|----------------|------------|
| 0         | 0.215          | 3.56 | -1.9           | 2.12       |
| 3.71      | 0.169          | 3.7  | -2.04          | 2.21       |
| 6.06      | 0.182          | 3.66 | -2             | 2.18       |
| 7.11      | 0.121          | 3.84 | -2.18          | 2.30       |
| 7.17      | 0.117          | 3.85 | -2.19          | 2.31       |
| 9.2       | -0.027         | 4.3  | -2.64          | 2.61       |
| 11.24     | -0.19          | 4.81 | -3.15          | 2.96       |
| 11.41     | -0.202         | 4.84 | -3.18          | 2.98       |
| 15.48     | -0.423         | 5.55 | -3.89          | 3.47       |
| 15.65     | -0.434         | 5.59 | -3.93          | 3.50       |
| 17.69     | -0.491         | 5.77 | -4.11          | 3.62       |
| 19.73     | -0.558         | 5.99 | -4.33          | 3.77       |
| 19.81     | -0.559         | 6    | -4.34          | 3.78       |
| 19.89     | -0.56          | 6    | -4.34          | 3.78       |
| 23.97     | -0.599         | 6.13 | -4.47          | 3.87       |
| 24.13     | -0.597         | 6.12 | -4.46          | 3.86       |
| 26.17     | -0.5           | 5.8  | -4.14          | 3.64       |
| 28.21     | -0.491         | 5.77 | -4.11          | 3.62       |

**ESTUDIO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS Y EL ANÁLISIS DE  
POSIBLE VULNERABILIDAD PARA IDENTIFICAR EVENTUALES RIESGOS  
HIDRÁULICOS EN UN SECTOR DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA  
UBICADO ENTRE LA VÍA 40 Y EL GRAN MALECÓN DEL RÍO**

**INFORME FINAL**

| <b>Abscisado</b> | <b>Cota Lecho<br/>(m)</b> | <b>Hs</b> | <b>Fondo<br/>Socavado</b> | <b>Socavación</b> |
|------------------|---------------------------|-----------|---------------------------|-------------------|
| 28.29            | -0.49                     | 5.77      | -4.11                     | 3.62              |
| 28.37            | -0.49                     | 5.77      | -4.11                     | 3.62              |
| 30.41            | -0.47                     | 5.71      | -4.05                     | 3.58              |
| 32.46            | -0.451                    | 5.64      | -3.98                     | 3.53              |
| 32.54            | -0.451                    | 5.64      | -3.98                     | 3.53              |
| 32.61            | -0.45                     | 5.64      | -3.98                     | 3.53              |
| 36.7             | -0.431                    | 5.58      | -3.92                     | 3.49              |
| 36.78            | -0.43                     | 5.58      | -3.92                     | 3.49              |
| 36.85            | -0.43                     | 5.58      | -3.92                     | 3.49              |
| 40.95            | -0.391                    | 5.45      | -3.79                     | 3.40              |
| 41.02            | -0.391                    | 5.45      | -3.79                     | 3.40              |
| 41.1             | -0.39                     | 5.45      | -3.79                     | 3.40              |
| 43.14            | -0.386                    | 5.43      | -3.77                     | 3.38              |
| 45.19            | -0.381                    | 5.42      | -3.76                     | 3.38              |
| 45.34            | -0.381                    | 5.42      | -3.76                     | 3.38              |
| 49.43            | -0.401                    | 5.48      | -3.82                     | 3.42              |
| 49.58            | -0.401                    | 5.48      | -3.82                     | 3.42              |
| 53.68            | -0.401                    | 5.48      | -3.82                     | 3.42              |
| 53.75            | -0.4                      | 5.48      | -3.82                     | 3.42              |
| 53.82            | -0.4                      | 5.48      | -3.82                     | 3.42              |
| 55.87            | -0.385                    | 5.43      | -3.77                     | 3.39              |
| 57.92            | -0.371                    | 5.38      | -3.72                     | 3.35              |
| 58.06            | -0.369                    | 5.38      | -3.72                     | 3.35              |
| 62.17            | -0.321                    | 5.22      | -3.56                     | 3.24              |
| 62.3             | -0.319                    | 5.22      | -3.56                     | 3.24              |
| 66.41            | -0.261                    | 5.03      | -3.37                     | 3.11              |
| 66.48            | -0.261                    | 5.03      | -3.37                     | 3.11              |
| 66.54            | -0.262                    | 5.03      | -3.37                     | 3.11              |
| 68.6             | -0.271                    | 5.06      | -3.4                      | 3.13              |
| 69.28            | -0.278                    | 5.09      | -3.43                     | 3.15              |
| 69.63            | -0.283                    | 5.1       | -3.44                     | 3.16              |
| 69.83            | -0.293                    | 5.13      | -3.47                     | 3.18              |
| 69.97            | -0.292                    | 5.13      | -3.47                     | 3.18              |
| 70.07            | -0.292                    | 5.13      | -3.47                     | 3.18              |
| 70.14            | -0.292                    | 5.13      | -3.47                     | 3.18              |

De acuerdo con lo anterior, la socavación se extenderá hasta la cota -4.47 m.

En consecuencia, se concluye que ante la creciente con período de retorno de 100 años el lecho descenderá hasta la cota -4.47 m por lo que se requiere que los pilotes de apoyo del puente sean

calculados sin considerar soporte de los suelos comprendidos entre la cota -5.0 m (a fin de dar un factor de seguridad adicional) hasta la superficie.

## 6.2 DISEÑO HIDRÁULICO Y DETERMINACIÓN DE LA SOCAVACIÓN DEL LECHO DEL PUENTE MOVIL

Antes de presentar los cálculos hidráulicos para la determinación de la socavación del lecho en el sector del puente móvil, resulta importante señalar los criterios involucrados para tal efecto:

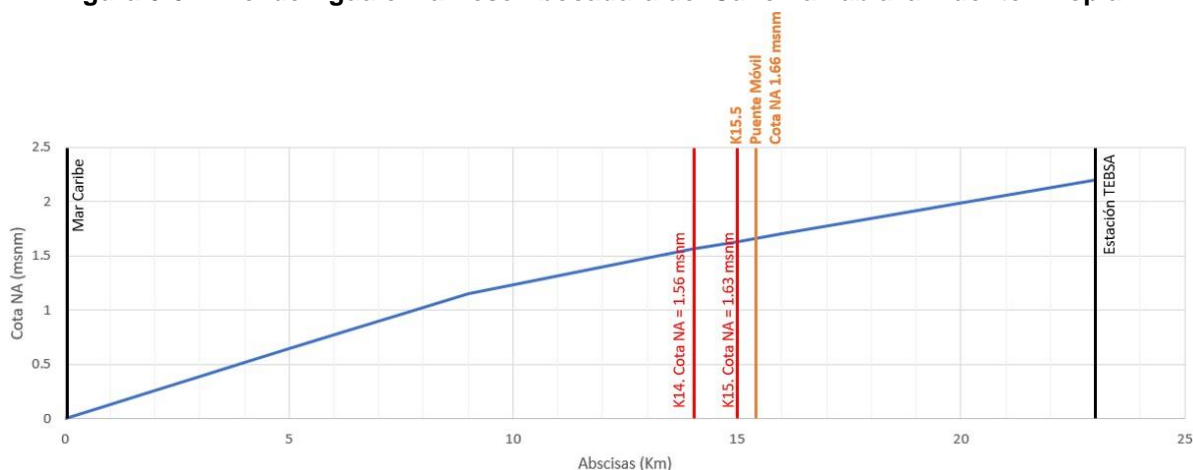
- Como se muestra a continuación, el puente generará una contracción en el flujo del Caño la Tablaza de 40.15 m de ancho a 28.5 m de ancho según lo muestra el diseño establecido por el diseñador del proyecto.

Figura 6-5. Contracción del Cauce por Efecto del Puente Móvil. Fuente: Diseños Contratista



- El nivel de la lámina de agua en la desembocadura del Caño Tablaza se encuentra condicionado a los niveles máximos según perfil de remanso mostrado a continuación:

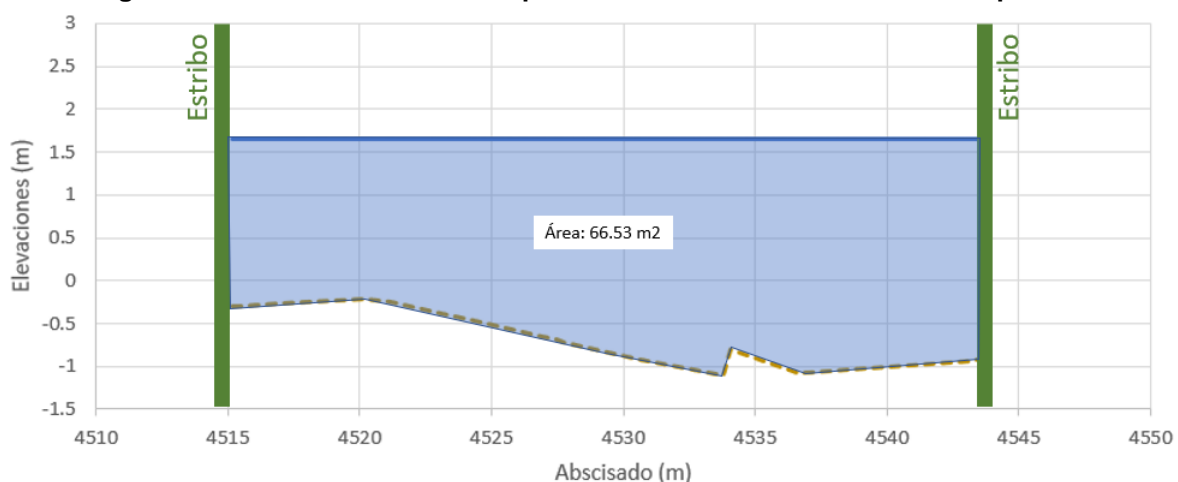
Figura 6-6. Nivel de Agua en la Desembocadura del Caño La Tablaza. Fuente: Propia



Como se observa, la cota de la lámina de agua es 1.66 msnm cuando el Río Magdalena ha estado en su mayor condición histórica de niveles.

- c. El caudal de 158.7 m<sup>3</sup>/s pasará en una sección hidráulica de 66.53 m<sup>2</sup> según lo muestra la siguiente figura:

**Figura 6-7. Sección Hidráulica Disponible Caño La Tablaza. Fuente: Propia**



De acuerdo con lo anterior la velocidad media del flujo es de 2.38 m/s.

Considerando las condiciones hidráulicas, resulta necesario verificar el efecto a largo plazo de la socavación (general) y verificar el efecto de la contracción del ejercida por el puente.

La socavación potencial en el sector del Puente Móvil se calculó a partir del concepto de socavación general que se define como el descenso del fondo del río cuando se presenta una avenida debido a la mayor capacidad que tiene la corriente de transportar partículas en suspensión, partículas que toma del fondo del cauce.

Según Litschvan-Levediev las expresiones para evaluarla son las que se muestran a continuación:

- d. Para suelos granulares

$$Hs = \left[ \frac{\alpha \cdot H^{5/3}}{0.68 \cdot Dm^{0.28} \cdot \beta \cdot \psi} \right]^{1/1+X}$$

e. Para suelos cohesivos

$$H_s = \left[ \frac{\alpha \cdot H_b^{5/3}}{0.6 \cdot \gamma_s^{1.18} \cdot \beta \cdot \psi} \right]^{1/1+X}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{Q_d}{H_m^{5/3} \cdot B_e \cdot \mu}$$

Donde:

- $H_s$  : desnivel entre la superficie del agua, y el fondo erosionado.
- $H_o$  : desnivel entre la superficie del agua y el nivel del fondo original.
- $H_m$  : tirante medio medido entre la superficie del agua al pasar la avenida y el fondo original.
- $B_e$  : ancho libre de la superficie al pasar la avenida
- $Q_d$  : caudal de diseño
- $D_m$  : diámetro medio de las partículas
- $\gamma_s$  : peso volumétrico seco del material si es arcilloso
- $X$  : exponente función de  $D_m$  o  $\gamma_s$  según el tipo de suelo
- $\psi$  : coeficiente que depende de la concentración del material en suspensión
- $\beta$  : coeficiente que depende el horizonte de diseño
- $\mu$  : coeficiente de contracción del cauce.

De acuerdo con la figura a continuación se observa que en las márgenes izquierda y derecha del Caño La Tablaza, la firma INEICA realizó dos sondeos denominados S3 y S4.

**Figura 6-8. Localización de Sondeos S3 y S4. Fuente: Estudio Geotécnico INEICA**



Según el sondeo S3 existe un estrato cohesivo conformado por una arcilla de baja compresibilidad color gris hasta una profundidad de 10 m. Considerando que la cota aproximada en el sector del sondeo es 2.9 m se determina que la cota hasta la que se extiende dicho estrato es -7.1 m.



Según el sondeo S4 existe un estrato cohesivo conformado por un limo color gris hasta una profundidad de 9.5 m. Considerando que la cota aproximada en el sector del sondeo es 2.9 m se determina que la cota hasta la que se extiende dicho estrato es -6.6 m.

Con las condiciones de la geotecnia del sector, el consultor calculó la socavación a partir del caudal para un periodo de retorno de 100 años que arroja una probabilidad de falla del 1% considerando que dichos suelos cohesivos tienen una densidad seca de 1.3 Ton/m<sup>3</sup>. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

**Tabla 6-2. Resultados Estudio de Socavación. Fuente: Propia**

| <b>Abscisado</b> | <b>Cota Lecho<br/>(m)</b> | <b>Hs</b> | <b>Fondo<br/>Socavado</b> | <b>Socavación</b> |
|------------------|---------------------------|-----------|---------------------------|-------------------|
| 4515.167         | -0.3                      | 3.65      | -1.99                     | 1.69              |
| 4515.397         | -0.292                    | 3.63      | -1.97                     | 1.68              |
| 4517.047         | -0.259                    | 3.56      | -1.9                      | 1.64              |
| 4518.027         | -0.241                    | 3.52      | -1.86                     | 1.62              |
| 4520.177         | -0.208                    | 3.44      | -1.78                     | 1.57              |
| 4521.177         | -0.247                    | 3.53      | -1.87                     | 1.62              |
| 4523.117         | -0.384                    | 3.84      | -2.18                     | 1.80              |
| 4524.327         | -0.459                    | 4.01      | -2.35                     | 1.89              |
| 4526.887         | -0.651                    | 4.46      | -2.8                      | 2.15              |
| 4527.477         | -0.693                    | 4.56      | -2.9                      | 2.21              |
| 4527.747         | -0.713                    | 4.61      | -2.95                     | 2.24              |
| 4530.627         | -0.925                    | 5.11      | -3.45                     | 2.53              |
| 4532.377         | -1.016                    | 5.33      | -3.67                     | 2.65              |
| 4533.777         | -1.103                    | 5.54      | -3.88                     | 2.78              |
| 4534.057         | -0.801                    | 4.81      | -3.15                     | 2.35              |
| 4536.737         | -1.081                    | 5.49      | -3.83                     | 2.75              |
| 4536.927         | -1.078                    | 5.48      | -3.82                     | 2.74              |
| 4537.007         | -1.075                    | 5.47      | -3.81                     | 2.74              |
| 4540.077         | -1.006                    | 5.31      | -3.65                     | 2.64              |
| 4541.647         | -0.975                    | 5.23      | -3.57                     | 2.60              |
| 4543.227         | -0.941                    | 5.15      | -3.49                     | 2.55              |
| 4543.407         | -0.922                    | 5.1       | -3.44                     | 2.52              |

De acuerdo con lo anterior, la socavación se extenderá hasta la cota -3.88 m.

#### 6.2.1.1 Socavación por Contracción

Según *Straub* la socavación por contracción del cauce se puede evaluar empleando el mismo criterio que para la socavación general o bien mediante la expresión:

$$y_t = y_o \left( \frac{W_o}{W_t} \right)^{0.642}$$

Donde:

- $y_o$  es el tirante promedio en las secciones reducidas. En este caso 2.66 m.
- $W_o$  ancho inicial antes de la contracción, igual a 40.15 m
- $W_t$  ancho de la contracción, igual a 28.5 m

Con base en lo anterior se calcula el descenso del fondo por efecto de la contracción y se estima en 3.31 m.

En consecuencia, la socavación por contracción corresponde a 0.65 m.

Por lo anterior, se concluye que ante la creciente con período de retorno de 100 años el lecho descenderá hasta la cota -4.53 m como consecuencia de los efectos combinados de la socavación por contracción y la socavación general, requiriéndose que los pilotes de apoyo del puente sean calculados sin considerar soporte de los suelos comprendidos entre la cota -5.0 m (a fin de dar un factor de seguridad adicional) hasta la superficie.

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo del estudio se realizó una valoración hidrológica de la cuenca Nor-Oriental de Barranquilla que fluye hacia el Río Magdalena Entre la Vía 40 y el río desde la Carrera 46 hasta el Arroyo de Siape.

En este estudio se identificaron los arroyos canalizados y los susceptibles a inundar zonas aledañas y se definieron las manchas de inundación de cada corriente hídrica asociando conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

Como se observó a lo largo del estudio los análisis se realizaron para periodos de retorno de 50 años cumpliendo con los criterios estipulados por el POT vigente en la Ciudad de Barranquilla.

En el informe se identificaron las zonas inundables bajo la información topográfica existente la cual como se sabe es secundaria y no ofrece los niveles de detalle requeridos para un proyecto de ingeniería de detalle. Sin embargo, permite identificar zonas potencialmente vulnerables.

En este orden de ideas se estableció que las zonas definidas como inundables presentan un ALTO RIESGO hidrológico el cual requiere de las siguientes acciones:

- Elaboración de un estudio específico para confirmar o descartar el nivel de riesgo del sector a partir de un levantamiento topográfico detallado del área a desarrollar y de las corrientes que eventualmente generan el riesgo.
- Construcción y Canalización de Arroyos.
- Urbanismo adaptado a los Arroyos en niveles por encima de dichas canalizaciones
- Relleno con material de préstamo de los lotes afectados hasta una cota segura.