

## CONTENIDO

1	GENERALIDADES .....	1-1
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1-1
1.2	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	1-1
1.2.1	Localización general .....	1-1
1.2.2	Generalidades.....	1-2
1.2.3	Área de estudio .....	1-3
1.3	OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO .....	1-4
1.3.1	Objetivo general .....	1-4
1.3.2	Objetivos específicos .....	1-4
1.3.3	Alcances del estudio .....	1-4
1.3.3.1	Estudios básicos .....	1-4
1.3.3.2	Evaluación de amenazas .....	1-5
1.3.3.3	Evaluación de vulnerabilidad.....	1-5
1.3.3.4	Evaluación del riesgo .....	1-5
1.3.3.5	Plan de medidas de mitigación de riesgos .....	1-5
1.3.3.6	Identificación e inventario de viviendas en riesgo no mitigable.....	1-5
1.3.3.7	Gestión con los municipios para incorporar los resultados en los POT ..	1-5
1.4	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES.....	1-5
1.4.1	Evaluación preliminar .....	1-5
1.4.2	Elaboración de la cartografía base .....	1-6
1.4.3	Análisis geológico y geomorfológico.....	1-6
1.4.4	Análisis hidrológico .....	1-6
1.4.5	Análisis hidráulico .....	1-6
1.4.6	Análisis geotécnico .....	1-7
1.4.7	Análisis detallado de la amenaza .....	1-7
1.4.8	Análisis detallado de la vulnerabilidad.....	1-7
1.4.9	Evaluación del riesgo .....	1-8
1.4.10	Plan de medidas de mitigación de riesgos.....	1-9
1.4.11	Identificación de viviendas en riesgo no mitigable .....	1-9
1.4.12	Gestión del riesgo con los municipios.....	1-9
1.4.13	Informe final.....	1-9

## **ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS Y RIESGOS DE ORIGEN NATURAL Y ANTRÓPICO DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE CHIGORODÓ**

### **1 GENERALIDADES**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Corpourabá, a través del Contrato de Consultoría No 10-01-09-0307-09 en el marco del Proyecto Macro PAT – Amenazas y Desastres Naturales, acordó con el Consorcio Urabá 2009 la realización de un estudio de zonificación de amenazas y riesgos de origen natural y antrópico de las áreas urbanas de los municipios de Turbo, Chigorodó, Dabeiba y Uramita, como herramienta fundamental en la planificación del territorio.

La necesidad de llevar a cabo el estudio obedece a que en las áreas urbanas de estos municipios se han incrementado los riesgos causados por eventos de origen natural como inundaciones, erosión fluvial e inestabilidad de taludes. En los últimos años se han presentado eventos críticos de inundaciones y erosión fluvial en los cauces de las corrientes que cruzan las áreas urbanas de los municipios mencionados, los que han afectado las comunidades de los barrios construidos en las zonas de riesgo.

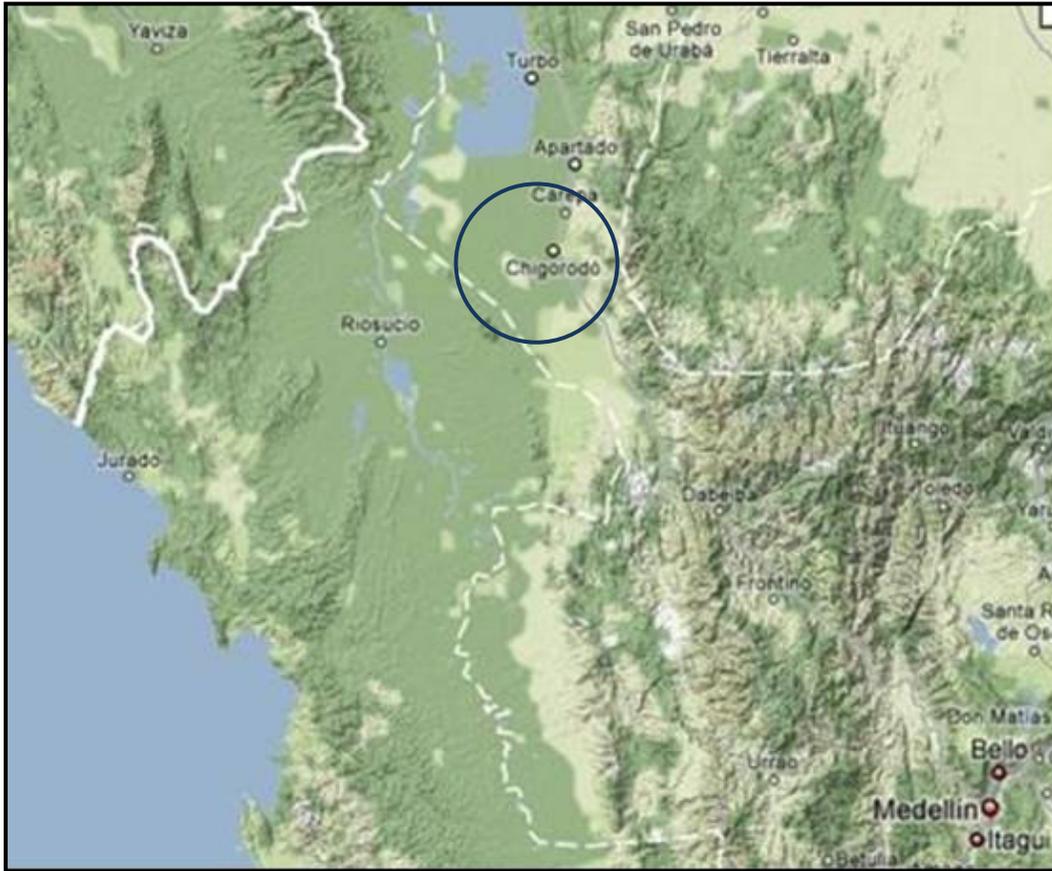
El desarrollo de los trabajos contempla la realización de las siguientes actividades: levantamiento topográfico, levantamiento geológico, zonificación geomorfológica, análisis de información climática, hidrológica e hidráulica, análisis de antecedentes, e identificación de procesos, con base en lo cual se llevará a cabo la evaluación de amenazas, evaluación de vulnerabilidad y evaluación del riesgo. A partir de los resultados obtenidos se presentará un plan de mitigación de riesgos y la identificación e inventario de viviendas en zonas de riesgo no mitigable, además de que se adelantará la gestión con los municipios para incorporar los resultados del proyecto en los planes de ordenamiento territorial. El presente informe contiene la descripción del sitio de estudio y la revisión y análisis de información secundaria disponible.

#### **1.2 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

##### **1.2.1 Localización general**

El Urabá Antioqueño es la región costera ubicada al noroccidente del departamento Antioquia sobre el mar Caribe, es la salida del departamento al mar en a la zona del golfo de Urabá, es la región bananera y platanera más importante del país.

En la Figura 1-1 Localización general del municipio de Chigorodó se presenta la localización a nivel regional de la zona de estudio.



**Figura 1-1 Localización general del municipio de Chigorodó**

### **1.2.2 Generalidades**

El municipio de Chigorodó posee una población superior a los 60 mil habitantes. El municipio se encuentra bañado por los ríos: Juradó, Guapá, León y Chigorodó, todos alimentados por la Serranía de Abibe. Limita por el norte con el municipio de Carepa, por el este con el departamento de Córdoba, por el Sur con los municipios de Mutatá y Turbo y por el oeste con el municipio de Turbo.

La cabecera municipal dista 306 kilómetros de la ciudad de Medellín, capital del departamento de Antioquia. La extensión total del municipio es de 608 km<sup>2</sup> y la de la zona urbana es de 3 km<sup>2</sup>. La altitud de la cabecera municipal es de 34 m.s.n.m, la temperatura media es de 28° C. Las actividades económicas del municipio se concentran en la agricultura con productos como el banano, arroz, plátano y maíz, la ganadería, la minería y las artesanías.

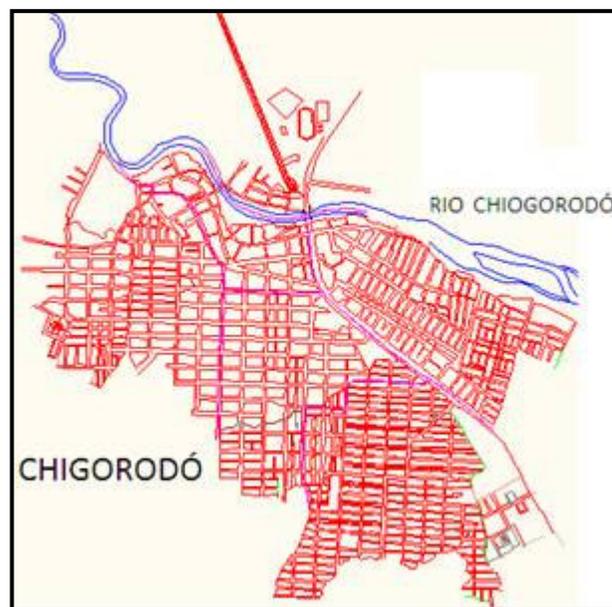
En la Figura 1-2 se presenta una vista general del municipio de Chigorodó.



**Figura 1-2 Vista del municipio de Chigorodó**

### **1.2.3 Área de estudio**

La zona de estudio, se encuentra dentro del casco urbano del Municipio de Chigorodó, en el costado norte, siendo de interés para el estudio el área de influencia del Río Chigorodó que lleva una dirección de Sur-Oriente a Noroccidente en especial la margen izquierda de éste por ser el terreno con mayor población y por la geometría del río. En la Figura 1-3 se presenta un esquema del municipio de Chigorodó.



**Figura 1-3 Vista Esquema del municipio de Chigorodó**

## 1.3 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO

### 1.3.1 Objetivo general

Realizar el estudio de zonificación de amenazas y riesgos de origen natural y antrópico del área urbana del municipio de Chigorodó como herramienta fundamental en la planificación del territorio.

### 1.3.2 Objetivos específicos

Se plantea realizar un proyecto de Zonificación por Amenazas y Riesgos en el área urbana del municipio de Chigorodó, siendo estructurado por los siguientes elementos:

- Realizar una zonificación de amenazas, vulnerabilidad y Riesgo en las áreas urbanas de cada municipio de acuerdo a una evaluación geomorfológica, hidrológica, hidráulica y geotécnica.
- Realizar una evaluación hidrológica e hidráulica como criterio a la hora de realizar el análisis de amenaza por inundación.
- Elaborar un plan de mitigación para garantizar la estabilidad, funcionalidad y habitabilidad de las edificaciones e infraestructura en riesgo, que incluya el diseño de las obras de mitigación que deberán realizarse a corto plazo y un inventario de viviendas en riesgo no mitigable.
- Realizar gestión para incorporar los resultados del estudio a los planes de ordenamiento territorial de los municipios.

### 1.3.3 Alcances del estudio

El estudio de zonificación de amenazas y riesgos de origen natural y antrópico del área urbana del municipio de Chigorodó, asociada a la zona de estudio de las márgenes del Río Chigorodó, contempla los siguientes aspectos:

#### 1.3.3.1 Estudios básicos

Los estudios básicos considerados son los siguientes:

- *Geología y geomorfología:* Realización de un levantamiento geológico en una base cartográfica a escala adecuada, además de un diagnóstico que contemple la descripción litológica, origen, espesor, distribución, perfiles y características estructurales. Además se considera la elaboración de una zonificación geomorfológica del área de estudio en donde se detallen los procesos morfo dinámicos actuantes.
- *Clima, Hidrología, hidráulica e Hidrogeología:* Además del análisis de la información climática disponible, se considera una evaluación hidrológica e hidráulica, incluyendo la realización del levantamiento topográfico del Río Chigorodó y sus márgenes.
- *Exploración Geotécnica:* Se realizará en aquellas zonas donde se requiera caracterizar las condiciones geotécnicas de acuerdo a las recomendaciones del estudio geológico y geomorfológico.

### *1.3.3.2 Evaluación de amenazas*

La evaluación de amenazas se realizará de acuerdo con la caracterización geológica, geomorfológica e hidráulica en las áreas urbanas de los municipios. La zonificación de amenazas será trabajada sobre una base cartográfica a escala adecuada.

### *1.3.3.3 Evaluación de vulnerabilidad*

En el análisis de vulnerabilidad se determinará el grado de exposición y predisposición del proyecto ante los fenómenos amenazantes identificados, y contempla la evaluación de la vulnerabilidad física, ambiental y socio-económica.

### *1.3.3.4 Evaluación del riesgo*

La evaluación del riesgo es el resultado de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, a fin de determinar las posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios eventos. La evaluación de riesgo será presentada como una zonificación sobre una base cartográfica a escala adecuada.

### *1.3.3.5 Plan de medidas de mitigación de riesgos*

De acuerdo con la identificación de las viviendas y/o infraestructura en riesgo mitigable, serán presentadas las medidas de mitigación del riesgo para cada una de las categorías definidas en la respectiva evaluación.

### *1.3.3.6 Identificación e inventario de viviendas en riesgo no mitigable*

En el plano de riesgo se identificarán las viviendas e infraestructura ubicadas en zonas de riesgo no mitigable.

### *1.3.3.7 Gestión con los municipios para incorporar los resultados en los POT*

Se ejecutará un plan de gestión con los municipios incluyendo reuniones de socialización del proyecto, y reuniones con los funcionarios municipales para desarrollar el ejercicio de incorporación del proyecto en el POT y la generación de un documento técnico que sirva de soporte y herramienta para que los municipios incorporen los resultados del proyecto en los POT.

## **1.4 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES**

Para el desarrollo del estudio se consideró la realización de una serie de actividades según se describe a continuación:

### **1.4.1 Evaluación preliminar**

Esta actividad comprende inicialmente la realización de una visita de campo a los sectores de interés para el desarrollo del estudio, por parte del grupo de profesionales y especialistas considerado. Con base en los aspectos observados en la visita de campo se

elaborará un diagnóstico preliminar de la problemática encontrada, a partir del cual se orientará el desarrollo de las demás actividades. Dentro de esta actividad también se incluye la recopilación y análisis de información secundaria, que corresponde a la consulta y adquisición de toda la información disponible que pueda resultar de utilidad para la realización del estudio.

#### **1.4.2 Elaboración de la cartografía base**

Para la generación de la cartografía base se considera inicialmente la realización del levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico de los sectores de interés, a partir una georeferenciación adecuada, incluyendo la toma de secciones transversales de las corrientes de agua a estudiar en cada sitio, y detallando las vías existentes, las obras de drenaje, protección y/o contención, además de la ubicación de los paramentos de la zona urbana aledaños a las corrientes de agua estudiadas.

Como resultado de lo anterior se generarán mapas topográficos a escala acorde con los lineamientos del proyecto, los cuales servirán de base para la elaboración de los diferentes mapas temáticos requeridos en el desarrollo del estudio. La elaboración de la cartografía base también comprende la identificación de la estructura existente y la recopilación de cartografía predial y social a partir de la información disponible.

#### **1.4.3 Análisis geológico y geomorfológico**

Incluye la revisión y análisis de información de referencia encontrada para cada sitio, además de los aspectos observados en la visita de campo, con el fin de identificar los rasgos litológicos y procesos morfodinámicos existentes en la zona de estudio. Como resultado de esto se generará un mapa de zonificación geomorfológica del área de estudio.

#### **1.4.4 Análisis hidrológico**

El análisis hidrológico comprende inicialmente la caracterización física de la zona de estudio y la caracterización hidrológica general a partir de los aspectos observados en la visita de campo y de lo encontrado en la información secundaria consultada. Esta actividad también incluye la recopilación de información como valores de precipitación, temperatura, evaporación o brillo solar, con base en la cual se debe adelantar la respectiva evaluación de los aspectos climatológicos de la zona de estudio.

#### **1.4.5 Análisis hidráulico**

Este análisis incluye la revisión de antecedentes de inundación y socavación, el análisis del manejo actual de las aguas de escorrentía y la realización de un inventario de procesos de inundación y erosión, a partir de la información obtenida al inicio del estudio, de lo observado en la visita de campo y de los datos suministrados por los pobladores de los sectores afectados por estos fenómenos. También comprende el análisis del sistema de drenaje y el cálculo de crecientes para diferentes periodos de retorno. Como resultado de la identificación de las zonas afectadas por fenómenos de inundación, socavación y procesos erosivos se generarán los planos de localización y zonificación respectivos.

#### **1.4.6 Análisis geotécnico**

Con base en la información geológica, geomorfológica y geotécnica disponible, y a partir de lo observado en la visita de campo, se llevará a cabo un inventario de los procesos de inestabilidad de las márgenes de las corrientes de agua consideradas en el desarrollo del estudio. A partir de lo anterior se establecerá un plan de exploración geotécnica y de ensayos de laboratorio, con base en el cual se pueda llevar a cabo una adecuada caracterización geotécnica de los materiales encontrados en cada sector, con el fin de realizar posteriormente los análisis geotécnicos que se requieran, tanto para evaluación de la estabilidad de las márgenes como de capacidad de soporte para las obras de protección o mitigación que se diseñen.

#### **1.4.7 Análisis detallado de la amenaza**

Las amenazas se definen como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por el hombre, con la capacidad de generar daños o pérdidas en un lugar y momento determinado. Estas pueden ser: naturales, antrópicas o socio-naturales.

Las amenazas, aunque claramente distinguibles según su tipo, rara vez se manifiestan de forma individual y unilateral en la definición de riesgo y desastre. Más bien existen interrelaciones, sinergias y concatenaciones que nos permiten hablar de contextos sociales, territorios o regiones de multi-amenazas o de amenazas complejas.

Se habla de multi-amenazas cuando un área es susceptible de ser afectada por varios tipos distintos de amenazas, por ejemplo amenaza sísmica, volcánica, de inundación, de deslizamiento, etc. Se habla de amenazas complejas cuando al hecho de que una amenaza particular ocurra desate la ocurrencia de otros eventos físicos dañinos. Por ejemplo, el hecho de que un sismo desate proceso de licuefacción y FRM.

El análisis de la amenaza se hace de acuerdo con los criterios geomorfológico e hidrológico de acuerdo con los requerimientos técnicos de los documentos contractuales del proyecto. A partir de lo obtenido en los análisis de amenaza se generarán planos de zonificación en los que se delimitarán los sectores expuestos a diferentes grados de amenaza definidos cualitativamente, para lo cual se empleará la cartografía base definida anteriormente. El análisis de amenazas también comprende la definición de los procesos generadores de daño y el planteamiento inicial de alternativas para el manejo de los problemas encontrados.

#### **1.4.8 Análisis detallado de la vulnerabilidad**

El concepto de vulnerabilidad hace referencia tanto a la susceptibilidad de un sistema social de ser afectado por una amenaza como a la incapacidad de respuesta del mismo y la inhabilidad para sobreponerse o adaptarse luego de la afectación.

La vulnerabilidad suele ir acompañada de diversos adjetivos que delimitan “a qué” se es vulnerable y su uso más tradicional se relaciona con enfoques vinculados a temas económicos, ambientales, amenazas naturales y antrópicas y a la salud de los individuos, aunque también más recientemente se habla de vulnerabilidad social, psicosocial, jurídica, política y cultural (CEPAL/CELADE, 2002).

En este caso nos referiremos a la vulnerabilidad frente a las amenazas naturales, antrópicas y socio naturales, específicamente frente a los Fenómenos de Inundación y de Remoción en Masa. Sin embargo, sobre este tipo de vulnerabilidad se involucran a su vez distintos tipos o niveles de vulnerabilidad: económicos, sociales, organizacionales e institucionales, educacionales y culturales, entre otros, que en un sistema de compleja interacción crean condiciones de lo que se ha definido como vulnerabilidad global de un elemento, unidad o estructura social particular (Wilches - Chaux ,1993)

Al inicio de los análisis detallados de vulnerabilidad se considera la identificación y caracterización de los elementos expuestos, que corresponden tanto a las edificaciones como a las obras de infraestructura que pueden resultar afectadas, además de la definición de los modos de daño que pueden sufrir dichos elementos. Para la identificación de los elementos expuestos se llevará a cabo la realización de un inventario de viviendas y de obras de infraestructura situadas en las zonas urbanas en los sectores aledaños a las corrientes de agua consideradas.

El análisis detallado de la vulnerabilidad comprende tanto la valoración de la vulnerabilidad física como la valoración de la vulnerabilidad social, por lo que para la realización de los inventarios de viviendas se tendrán en cuenta ambos aspectos.

#### **1.4.9 Evaluación del riesgo**

El riesgo aparece cuando en un mismo territorio y en un mismo tiempo, coinciden eventos amenazantes, que pueden ser de origen natural o creados por el hombre, con unas condiciones de vulnerabilidad dadas. Así, el riesgo es una situación derivada del proceso de desarrollo histórico de las comunidades, que ha conducido a la construcción y ubicación de infraestructura pública o privada de forma inapropiada con relación a la oferta ambiental del territorio.

Teóricamente, el riesgo se estima como la magnitud esperada de un daño, que presenta un elemento o sistema, en un lugar dado y durante un tiempo de exposición determinado. Se evalúa en términos de pérdidas y daños físicos, económicos, sociales y ambientales que podrían presentarse si ocurre el evento amenazante.

El riesgo alude a una situación latente o potencial y por lo tanto es posible intervenirlo actuando sobre sus elementos constitutivos (conocidos como la Amenaza y la Vulnerabilidad), con el fin de evitarlo o de reducir el nivel esperado de pérdidas y daños. Estas actuaciones hacen parte de una serie de acciones, iniciativas y procedimientos que constituyen la denominada Gestión del Riesgo.

Inicialmente se presentará la definición de los criterios de decisión, para posteriormente presentar los escenarios del riesgo y realizar la evaluación del mismo. El riesgo se define con base en la amenaza y la vulnerabilidad en un mapa a escala 1:2000, que califica de manera cualitativa (alto, medio, bajo) la magnitud esperada del daño que podría presentarse en la vivienda por la materialización de las diferentes amenazas.

#### **1.4.10 Plan de medidas de mitigación de riesgos**

Inicialmente se hace la definición y evaluación de alternativas de mitigación, para lo cual se tendrá en cuenta su funcionalidad frente al desarrollo social sostenible, su factibilidad y la relación costo/beneficio, de cada una de las alternativas planteadas. Dentro de las medidas de mitigación a considerar se encuentran la restricción del uso del suelo, la reubicación de familias, la definición de zonas de aislamiento, la información pública y la implementación de obras de protección y control.

#### **1.4.11 Identificación de viviendas en riesgo no mitigable**

Con base en la información obtenida en los inventarios de viviendas y en la evaluación del riesgo se identificarán las viviendas situadas en zonas de riesgo no mitigable.

#### **1.4.12 Gestión del riesgo con los municipios**

Se ejecutará un plan de gestión con los municipios, el cual incluirá actividades como la realización de reuniones de socialización del proyecto y reuniones con los funcionarios municipales para desarrollar el ejercicio de incorporación del proyecto en el POT.

#### **1.4.13 Informe final**

Al final del desarrollo de los estudios se elaborará un documento que contenga lo indicado en las secciones anteriores.

## CONTENIDO

<b>2</b>	<b>DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL</b>	<b>2-1</b>
2.1	INTRODUCCIÓN	2-1
2.2	DESCRIPCIÓN Y CAUSAS DEL PROBLEMA	2-1
<b>2.2.1</b>	<b>Zonas inundables</b>	<b>2-2</b>
2.2.1.1	Zonas Altamente Inundables (Z.A.I)	2-2
2.2.1.2	Zonas Moderadamente Inundables (Z.M.I)	2-2
<b>2.2.2</b>	<b>Zonas con amenaza por inestabilidad de las márgenes</b>	<b>2-3</b>
2.3	REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN BASE	2-5
<b>2.3.1</b>	<b>Generación de Cartografía Base</b>	<b>2-5</b>
2.3.1.1	Levantamiento topográfico	2-5
2.3.1.2	Mapa urbanístico	2-5
2.3.1.3	Mapa social	2-5
<b>2.3.2</b>	<b>Caracterización física</b>	<b>2-6</b>
2.3.2.1	Caracterización Geológica – Geomorfológica	2-6
2.3.2.2	Caracterización climatológica e hidrológica	2-6
2.3.2.3	Caracterización hidráulica	2-7
2.3.2.4	Investigación Geotécnica	2-7
2.4	MODELOS Y METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS	2-7
<b>2.4.1</b>	<b>Evaluación de la amenaza por inundación</b>	<b>2-8</b>
2.4.1.1	Evaluación de la amenaza por inundación	2-8
2.4.1.2	Evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales	2-8
2.4.1.3	Evaluación de la amenaza por inestabilidad de las márgenes	2-8
<b>2.4.2</b>	<b>Análisis de vulnerabilidad</b>	<b>2-9</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Riesgo frente a la ocurrencia de los eventos amenazantes</b>	<b>2-9</b>
2.5	PLAN DE MEDIDAS DE REDUCCION DEL RIESGO	2-10
<b>2.5.1</b>	<b>Restricción del uso del suelo</b>	<b>2-11</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Reubicación de familias</b>	<b>2-11</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Obras de protección y control</b>	<b>2-11</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Definición de zonas de aislamiento</b>	<b>2-12</b>
<b>2.5.5</b>	<b>Información pública</b>	<b>2-12</b>
<b>2.5.6</b>	<b>Plan de gestión con el municipio para la incorporación de los resultados a los POT</b>	<b>2-12</b>
2.6	MARCO METODOLÒGICO	2-12
<b>2.6.1</b>	<b>Análisis detallado de la amenaza</b>	<b>2-13</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Análisis detallado de la vulnerabilidad</b>	<b>2-15</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Análisis detallado del riesgo</b>	<b>2-16</b>

## **2 DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Se presenta a continuación la conceptualización del estudio y la problemática de riesgo socio natural por inundación y por inestabilidad de márgenes a partir de la valoración respectiva de la amenaza y la vulnerabilidad asociada a cada evento sobre el valle del Río Chigorodó en el área urbana del municipio de Chigorodó, localizado en la región del Urabá Antioqueño.

### **2.2 DESCRIPCIÓN Y CAUSAS DEL PROBLEMA**

El área urbana del municipio se localiza principalmente sobre la llanura aluvial del río Chigorodó sobre una morfología plana. El desarrollo urbano desde el origen del municipio se ha dado teniendo como eje el río, lo que ha determinado la configuración actual urbana, la cual presenta un marcado desarrollo de manera paralela a las márgenes del río, especialmente sobre la margen izquierda del mismo.

La cercanía de las viviendas al cauce, localizadas sobre las partes bajas de las terrazas aluviales o sobre la planicie del abanico de Apartado, unido a la dinámica geomorfológica del cauce del río configuran la condición de riesgo a que está expuesto el municipio por eventos de inundaciones e inestabilidad de las márgenes del río.

Sobre la cabecera urbana, el río Chigorodó concentra flujos de un área de vertiente de 204 km<sup>2</sup>. En eventos extremos como el del año 1995, se presentó un valor promedio de caudal de 50.68 m<sup>3</sup>/s, muy superior a los valores normales que varían entre 13 y 22 m<sup>3</sup>/s. Históricamente se han registrado eventos de inundación, según la base de datos hecha por Ingeominas con registros de reportes de prensa del diario El Colombiano, estos eventos aparecen desde el año 1962 y en el desarrollo del presente estudio se presentó un evento de inundación el 2 de octubre del 2009, el cual quedó registrado con el levantamiento topográfico de la zona.

Dado el bajo nivel de planificación urbana con que se ha expandido la ciudad sumado a la dinámica social de la región, en la zona urbana se han generado asentamientos subnormales en sectores no aptos para la vivienda sobre la llanura de inundación del río Chigorodó especialmente en zonas de meandros abandonados, y sobre la parte alta de los taludes que conforman las márgenes del río con procesos de inestabilidad asociada a los procesos de socavación lateral del cauce. A esta condición de alta exposición, se suma la escasez de sistemas de drenaje artificial y la destrucción de los naturales existentes debido a los procesos de urbanización, al relieve plano y convexo y a las pendientes dominantes del 0 al 3% del área. El POT de 2000 del Municipio de Chigorodó, presenta una zonificación del territorio en la cabecera urbana del Municipio, delimitando las zonas con amenaza por inundación y zonas con amenaza por estabilidad, las cuales en resumen son definidas según se muestra en la Figura 2-1.



**Figura 2-1 Municipio de Chigorodó – Zonas inundables de acuerdo con el POT, 2000**

## **2.2.1 Zonas inundables**

Los eventos de grandes crecientes del río Chigorodó representan una amenaza frecuente para la población del Municipio, especialmente a la ubicada dentro de la zona urbana. El POT de una forma cualitativa, las amenazas por inundación las han enmarcado en zonas altamente inundables y zonas moderadamente inundables.

### **2.2.1.1 Zonas Altamente Inundables (Z.A.I)**

Son sectores que están expuestos a inundaciones periódicas con periodos de recurrencia cortos (<5 años). Dentro de esta zona se ubica la mayor parte de los barrios que están asentados sobre la llanura de inundación del río Chigorodó, los cuales no respetan los márgenes de retiro de mínimo 30 metros establecidos por ley. De Oriente a Occidente las zonas altamente inundables son las siguientes: Barrios Playitas y La Playa, Tramo la Isla y parque Antonio Roldán B. (antiguo matadero)

### **2.2.1.2 Zonas Moderadamente Inundables (Z.M.I)**

Está conformada por los terrenos adjuntos a la Llanura de inundación, en transición hacia la macrounidad de Abanico. Sólo es inundable con precipitaciones muy altas y prolongadas que permitan el desarrollo de caudales muy altos. Dentro de esta zona de Este a Oeste se encuentran los siguientes barrios: Barrió Guayabal, Barrió Brisas del Río, Sector Terminal de Transporte, Tramo Alcaldía-Hospital y Barrios aledaños al caño la Cotorra.



a) Río Chigorodó



b) Rastro del nivel de inundación alcanzado el 02/10/09



c) Explotación de materiales en el lecho del río



d) Socavación lateral de la terraza a la salida de la zona urbana del municipio

**Figura 2-2 Aspecto actual del río Chigorodó y su zona de inundación**

## 2.2.2 Zonas con amenaza por inestabilidad de las márgenes

Esta amenaza se asocia al proceso de socavación lateral en algunos de los taludes del río Chigorodó que generan procesos de inestabilidad de las márgenes del mismo. Se presenta como consecuencia del efecto erosivo del agua sobre la base o pata de los taludes, por lo que estos se desestabilizan y se desploman.

Es un proceso natural generado por la dinámica de los ríos en su variación del curso, pero que puede acelerado por una alta influencia antrópica con la construcción de infraestructura como muros, espolones y salida de desagües sobre las márgenes. De Este a Oeste en la cabecera Municipal los sectores que se han visto más afectados por esta amenaza son: Barrió La Playa, Sector Base del ejército y Tramo finca Pasatiempo - Vía

antigua a Guatapurí. Igualmente, por la configuración geomorfológica de Chigorodó y las características de la cuenca del río se establece la potencialidad de la ocurrencia de eventos tipo avenidas torrenciales, el registro histórico de Ingeominas reporta un evento en 1980.

Algunas de las razones que configuran la condición de riesgo actual a que está expuesta la comunidad que se localiza sobre las riberas del río Chigorodó son las siguientes:

- Existen áreas urbanizadas ocupando zonas inundables del río.
- En las áreas urbanas escasean los buenos sistemas de drenaje artificial para el manejo de las aguas residuales y de escorrentía, igualmente existe destrucción de los drenajes naturales existentes debido a los procesos de urbanización.
- La composición de los materiales que conforman los taludes de las márgenes del río presentan alta susceptibilidad a que sean erodados por las corrientes que generan su inestabilidad.
- Existen factores antrópicos sumados a las condiciones naturales de precipitación que maximizan los niveles de riesgos por inundación en diferentes sectores, tales como construcción de viviendas en las zonas de retiro de las corrientes, malos sistemas de manejo de las aguas servidas y de escorrentía, retiro de la cobertura vegetal protectora, entre otras.
- El aumento de la carga de sedimentos e incapacidad hidráulica de las estructuras, las cuales aunque no son la causa de las inundaciones, son factores que pueden influir en éstas.
- La construcción de viviendas e infraestructura cerca a las coronas de los taludes que conforman las márgenes del río, que debido a factores antrópicos (manejo de aguas lluvias, alcantarillado, retiro de vegetación protectora, etc) aceleran los procesos de inestabilidad de las mismas.

De acuerdo con la problemática de riesgo del área urbana de Chigorodó, identificada y expuesta, se busca a adelantar un estudio a nivel de detalle de los riesgos socio naturales que la afectan, fundamentado en la evaluación geomorfológica, hidrológica, hidráulica y geotécnica del área, así como las características urbanas y poblacionales del municipio.

El estudio de la problemática y del planteamiento de medidas de prevención, mitigación y/o control de los riesgos se enfoca desde la gestión integral del riesgo. Ello quiere decir que una vez zonificadas las áreas en riesgo, se elabora un análisis detallado de los niveles de riesgo existentes, discriminándolos por tipo, área de riesgo y vulnerabilidad específica, con el fin de contemplar las acciones requeridas para su adecuada gestión dentro del Ordenamiento Territorial y el Plan de Desarrollo Municipal. Los estudios contemplan metodológicamente los siguientes aspectos que se consideran básicos y estratégicos dentro del desarrollo de los mismos.

## **2.3 REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN BASE**

### **2.3.1 Generación de Cartografía Base**

La cartografía base hace referencia a la información geográfica necesaria para realizar las evaluaciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo; por ello, su precisión debe ser alta y corresponderá a la escala de trabajo 1:2000 definida en la formulación del estudio. La cartografía base comprende los siguientes temas:

- La topografía – Altimetría y planimetría.
- El urbanismo – Edificaciones (catastro), vías y redes.
- Mapa social – Estratificación, centros de salud, colegios, iglesias, centros deportivos, salones comunales, comedores comunitarios, etc.

La cartografía base existente se consultará en Planeación municipal. Una vez verificada la calidad de la información y el tiempo en el cual fue realizada, se generara un mapa base.

#### **2.3.1.1 Levantamiento topográfico**

El levantamiento topográfico comprende tanto la planimetría como la altimetría del terreno (curvas de nivel) así como la georreferenciación de los elementos cartográficos que se encuentren dentro del área, tales como cursos de agua, taludes, barras, edificaciones, vías, cercas, etc.

La información topográfica de la zona se levanta a escala 1:2000, con curvas de nivel cada 1 m. y debidamente amarrado a placas del IGAC bajo el nuevo sistema de georeferenciación Magna Sirgas. Contempla el valle de río Chigorodó desde su entrada al casco urbano hasta la salida, en una longitud aproximada de 2.8 km, definiendo secciones transversales del vaso del cauce y de su valle de inundación cada 50 m o menos, de tal manera que permitan adelantar sobre las mismas la modelación hidráulica del cauce.

#### **2.3.1.2 Mapa urbanístico**

El mapa urbanístico es la base para la evaluación de la vulnerabilidad en la zona urbana. Con base en la información topográfica levantada, se procede a realizar la complementación de la información urbanística con la información DANE y de Catastro Municipal.

Esta contempla:

- Delimitación del urbanismo de la zona, definiendo con claridad las manzanas.
- Delimitación de las vías de acceso, tanto vehicular como peatonal, estructuras de arte como puentes, box, alcantarillas, etc.

#### **2.3.1.3 Mapa social**

El mapa social es un primer nivel de análisis sobre la vulnerabilidad social. Con base en la información disponible previamente recogida y con la información que manejan las organizaciones sociales y líderes comunitarios se establece:

- Definición de las áreas según estratificación

- Definición de áreas según densidad de población
- Presencia institucional con base en la identificación de edificaciones públicas como centros de salud, colegios, centros deportivos, salones comunales, comedores comunitarios, hogares comunitarios, Iglesias entre otros.
- Presencia de entidades de socorro para la atención de emergencias
- Identificación de organizaciones sociales (JAC, Asociaciones de Vivienda, Grupos Ambientales, etc.).

## **2.3.2 Caracterización física**

### **2.3.2.1 Caracterización Geológica – Geomorfológica**

El estudio integrará la geología regional, local y de detalle, teniendo en cuenta aspectos de génesis, litología, estratigrafía y geología estructural, unidades de superficie, perfiles de meteorización y procesos de erosión.

Así el levantamiento geológico de detalle se hará a escala 1:2000, comprende el reconocimiento de campo con el levantamiento de columnas estratigráficas. La evaluación geológica se orienta principalmente hacia la obtención de un modelo geológico y estratigráfico de la zona que permita definir las dinámicas geomorfológicas que puedan generar eventos amenazantes sobre el municipio.

La evaluación geomorfológica incluye los aspectos regionales mediante el análisis de información cartográfica regional y de imágenes o fotografías aéreas multitemporales y los aspectos locales a partir del levantamiento detallado de las características morfométricas, morfogenéticas y morfodinámicas. En particular se realiza un levantamiento de los procesos morfodinámicos presentes en el área de estudio.

En la caracterización geomorfológica se definen las unidades de terreno y se identifican los procesos de degradación presentes en el área en estudio. Un aspecto determinante en los estudios geomorfológicos con propósitos de evaluación de amenaza lo constituye el inventario de los procesos generadores de la amenaza como la erosión y los deslizamientos, por lo que se presentara un mapa de inventario de procesos o morfo dinámico a lo largo del cauce y de las márgenes del río Chigorodo dentro del los 2,8 km del río que colindan con la zona urbana.

### **2.3.2.2 Caracterización climatológica e hidrológica**

El régimen hidrográfico es el resultado de la interacción de variables como clima, morfología, litología del subsuelo, propiedades de los suelos desarrollados, vegetación y uso del terreno. Por lo tanto la caracterización hidrográfica de una zona puede realizarse a través de criterios geomorfológicos, incluyendo el análisis del drenaje superficial y la caracterización del patrón de flujo en función de la longitud y rugosidad de las pendientes.

El sistema de drenaje de las zonas afluentes a los canales se constituye en un factor primordial en la generación de procesos de inundación, los cuales son los responsables del modelado de la superficie del terreno. Los canales naturales constituyen los agentes más importantes de transporte de material desde áreas altas a zonas bajas y son parte integral del ciclo hidrológico.

Entonces, se busca mediante esta caracterización un análisis de la información climática e hidrológica del sector de estudio, donde se tengan en cuenta aspectos como las características de evapotranspiración, los histogramas de precipitaciones máximas, mínimas y medias, las curvas de intensidad-duración-frecuencia de lluvias y los análisis de las condiciones de drenaje natural. Esta información deberá emplearse para analizar su influencia en las amenazas por inundación que se pueden presentar en el área de estudio.

### **2.3.2.3 Caracterización hidráulica**

La caracterización hidráulica de los canales se efectuará partiendo de la determinación de los caudales de crecientes, de acuerdo con el periodo de retorno de caudales y niveles más altos en estaciones hidrométricas. Para ello se consultara información histórica confiable de registros de precipitación, caudales y niveles. Se construirá la curva de duración de caudales y de niveles.

Se utilizará un modelo hidráulico apropiado para determinar los perfiles de flujo para los diferentes caudales, así como la obtención de los diferentes parámetros hidráulicos necesarios para el diseño de obras de mitigación y los cálculos de socavación de las mismas. Como resultado se busca obtener zonas de inundación para diferentes períodos de retorno, y por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia.

### **2.3.2.4 Investigación Geotécnica**

La investigación geotécnica tendrá por objeto el levantar mediante trabajos de campo, complementados con trabajos de laboratorio, la información suficiente y adecuada que permita caracterizar cuantitativamente los diferentes materiales que conforman las márgenes y lecho de los canales Veranillo y Puerto Tranca.

La investigación geotécnica implicará un programa razonable de exploración directa mediante apiques, trincheras, perforaciones, etc., adecuadamente distribuidos sobre el área de manera de garantizar la obtención de la información geotécnica requerida para completar el modelo o modelos geológico-geotécnicos.

El trabajo de campo se complementará con un programa de ensayos de laboratorio (propiedades índices y mecánicas) que permita establecer adecuadamente las características esfuerzo-deformación, resistencia u otras propiedades de los materiales. La caracterización geotécnica de los materiales busca obtener parámetros para los diseños de ingeniería de las obras de mitigación y/o control del los riesgos evaluados.

## **2.4 MODELOS Y METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS**

De acuerdo con la naturaleza de las amenazas identificadas inundaciones, avenidas torrenciales e inestabilidad de las márgenes, se realizará la evaluación y zonificación de cada una, con una representación gráfica a una escala 1:2000, aplicable para la evaluación de su magnitud, probabilidad de ocurrencia y/o excedencia y distribución espacial.

La selección de los métodos de análisis está sujeto a los modelos que mejor representen los escenarios de falla y cuyos requerimientos de información sean coherentes con la información primaria y secundaria recolectada. Es necesario considerar en los análisis de amenaza las zonas de su posible influencia.

La Zonificación de las Amenazas para cada evento identificado se presentará mediante la delimitación de zonas con diferente grado de exposición a la amenaza (alto, medio, bajo). Para el efecto se elaborarán mapas de amenaza el cual será de carácter temporal y por tanto, sujeto a las condiciones presentes en un momento dado, ya que estas son cambiantes a través del tiempo; así mismo, los niveles de amenaza pueden estar variando, máxime cuando la intervención antrópica juega un papel muy importante.

## **2.4.1 Evaluación de la amenaza por inundación**

### **2.4.1.1 Evaluación de la amenaza por inundación**

La evaluación de la amenaza se adelanta con base en métodos determinísticos que permiten el tránsito de caudales en la zona de estudio. Se utilizará la aplicación del software HEC-RAS, el cual permite obtener niveles de inundación para cada uno de los períodos de recurrencia. El HEC-RAS, es un software desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers). El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre, una de sus principales aplicaciones es la Modelación hidráulica en régimen permanente de cauces abiertos, ríos y canales artificiales.

### **2.4.1.2 Evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales**

Teniendo en cuenta las características de este tipo de eventos, la evaluación se basa en métodos heurísticos soportados en criterio de experto. Para lo cual se adelanta un trabajo geomorfológico específico no solamente de la zona en estudio sino de la parte alta de la cuenca del río Chigorodó.

### **2.4.1.3 Evaluación de la amenaza por inestabilidad de las márgenes**

Se aplicará una metodología cuantitativa de análisis y cálculo de reconocida validez, con una representación gráfica a una escala 1:2000, aplicable para la evaluación de la magnitud, probabilidad de excedencia y distribución espacial de la amenaza que esté acorde con las características de las márgenes del río Chigorodó. La distribución espacial del evento amenazante se realizara en función de la tipología de evento, la morfometría de la margen y de las condiciones del entorno donde se modela el evento.

Para el estudio de la estabilidad de los taludes representativos de cada unidad, se establece un modelo de análisis a partir de la estratigrafía de la zona, los mecanismos de falla definidos de acuerdo con los tipos de deslizamientos observados, empleando los métodos de análisis Bishop Modificado, Rankine y Janbu, mediante el programa SLIDE. Para ello se tienen en cuenta los factores ambientales como la lluvia y el sismo.

## 2.4.2 Análisis de vulnerabilidad

Se puede hablar de vulnerabilidad de un elemento a partir del momento en que se sospecha de la ocurrencia de un evento amenazante determinado, de una cierta magnitud y caracterizado por un proceso generador de daño. Su evaluación pasa por determinar el nivel de daño potencial de un cierto número de elementos expuestos situados en una zona de extensión previsible del fenómeno.

Para valorar la vulnerabilidad en los términos expuestos se acude a la definición de funciones de daño, por tanto el nivel de daño de un elemento expuesto está en función de la naturaleza del evento amenazante y del tipo del elemento expuesto y esta describe la interacción elemento /evento en términos de daño potencial.

Se definen 2 tipos de funciones de daño, cada una de ellas agrupando las 3 familias de elementos expuestos, así:

<u>Elemento expuesto</u>	<u>Función de daño</u>
Bienes físicos	Daños estructurales
Personas	Perjuicios corporales

Los niveles de daño asociados a los eventos pueden ser traducidos o cuantificados en términos de pérdidas que pueden ser de naturaleza económica (costos directos e indirectos) de naturaleza humana o naturaleza funcional. Y dados los niveles de daño físico sobre los elementos expuestos se evalúa los perjuicios corporales y la perturbación funcional.

Al proceso de evaluación de la vulnerabilidad se introduce el concepto de vulnerabilidad de la sociedad, la cual permite establecer sobre el contexto socio – económico la capacidad de respuesta de una sociedad amenazada. Ante la ocurrencia de un evento potencialmente dañino, los hogares ubicados bajo la línea de pobreza presentan una mayor dificultad para su atención y recuperación que los de altos ingresos, ya que suelen tener menor diversidad de recursos. La vulnerabilidad se expresa por medio de una escala cualitativa, así: vulnerabilidad alta, media y baja, incluyendo una descripción detallada de los criterios adoptados para este efecto y incluirá un plano de zonificación por vulnerabilidad en la escala de trabajo adoptada: 1:2000.

## 2.4.3 Riesgo frente a la ocurrencia de los eventos amenazantes

El riesgo corresponde a la estimación cualitativa o cuantitativa de las consecuencias físicas, sociales, o económicas, representadas por las posibles pérdidas de vidas humanas, daño en personas, en propiedades o interrupción de actividades económicas, debido a los eventos amenazantes que se presenten en el área en estudio, en su forma más precisa y cuantificada. Su objetivo es optimizar económicamente el plan de medidas de mitigación al permitir enmarcar la decisión sobre éstas en un análisis beneficio/costo.

El riesgo se define con base en la amenaza y la vulnerabilidad en un mapa a escala 1:2000, que califica de manera cualitativa (alto, medio, bajo) la magnitud esperada del daño que podría presentarse en la vivienda por la materialización de las diferentes amenazas.

La valoración cuantitativa del riesgo se adelanta sobre los elementos físicos identificados dentro del área de influencia de evento, mientras el riesgo a los elementos corporales y funcionales se valora de manera cualitativa.

Para la estimación cuantitativa del riesgo de los elementos físicos, partiendo de la definición de riesgo como la magnitud probable esperada de un cierto nivel de daño, puede evaluarse para cada elemento expuesto como el producto de la amenaza por la vulnerabilidad:

$$R = F(A \times V)$$

Donde:

A: Amenaza en términos de probabilidad de falla (Pf) y

V: Vulnerabilidad como la pérdida potencial (Tasa de daño x Costo de daño).

Si conceptualmente se define la Vulnerabilidad como

$V = \text{Exposición (E)} / (\text{S})$  resistencia del elemento, entonces

$$R = A \times (E / S)$$

Con estas definiciones simplificadas se deduce que el riesgo puede disminuirse:

- a) Reduciendo o evitando la exposición de los elementos al fenómeno
- b) Reduciendo o controlando la amenaza del fenómeno
- c) Incrementando la resistencia del elemento al fenómeno

La valoración cualitativa del riesgo de los elementos corporales y funcionales se adelanta de manera descriptiva de acuerdo a la magnitud de los eventos amenazantes, a los modos de daño establecidos para los elementos físicos y de acuerdo a la importancia de funcional de cada predio, de las líneas y puntos vitales. Por tanto el riesgo corporal se asocia al número de personas afectadas y de acuerdo a la magnitud del evento amenazante, evaluar el grado de afectación (heridos, muertes, etc); y el riesgo funcional en términos de población afectada, días de suspensión del servicio, etc.

## 2.5 plan de medidas de reduccion del riesgo

Con los diferentes factores y elementos que se evalúan en los escenarios de riesgo establecidos para la determinación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo en el sector objeto de estudio y especialmente con el conocimiento adquirido de cada uno de los procesos que generan las amenazas se plantean las alternativas de prevención, mitigación y control.

Entre los parámetros más importantes que deben tener en cuenta para el planteamiento de acciones y obras de mitigación, están los relacionados con la definición de funcionalidad frente al desarrollo social sostenible, la factibilidad y la relación costo/beneficio, de cada una de las alternativas planteadas.

El plan de medidas de reducción del riesgo en la zona objeto de estudio se define teniendo en cuenta lo establecido y reglamentado en el POT del Municipio de Chigorodó, cuyos lineamientos serán la base del planteamiento de alternativas de reducción del riesgo. Igualmente, los resultados de los estudios de riesgo a detalle representan un mejoramiento de la precisión de la información, el plan de reducción de riesgo debe contemplar ajuste a las estrategias de intervención de los territorios sujetos de estudio. Como estrategia se diseña un plan de acciones que permite establecer las medidas preventivas, correctivas y de mitigación que buscan bajar al mínimo los niveles de riesgo a que está expuesta la sociedad, bien sea controlando los procesos o anulando los niveles de exposición de las viviendas y a la vez posibilita la corrección de condiciones del entorno físico y ambiental que favorecen la ocurrencia de los procesos amenazantes.

Las alternativas de solución se plantean teniendo en cuenta el marco de acción de los actores involucrados en la gestión del riesgo de Municipio. Por esta razón, se contemplan dos tipos de actividades: Actividades Estructurales, que corresponden a las medidas de prevención y mitigación de los riesgos identificados, y las Actividades No Estructurales y que tienen básicamente que ver con actividades legislativas y organizativas que deberán abordar cada una de las entidades de acuerdo a su función. El grupo de medidas de mitigación se compone de las siguientes acciones:

### **2.5.1 Restricción del uso del suelo**

Estas restricciones de uso para vivienda son diferenciadas según el riesgo existente o potencial y pueden definir con diferentes criterios a saber:

- Zonas de restricción de uso por zonas de amenaza por inundación alta a muy alta.
- Zonas de restricción de uso por invasión de ronda.

### **2.5.2 Reubicación de familias**

Comprende el traslado de las familias y adquisición de predios que se localizan en áreas de alta amenaza o alto riesgo no mitigable. Esta acción debe ser complementada con el cambio de uso del suelo por las restricciones enunciadas en el numeral anterior. Para estos efectos se hará un inventario de viviendas localizadas en zonas definidas como de riesgo alto no mitigable o las viviendas localizadas en las zonas de ronda del cauce del río Chigorodó.

Las viviendas que deben reubicarse son aquellas que se encuentran localizadas en zona de riesgo no mitigable o donde el costo de tratamiento de la zona sea mayor que el costo de la edificación. Igualmente dentro de un tratamiento integral de la zona algunos predios o edificaciones pueden ser ingresados a los programas de reubicación para lograr la rehabilitación de la zona. El proceso de reubicación de familias debe estar enmarcado dentro de un programa de gobierno que garantice el mejoramiento, o en su defecto el mantenimiento de las condiciones de vida de las familias a reubicar.

### **2.5.3 Obras de protección y control**

Las áreas definidas de alto riesgo por lo general están asociadas a procesos de urbanización de hecho o que se ha construido sin contar con la infraestructura de servicios, situación que contribuye a magnificar la problemática de riesgo.

El plan de obras de protección y control contempla acciones tendientes a consolidar urbanísticamente un área con los servicios mínimos requeridos y el establecimiento de unas normas, también mínimas, que permitan un ordenamiento urbanístico tendiente a erradicar los agentes físicos de riesgo. Ello permite la regularización del sector dentro de los parámetros exigidos por la oficina de Planeación municipal, la preservación del entorno y la mejor convivencia ciudadana. De estas, se diseñarán las obras requeridas a corto plazo, que busquen controlar y minimizar los efectos de los riesgos inminentes.

#### **2.5.4 Definición de zonas de aislamiento**

Esta acción está encaminada a establecer dentro de los sectores urbanos las áreas que por su localización geográfica limitan con:

- Áreas forestales.
- Áreas de ronda de los cursos de agua – río Chigorodó.

#### **2.5.5 Información pública**

Esta actividad busca suministrar mediante campañas educativas la información y capacitación necesaria para mejorar la actitud de la sociedad frente a su medio físico, su entorno habitacional y ambiental.

El establecimiento de campañas educativas participativas buscan que la comunidad entienda y se apropie de conceptos como:

- El nivel de riesgo a que están expuestos.
- Identificación de agentes detonantes y cómo debe ser el comportamiento frente a los mismos.
- Beneficios de las obras de mitigación del riesgo, su construcción y mantenimiento.
- Manejo ambiental y mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

Dentro de la información pública, se pueden incluir programas que contemplen asesoramientos a la comunidad en aspectos de procesos constructivos de las viviendas. Las recomendaciones técnicas de construcción deben orientarse a minimizar las acciones que generan inestabilidad durante el proceso constructivo, especialmente durante la conformación de cortes y rellenos.

#### **2.5.6 Plan de gestión con el municipio para la incorporación de los resultados a los POT**

Se debe ejecutar un plan de gestión con los municipios, el cual debe incluir como mínimo las siguientes actividades:

- Reuniones de socialización del proyecto
- Reuniones con los funcionarios municipales para desarrollar el ejercicio de incorporación del proyecto en el POT.

Como resultado se debe generar un documento técnico que sirva de soporte y herramienta para que los municipios incorporen los resultados del proyecto en los POT según lo establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. En el Capítulo 8 se presentan los lineamientos para la implementación de los mapas de amenaza y riesgo en el POT municipal.

## 2.6 MARCO METODOLÓGICO

Como estrategia para la elaboración de los mapas de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo para los diferentes eventos considerados, se debe adelantar un trabajo sistemático que permita de manera colectiva generar el conocimiento básico para que las metodologías y técnicas implementadas en las evaluaciones, permitan que la representación de las condiciones físico-sociales donde se generan los eventos amenazantes sean lo más cercanas a la realidad.

El análisis sistemático y retrospectivo de los eventos que han originado emergencias, permite la definición de criterios adecuados para la valoración de los niveles de amenaza y vulnerabilidad implícitos en el riesgo que está asumiendo una comunidad. El trabajo sistemático se debe fundamentar en el estudio ordenado y continuo de los procesos generadores de daño que han ocurrido, que están ocurriendo o que pueden ocurrir sobre escenarios problema, buscando auscultar de manera integral todas las variables involucradas en los eventos amenazantes, incluyendo un recuento de los efectos económicos y sociales asociados a dichos eventos.

A continuación se presenta la propuesta metodológica marco para adelantar, la evaluación del riesgo de los eventos generadores de daño en el casco urbano del municipio de Chigorodó. El marco metodológico define las siguientes fases:

- Planteamiento del problema - Diagnostico preliminar de riesgo.
- Análisis detallado del evento generador de daño - la amenaza.
- Determinación de la espacialidad del evento generador de daño.
- Determinación de los procesos generadores de daño.
- Identificación, localización y caracterización de los elementos expuestos
- Determinación de los tipos de daño, perjuicio o perturbación que puedan sufrir los elementos expuestos
- Evaluación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos.
- Evaluación del riesgo.

### 2.6.1 Análisis detallado de la amenaza

Para caracterizar los diferentes tipos de amenaza a que está expuesta la comunidad de la zona urbana del municipio de Chigorodó, se debe:

- **Identificar el tipo de evento generador de daño.** Reconocer y Diferenciar los detonantes causantes y/o amplificadores de la amenaza y así Identificar el tipo de evento generador de daño.

- **Determinar las características físicas del evento generador de daño.** Establecer las condiciones físicas bajo las cuales ocurre el evento generador de daño configura la hipótesis de partida en los análisis de Riesgo, la cual, en lo posible, debe acercarse al modelo real.
- **Características espaciales del evento.** Se debe localizar y estudiar la posible extensión espacial del evento. La magnitud de este está determinada principalmente por el tipo de proceso y por las condiciones en sitio de los factores permanentes o intrínsecos, y por la ocurrencia de los factores detonantes.
- **Análisis del evento.** Se refiere al análisis resultado del diagnóstico general realizado por las diferentes ramas de especialidades como: la geológica, hidrológica, hidráulica, social, etc., tanto de los factores intrínsecos como de los factores extrínsecos o disparadores. Los factores disparadores determinan generalmente la distribución temporal del evento dependiendo del tipo, se pueden expresar en términos de una función de probabilidad de ocurrencia.

En la práctica no es fácil determinar la distribución temporal del evento generador de daño. En la mayoría de los casos, solo es posible establecer las características del evento; el “cuando” es mucho más difícil de determinar.

**Estimación de la espacialidad del evento generador de daño:** Una vez se inicia el evento se presentan una serie de factores que influyen en sus consecuencias, y están directamente relacionadas con la espacialidad, entre estos se definen: la ligereza con que se desarrolla el evento, el área involucrada y la frecuencia con que se producen.

La ligereza con que se produce y desarrolla el evento generador de daño depende de las características físicas del área involucrada, de los factores detonantes y de la fragilidad de sus elementos que se traduce como vulnerabilidad.

Lo anterior indica que en los análisis de riesgo se debe incluir tanto el área afectada como las características del evento, el producto de estos factores es directamente proporcional al poder destructor del evento amenazante. En otras palabras la vulnerabilidad de un elemento expuesto frente a un evento se incrementa a medida que la rapidez o la magnitud del evento generador de daño aumenten.

**Determinación de los procesos generadores de daño:** Los diferentes tipos de ocurrencia de los eventos amenazantes con una distribución espacial dada, pueden llegar a ser caracterizados por tipos de procesos generadores de daño, por ejemplo: impactos, presiones laterales, desplazamientos verticales, etc. El proceso de daño, o sollicitación, describe la acción del evento sobre el elemento estructural (bien) o corporal (persona) que la recibe. El término daño, hace referencia a las consecuencias nocivas de un evento amenazante materializado.

Estas sollicitaciones son de naturaleza mecánica y actúan sobre los elementos expuestos sea de manera dinámica o estática. Varias sollicitaciones se pueden asociar a un mismo evento tanto en el espacio como en el tiempo, e inversamente, varios eventos pueden traducirse por una misma sollicitación. Estas difieren de un evento a otro por su intensidad, o bien por el ritmo y avance del mismo.

La traducción del evento en términos de sollicitación (es) asociada (s), representa en primera instancia la extensión previsible del evento generador de daño y muestran la interdependencia que debe existir entre la vulnerabilidad de un elemento expuesto asociada a las características del evento amenazante. Por tanto los estudios de vulnerabilidad, al menos en su dimensión espacial, dependen de la capacidad de predecir y caracterizar la amenaza, y de que los análisis de vulnerabilidad y amenaza están necesariamente e íntimamente ligados.

## 2.6.2 Análisis detallado de la vulnerabilidad

**Identificación, caracterización y localización de los elementos expuestos:** Es necesario considerar que varios tipos de elementos pueden estar expuestos a eventos amenazantes: individuos y bienes, elementos móviles e inmóviles, tangibles o intangibles. Tres grandes categorías pueden ser consideradas: Lo humano, físico y social, lo estructural (construcciones, vías, redes, etc.) y lo funcional (actividades económicas y sociales). La vulnerabilidad de cada uno de los elementos de estas tres categorías puede ser expresada de manera diferente.

Los elementos expuestos a las amenazas, deben de ser identificados y caracterizados en función de su utilización (viviendas, rutas, líneas de transmisión, etc.) y de su resistencia a los diferentes tipos de sollicitación:

- Elementos individuales que corresponden a las personas e infraestructura que se pueden identificar en un sitio específico.
- Elementos regionales, que corresponden a las actividades y las funciones que se desarrollan en las zonas de influencia regional. Estos elementos están íntimamente ligados a los elementos individuales.

**Determinación de los tipos de daño, perjuicio o perturbación que pueden sufrir los elementos expuestos:** Cada uno de los elementos identificados y caracterizados pueden presentar uno o varios tipos de daño en función del tipo de evento que los afecta (el impacto del evento). En otras palabras, el tipo de daño va a determinar la forma en que el elemento recibirá o sufrirá la eventualidad generadora de daño (el efecto causado). El tipo de daño puede ser expresado en términos cualitativos o cuantitativos según el tipo de elemento.

Para elementos individuales el nivel de daño esperado queda definido en función directa de los procesos generadores de daño o de las sollicitaciones asumidas por el elemento expuesto. El tipo de perturbaciones potenciales que pueden afectar las actividades o funciones regionales van a depender del tipo de daño que pueda sufrir un elemento individual. La relación entre ambos daños va a depender a su vez de la correspondencia entre el elemento local y el elemento regional. Sin embargo la perturbación de una actividad solo se materializará a partir de una cierta intensidad.

Según lo anterior el tipo de perturbación potencial podrá expresarse como una función del tipo de daño y su influencia regional. Como ejemplo aclaratorio se presenta la obstrucción de una vía principal por la ocurrencia de un deslizamiento, el tipo de perturbación, en este caso estará en función del nivel de daño que sufra el elemento expuesto afectado por el deslizamiento, bien sea un puente o un tramo de vía.

**Evaluación de vulnerabilidad de los elementos expuestos:** Se puede hablar de vulnerabilidad de un elemento a partir del momento en que se sospecha de la ocurrencia de un evento, de una cierta magnitud, y caracterizado por un proceso generador de daño.

La vulnerabilidad debe determinar el grado de inutilización potencial de un elemento en el caso de la materialización del evento generador de daño, puede ser evaluada en porcentaje y expresada como un valor entre 0 (ningún daño potencial) y 1 (daños potenciales del 100%). Será función del tipo de daño potencial asociado a cada elemento y de la localización de los mismos frente al evento generador del daño.

Cada proceso generador de daño puede relacionarse con cada elemento por medio de una función de daño determinada. Se deben también definir funciones de perjuicios para describir y evaluar las consecuencias sobre los individuos, al igual que las funciones de perturbación para lo que tiene que ver con las actividades y funciones.

Los niveles de daño asociados pueden ser traducidos o cuantificados en términos de pérdidas que pueden ser de naturaleza económica (costos directos e indirectos) de naturaleza humana o naturaleza funcional. La utilización del concepto de tasa de daño permite establecer el grado de inutilización de un elemento. Esta tasa se expresa en unidades adimensionales, en valores entre 0 y 1; se definen tres tipos de tasa de daño siguiendo la naturaleza de los daños a los cuales aplican:

- Tasa de daño estructural
- Tasa de perjuicio corporal

### 2.6.3 Análisis detallado del riesgo

**Evaluación del riesgo para la sociedad en términos de la distribución potencial de las pérdidas y los daños:** La evaluación de riesgo debe traducir los porcentajes de daño de cada elemento en términos de criterios de cuantificación o cualificación que sea de uso común para la comunidad o sociedad que lo sufre. Normalmente se utiliza una cuantificación o cualificación en términos de pérdidas que la materialización del fenómeno provocaría a la sociedad:

- Pérdidas en vidas humanas
- Pérdidas económicas
- Pérdidas patrimoniales
- Perturbaciones indirectas
- Otras.

La evaluación debe cubrir dos aspectos:

- Las personas y elementos de infraestructura expuestos en el sitio
- Las actividades o funciones en la zona de influencia.

Y la interpretación del riesgo debe realizarse en una dimensión espacial y en lo posible representada de una manera cercana a la realidad.

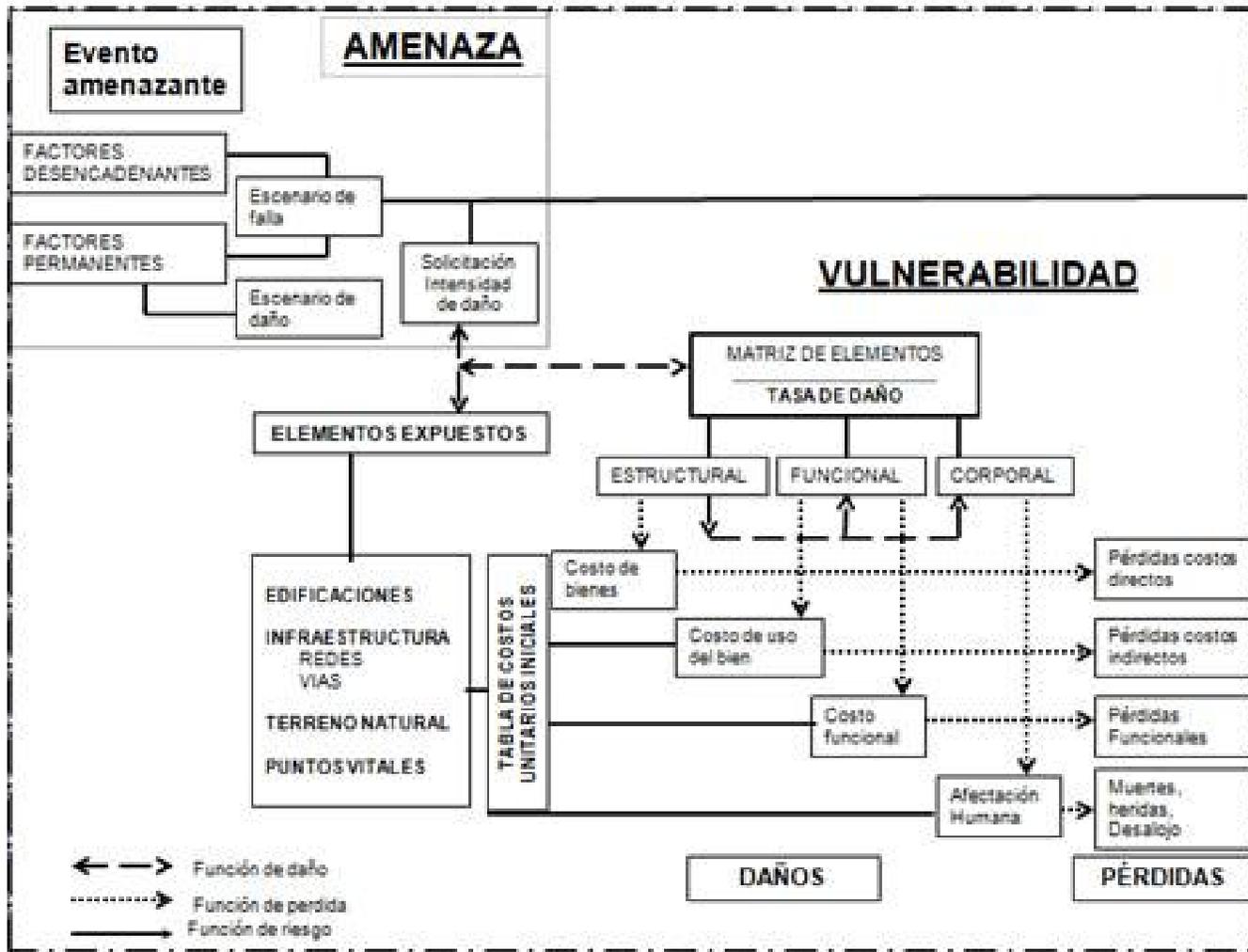


Figura 2-3 Diagrama de flujo para la evaluación del riesgo

## CONTENIDO

<b>3</b>	<b>ESTUDIOS BÁSICOS.....</b>	<b>3-4</b>
3.1	INTRODUCCIÓN.....	3-4
3.2	REVISIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	3-4
3.2.1	Información de referencia.....	3-4
3.2.1.1	Información general .....	3-4
3.2.1.2	Municipio de Chigorodó.....	3-4
3.3	CARTOGRAFÍA BASE .....	3-5
3.3.1	INTRODUCCIÓN.....	3-5
3.3.2	LOCALIZACIÓN CARTOGRÁFICA DEL ÁREA.....	3-5
3.3.3	CARTOGRAFÍA EXISTENTE .....	3-6
3.3.3.1	Cartografía POT.....	3-6
3.3.3.2	Cartografía DANE .....	3-6
3.3.3.3	Cartografía IGAC .....	3-6
3.3.3.4	Información Catastral .....	3-6
3.3.3.5	Fotomapa.....	3-7
3.3.4	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....	3-7
3.3.4.1	Georreferenciación.....	3-7
3.3.4.1.1	Objetivo .....	3-7
3.3.4.1.2	Metodología.....	3-8
3.3.4.2	Equipos Utilizados.....	3-10
3.3.5	Levantamientos topográficos y batimétricos.....	3-11
3.3.5.1	Objetivo.....	3-11
3.3.5.2	Metodología .....	3-12
3.3.5.3	Equipo utilizado.....	3-12
3.3.6	Generación Mapa Topográfico .....	3-13
3.3.7	Información predial a nivel de manzanas .....	3-13
3.4	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	3-15
3.4.1	Geología – contexto regional.....	3-16
3.4.2	Columnas estratigráficas y perfiles de suelos.....	3-18
3.4.3	Geomorfología – contexto regional y local.....	3-23
3.4.3.1	Unidades de origen Estructural – Erosional.....	3-24
3.4.4	Procesos morfodinámicos .....	3-26
3.4.5	Inventario de procesos.....	3-27
3.4.5.1	Margen derecha Río Chigorodó K2+250 a K2+400.....	3-28
3.4.5.2	Margen izquierda Río Chigorodó K2+600 a K3+000 .....	3-28
3.4.5.3	Margen izquierda Río Chigorodó K1+950 a K2+050 .....	3-30
3.4.6	Amenaza por Inundación .....	3-31
3.4.7	Amenaza sísmica.....	3-31
3.5	CLIMATOLOGÍA, HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA .....	3-32
3.5.1	Introducción .....	3-32
3.5.2	Información disponible .....	3-32
3.5.2.1	Precipitación .....	3-33
3.5.2.2	Temperatura del aire y Humedad Relativa .....	3-33
3.5.2.3	Brillo solar .....	3-33
3.5.2.4	Información Hidrológica.....	3-33

3.5.3	Climatología .....	3-33
3.5.3.1	Temperatura del aire .....	3-34
3.5.3.2	Humedad Relativa.....	3-34
3.5.3.3	Precipitación .....	3-34
3.5.4	Hidrología.....	3-36
3.6	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA .....	3-37
3.6.1	Exploración del subsuelo .....	3-37
3.6.1.1	Sondeos manuales .....	3-38
3.6.1.2	Pruebas de Campo .....	3-39
3.6.2	Ensayos de laboratorio.....	3-39
3.6.3	Caracterización geomecánica .....	3-39
3.6.3.1	Descripción de las propiedades geotécnicas encontradas .....	3-40
3.6.3.2	Perfil Geotécnico promedio .....	3-46
3.6.3.3	Parámetros de Resistencia al Corte.....	3-48
3.6.3.4	Parámetros de Compresibilidad .....	3-53
3.7	FACTOR ANTRÓPICO.....	3-53
3.7.1	Urbanismo y catastro .....	3-53
3.7.2	Vías.....	3-53
3.7.3	Manejo de aguas de escorrentía y alcantarillado.....	3-54
3.8	CARACTERIZACIÓN SOCIAL DE LA POBLACIÓN .....	3-55
3.8.1	Variables municipales .....	3-55
3.8.1.1	Población .....	3-55
3.8.1.2	Servicios públicos .....	3-56
3.8.1.3	Hogares .....	3-57
3.8.1.4	Las viviendas .....	3-57
3.8.2	Variables área de influencia.....	3-57
3.8.2.1	Población .....	3-57
3.8.2.2	Servicios públicos.....	3-59
3.8.2.3	Las viviendas .....	3-59

### **3 ESTUDIOS BÁSICOS**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

Se describen y analizan en este capítulo los resultados de las actividades o estudios básicos realizados, siguiendo la metodología establecida, para llegar finalmente a establecer la zonificación de áreas de comportamiento homogéneo o unidades de análisis particular.

#### **3.2 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE**

##### **3.2.1 Información de referencia**

Para el desarrollo del presente estudio se realizó la recopilación, revisión y análisis de la información disponible en las diferentes empresas y entidades públicas, sobre estudios previos realizados en el área de estudio.

##### **3.2.1.1 Información general**

Dentro de la información de referencia a nivel regional y que puede resultar de utilidad para el desarrollo del proyecto se encontraron los siguientes documentos:

- Geología del departamento de Antioquia. Plancha Escala 1:400000. Ingeominas, 1999.
- Mapa geológico del departamento de Antioquia Escala 1:400000. Memoria explicativa. Ingeominas, 2001.
- Evaluación del agua subterránea en la región de Urabá, Antioquia. Ingeominas, 1995.
- Censo general 2005, nivel nacional. DANE, 2005.

##### **3.2.1.2 Municipio de Chigorodó**

A continuación se presenta una relación de la información previa existente para el área de estudio:

- Plan de ordenamiento territorial municipio de Chigorodó. Convenio Corpourabá, Administración municipal, Universidad nacional, Universidad de Antioquia, ESAP, 2000.
- Evaluación de amenazas geológicas en el área urbana del municipio de Chigorodó. Ingeominas, 1993.
- Mapa zona urbana municipio de Chigorodó sectores, secciones, manzanas y vías. DANE, 2002.

- Estimación del valor del agua superficial en la cuenca del río Chigorodó. Universidad Nacional, 2004.
- Dinámica del río Chigorodó y defensa del casco urbano. Corpourabá, 1979.
- Monografía de la cuenca hidrográfica del río Chigorodó. Universidad Nacional, 1979.
- Plan local de emergencias y contingencias municipio de Chigorodó. Corpourabá, 2008.
- Plancha topográfica 90-II-C, 90-IV-A Escala 1:25000. IGAC, 1972.
- Fotografías aéreas 118, 119 Escala 1:9220. Vuelo C-2755. IGAC, 2004
- Fotografías aéreas 42,43 Escala 1:12300. Vuelo R-1148. IGAC, 1989.
- Fotografías aéreas 296,297 Escala 1:9450. Vuelo R-735-9-76. IGAC, 1976.
- Valores totales mensuales de precipitación, valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas estación Chigorodó 1201013. IDEAM.
- Valores medios mensuales de humedad relativa, valores medios mensuales de temperatura, valores totales mensuales de precipitación, valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas estación Tulenapa 1201506. IDEAM.
- Valores medios, máximos, mínimos mensuales de caudales estación Chigorodó 1201701. IDEAM.

### **3.3 CARTOGRAFÍA BASE**

#### **3.3.1 Introducción**

Se describe y analiza en este capítulo la información cartográfica recopilada de fuentes secundarias, como el IGAC, Catastro, POT de cada municipio ó imágenes satelitales, además, de la topografía del terreno obtenida directamente en campo.

#### **3.3.2 Localización cartográfica del área**

Las siguientes coordenadas planas enmarcan el cuadrángulo en el que se localiza la zona en estudio, la cual corresponde al perímetro urbano de Chigorodó con una porción de área 300 hectáreas.

N 1341357 m E 1042335 m punto que indica el extremo noroccidental del área y  
N 1338128 m E 1045616 m en el extremo suroriental del área de estudio

Altimétricamente se tiene una cota promedio de 34msnm para la cabecera municipal.

### **3.3.3 Cartografía existente**

Para el estudio se consultaron un Fotomapa y la cartografía existente en el IGAC, DANE, Catastro y del POT del Municipio, cuyas planchas se describen a continuación.

#### **3.3.3.1 Cartografía POT**

Esta cartografía corresponde a la contenida en los planos *ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA URBANA, ACTUALIZACIÓN 2005 DEL MUNICIPIO DE CHIGORODÓ ANTIOQUIA* y *Catastro Chigorodó*, escala 1:2000. El plano *Catastro Chigorodó* consta de 7 planchas en 1:2000, elaboradas mediante levantamiento topográfico y digitalización de manzanas Catastrales en escala 1:500. Esta cartografía presenta la distribución espacial de la zona urbana del municipio y el nivel de detalle es la identificación de las vías y manzanas, con zonificación por barrios, lo que permite obtener su código Catastral.

#### **3.3.3.2 Cartografía DANE**

Esta cartografía corresponde a un mapa digital (1993), escala 1:5000, que contiene la zona urbana del municipio de Chigorodó, a nivel de manzanas y vías, referenciadas a secciones y sectores urbanos, lo que permite obtener su código DANE completo.

#### **3.3.3.3 Cartografía IGAC**

Esta cartografía corresponde a las planchas topográficas 90-II-C (1972), 90-II-D (1971), 90-IV-A (1972) y 90-IV-B (1971), que contiene curvas de nivel cada 25m, principales ríos y quebradas, además de la ubicación de Chigorodó y veredas cercanas, la escala de las planchas es 1:25000.

#### **3.3.3.4 Información Catastral**

La información catastral corresponde a los predios de la zona centro, la cual fue consultada en el listado de predios suministrado por Corpouraba y corresponde al LISTADO DE PREDIOS DEL MUNICIPIO EN ORDEN DE CODIGO DE PREDIO. Este listado contiene el nombre y número de identificación del (los) propietario(s) de cada predio, la dirección y/o matrícula inmobiliaria del predio, además de su área total y construida, con los respectivos avalúos.

El código de predio corresponde a la siguiente nomenclatura:

Código: 1 01 001 001 00001 000 00000

1\_ Corresponde a la sectorización (Urbano 1, Rural 2)

01\_ Corresponde al número de corregimiento

001\_ Corresponde a número de Barrio

001\_ Corresponde a número de manzana

00001\_ corresponde al número de predio

000\_ corresponde al tipo de identificación según propiedad horizontal

00000\_ Corresponde a la unidad predial de la edificación.

El total de los predios puede observarse en archivo digital.

### 3.3.3.5 Fotomapa

Corpourabá suministro un mosaico de imágenes de todo el municipio a escala aproximada 1:2000, el nivel de detalle permite obtener la ubicación del Río Chigorodó y principales vías, además de la identificación cada manzana.



Figura 3-1 Fotomapa Chigorodó

## 3.3.4 Levantamiento topográfico

### 3.3.4.1 Georreferenciación

#### 3.3.4.1.1 Objetivo

Posicionamiento de 8 (ocho) puntos principales de primer orden “4 bases de salida, un punto y su señal de azimut” por el sistema de GPS que nos sirvan para el control y cierre de las poligonales de amarre de los levantamientos topográficos y batimétricos adelantados en la zona. Las bases se colocaron al principio, intermedias y al final del tramo en estudio con el fin de controlar el recorrido total de las áreas del proyecto.

### 3.3.4.1.2 Metodología

Los trabajos geodésicos se realizaron con el Sistema de Posicionamiento Global GPS., utilizando la constelación de satélites NAVSTAR de los EUA tomando como base la Estación permanente del Instituto Geográfico Agustín Codazzi más cercana al municipio de Chigorodó que en este caso es el Vértice APTO en el municipio de Apartado (Antioquia) a 105 km aproximadamente, para incluir los datos a la Red Magna-Sirgas, por el método Estático cumpliendo los requerimientos técnicos para ello exigidos:

- Ángulo mínimo de recepción: 15 grados sobre el horizonte
- Componente geométrico de la dilución de precisión PDOP < 4
- Mínimo de satélites visibles a asegurar: 6
- No inclusión de satélites descompuestos
- Recolección de datos para tres dimensiones
- Tiempo mínimo de recolección de datos: 20 minutos por el primer kilómetro y 3 minutos por cada kilómetro adicional con GPS de doble frecuencia (por ello varía dependiendo de la distancia a la Estación Permanente del IGAC)
- Duración de épocas a captar: 15 segundos

Dadas estas condiciones y con el adecuado procesamiento de datos se obtiene información de alta calidad para cada punto.

- a) *Metodología de campo y oficina:* Se ubicaron los GPS por parejas dado que la distancia a Apartado donde se encuentra la antena del IGAC es cercana, la estación principal de GPS de doble frecuencia se colocó en cada uno de los GPS impares, GPS-1, GPS-3, GPS-5 y GPS-7 y se les hizo un rastreo continuo de 2 horas aproximadamente y su pareja los GPS pares GPS-2, GPS-4, GPS-6 y GPS-8 10 se colocaron simultáneamente, la recepción fue buena oscilando de 9 satélites a más garantizando la precisión de nuestro punto de origen a 3.0 cm tanto en precisión horizontal como vertical con respecto a las coordenadas magna-sirgas de Colombia. Para calcular las coordenadas de los vértices impares en el sistema magna-sirgas se partió de los datos que presenta el IGAC actualizados semana a semana en su página oficial [www.igac.gov.co](http://www.igac.gov.co) ya que las antenas permanentes no son certificadas sino que publican sus coordenadas geocéntricas, luego se calculan las coordenadas Gauss Krugger con el programa magna\_sirgas\_prov 2.0 de origen Oeste y la Ondulación Geoidal con el programa Geocol 2004, obteniendo los valores actualizados de:

Antena	Coordenadas Geocéntricas	Coordenadas Gauss	Alturas
APTO	X=1460797.8584 Y=-6147200.8098 Z= 868399.4790	07°52'40.03443" -76°37'56.60792"	Elipsoidal: 45.199 Geométrica: 34.875 Ondulación: 11.03

Con estos valores y los rinex de cada punto hacemos el post-proceso entre APTO y nuestro GPS impares con el programa original del equipo de gps Topcon Tools y a partir de este se efectúa el postproceso para las parejas pares obteniendo las bases de GPS de amarre.



Datum y la baja cualificación del Geoide cuando la Red clásica fue establecida. Es llamada aleatoria porque presenta diferentes comportamientos a lo largo del país y sus valores dependen completamente de la zona de interés.

La altura geométrica se calcula partiendo de la Ondulación Geoidal de cada sector en el municipio de CHIGORODO que en este caso oscila entre 13.23m y 13.26 m.

Es importante aclarar que estos valores resultan de un proceso matemático aproximado a cada zona del país y obtenemos la altura ortométrica que tal como la garantiza el IGAC tiene más o menos 80 cm de diferencia con la geométrica de este punto.

- d) *Localización Bases de GPS:* Las cuatro parejas de GPS se colocaron simultáneamente de la siguiente manera: 2 puntos GPS-1 y GPS-2 en la cancha del barrio la Playa, la segunda pareja \_GPS-3 y GPS-4 en el puente vehicular vía Apartado, la tercera pareja GPS-5 y GPS-6 detrás de la Alcaldía cerca al puente peatonal y la cuarta pareja GPS-7 y GPS-8 al final del tramo en la última curva del río de la zona en cubriendo el área de estudio sobre el municipio.

Este proceso se llevó a cabo, con una metodología que minimiza la propagación de errores y garantiza un efectivo control, paso a paso. Los valores de GPS obtenidos se presentan en la Tabla 3-6.

**Tabla 3-6 Coordenadas Gauss-Kruger Magna-Sirgas origen oeste**

PUNTO	Coordenadas Gauss-Kruger Magna-Sirgas origen oeste		
	NORTE	ESTE	ALTURA ORTOMETRICA (snm)
CHIGO-1	1339636.714	1044753.495	34.329
CHIGO-2	1339617.249	1044826.288	34.765
CHIGO-3	1340160.110	1043774.199	34.906
CHIGO-4	1340034.836	1043793.571	33.201
CHIGO-5	1340241.451	1043377.432	32.066
CHIGO-6	1340164.274	1043399.841	31.633
CHIGO-7	1340581.488	1042849.403	30.627
CHIGO-8	1340493.992	1042837.600	29.918

El cálculo de estos puntos aparece en los cuadros de post-proceso mostrados más adelante

### 3.3.4.2 Equipos Utilizados

- a) *GPS TOPCON HIPER+:* Dos equipos de Doble Frecuencia. Description: Tiene Integrado el receptor de GPS y la antena, radio transmisor y antena, y por separado CDU/PCMCIA y la batería, posee 40 canales en L1, 20 L1+L2 GPS/GLONASS.

Especificaciones en Static/Rapid Static: en Horizontal 3mm+1 ppm y en vertical 5 mm + 1 ppm.

GPS ANTENNA / Internal; ANTENNA TYPE 7 Microstrip (zero-centered), GROUND PLANE Antenna on a flange ground plane.



Figura 3-2 GPS TOPCON HIper +

- b) *Navegador Garmin GPSMAP60Csx*: Es un navegador de precisión pos-métrica que puede detectar hasta 12 satélites y que con seis (6) que capture da una buena precisión de posicionamiento para localizar puntos de control del trabajo de localización.



Figura 3-3 Navegador Garmin GPSMAP60Cx

### 3.3.5 Levantamientos topográficos y batimétricos

#### 3.3.5.1 Objetivo

Determinar la magnitud y forma real (planimétrica y altimétrica) tanto en la zona urbana que en este municipio en un sector grande presenta un alto riesgo de inundación como en el cauce y rívera del río y la quebrada de este estudio como base de los estudios de amenaza, trabajos de diseño y construcción de las obras de protección, control y mitigación a adelantar en cada uno de ellos.

### 3.3.5.2 Metodología

- a) *Levantamiento Topográfico*: A partir de las bases de salida compuesta por parejas de GPS, se trazaron poligonales con cierre en otras parejas de GPS con estación total geodésica y por radiación directa se tomaron todos los puntos que describen cada una de las zonas en estudio, puntos como vías, cercas, terrazas, taludes, obras de arte, canales, gaviones, muros de contención, riveras, lecho de las fuentes de agua, taludes, puentes y demás existentes generando la base cartográfica georreferenciada de cada frente.
- b) *Levantamiento Batimétrico*: En la zona de los caños dada su poca profundidad se realizó con Estación Electrónica Total y canoa en algunas partes, en la zona de mar se combinó la estación Total con la Ecosonda Digital que nos permite tomar profundidades mayores.
- c) *Datos técnicos*:  
Localización del Proyecto: Municipio de Chigorodó – Antioquia (Colombia)  
Frentes de Trabajo y longitud:
  - Sobre el río Chigorodó en una extensión de 3000 m
- d) *Secciones Transversales*: Una vez obtenida la zona de trabajo se dividió por secciones transversales que abarcaran la totalidad del terreno, secciones que se trazaron teniendo en cuenta los niveles del terreno y cortando cada una de las curvas de nivel.

### 3.3.5.3 Equipo utilizado

- a) *Estación Electrónica Total Geodésica Leica TC1800 y Leica TC407*: Son estaciones de orden geodésico óptimas para cualquier tipo de trabajos de alta precisión.

*Datos técnicos:*

Alcance: Con un prisma, entre 3500 y 4000 m. en condiciones malas y/o buenas

Con tres prismas, entre 6000 y 8000 m en condiciones malas y/o buenas

Falla en distancia: 3 mm / 7 Km

Falla en ángulos: 1"

Precisión: 1" de lectura directa

*La estación cuenta con:*

Dos (2) bastones con ojo de pollo de 2.5 m y dos (2) bastones de 5.0 m de altura con sus respectivos prismas, un bastón tiene una pacha de 3 prismas.

Trípode metálico, dos pilas, cargador

Estuches respectivos de los equipos y radios de comunicación con un alcance de 3.3 km.

- b) *Ecosonda Garmin Gpsmap 430S*: Es una ecosonda digital con precisión a 1 decímetro que tiene incorporado un navegador de GPS de precisión pos-métrica, la capacidad de grabado de puntos depende de una tarjeta SD interna que en nuestro caso sirve para 3000 puntos.

### 3.3.6 Generación Mapa Topográfico

Los datos de campo se bajaron directamente desde la cartera electrónica al computador, evitando errores de transcripción y agilizando este proceso.

Los cálculos y el dibujo de los levantamientos se realizaron asistidos por computador en sistema CAD, del cual se generaron archivos magnéticos de dibujo, con extensión DWG.

En el proceso de oficina, se realizaron las siguientes actividades:

- e) Post proceso de la información recolectada por los GPS.
- f) Cálculo y procesamiento de datos.
- g) Dibujo del levantamiento en sistema CAD.
- h) Modelo digital del terreno
- i) Informe

*Características Topográficas:* Los ríos se hallan en terrenos planos, con una pendiente del 3 al 7 %. Existe un dique que evitaba las inundaciones pero en la actualidad esta averiado y por un lado se pasa el agua inundándose los barrios como ocurrió recientemente a principios de Octubre de 2009.

### 3.3.7 Información predial a nivel de manzanas

Se especifica una zona de estudio a lo largo del Río Chigorodó, que abarca un total de 110 manzanas, discriminadas por sectores y secciones urbanas, según Código DANE Tabla 3-7.

**Tabla 3-7 Manzanas dentro de la franja de estudio según código DANE**

Departamento	Municipio	Clase	Sector Rural	Sección Rural	Centro Poblado	Sector Urbano	Sección Urbana	Manzana
05	172	1	000	00	000	0003	01	01
05	172	1	000	00	000	0003	01	01
05	172	1	000	00	000	0003	01	04
05	172	1	000	00	000	0003	01	05
05	172	1	000	00	000	0003	01	06
05	172	1	000	00	000	0003	01	07
05	172	1	000	00	000	0003	01	10
05	172	1	000	00	000	0003	01	11
05	172	1	000	00	000	0003	01	15
05	172	1	000	00	000	0003	01	16
05	172	1	000	00	000	0003	01	17
05	172	1	000	00	000	0003	02	09
05	172	1	000	00	000	0003	02	10
05	172	1	000	00	000	0003	02	17
05	172	1	000	00	000	0004	01	01
05	172	1	000	00	000	0004	01	01
05	172	1	000	00	000	0004	01	01
05	172	1	000	00	000	0004	01	02
05	172	1	000	00	000	0004	01	03
05	172	1	000	00	000	0004	01	04

Departamento	Municipio	Clase	Sector Rural	Sección Rural	Centro Poblado	Sector Urbano	Sección Urbana	Manzana
05	172	1	000	00	000	0004	01	05
05	172	1	000	00	000	0004	01	07
05	172	1	000	00	000	0004	01	11
05	172	1	000	00	000	0004	01	12
05	172	1	000	00	000	0004	01	13
05	172	1	000	00	000	0004	01	14
05	172	1	000	00	000	0004	01	15
05	172	1	000	00	000	0005	01	01
05	172	1	000	00	000	0005	01	02
05	172	1	000	00	000	0005	01	03
05	172	1	000	00	000	0005	01	04
05	172	1	000	00	000	0005	01	05
05	172	1	000	00	000	0005	01	06
05	172	1	000	00	000	0005	01	07
05	172	1	000	00	000	0005	01	08
05	172	1	000	00	000	0005	01	09
05	172	1	000	00	000	0005	01	13
05	172	1	000	00	000	0005	01	17
05	172	1	000	00	000	0005	01	18
05	172	1	000	00	000	0005	01	19
05	172	1	000	00	000	0005	01	20
05	172	1	000	00	000	0005	01	24
05	172	1	000	00	000	0005	01	28
05	172	1	000	00	000	0005	02	01
05	172	1	000	00	000	0005	02	02
05	172	1	000	00	000	0005	02	03
05	172	1	000	00	000	0005	02	04
05	172	1	000	00	000	0005	02	05
05	172	1	000	00	000	0005	02	06
05	172	1	000	00	000	0005	02	07
05	172	1	000	00	000	0005	02	08
05	172	1	000	00	000	0005	02	10
05	172	1	000	00	000	0005	02	11
05	172	1	000	00	000	0005	02	12
05	172	1	000	00	000	0005	03	01
05	172	1	000	00	000	0005	03	02
05	172	1	000	00	000	0005	03	03
05	172	1	000	00	000	0005	03	04
05	172	1	000	00	000	0005	03	05
05	172	1	000	00	000	0005	03	06
05	172	1	000	00	000	0005	03	07
05	172	1	000	00	000	0005	03	10
05	172	1	000	00	000	0005	03	11
05	172	1	000	00	000	0005	03	12
05	172	1	000	00	000	0005	03	13
05	172	1	000	00	000	0005	03	14
05	172	1	000	00	000	0005	03	15
05	172	1	000	00	000	0005	03	16
05	172	1	000	00	000	0005	03	17
05	172	1	000	00	000	0005	03	18
05	172	1	000	00	000	0005	03	19
05	172	1	000	00	000	0005	03	21
05	172	1	000	00	000	0005	03	22
05	172	1	000	00	000	0005	03	23

Departamento	Municipio	Clase	Sector Rural	Sección Rural	Centro Poblado	Sector Urbano	Sección Urbana	Manzana
05	172	1	000	00	000	0005	03	24
05	172	1	000	00	000	0005	03	25
05	172	1	000	00	000	0005	03	26
05	172	1	000	00	000	0005	04	01
05	172	1	000	00	000	0005	04	02
05	172	1	000	00	000	0005	04	03
05	172	1	000	00	000	0005	04	04
05	172	1	000	00	000	0005	04	05
05	172	1	000	00	000	0005	04	06
05	172	1	000	00	000	0005	04	07
05	172	1	000	00	000	0005	04	08
05	172	1	000	00	000	0005	04	09
05	172	1	000	00	000	0005	04	10
05	172	1	000	00	000	0005	04	11
05	172	1	000	00	000	0005	04	12
05	172	1	000	00	000	0005	04	13
05	172	1	000	00	000	0005	04	29
05	172	1	000	00	000	0005	04	30
05	172	1	000	00	000	0005	05	01
05	172	1	000	00	000	0005	05	02
05	172	1	000	00	000	0005	05	03
05	172	1	000	00	000	0005	05	04
05	172	1	000	00	000	0005	05	05
05	172	1	000	00	000	0005	05	06
05	172	1	000	00	000	0005	05	07
05	172	1	000	00	000	0005	05	21
05	172	1	000	00	000	0005	05	22
05	172	1	000	00	000	0005	07	01
05	172	1	000	00	000	0005	07	02
05	172	1	000	00	000	0005	07	03
05	172	1	000	00	000	0005	07	04
05	172	1	000	00	000	0005	07	05
05	172	1	000	00	000	0005	07	06
05	172	1	000	00	000	0005	07	07
05	172	1	000	00	000	0005	07	08
05	172	1	000	00	000	0005	07	09

### 3.4 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Los aspectos geológicos y geomorfológicos regionales se tomaron de estudios publicados por IGAC e INGEOMINAS y se ajustaron a un contexto más local en cuanto a la definición de las unidades, para la definición de lo local, se realizó fotointerpretación y comparación multitemporal de los siguientes vuelos:

VUELO	AÑO	ESCALA	FOTOS
B-295	1963	1:10.000	5332-5335
IGAC R-735	1976	1: 9.450	0296 -0297
IGAC R-1148	1989	1:12.300	0042-0043
IGAC C-2755	2004	1: 9.220	118-119

La fotointerpretación permitió planear los recorridos de campo de acuerdo con el objetivo del trabajo y en ellos se levantó la información estratigráfica correspondiente.

### 3.4.1 Geología – contexto regional

Los estudios geológicos en esta zona de la Cordillera Occidental comienzan en la década de 1950, con el trabajo de Haffer (1959) en la zona de Urabá y la serranía de Abibe, inicialmente orientados a la estratigrafía como apoyo a la búsqueda de hidrocarburos. En 1978, OEA – IGAC, en su estudio para el Desarrollo del Darién, publican un mapa Geológico a escala 1:200.000, donde definen las unidades mayores de la zona, incluyendo las rocas sedimentarias de edad Mioceno de la Serranía de Abibe, los abanicos sin diferenciar de los ríos Chigorodó y Chigorodocito, que se extienden desde el piedemonte hasta unos 10 km al Occidente del casco urbano y a partir de allí hasta la línea de costa se define una planicie con sedimentos marinos costeros sin consolidación alguna.

En 2006, IGAC – INGEOMINAS, recopilan la información disponible de la Geología y la Geomorfología de la Plancha 90, Chigorodó, de esta fuente se toman las unidades regionales y se describen con modificaciones de lo local de acuerdo con lo mostrado en la **Figura 3-4**.

**Formación Corpa - Unidad de Arenas Monas (N2cram):** Las rocas más antiguas que afloran en cercanías de Chigorodó se encuentran en las estribaciones de la Serranía de Abibe, formando una serie de colinas de tope redondeado, de altura menor de 100 m., que corresponden a la Formación Corpa de Haffer (1959), en especial el nivel denominado Arenas Monas. Litológicamente incluye gravas medias a gruesas, con matriz de guijarros y arenas meteorizadas, con intercalaciones limosas, sin litificación, de colores gris a pardo, ligeramente plegadas, con desarrollo de un eje de anticlinal que cruza de Norte a Sur a la altura de la Hacienda Montecristo, con inclinaciones suaves de sus flancos, que no sobrepasan los 15°. La estratificación burda y sus estructuras granodecrecientes, sugieren un ambiente de depositación de abanicos aluviales, al menos en lo que se refiere a la cuenca del río Chigorodó y que se muestra en la **Figura 3-4**.

**Terrazas aluviales Q2t:** Se trata de depósitos aluviales antiguos, probablemente del pleistoceno superior. Las terrazas localizadas al Este de Chigorodó forman una topografía suave de colinas incisadas que se destaca sobre los paisajes planos o los de la serranía de Abibe; están compuestos por estratos no litificados, lenticulares, mal definidos, con estratificación burda, de color rojizo a ocre, con gravas, arenas y limos en avanzado estado de meteorización, los primeros redondeados a subredondeados, lo que muestra su origen aluvial en ambiente de abanico de piedemonte. Las gravas gruesas más conservadas se componen de chert y basaltos y en menor proporción areniscas.

En el mapa de INGEOMINAS – IGAC, se asimilan dichas terrazas al abanico de Chigorodó, pero en realidad se trata de unidades cartografiadas distintas en edad y litología. Al Oeste de Chigorodó, más precisamente al oeste de las lomas de Ripea, estos depósitos son diferentes y conforman una topografía plana, prácticamente sin incisión, se componen de estratos de espesor decimétrico, a veces con estratificación interna fina a

escala de milímetros, no litificados, mal definidos, lenticulares, compuestos por sedimentos finos, esencialmente limos, arenas y arcillas, con ocasionales cuñas de gravas que reflejan un ambiente de fondo de canal de un río de meandros. El conjunto presenta superficialmente un color pardo - amarillo, pero su verdadero color es pardo oscuro a gris azulado.

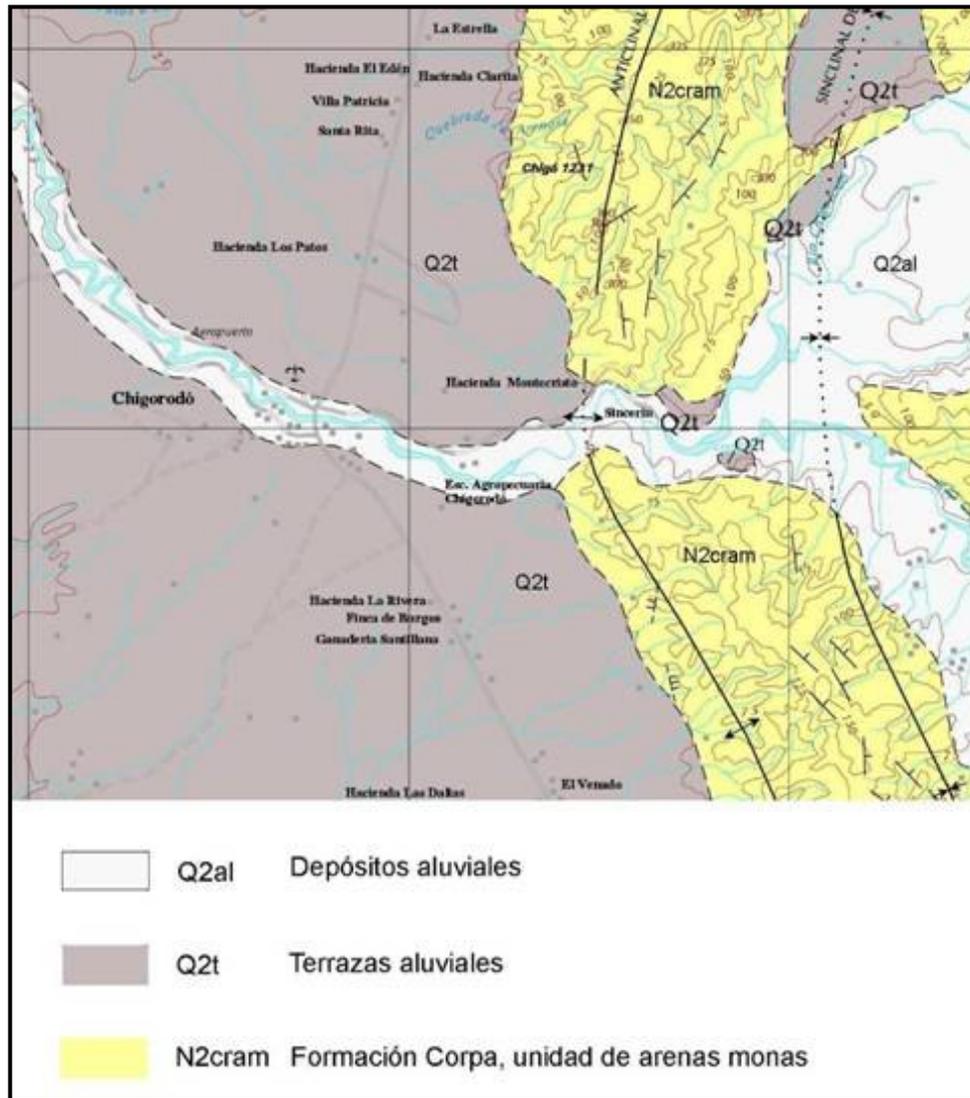


Figura 3-4. Marco geológico regional de Chigorodó. Tomado de IGAC – INGEOMINAS, 2006

**Depósitos aluviales Q2al:** Hacia el Oeste de la cabecera municipal de Chigorodó, forman una franja estrecha que define en parte el cauce mayor del río, en tanto que al Este, en la confluencia con el río Chigorodocito, forman un sistema más amplio que en su interior, presenta hasta tres niveles de terrazas que se levantan por lo menos 2 m. por encima del nivel del río. Se componen de gravas, arenas y limos de color amarillo ocre, sueltos, predominando las fracciones finas.



**Figura 3-5. Litología de la Formación Corpa en inmediaciones de Chigorodó, Vereda Tugurá (Dojurá en los mapas de IGAC)**

### 3.4.2 Columnas estratigráficas y perfiles de suelos

**Tabla 3-8. R. Chigorodó, sitio Caserío Tugurá, Unidad de terraza aluvial alta (A6)**

Profundidad (cm)	Descripción
0 a 7	Horizonte A color pardo oscuro, limo-arcilloso, con abundantes raíces vivas, sin estructuras internas, inmaduro.
7 a 11	Horizonte B, color pardo a amarillo, con más de 20% de guijarros residuales de unos 5 cm de diámetro, esencialmente de chert y calizas.
11 a 270	Horizonte C, color pardo rojizo a naranja, meteorizado, con clastos residuales redondeados con diámetros entre 3 y 12 cm. de chert y caliza frescos, otros de arenisca totalmente meteorizados e integrados a la matriz que es limo-arcillosa, compacta y cohesiva.

Se interpreta como un suelo de bajo desarrollo posiblemente por exceso de lavado superficial de aguas de escorrentía. El depósito muestra clastos de roca menores de 15 cm de diámetro, la mayoría de ellos meteorizados y flotantes en una matriz limo-arenosa, lo que parece indicar una depositación de tipo torrencial con baja energía relativa ante la ausencia de bloques de roca, lo que concuerda con el paisaje que muestra colinas de tope plano dispuestas en un depósito ya incisado, correspondiente a un antiguo abanico fluvio-torrencial, de edad de centenares de miles de años.



Figura 3-6. Caserío Tugurá, depósito de abanico Antiguo

Tabla 3-9. R. Chigorodó, sitio La Viuda, Unidad de terraza aluvial alta (A6)

Profundidad (cm)	Descripción
0 a 12	Horizonte A, color pardo – amarillo, limo- arenoso, con raíces vivas, bajo contenido de materia orgánica.
12 a 25	Horizonte B, color pardo claro, limo-arenoso, con raíces vivas y estructuras de <i>peds</i> incipientes, de 4 a 5 mm. de diámetro.
26 a 70	Horizonte C, color pardo claro, limo-arenoso, cohesivo, sin ninguna estructura original, ocasionales guijarros de chert subredondeados.
70 a 350	Depósito de gravas de tamaño medio, hasta 15 cm de diámetro altamente redondeadas, compuestas por areniscas, chert y limolitas calcáreas, relativamente frescos, conforman el 70% del volumen total, con contactos tangenciales entre sí. La estructura del depósito muestra estratos decimétricos lenticulares, discontinuos, que revelan un ambiente de canal de río de meandros.
350 a 600	depósito de limos, arcillas y arenas de color gris, interestratificadas, lenticulares, depositadas en ambiente de relleno de paleocauce.

Se interpreta como un depósito aluvial de río de meandros con edad al menos de decenas de miles de años.



**Figura 3-7. Perfil en terraza aluvial alta, sitio Loma de Ripea**

**Tabla 3-10. Río Chigorodó, 800 m aguas abajo de las lomas de Ripea, Terraza aluvial baja (A5)**

Profundidad (cm)	Descripción
0 a 12	Horizonte A color pardo, limo-arenoso, con bajo contenido de materia orgánica, inmaduro, en la mitad inferior es transicional a un B mal definido.
12 a 130	Depósito no consolidado de limos y arcillas, de color pardo a gris, cohesivo, blando, con ocasionales lentes delgadas de arenas y gravas finas, estas últimas centimétricas. El depósito muestra tubos de raíces vivas y otros vacíos con acumulación de óxidos de hierro, debido posiblemente a fluctuaciones en el nivel freático.

Se interpreta como un depósito relativamente reciente, de miles de años de edad, de suelos inmaduros, formado por inundaciones sucesivas de una llanura aluvial.

**Tabla 3-11. Río Chigorodó, margen derecha, sitio El Rodadero, aguas arriba de la población. Abanico actual del Chigorodó (P1)**

Profundidad (cm)	Descripción
0 a 25	Horizonte A color pardo, limo-arenoso, con contenido moderado de materia orgánica, inmaduro, transicional a B.
25 a 40	Horizonte B, color pardo claro, limo-arenoso, con raíces vivas y estructuras de <i>peds</i> incipientes, de 4 a 5 mm. de diámetro.
40 a 350	Depósito no consolidado de limos y arcillas, de color pardo en los primeros 2 m. y luego gris, cohesivo, blando, con ocasionales lentes delgadas de arenas. El depósito muestra tubos de raíces vivas y otros vacíos con acumulación de óxidos de hierro.

El depósito se interpreta como formado por inundaciones sucesivas y frecuentes de un valle aluvial reciente, de miles de años.



**Figura 3-8. Perfil El Rodadero**

**Tabla 3-12. Río Chigorodó, margen derecha, sitio Pasatiempo, aguas abajo de la población**

Profundidad (cm)	Descripción
0 a 20	Horizonte A color pardo, limo-arenoso, con contenido moderado de materia orgánica, inmaduro, transicional a B.
20 a 30	Horizonte B, color pardo claro, limo-arenoso, con raíces vivas y estructuras de <i>peds</i> incipientes, de 4 a 5 mm. de diámetro.
30 a 500	Depósito no consolidado de limos y arcillas, de color pardo con motas rojizas centimétricas (abigarrado), en los primeros 2 m. y luego gris, cohesivo, blando, con ocasionales lentes delgadas de arenas.

Se interpreta el depósito como formado por inundaciones sucesivas y frecuentes de un valle aluvial, de posible edad de decenas de miles de años por su moteamiento. Los estratos grises de la parte inferior revelan un ambiente de depositación de pantano aluvial.

**Tabla 3-13. Río Chigorodó, margen derecha, Caserío La Esperanza, aguas abajo del casco urbano**

0 a 25	Horizonte A color gris, limo-aciloso, muy bajo en materia orgánica, con alto contenido de gravas redondeadas, inmaduro, no hay horizonte B.
30 a 450	Depósito de limos y arcillas, con ocasionales lentes de arenas y gravas finas, color pardo claro en superficie, pasa rápidamente a color gris oscuro.

Se interpreta como un depósito de limos, arcillas y arenas en ambiente de pantano, surcado superficialmente por un río trezado.



**Figura 3-9. Perfil Pasatiempo**



**Figura 3-10. Perfil La Esperanza**

### 3.4.3 Geomorfología – contexto regional y local

El paisaje natural en los alrededores de Chigorodó, de acuerdo con el estudio de IGAC – INGEOMINAS, se compone básicamente de una unidad Denudacional que corresponde a las colinas del piedemonte de la Serranía de Abibe y varias unidades de origen Fluvial que presentan un paisaje plano que se extiende hasta el golfo de Urabá. El estudio IGAC –OEA considera abanicos de piedemonte hasta unos 10 km. Al Oeste del casco urbano de Chigorodó, al igual que el de IGAC – INGEOMINAS, siendo este un límite más o menos arbitrario en razón a que la topografía plana y uniformidad de los depósitos impiden una delimitación más precisa.

El contexto regional de la Geomorfología de Chigorodó se toma también del estudio de IGAC – INGEOMINAS, con las modificaciones locales pertinentes, resultado de las observaciones directas realizadas en el campo, especialmente en lo que se refiere a su descripción estratigráfica superficial, elemento necesario para evaluar el comportamiento pasado del río Chigorodó. En la Figura 3-11 se presenta el mapa geomorfológico regional de Chigorodó.

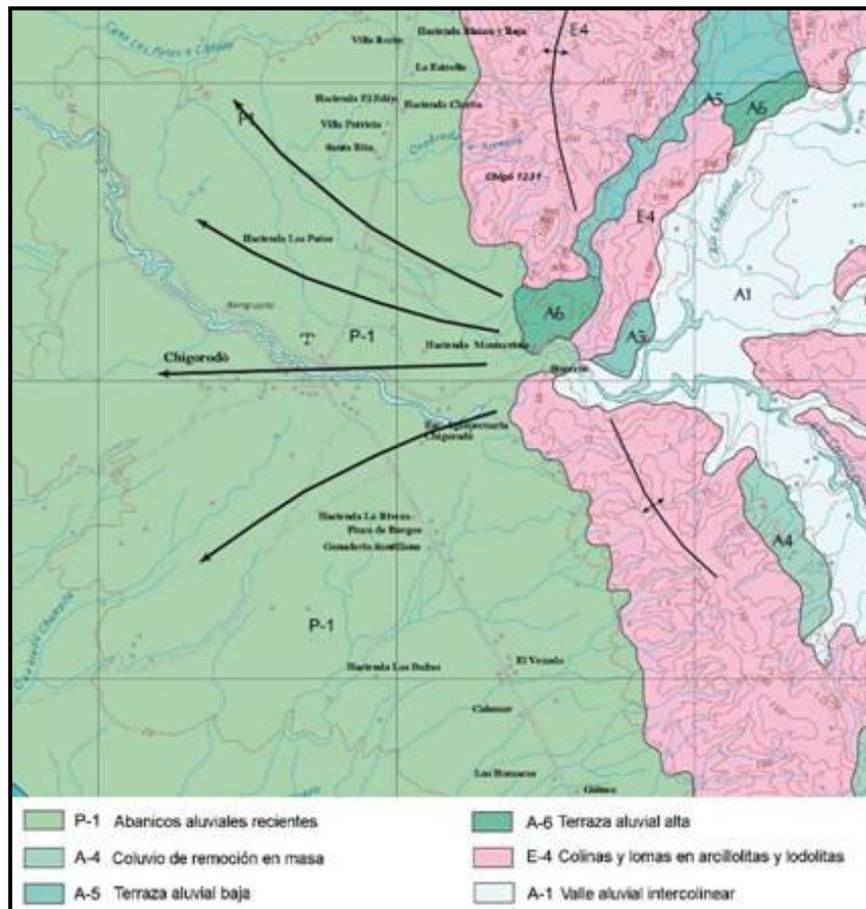


Figura 3-11. Mapa Geomorfológico Regional Chigorodó. Tomado de IGAC –INGEOMINAS, 2006

### 3.4.3.1 Unidades de origen Estructural – Erosional

*Colinas y lomas en arcillolitas y lodolitas (E4).* La unidad se presenta como colinas bajas sin control estructural, con drenaje dendrítico denso y poco profundo, dada la su baja altura, de menos de 100 m y la conformación predominante limoarcillosa de su matriz de los sedimentos que la conforman, lo que los hace poco permeables; corresponden a la Formación Corpa, de edad Plioceno mostrada en la Figura 3-5. El perfil de suelos correspondiente se levantó en cercanías al caserío Tugurá, sobre el borde del río y se describe en el Anexo I. Se interpreta como un paisaje maduro, con topografía incisada y perfil de meteorización avanzado, de edad probable mayor a centenares de miles de años.

### 3.3.2.2 Unidades de origen depositacional Aluvial

*Valle aluvial intercolinear (A1):* Es un valle de relleno aluvial, hasta de 3 km de amplitud, de fondo plano, con algunos niveles de terrazas inundables muy bajas, de menos de 1 m de altura sobre el nivel de aguas medias, surcado por el río de carácter meándrico que forma amplios bancos arenosos. El valle está constituido por arenas y limos de desborde atravesados por abundantes raíces vivas, sin desarrollo alguno del perfil de suelos según se muestra en la Figura 3-12. En algunos sitios es posible observar estratos lenticulares de gravas finas a medias, con clastos de areniscas altamente redondeadas, con diámetro inferior a 10 cm, lo que se interpreta como un fondo de canal, por similitud con el cauce actual activo.



Figura 3-12. Suelo inmaduro en terraza baja de la llanura aluvial del río Chigorodó

**Coluvión de remoción en masa y glacis coluvial (A4):** Corresponde a depósitos de tipo gravitacional acumulados hacia la base de las colinas presentes en la margen izquierda del río Chigorodocito, ligeramente incisados, resultantes de acumulación de flujos de escombros sobre las terrazas aluviales preexistentes. Esta unidad no se verificó durante el trabajo de campo correspondiente a esta investigación, por su influencia mínima en la definición del carácter aluvial o torrencial del río.

**Terraza aluvial baja (A5):** Es un sistema que consiste al menos de tres niveles de terrazas asociadas genéticamente al valle aluvial actual, con alturas desde 2 hasta 7 m sobre el nivel actual del río, las más bajas inundables en períodos excepcionales de precipitación, sin incisión notable, muestran una topografía plana y bordean el río Chigorodó, en especial aguas arriba de la Loma de Ripea.

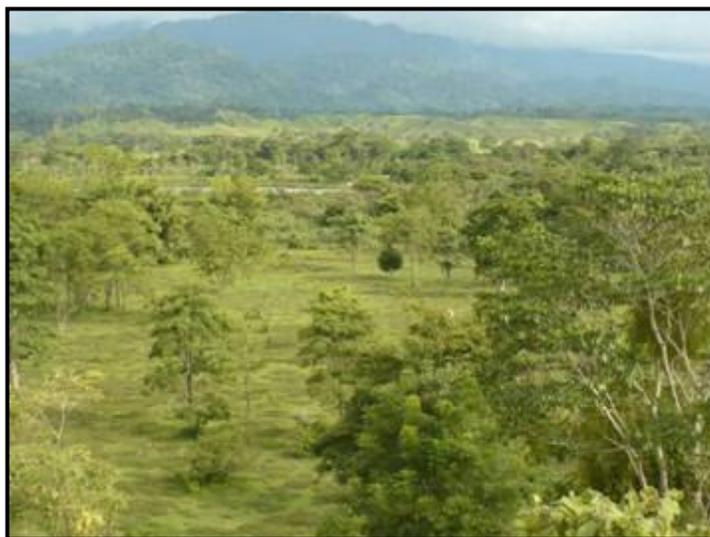
**Terraza aluvial alta (A6).** Asociada también al río Chigorodó, este grupo de terrazas, de altura mayor a 12 m sobre el nivel del río, no es inundable y se encuentra como colinas de tope plano, ligeramente incisadas, con desarrollo incipiente de los diferentes horizontes de suelos. Su mejor exposición se encuentra hacia el piedemonte de la Serranía de Abibe, donde se alcanza a distinguir un antiguo abanico aluvial no cartografiado en los mapas regionales. En la Figura 3-14 se muestra una imagen de este tipo de terraza.



Figura 3-13. Terrazas aluviales bajas T2 y T1, aguas arriba de Chigorodó

**Abanicos aluviales y subcrecientes de la región de Urabá (P1):** Como resultado de la erosión de la Serranía, los sedimentos arrastrados por los ríos han formado suaves abanicos coalescentes entre sí, uno de ellos el del río Chigorodó, que se extiende desde unos dos kilómetros aguas abajo de la confluencia de los ríos Chigorodó y Chigorodocito, es decir, aguas abajo del estrecho que forman las Lomas de Ripea, hasta el golfo de Urabá, formando un relieve plano, ligeramente inclinado hacia el Oeste. El depósito tiene

una incisión mínima, en especial hacia su parte occidental, donde ha sido necesario construir una serie de drenajes para su aprovechamiento agrícola de banano. Aguas arriba de Chigorodó y hasta las Lomas de Ripea, el cauce meándrico se muestra en las aerofotografías más antiguas con curvas cerradas, mientras que en las más modernas se presenta como un río recto a trezado que ha recortado las curvas anteriores.



**Figura 3-14.** Al fondo, colinas de tope plano en el **Ápice del antiguo abanico del río Chigorodó (Terraza aluvial alta, T6)**, en primer plano, terrazas bajas.

#### **3.4.4 Procesos morfodinámicos**

Los procesos morfodinámicos son aquellos que tienden a modificar la superficie terrestre, bien sea por agradación, es decir, acumulación de materiales sobre la superficie, por agentes como la depositación de ellos por los ríos, el mar o el viento; o de degradación como desgaste causado por la gravedad como el caso de los movimientos en masa o por el agua como la socavación lateral o profundización de los cauces. Se detalla esta temática, dada su importancia en la planificación del desarrollo de la cabecera municipal de Chigorodó.

*Socavación y profundización del río Chigorodó:* El proceso más importante en el río Chigorodó es la socavación de sus márgenes durante épocas de crecientes, lo que provoca modificación de su eje geométrico y en consecuencia generación de procesos erosivos en sus márgenes. En inmediaciones de la cabecera municipal, el río Chigorodó muestra severas variaciones en la morfología de su cauce, solamente comparando las aerofotografías de 1963 con las de años posteriores. Mientras en las primeras se aprecia un cauce meándrico con relativa estabilidad, en las de 2004 se ha transformado en un cauce recto – trezado, que muestra alta capacidad erosiva como se muestra en la Figura 3-15, no sólo por la cantidad de material suelto en su cauce activo, sino también por la cantidad de sedimentos que arrastra. El origen de este fenómeno es complejo, pero lo más evidente es la explotación indiscriminada de material de arrastre aguas arriba de la población, aunado con la invasión de su cauce mayor, en especial sobre su margen

izquierda a nivel del barrio La Playita. Las consecuencias futuras de estos cambios, ameritan un estudio hidráulico en mayor detalle que proponga medidas y diseños que restituyan la estabilidad del cauce en esta parte.

En las aerofotografías de 1963, el cauce del río aparece con menos de tres metros de altura sobre el sector aledaño al puente de la vía troncal a Turbo, mientras que en la actualidad esta altura es del orden de 5 m, lo que representa un cambio bastante significativo, del orden de 10 cm/año. Este fenómeno requiere también de un análisis complementario y un proyecto de construcción de “llaves de fondo” para detener la socavación e impedir que la mayor profundización provoque desestabilización de las márgenes ya urbanizadas.



**Figura 3-15. Socavación lateral del depósito aluvial del abanico de Chigorodó, hacia la base, depósitos de limos y arcillas grises, Hacienda Montecristo**

### 3.4.5 Inventario de procesos

Durante las visitas de campo efectuadas a la zona de estudio se llevó a cabo la identificación de fenómenos de remoción relacionados con procesos de socavación lateral por incidencia de la corriente del Río Chigorodó. En esta sección se presenta el recuento del inventario de procesos realizado de acuerdo con las fichas de campo diligenciadas y que se adjuntan en el Anexo D, mientras que la localización de estos procesos se presenta en el plano F-2 incluido en el Anexo F. De acuerdo con la morfología del cauce, el río Chigorodó a su paso por la zona urbana del municipio de Chigorodó se podría dividir en tres partes:

- Una zona del K0+000 al K1+000 aproximadamente, sector que comprende el inicio del paso del Río Chigorodó por la zona urbana del municipio hasta el barrio Ferrini, en donde este río presenta una configuración trenzada. En este sector los depósitos aluviales en las márgenes del Río Chigorodó presentan hasta unos 2 m de altura y muestran pendientes suaves, con lo que no se aprecia la existencia de fenómenos de inestabilidad derivados de procesos de socavación por el paso del Río Chigorodó.

- Otra zona del K1+000 al K1+600 aproximadamente, sector que comprende el paso del Río Chigorodó por los barrios Simón Bolívar y Casablanca hasta el cruce con la vía al mar, en donde este río presenta una configuración semirecta. En este sector los depósitos aluviales en las márgenes del Río Chigorodó presentan mayores espesores y alcanzan hasta unos 6 m de altura y muestran pendientes también mayores, pero no se aprecia la existencia de fenómenos de socavación lateral. Existen obras de protección de las márgenes del cauce en el sitio de cruce con la vía al mar, las cuales consisten en un muro en gaviones de cinco niveles que se encuentra recalzado, un enrocado en la base del mismo y protecciones con sacos de suelo-cemento.
- Finalmente, una zona del K1+600 al K3+000 que corresponde al paso del río por los barrios El Camping, El Centro y Las Palmas hasta el final de la zona urbana, en donde el cauce es de tipo meándrico. En este sector los depósitos aluviales presentan espesores cercanos a los cinco a seis metros y exhiben taludes casi verticales; se observa la presencia de varios procesos de socavación lateral debido a la dinámica del cauce especialmente durante la ocurrencia de crecientes, a la alta pendiente del depósito y a la composición de los suelos presentes en el sector.

#### **3.4.5.1 Margen derecha Río Chigorodó K2+250 a K2+400**

En el costado derecho del Río Chigorodó en la zona que corresponde a la vía que conecta al barrio el Camping con la zona rural del municipio, se aprecia la existencia de fenómenos de socavación lateral que afectan a los depósitos de terraza allí presentes. De momento no se aprecia afectación de este fenómeno en edificaciones o infraestructura del municipio, pero teniendo en cuenta la alta pendiente de la terraza en el sitio y la composición de los suelos existentes se puede dar fisuración y desprendimientos. De acuerdo con el mapa de geomorfología presentado en el Anexo B, en este sector se encuentran terrazas aluviales bajas en las que se encuentran arenas arcillosas y arenas limosas de color café con gravas, además de arcillas con arena de color café y gris con espesores de entre 5 y 6 m aproximadamente.

En la Figura 3-16 se presenta el aspecto del fenómeno de socavación lateral referido, en el cual ya fueron dispuestas obras de protección correspondientes a un recubrimiento en sacos de suelo-cemento y pentápodos de concreto, proyectados con el fin de proteger la vía hacia la zona rural que pasa muy cerca de este sector. Se aprecia la socavación en la base de las obras mencionadas por lo que resultaría necesario buscar su protección ya que en este sitio la corriente del río incide directamente sobre la terraza, y puede resultar perjudicial para la vía sin pavimentar en el caso de darse una creciente.

#### **3.4.5.2 Margen izquierda Río Chigorodó K2+600 a K3+000**

En el costado izquierdo del Río Chigorodó en la zona de salida del sector urbano del municipio que corresponde a la vía que conecta al barrio Las Palmas con la zona rural del municipio, en el sector en que se encuentran algunas instalaciones del acueducto, se aprecia la existencia de fenómenos de socavación lateral que afectan a los depósitos de terraza allí presentes. En la Figura 3-17 se presenta una imagen del depósito afectado al poco tiempo de ocurrida la falla y durante la construcción de obras de protección.



**Figura 3-16. Depósito afectado por socavación lateral Río Chigorodó margen derecha sector K2+250 a K2+400**



a) Aspecto de la falla

b) Construcción de obras de protección

**Figura 3-17. Depósito afectado por socavación lateral Río Chigorodó margen izquierda sector K2+600 a K3+000**

La ocurrencia de este proceso se originó por la alta pendiente de la terraza en el sitio y la composición de los suelos existentes, además de la incidencia directa del Río Chigorodó en la pata del depósito. Los suelos encontrados corresponden, al igual que en el caso anterior, a terrazas aluviales bajas en las que se encuentran arenas arcillosas y arenas limosas de color café con gravas con espesores de entre 5 y 6 m aproximadamente. Debido a que en este sector se encuentran instalaciones del acueducto del municipio, fue proyectada y construida una obra de protección consistente en un muro en gaviones de acuerdo con lo mostrado en la Figura 3-17-b.

El mismo tipo de problema se aprecia en la zona inmediatamente aguas abajo, sector que corresponde a la zona rural del municipio y que se muestra en la Figura 3-18.



**Figura 3-18. Depósito afectado por socavación lateral Río Chigorodó margen izquierda Sector aguas abajo de la zona urbana del municipio**

#### **3.4.5.3 Margen izquierda Río Chigorodó K1+950 a K2+050**

En la margen izquierda del Río Chigorodó en el sector Barrio el Centro a la altura de la Alcaldía y del puente colgante peatonal Calle 100 a Calle 102 A, se aprecia la existencia de fenómenos de socavación lateral que afectan a los depósitos de terraza allí presentes. De acuerdo con el mapa de geomorfología presentado en el Anexo B, en este sector se encuentran terrazas aluviales bajas en las que se encuentran arenas arcillosas y arenas limosas de color café con gravas con espesores de entre 5 y 6 m aproximadamente. En la Figura 3-19 se presenta el aspecto de la zona afectada, en donde no se aprecia la afectación directa sobre edificaciones o infraestructura.



**Figura 3-19. Depósito afectado por socavación lateral Río Chigorodó margen izquierda sector K1+950 a K2+050**

### 3.4.6 Amenaza por Inundación

De acuerdo con las características evidenciadas en las columnas estratigráficas levantadas para las unidades geomorfológicas, se puede concluir que en la formación del Abanico reciente de Chigorodó, sobre el cual se encuentra asentada la cabecera municipal, solamente se han presentado desde hace miles de años, fenómenos de inundación inherentes a un río de meandros y en ningún caso fenómenos torrenciales.

Sobre el mosaico aerofotográfico de Chigorodó, mostrado en la Figura 3-20, se delimitó el cauce activo del río, que de acuerdo con las aerofotografías disponibles muestra el contorno de las terrazas inundables  $T_0$  y  $T_1$ , es decir, cauces subrecientes que por los efectos de profundización del río, actualmente parecen terrazas aluviales, pero que constituyen la zona de amenaza alta por este fenómeno. Esta línea envolvente debe ser tenida en cuenta para los procesos de urbanización futura y de esta manera, con retiros adicionales, evitar una mayor exposición a los riesgos derivados de la dinámica fluvial.



Figura 3-20. Geomorfología local Chigorodó, con  $T_0 - T_1$  como zonas de amenaza alta por inundación

### 3.4.7 Amenaza sísmica

Aunque este no es un tema directo del objetivo del trabajo, cabe anotar que las características del depósito del abanico reciente de Chigorodó, tales como granulometría, nivel freático y cercanía a sismofuentes, hacen que sus suelos sean licuables ante cierto tipo de vibraciones sísmicas. Durante los sismos originados en Murindó en 1992, en varios sitios de la cabecera municipal se observaron manifestaciones de licuación tales

como agrietamiento de suelos y expulsión de agua a través de fisuras; en los pozos de agua o aljibes fue posible observar la salida de chorros de agua que se levantaron a más de tres metros de altura y en los sitios cercanos a ellos no hubo daños asociados a licuación. Este hecho sugiere que los pozos y aljibes pueden obrar como disipadores de la presión de agua durante los sismos y por lo tanto, sirven como protección parcial contra ellos.

### **3.5 CLIMATOLOGÍA, HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA**

#### **3.5.1 Introducción**

El casco urbano del municipio de Chigorodó se asienta, en su mayor parte, sobre la margen izquierda del río de su mismo nombre. Esta circunstancia, aunada a las crecientes frecuentes del río, a la poca elevación de la ribera izquierda de éste en la parte de la ciudad localizada aguas arriba del puente de la carretera que conduce a Apartadó y la invasión de parte del lecho mayor por conglomerados humanos, constituye un factor de inseguridad para los moradores del área que en varias ocasiones han padecido incomodidades y pérdida de bienes por ocurrencia de inundaciones ocasionadas por desbordamientos del río.

Adicional a lo anterior, son evidentes como factores que en una u otra forma, contribuyen a la inundación de este sector en épocas de lluvia, aun sin que se presenten desbordamientos del río, la falta de un sistema completo de alcantarillado pluvial y el pobre o nulo mantenimiento del existente, en particular de las estructuras de ingreso o sumideros las cuales permanecen obstruidas por basuras.

El presente estudio tiene como objetivo hacer una descripción de las características del clima de la región y realizar la zonificación de las áreas que se encuentran amenazadas por los fenómenos de inundación. Para alcanzar los objetivos propuestos, se adelantaron estudios en los campos de la Hidroclimatología y de la Hidráulica, cuyas metodologías de análisis y resultados de los mismos se plasman en este informe.

#### **3.5.2 Información disponible**

Las necesidades de información varían de acuerdo con el tipo de análisis que se desea emprender y con la precisión que se desea en los resultados. En este caso específico, es importante contar con información climatológica que permita caracterizar el régimen climatológico del área, así como su distribución espacial y temporal, lo cual supone la existencia de una red de medición meteorológica de una densidad y programas de medición que permitan lograr los objetivos. Desafortunadamente no se cuenta con un número de estaciones que cumplan con este requisito.

Se contó con información de elementos de clima de las estaciones Tulenapa y La Cerrazón que exhiben períodos de registro disímiles. Adicionalmente, con información de precipitación mensual y anual de la estación Santa Isabel

### 3.5.2.1 Precipitación

Se dispuso de valores totales mensuales y anuales de las estaciones Tulenapa, correspondientes al período 1983 – 2008: de la estación La Cerrazón, para el período comprendido entre 1987 y 1992 y de la estación Santa Isabel del período 1978 – 1992.

### 3.5.2.2 Temperatura del aire y Humedad Relativa

De estos elementos del clima sólo se dispuso de información de las estaciones Tulenapa y de La Cerrazón, De la primera de ellas, para el período 1983 – 2008 y para la segunda 1986 – 1992.

### 3.5.2.3 Brillo solar

Sólo se dispuso de información de la estación La Cerrazón para el período 1983 – 2008, con faltantes en varios meses de diferentes años.

### 3.5.2.4 Información Hidrológica

Se dispuso de la información sobre caudales máximos y medios de la estación Hidrométrica de Chigorodó, localizada sobre el río de este nombre, aguas abajo del puente de la carretera que conduce a Apartadó.

La información antes citada se recopiló y se tomó como base para la realización de los estudios.

## 3.5.3 Climatología

La caracterización del clima del área sólo pudo adelantarse desde el punto de vista cuantitativo, es decir, mediante la determinación de los valores medios mensuales y anuales de los elementos que lo constituyen. La variación territorial de éstos no fue posible determinarla, dada la poca densidad de la red de observación.

Los valores medios mensuales y anuales de los elementos climatológicos se presentan en la Tabla 3-14 y en la Tabla 3-15, en los cuales se aprecia las características de los mismos.

**Tabla 3-14. Valores medios mensuales y anuales de variables climatológicas La Cerrazón**

ELEMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Temperatura del aire ° C	26	26,2	26,5	25,7	26,3	26,5	26,3	26,2	26,2	25,7	25,8	26,2	26,1
Brillo solar (Hr)	120	81	97	62	90	67	119	121	105	104	115	133	101,2
Humedad relativa (%)	89	89	87	89	90	91	91	88	90	88	88	89	89,1

**Tabla 3-15. Valores mensuales y anuales de variables climatológicas Tulenapa**

ELEMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Temperatura del aire ° C	26,6	26,7	27	27,1	26,9	26,8	26,7	26,7	26,6	26,6	26,4	26,6	26,7
Humedad relativa (%)	86	85	84	86	88	88	88	89	87	87	88	88	87

### 3.5.3.1 Temperatura del aire

Se mantiene casi constante a lo largo del año, con un valor medio de 26,4 °C en el área. Las variaciones de un mes a otro no superan los 0,2 ° C

### 3.5.3.2 Humedad Relativa

La humedad relativa media en el año es de 88%. Los meses más húmedos son junio y julio, con 89,5 %; los más secos, aunque las variaciones son mínimas, corresponden a febrero y marzo, cuando se tienen 87 y 85,5 % respectivamente.

### 3.5.3.3 Precipitación

Como se estableció antes, los períodos de observación disponibles en las estaciones existentes en el área son disímiles, por lo cual se juzgó necesaria su homogeneización a un período común. Puesto que la estación Tulenapa posee el registro más largo y se extiende hasta el año 2008, se decidió tomar como período de estudio el de su serie de datos y extender los de las demás estaciones al año 2008.

La extensión se llevó a cabo mediante la determinación de los valores medios mensuales multianuales de las estaciones La Cerrazón y Santa Isabel, mediante la metodología de las proporciones entre las series corta y larga de las estaciones involucradas, de tal manera que:

$$P_{x,t} = (P_{x,c} / P_{l,c}) * P_{l,t}$$

Donde  $P_{x,t}$  es la precipitación media de la estación cuyo período de duración  $x$  se desea extender;  $P_{x,c}$  es el valor medio del mes correspondiente a la serie de la estación de período corto;  $P_{l,c}$  es el valor medio para el mismo período de longitud  $x$  y  $P_{l,t}$  es el valor medio del período largo, de longitud  $t$  en la estación con el período largo.

La precipitación media en el área, es de 2950 mm anuales, tomada como el promedio multianual de las precipitaciones registradas en las tres estaciones cuyos registros se tomaron como base para los estudios. Los valores obtenidos corresponden al período homogeneizado 1983 -2008.

**Tabla 3-16. Valores medios multianuales 1983-2008 de precipitación (mm)**

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
Santa Isabel	109,5	81,0	118,5	222,6	359,9	287,4	317,2	316,1	254,5	337,0	339,4	257,0	2928,0
La Cerrazón	166,1	70,4	88,1	269,0	445,1	321,7	312,4	301,1	349,7	276,5	254,1	206,5	2990,5
Tulenapa	94,5	75,9	97,4	264,3	327,6	322,8	286,5	275,8	325,6	329,1	300,4	207,5	2904,4

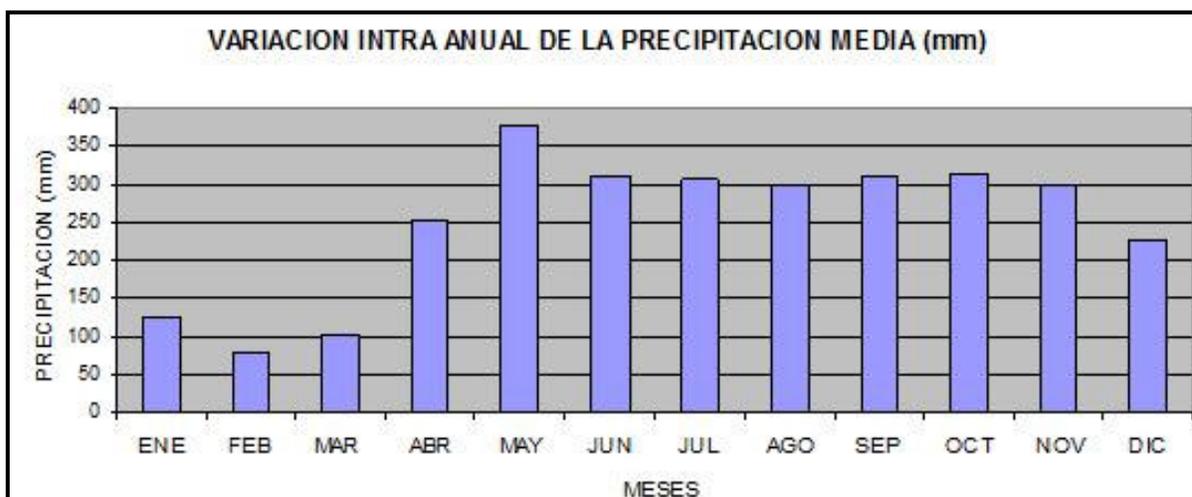
La variación dentro del año muestra un solo período húmedo, que se extiende desde el mes de mayo hasta diciembre, en el que ocurren 2436 mm, es decir, el 83 % del total anual. Los meses de enero a marzo son de baja precipitación y abril podría decirse que es de transición.

Los valores de los elementos del clima, colocan al área en un clima cálido, generalmente húmedo. Existen pocas variaciones en la temperatura del aire, inferiores a los 0,2 ° C.

La evapotranspiración calculada mediante la fórmula de la Radiación y mediante la metodología de Penman modificada presenta valores similares (1446 y 1334 mm ). El valor medio tomando los obtenidos por las dos metodologías citadas es de 1390 mm, con variaciones que obedecen a las de los elementos que intervienen en su determinación. La mayor evapotranspiración ocurre en los meses de enero, julio y agosto. Los valores obtenidos se presentan en Tabla 3-17.

**Tabla 3-17. Valores medios diarios y mensuales de evapotranspiración (mm/día), (mm/mes)**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
<b>Método de la radiación</b>													
(mm/día)	6,00	3,00	3,60	3,40	3,50	3,40	4,10	4,20	4,10	4,00	4,00	4,10	
(mm/mes)	186	84	111,6	102	108,5	102	127,1	130,2	123	124	120	127,1	1445,5
<b>Penman modifíc.</b>													
(mm/día)	5,88	3,26	3,56	3,27	3,44	3,13	3,63	3,71	3,64	3,54	3,41	3,31	
(mm/mes)	182,3	91,3	110,4	98,1	106,6	93,9	112,5	115,0	109,2	109,7	102,3	102,6	1334,0



**Figura 3-21. Variación intra anual de precipitación media**

### 3.5.4 Hidrología

Los análisis en este campo se circunscribieron a la determinación de los caudales máximos del río Chigorodó para diferentes períodos de retorno. Para ello se contó con la serie de caudales máximos del río obtenidos en la estación hidrométrica Chigorodó, localizada aguas abajo del puente de la carretera que conduce a Apartadó. La serie corresponde al período 1977 – 2005.

Para la obtención de los caudales de diferente recurrencia, la serie anual de caudales máximos obtenida de la citada antes se sometió a análisis de frecuencia, mediante su ajuste a distribuciones teóricas. La de mejor ajuste resultó la Log Pearson III, la cual se presenta, junto con los valores de caudal obtenidos en la Figura 3-22 y la Tabla 3-18. El propósito específico para determinar estos caudales es llegar a un compromiso entre los niveles del agua correspondientes a ellos, tanto en el cauce menor, como en las áreas circundantes, la velocidad del flujo y la posibilidad de daño o amenaza a las comunidades humanas y a sus bienes, asentadas en las cercanías de la corriente, para diferentes niveles de probabilidad o de período de recurrencia de eventos denominados como crecientes o estados altos del río.

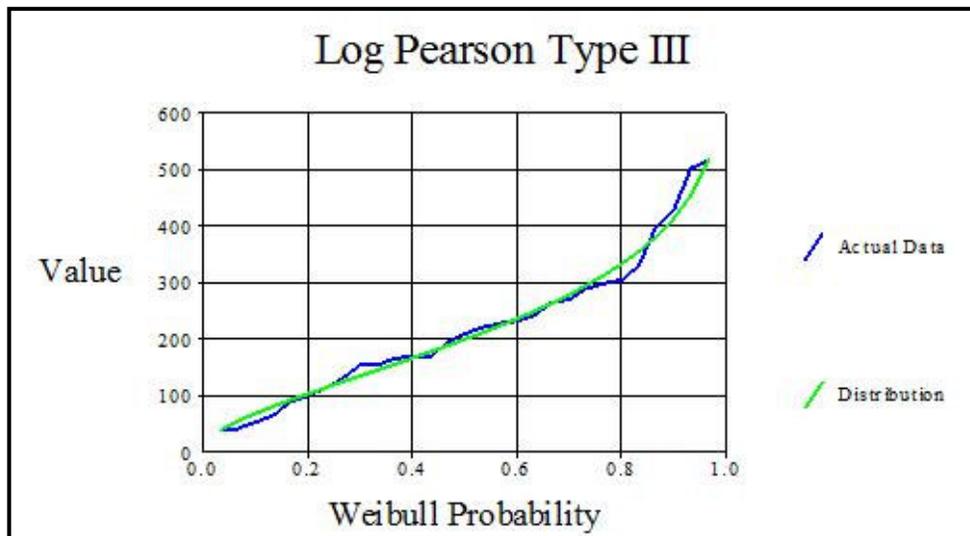


Figura 3-22. Análisis de frecuencia para la obtención de los caudales de diferente recurrencia, mediante su ajuste a la distribución teórica Log Pearson III

Tabla 3-18. Valores de caudal obtenidos Chigorodó

Probabilidad de excedencia	Periodo de retorno (años)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)	Desviación estándar
0.995	200	655.43	241.30
0.99	100	611.02	185.57
0.98	50	560.54	134.81
0.96	25	502.99	91.30
0.9	10	413.65	51.44
0.8	5	333.11	39.33
0.667	3	263.88	35.65
0.5	2	199.50	30.60

### 3.6 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Para determinar las características y propiedades mecánicas del suelo en el sitio del proyecto, se realizaron actividades de exploración del subsuelo que consistieron principalmente en la ejecución de sondeos con equipo manual y recuperación de muestras alteradas e inalteradas, así como ensayos de campo y laboratorio.

En esta sección se presenta el tipo de exploración del subsuelo realizada, el tipo de ensayos de campo y laboratorio, y el análisis de la información obtenida. Se presenta una descripción del comportamiento de las propiedades principales de los diferentes suelos encontrados en cada punto de exploración, y con base en esto, se define el perfil geotécnico representativo del sitio de estudio, así como las condiciones y parámetros geomecánicos que serán utilizados en análisis posteriores.

#### 3.6.1 Exploración del subsuelo

Teniendo en cuenta las características geológicas del sitio, se proyectó la ejecución de sondeos manuales, distribuidos convenientemente en el área de estudio. Lo anterior con el objeto de obtener la información geotécnica necesaria para conocer la distribución lateral y en profundidad de los diferentes tipos de materiales que componen los depósitos existentes, y recuperar muestras inalteradas y alteradas para realizar los ensayos de laboratorio. Adicionalmente, se realizaron ensayos de campo como el ensayo de penetración estándar (SPT), y pruebas de laboratorio para clasificación y obtener parámetros de resistencia que permitan conocer el comportamiento de los materiales existentes.



Figura 3-23 Realización de sondeos manuales

### 3.6.1.1 Sondeos manuales

En total se realizaron nueve (9) sondeos manuales con muestreo con profundidades entre 3.65 y 7.75 m en sectores próximos al río Chigorodó, localizados tal como se muestra en la Tabla 3-19 y en la Figura 3-24.



Figura 3-24. Planta general de localización de los sondeos en el área de estudio

Tabla 3-19. Localización y profundidad de las perforaciones realizadas

Sondeo	Prof (m)	Río	Ubicación	Coordenadas (m)	
				Este	Norte
SC-1	4.65	R Chigorodó	Cra 91, MI Río, B Guayabal	1044840	1339756
SC-2	5.10	R Chigorodó	Cra 95, MI Río, B La Playa	1044573	1339817
SC-3	3.65	R Chigorodó	MI Río, Cra 96C y 97 A, B Ferrini	1044367	1339936
SC-4	6.55	R Chigorodó	Cra 99 D MI Río, B Casablanca	1043856	1340119
SC-5	5.90	R Chigorodó	MI Río, entre Cra 99 D y 100, B Casablanca	1043804	1340106
SC-6	6.70	R Chigorodó	Cra 102, MD Río, B El Camping	1043679	1340145
SC-7	7.30	R Chigorodó	Calle 100, MI Río, B El Centro	1043390	1340187
SC-8	7.75	R Chigorodó	Calle 104, MI Río, B Las Palmas	1042939	1340353
SC-9	6.55	R Chigorodó	MD Río, Salida B El Camping	1043123	1340477

En cada punto se realizaron ensayos de penetración estándar (SPT) y se tomaron muestras alteradas en bolsa y en el tubo partido, las cuales fueron utilizadas para hacer descripción visual y ensayos de clasificación. Además, en donde fue posible, se recuperaron muestras inalteradas en tubos de pared delgada, las cuales se utilizaron para ensayos especiales de resistencia y deformabilidad.

En el Anexo D se presentan el resumen de las propiedades geotécnicas y la estratigrafía encontradas.

### 3.6.1.2 Pruebas de Campo

Durante la ejecución de los sondeos se realizaron ensayos in situ de penetración estándar (SPT) para establecer de forma aproximada la variación de resistencia del suelo y recuperar muestras alteradas de los diferentes materiales encontrados para definir cambios estratigráficos.

### 3.6.2 Ensayos de laboratorio

Para determinar las propiedades de los materiales encontrados, se realizaron ensayos de caracterización física como humedad natural, límites de consistencia líquido y plástico, lavado sobre tamiz No 200 y peso unitario, y ensayos de resistencia como compresión confinada en los materiales cohesivos. En la Tabla 3-20 se relaciona la cantidad de ensayos ejecutados mientras que en el ANEXO D se presenta la tabla resumen y los reportes de ensayos de laboratorio ejecutados para el sitio de estudio.

**Tabla 3-20. Tipo y cantidad de ensayos de laboratorio realizados**

TIPO DE ENSAYO	SC-1	SC-2	SC-3	SC-4	SC-5	SC-6	SC-7	SC-8	SC-9	TOTAL
Humedad Natural	5	5	4	7	6	6	7	5	5	50
Límites de Consistencia	2	3	2	1	2	3	3	2	2	20
Lavado Tamiz No. 200	1	2	2	2	2	3	3	2	2	19
Peso Unitario	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2
SPT	5	4	4	7	6	6	7	7	5	51

### 3.6.3 Caracterización geomecánica

En el sitio de estudio se encontraron materiales que corresponden a depósitos aluviales que se componen de gravas, arenas, limos y arcillas de color café y gris. Dentro de estos materiales se encontraron suelos granulares con gravas de forma subredondeada, fracción fina no plástica o de baja plasticidad y compacidad relativa suelta a densa, y suelos finos de plasticidad media a alta y consistencia media a firme; los contenidos de humedad hallados en general se encontraron en un rango bajo a medio. En las perforaciones se encontró el nivel freático a profundidades variables entre 0.8 y 2.6 m en los sondeos SC-1 a SC-6 y 4.8 a 5.7 m en los sondeos SC-7 a SC-9.

### 3.6.3.1 Descripción de las propiedades geotécnicas encontradas

En esta sección se presenta una descripción detallada de las propiedades geotécnicas encontradas en la exploración del subsuelo, para los materiales existentes en el área de estudio. Los resultados de los ensayos de laboratorio para los suelos de la zona de estudio se agruparon de acuerdo con las tendencias observadas en los resultados de los ensayos de caracterización.

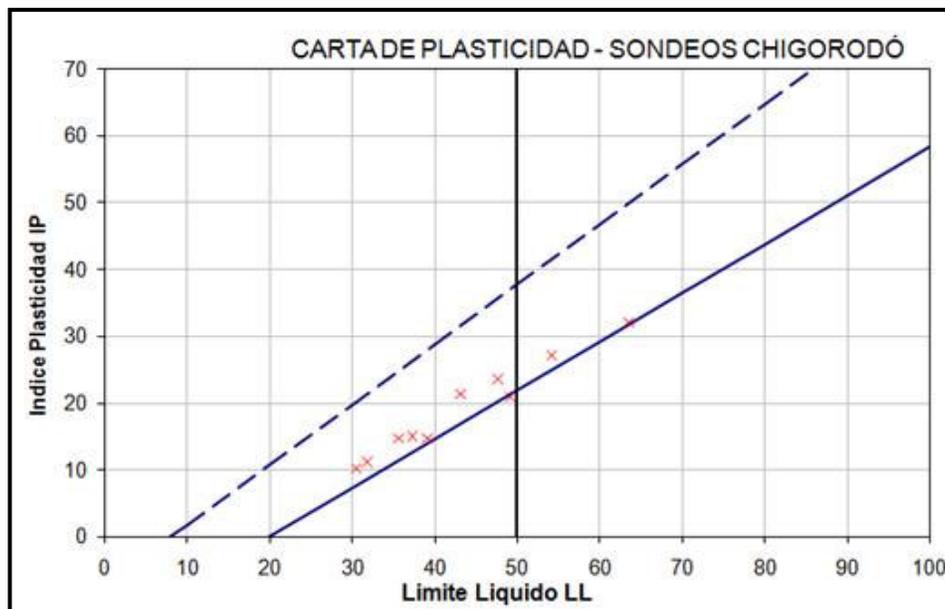
- **Humedad natural y límites de consistencia:** En los sectores en que se hicieron los sondeos SC-1, SC-2 y SC-6 se encontraron capas de espesor variable de gravas mal gradadas con limo y arena (GP-GM) de color café, arenas mal gradadas con gravas y arenas limosas de color café (SP y SM) y arcillas de color gris verdoso con manchas de óxidos de plasticidad media y alta (CL y CH), además de una capa de limo de color café (ML) en superficie en el sondeo SC-2. En los suelos granulares se encontraron contenidos de humedad entre el 6 y el 15 % con un valor medio del 8%, mientras que la fracción fina de éstos suelos no presentó comportamiento plástico; en los suelos finos encontrados en estos sondeos se hallaron valores de humedad de entre el 26 y el 37% con un valor medio del 32%, límite líquido del 39 al 54% con un valor medio del 48% y límite plástico de entre el 24 y el 28% con un valor medio del 26% por lo que se puede indicar que su comportamiento es plástico.

En los sectores en que se realizaron los sondeos SC-3, SC-4 y SC-5 se encontraron capas de espesor variable de arenas limosas de color gris verdoso (SM) y arenas limosas y arcillosas de color gris y café con gravas (SC, SM y SP-SM), además de una capa de arcilla de color gris verdoso con arena (CL) en superficie en el sondeo SC-3. En los suelos granulares se encontraron contenidos de humedad entre el 8 y el 30 % con un valor medio del 15%, mientras que la fracción fina de éstos suelos no presentó comportamiento plástico a excepción de la capa de arena arcillosa encontrada en el sondeo SC-5 en la que la fracción fina mostró un límite líquido del 30% y límite plástico del 20% con lo cual su comportamiento es plástico; en los suelos finos encontrados en estos sondeos se hallaron valores de humedad de entre el 31 y el 33% con un valor medio del 32%, límite líquido del 36% y límite plástico del 21% por lo que su comportamiento es plástico.

En los sectores en que se hicieron los sondeos SC-7 y SC-8 se encontraron capas de espesor variable de arenas arcillosas de color café (SC), arenas limosas mal gradadas de color café (SM y SP-SM) y gravas mal gradadas de color café con limo (GP-GM). En los suelos granulares se encontraron contenidos de humedad entre el 4 y el 32 % con un valor medio del 18%. En parte de estos suelos se encontró que la fracción fina no presentaba comportamiento plástico, mientras que en las arenas arcillosas los valores de límite líquido de la fracción fina se encontraron entre el 32 y el 37% y límite plástico entre 20 y 22% por lo que se puede indicar que su comportamiento es plástico.

En el sector en que se llevó a cabo el sondeo SC-9 se encontraron arcillas con arena de color café (CH) y arcillas de color gris verdoso con arena (CL). En estas arcillas se encontraron contenidos de humedad entre el 36 y el 45 % con un valor medio del 40%. En estos suelos se encontraron valores del límite líquido entre el 43 y el 64% y límite plástico entre 22 y 31% por lo que se puede indicar que su comportamiento es plástico.

En la Figura 3-25 se aprecia la Carta de Plasticidad de Casagrande con los resultados de los ensayos de límites de consistencia para todos los suelos hallados.

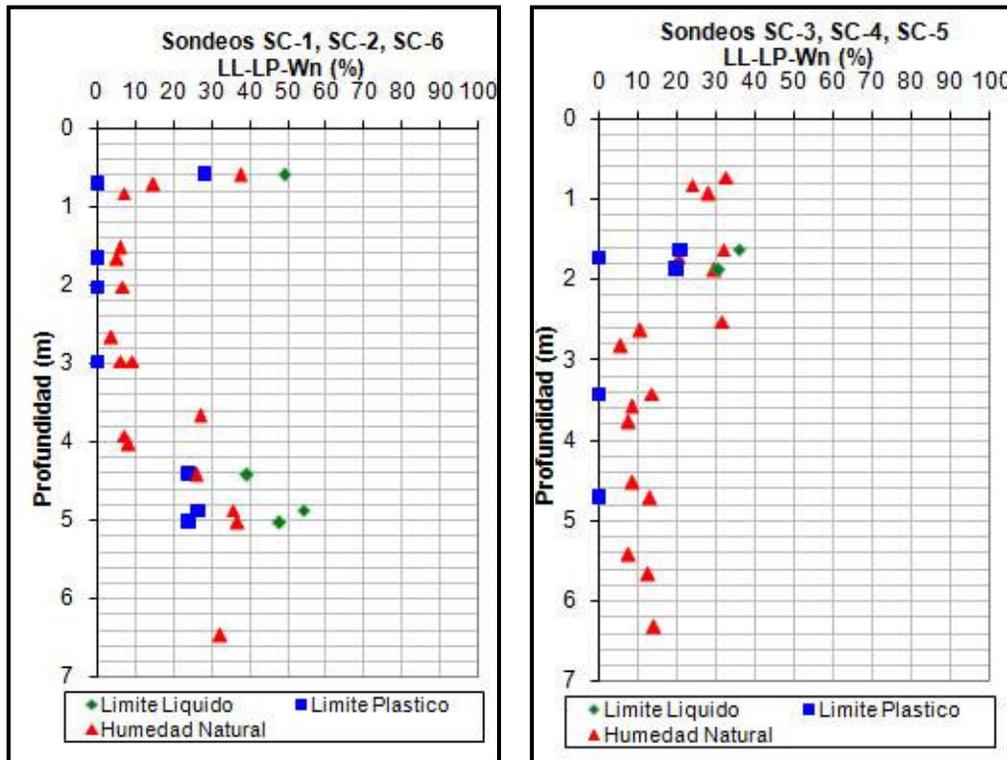


**Figura 3-25. Carta de Plasticidad de Casagrande para los materiales encontrados en el área de estudio**

De acuerdo con la carta de plasticidad de Casagrande, los ensayos efectuados muestran que la fracción fina de los suelos de la zona de estudio se clasifica principalmente como arcillas de plasticidad media (CL) y en algunos casos como arcillas de alta plasticidad (CH), aunque la fracción fina de parte de las muestras de suelos granulares presentaba un comportamiento no plástico.

En la Figura 3-27 y en la Figura 3-26 se aprecian graficas de variación del contenido de humedad, límite líquido y límite plástico en función de la profundidad, para los sondeos realizados. De acuerdo con lo mostrado en estas gráficas se puede indicar lo siguiente:

- En los sectores en que se hicieron los sondeos SC-1, SC-2 y SC-6 se encontró que entre la superficie y los 0.8 m de profundidad los valores de humedad están entre el 14 y el 37%, y que desde 1 m y hasta los 4 m de profundidad aproximadamente los valores de humedad caen por debajo del 10%, para alcanzar valores entre el 25 y el 37 % hacia el final de la profundidad de exploración. Los valores de los límites líquido y plástico de la fracción fina muestran cerca de la superficie valores del 49 y el 28% respectivamente mientras que para profundidades entre 1 y 4 m no presentan comportamiento plástico; a partir de este punto los valores hallados son de entre el 39 y el 54% para el límite líquido y de entre el 24 y el 27 % para el límite plástico. De acuerdo con lo mostrado en la Figura 3-26 a profundidades cercanas a los 0.8 m y por debajo de los 4 m de profundidad el contenido de humedad en el suelo está entre el límite líquido y el límite plástico.



**Figura 3-26 Variación de la humedad natural y los límites de consistencia en función de la profundidad para los sondeos SC-1 a SC-6**

- En los sectores en que se hicieron los sondeos SC-3, SC-4 y SC-5 se encontró que entre la superficie y los 2.5 m de profundidad los valores de humedad se encuentran entre el 20 y el 33%, y que desde 2.5 m y hasta la profundidad de exploración los valores de humedad se encuentran entre el 5 y el 14%. Los valores del límite líquido se encuentran entre el 30 y el 36% y los del límite plástico de la fracción fina del 20 al 21% entre la superficie y los 2.5 m de profundidad, mientras que en los demás materiales encontrados hasta la profundidad de exploración se encontró que la fracción fina no presentaba plasticidad. De acuerdo con lo mostrado en la Figura 3-26 a profundidades cercanas a los 2 m el contenido de humedad en el suelo se encuentra entre el límite líquido y el límite plástico.

- En los sectores en que se hicieron los sondeos SC-7 y SC-8 se encontró que entre la superficie y los 2 m de profundidad los valores de humedad se encuentran entre el 20 y el 32% con un valor medio del 28%, y que desde los 3 m y hasta la profundidad de exploración los valores de humedad se encuentran entre el 4 y el 22 % con un valor medio del 12%. Los valores de los límites líquido y plástico de la fracción fina muestran valores del 31 al 37% y del 20 al 22% respectivamente para las capas de arenas arcillosas encontradas en la superficie, mientras que para los materiales encontrados hacia el final de las perforaciones realizadas los suelos presentaban la fracción fina no plástica. De acuerdo con lo mostrado en la Figura 3-27 a profundidades cercanas a los 2 m el contenido de humedad en el suelo está entre el límite líquido y el límite plástico.

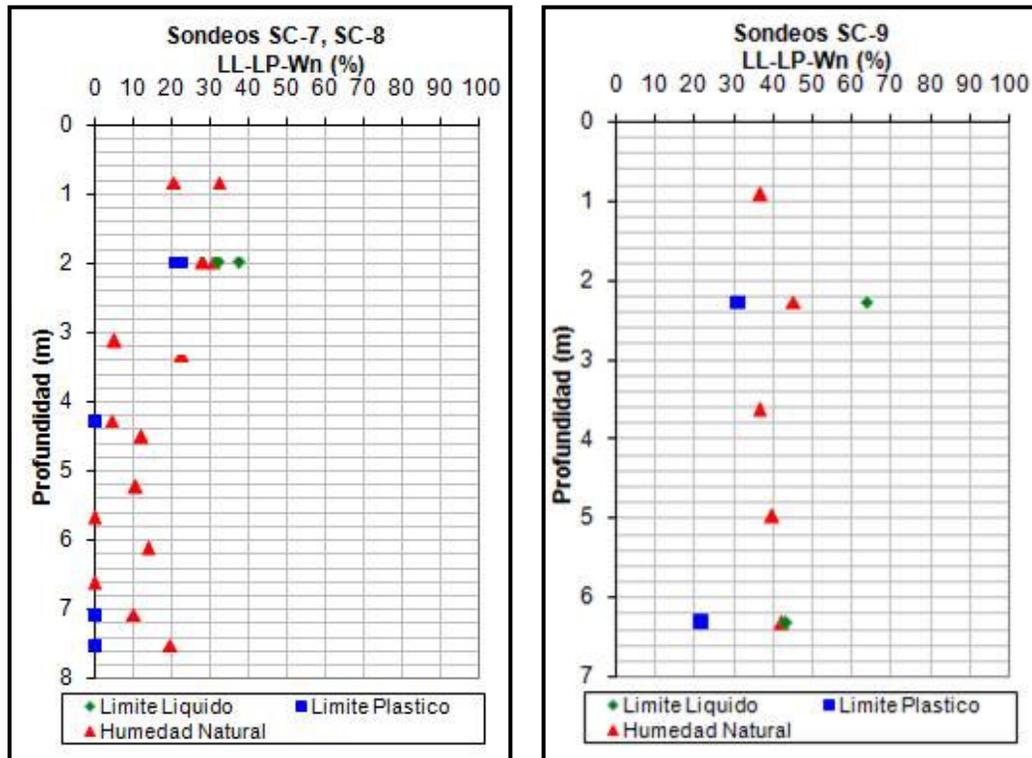


Figura 3-27 Variación de la humedad natural y los límites de consistencia en función de la profundidad para los sondeos SC-7 a SC-9

- Finalmente, en el sector en que se hizo el sondeo SC-9 se encontraron contenidos de humedad entre el 36 y el 45% con un calor medio del 40%. Para los suelos encontrados entre la superficie y los 5.6 m de profundidad se encontró que el límite líquido se encuentra en torno al 64% y el límite plástico en torno al 31%, mientras que los suelos hallados al final de la perforación presentan límite líquido del orden del 43% y límite plástico cercano al 21%. De acuerdo con lo mostrado en la Figura 3-27 el contenido de humedad en el suelo está entre el límite líquido y el límite plástico.

- **Características Granulométricas:** Básicamente se hace énfasis en el contenido de gravas, arenas y finos. Se observaron los siguientes aspectos:

- En el sondeo SC-2 entre 0 y 1 m de profundidad se encontró una capa de limo de color café que presenta un contenido de finos del 98% y de arenas del 2%. Además en el sondeo SC-2 por debajo de los 4.2 m se encontró una arcilla de color gris verdoso, al igual que en el sondeo SC-1 por debajo de los 4 m y del sondeo SC-6 por debajo de los 2.2m, la cual posee un contenido de arenas del 51% de de arenas del 49%. El resto de los materiales encontrados en estos sondeos corresponden a gravas y arenas mal gradadas con limo, los cuales presentan contenido de finos variable del 3 al 30%, contenido de arenas variable entre 45 y 70% y contenido de gravas variable del 37 al 47

%. De lo anterior se desprende que a excepción de la capa de limo encontrada en superficie en el sondeo SC-1 los materiales encontrados en los sondeos poseen un contenido apreciable de partículas gruesas, especialmente del tamaño de la arena, por lo que se puede indicar que la fracción granular tendrá un aporte importante al comportamiento de los suelos de los sectores en que se llevaron a cabo los sondeos SC-1, SC-2 y SC-6.

- En el sondeo SC-3 entre 0 y 3.2 m de profundidad se encontró una capa de arcilla de color gris verdoso la cual presenta un contenido de finos del 93% y de arenas del 7%. El resto de los materiales encontrados en estos sondeos corresponde a arenas mal gradadas con limo, las cuales presentan contenido de finos variable del 6 al 42%, contenido de arenas variable entre 46 y 80% y contenido de gravas variable del 0 al 26 %. A partir de esto se puede indicar que a excepción de la capa de arcilla encontrada en superficie en el sondeo SC-3, el comportamiento de los suelos encontrados se verá influido principalmente por el de la fracción granular; la influencia de la fracción fina será más importante para los suelos encontrados en superficie en el sondeo SC-5 en vista de que ésta presenta un comportamiento plástico.

- En los sondeos SC-7 y SC-8 se encontraron arenas y gravas mal gradadas con limo y arena, materiales que presentan contenidos de finos variables entre el 5 y el 45%, contenidos de arenas entre 40 y 88 % y contenidos de gravas de entre el 0 y el 40%. Con base en los anterior se puede indicar que el comportamiento de los suelos encontrados se verá influido por el de la fracción granular; la influencia de la fracción fina será más importante para los suelos encontrados en superficie en el sondeo SC-8 ya que ésta presenta un comportamiento plástico.

- En el sondeo SC-9 se encontraron arcillas de color café y de color gris verdoso que presentan contenidos de finos de entre el 77 y el 100% y contenidos de arenas de entre el 0 y el 23%. Debido a esto se puede indicar que el comportamiento de los suelos encontrados se verá influido por el de la fracción fina.

- **Peso Unitario:** El peso unitario total para los suelos arcillosos presentes en el sitio de estudio se encuentra entre 1.74 y 1.90 Ton/m<sup>3</sup>, mientras que el peso unitario seco se encuentra entre 1.28 y 1.41 Ton/m<sup>3</sup>. Dada la composición parcialmente granular de buena parte de los suelos encontrados en la zona de estudio, no fue posible obtener una mayor cantidad de muestras inalteradas para hacer la determinación del peso unitario.

- **Resistencia a la compresión:** De acuerdo con lo que se indicaba anteriormente, la composición parcialmente granular de buena parte de los suelos presentes en la zona de estudio hizo que no fuera posible obtener más muestras inalteradas; debido a esto no se realizaron ensayos de compresión inconfiada en los materiales finos por lo cual no se cuenta con valores de resistencia no drenada provenientes de los mismos.

- **Resistencia a la penetración estándar:** Se tomó como referencia el número de penetración estándar (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> obtenido al corregir los obtenidos en campo. La variación de los valores de (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> se presenta en las gráficas de la Figura 3-28 y en la Figura 3-29, a partir de las cuales se puede indicar lo siguiente:

- Los suelos de los sectores en que se hicieron los sondeos SC-1, SC-2 y SC-6 presentan para los suelos granulares valores de  $(N1)_{60}$  entre 3 y 23 golpes/pie con lo que su densidad relativa va de suelta a media. De otro lado los suelos finos presentan valores de  $(N1)_{60}$  de entre 6 y 8 golpes/pie con lo que su consistencia es media. Los valores de  $(N1)_{60}$  no presentan una tendencia clara de variación con la profundidad.

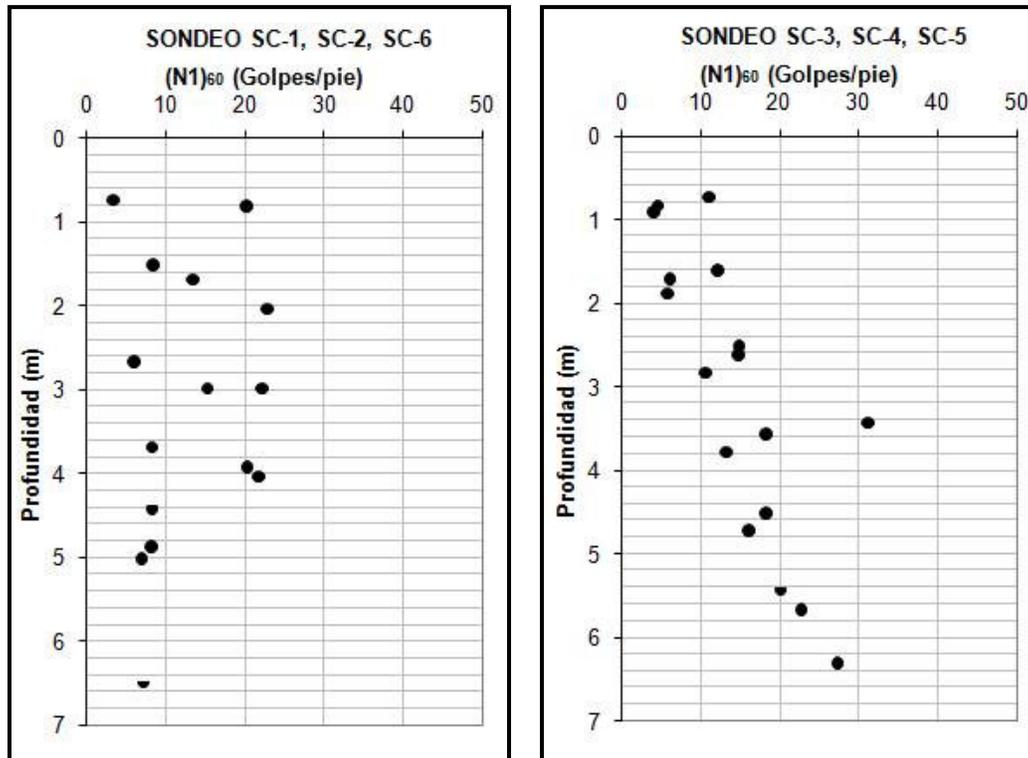


Figura 3-28 Variación de los valores de  $(N1)_{60}$  en función de la profundidad para los sondeos SC-1 a SC-6

- Los suelos de los sectores en que se hicieron los sondeos SC-3, SC-4 y SC-5 presentan para los suelos granulares valores de  $(N1)_{60}$  entre 4 y 31 golpes/pie con lo que su compactación va de suelta a densa. De otro lado los suelos finos presentan valores de  $(N1)_{60}$  de entre 11 y 15 golpes/pie con lo que se puede indicar que su consistencia es firme. Los valores de  $(N1)_{60}$  presentan una tendencia de aumento con la profundidad.

- En el caso de los suelos de los sectores en que se hicieron los sondeos SC-7 y SC-8, los cuales poseen composición granular, se hallaron valores de  $(N1)_{60}$  entre 3 y 25 golpes/pie con lo que su densidad relativa va de suelta a media. Estos materiales presentan una tendencia de aumento con la profundidad de los valores de  $(N1)_{60}$  entre la superficie y los 4.5 m de profundidad y entre los 6.5 y 8 m, mientras que para el rango comprendido entre los 4.5 y los 6.5 m se registra una disminución de dichos valores.

- Finalmente, para los suelos encontrados en el sondeo SC-9, los cuales poseen composición fina, se encontraron valores de  $(N1)_{60}$  entre 3 y 14 golpes/pie con lo que su consistencia va de blanda a firme. Los valores de  $(N1)_{60}$  se mantienen constantes entre la superficie y los 2.5 m de profundidad y registran una tendencia de leve aumento con la profundidad a partir de este punto.

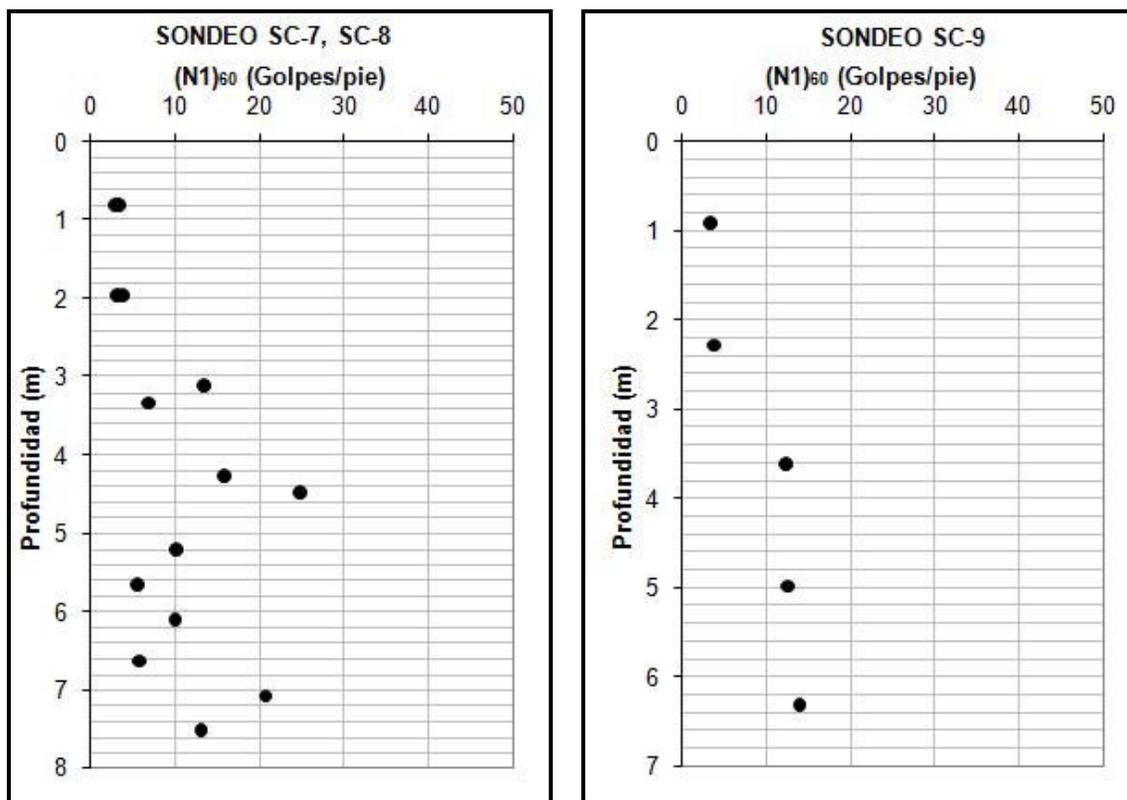


Figura 3-29 Variación de los valores de  $(N1)_{60}$  en función de la profundidad para los sondeos SC-7 a SC-9

### 3.6.3.2 Perfil Geotécnico promedio

De acuerdo a los resultados obtenidos en la exploración del subsuelo, los ensayos de laboratorio y las observaciones de campo, se identifican cinco tipos de materiales en el sitio de estudio, los cuales presentan espesores y distribución variable. Las características de cada uno de los materiales definidos se presentan a continuación:

- **Material 1. Gravas arenosas mal gradadas con limo:** Corresponde a gravas mal gradadas de forma subredondeada con limo y arena de color café, posee bajo contenido de humedad, fracción fina no plástica y compacidad relativa media a muy densa. Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural ( $w_n$ ): 8%
- Limite Líquido (LL): NL

- Limite Plástico (LP): NP
- Composición granulométrica: Gravas: 47%, Arenas: 46% y Finos: 7%
- Peso unitario total ( $\gamma_t$ ): 1.71 Ton/m<sup>3</sup>
- Peso unitario seco ( $\gamma_d$ ): 1.58 Ton/m<sup>3</sup>
- Resistencia a la penetración estándar normalizada (N1)<sub>60</sub>: entre 14 y 25 golpes/pie

- **Material 2. Arcilla de color gris verdoso:** Corresponde a una capa de arcilla de color gris verdoso con arena, vetas de color café y manchas de óxido, presenta contenido de humedad medio a alto, plasticidad media y consistencia media a firme. Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural ( $w_n$ ): 30%
- Limite Líquido (LL): 43%
- Limite Plástico (LP): 24%
- Composición granulométrica: Gravas: 0%, Arenas: 20% y Finos: 80%
- Peso unitario total ( $\gamma_t$ ): 1.90 Ton/m<sup>3</sup>
- Peso unitario seco ( $\gamma_d$ ): 1.51 Ton/m<sup>3</sup>
- Resistencia a la penetración estándar normalizada (N1)<sub>60</sub>: Entre 7 y 15 golpes/pie

- **Material 3. Arenas mal gradadas de color café y gris:** Corresponde a arenas mal gradadas de color café y gris con gravas de forma subredondeada y con limo, posee contenido de humedad bajo a medio, fracción fina no plástica y compacidad relativa suelta a densa. Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural ( $w_n$ ): 11%
- Limite Líquido (LL): NL
- Limite Plástico (LP): NP
- Composición granulométrica: Gravas: 18%, Arenas: 67% y Finos: 15%
- Peso unitario total ( $\gamma_t$ ): 1.71 Ton/m<sup>3</sup>
- Peso unitario seco ( $\gamma_d$ ): 1.54 Ton/m<sup>3</sup>
- Resistencia a la penetración estándar normalizada (N1)<sub>60</sub>: entre 14 y 25 golpes/pie

- **Material 4. Arenas arcillosas de color café:** Corresponde a arenas de grano fino de color café con manchas de óxidos, posee contenido medio de humedad, fracción fina de plasticidad media y compacidad relativa suelta a media. Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural ( $w_n$ ): 27%
- Limite Líquido (LL): NL
- Limite Plástico (LP): NP
- Composición granulométrica: Gravas: 5%, Arenas: 55% y Finos: 40%
- Peso unitario total ( $\gamma_t$ ): 1.75 Ton/m<sup>3</sup>
- Peso unitario seco ( $\gamma_d$ ): 1.38 Ton/m<sup>3</sup>
- Resistencia a la penetración estándar normalizada (N1)<sub>60</sub>: entre 7 y 22 golpes/pie

- **Material 5. Arcilla de color gris y café:** Corresponde a una capa de arcilla de color gris y café con manchas de óxido, presenta contenido de humedad medio a alto, alta plasticidad y consistencia blanda a firme. Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural ( $w_n$ ): 3 9%
- Limite Líquido (LL): 59%
- Limite Plástico (LP): 29%
- Composición granulométrica: Gravas: 0%, Arenas: 0% y Finos: 100%
- Peso unitario total ( $\gamma_t$ ): 1.74 Ton/m<sup>3</sup>
- Peso unitario seco ( $\gamma_d$ ): 1.28 Ton/m<sup>3</sup>
- Resistencia a la penetración estándar normalizada  $(N1)_{60}$ : Entre 3 y 13 golpes/pie

En cuanto a la condición del agua sub-superficial en el sitio de estudio, se encontró el nivel freático a las siguientes profundidades: 0.80 m en el sondeo SC-1, 1.20 m en el sondeo SC-2, 2.1 m en el SC-3, 2.5 m en el SC-4, 2.6 m en el SC-5, 2.2 m en el SC-6, 5.5 m en el SC-7, 4.8 m en el SC-8 y 5.7 m en el SC-9. Se debe tratar de controlar el contenido de agua en la masa de suelo que sirva como estrato portante para el proyecto, en vista de que el contenido de humedad encontrado en parte de los materiales investigados se encuentra cerca del límite plástico, con el fin de evitar que se degraden las propiedades mecánicas de dichos materiales.

### 3.6.3.3 Parámetros de Resistencia al Corte

- **Con base en los resultados de las pruebas de compresión inconfiada:** La composición granular de los suelos de la zona de estudio hizo que no fuera posible obtener muestras inalteradas por lo que en este informe no se reportan parámetros de resistencia obtenidos de los resultados de las pruebas de compresión inconfiada efectuadas, sino solamente los hallados a partir de las pruebas de penetración estándar efectuadas.

- **Con base en los resultados de las pruebas de SPT:** La determinación de los parámetros de resistencia al corte (cohesión  $c'$  y ángulo de fricción  $\phi'$ ) se realizó a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de penetración estándar SPT, para los diferentes materiales encontrados en cada sondeo (SC-1 a SC-9). Los resultados del ensayo SPT fueron corregidos para tener en cuenta el confinamiento y la energía promedio aplicada, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$N'_i = C_N * N * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4$$

En donde:

- $N'_i$  : Número de golpes corregido para un esfuerzo de confinamiento de 1 kg/cm<sup>2</sup> y un determinado nivel de transmisión de energía
- $C_N$  : Factor de ajuste para tener en cuenta el nivel de confinamiento.  
El valor de  $C_N$  Se evaluó de la siguiente manera:

$$C_N = 1 - 1.41 \log\left(\frac{\sigma'_v}{10}\right) \quad \text{Para } \sigma'_v < 1 \text{ Ton/m}^2$$

$$C_N = 1 - 0.92 \log\left(\frac{\sigma'_v}{10}\right) \quad \text{Para } \sigma'_v > 1 \text{ Ton/m}^2$$

$$C_N \leq 2$$

- $\eta_1$  : Factor de corrección por caída del martillo. Se obtiene como la relación entre la energía impartida por el martillo a la parte superior del sistema de varillas y la energía teórica en caída libre. Las eficiencias medias son diferentes en cada país así, para Japón la eficiencia es del 72%, para USA del 60% y para Colombia del orden de 45%.
- $\eta_2$  : Factor de corrección por longitud del sistema de varillas. Los valores empleados de este factor se encuentran entre 0.75 y 0.95 dependiendo de la longitud de tubería empleada en cada caso.
- $\eta_3$  : Factor de corrección por presencia de revestimiento interno. Debido a que no se utilizó revestimiento, el factor de corrección es 1.0.
- $\eta_4$  : Factor de corrección por diámetro de la perforación. Los diámetros de las perforaciones fueron inferiores a 12 cm, por lo cual el factor de corrección es 1.0

Para estimar los valores de ángulo de fricción equivalente ( $\phi_{equiv}$ ), se utilizó la siguiente expresión:

$$\phi_{equiv} = 15 + \sqrt{20 \cdot N'_i} \quad (\text{Kishida})$$

Con el valor de  $\phi_{eq}$ , se estiman los parámetros  $c'$  y  $\phi'$  por material siguiendo la metodología propuesta por González, A. J. (1999) que consiste en graficar puntos ( $\sigma'_v$ ,  $\tau$ ) en planos Mohr -Coulomb, donde los coeficientes de una regresión lineal, corresponden a los parámetros geomecánicos efectivos buscados. El esfuerzo efectivo vertical  $\sigma'_v$ , se calcula como la diferencia entre el esfuerzo geoestático total y la presión de poros  $y$ , el esfuerzo cortante a la profundidad del ensayo,  $\tau$ , se obtiene como el producto del esfuerzo efectivo vertical por la tangente del ángulo de fricción equivalente estimado anteriormente.

En el Anexo D se presenta la tabla resumen de corrección de N del ensayo de penetración estándar y en la Figura 3-30 a la Figura 3-34 se muestran curvas de  $\tau$  vs  $\sigma'_v$  para los diferentes materiales encontrados.

En las gráficas elaboradas para los materiales 1 a 5 encontrados se aprecia un buen grado de correlación de la tendencia lineal, puesto que el coeficiente de correlación en ambos casos es superior al 90%.

Además, a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de compresión inconfiada y algunas correlaciones establecidas con el valor de N de campo, es posible determinar la resistencia al corte no drenada  $C_u$  de los materiales finos. Para el caso del ensayo SPT, se utilizó la correlación propuesta por Stroud (1974)

$$C_u = 4.4 \cdot N_{Campo} \quad (\text{kN / m}^2).$$

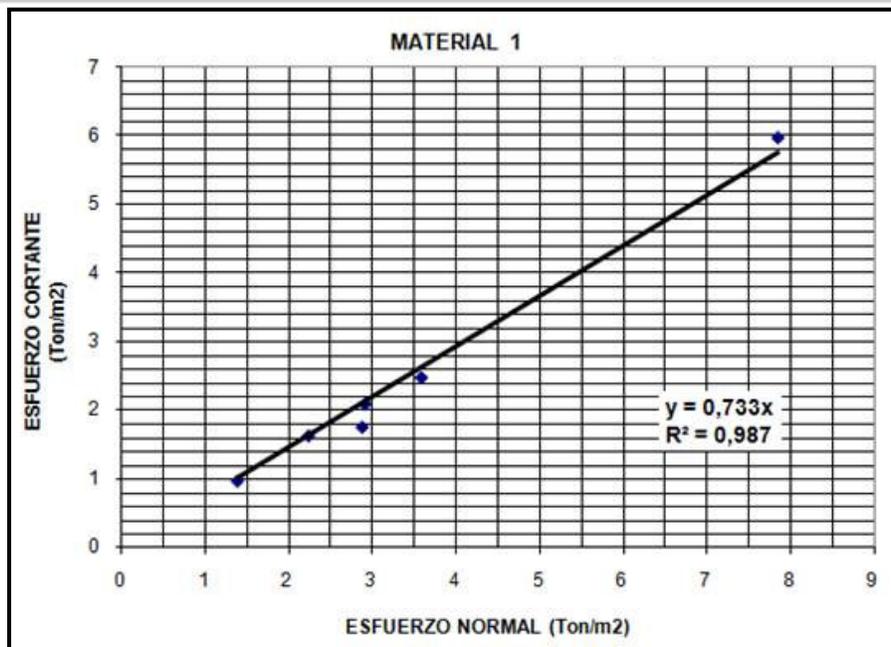


Figura 3-30 Graficas de evaluación de c y  $\phi$  a partir del valor de N de SPT – Material 1

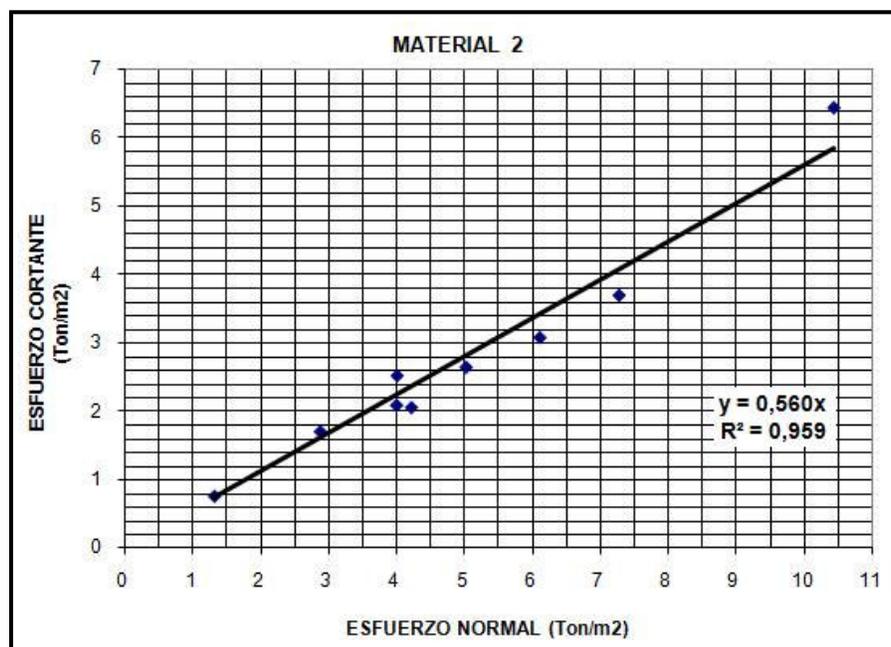


Figura 3-31 Graficas de evaluación de c y  $\phi$  a partir del valor de N de SPT – Material 2

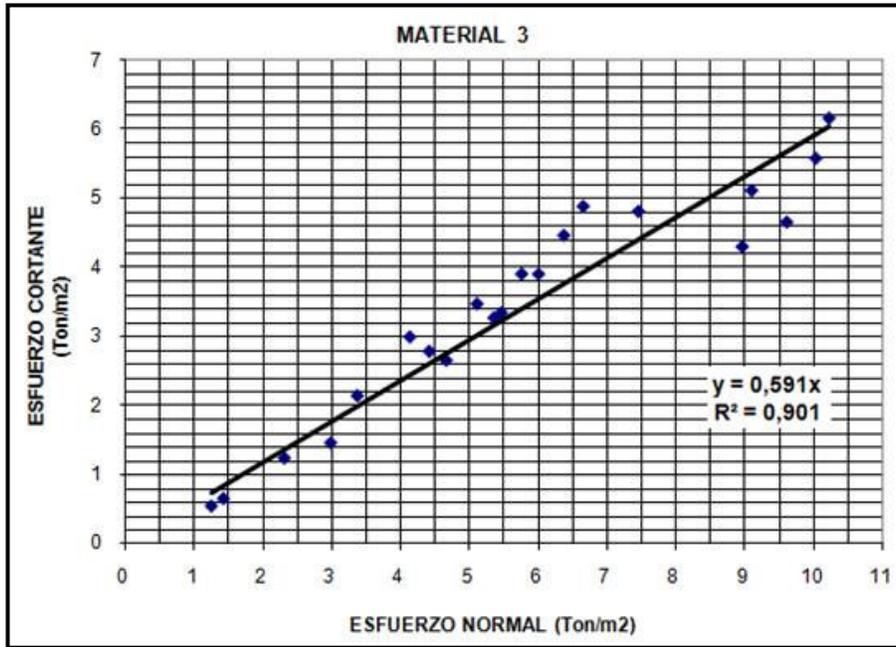


Figura 3-32 Graficas de evaluación de c y  $\phi$  a partir del valor de N de SPT – Material 3

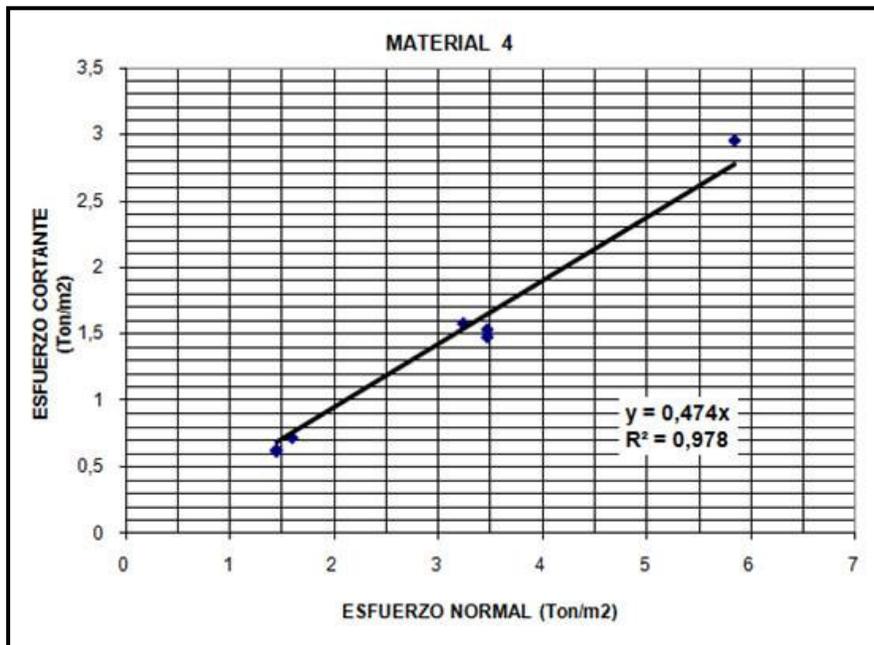


Figura 3-33 Graficas de evaluación de c y  $\phi$  a partir del valor de N de SPT – Material 4

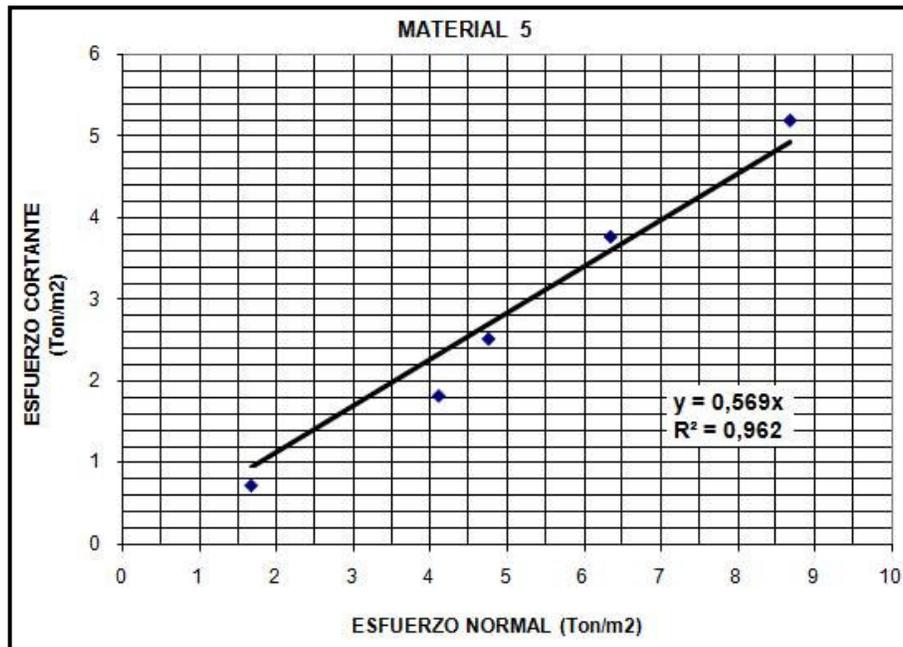


Figura 3-34 Graficas de evaluación de c y φ a partir del valor de N de SPT – Material 5

En la Tabla 3-21 se presentan los valores promedio de  $c'$  y  $\phi'$  obtenidos para cada material, mediante el ensayo de penetración estándar SPT y compresión confinada.

Tabla 3-21 Valores de cohesión y ángulo de fricción obtenidos

Material	$c$ (Ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	Tipo de Ensayo
Material 1. Gravas arenosas mal gradadas con limo	-	31.7-37.4	SPT
	0	36.2	SPT
Material 2. Arcilla de color gris verdoso	8.4	0	SPT
	-	26.8-32.3	SPT
	0	29.3	SPT
Material 3. Arenas mal gradadas de color café y gris	-	22.8-39.9	SPT
	0	31.8	SPT
Material 4. Arenas arcillosas de color café	-	26.8-36.0	SPT
	0	25.4	SPT
Material 5. Arcilla de color gris y café	9.2	0	SPT
	-	22.8-31.1	SPT
	0	29.6	SPT

Para efectos de diseño, se adoptarán los valores de  $c'$  y  $\phi'$  para cada material mostrados en la Tabla 3-22.

**Tabla 3-22 Parámetros de resistencia definitivos para cada material.**

Material	$c$ (Ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
Material 1. Gravas arenosas mal gradadas con limo	0	36.2
Material 2. Arcilla de color gris verdoso	0	29.3
Material 3. Arenas mal gradadas de color café y gris	0	31.8
Material 4. Arenas arcillosas de color café	0	25.4
Material 5. Arcilla de color gris y café	0	29.6

### 3.6.3.4 Parámetros de Compresibilidad

Para el Material 1 se toma un valor del módulo elástico de 2681 Ton/m<sup>2</sup>, para el Material 2 1455 Ton/m<sup>2</sup>, para el Material 3 2221 Ton/m<sup>2</sup>, para el Material 4 613 Ton/m<sup>2</sup> y para el Material 5 1609 Ton/m<sup>2</sup>.

## 3.7 FACTOR ANTRÓPICO

### 3.7.1 Urbanismo y catastro

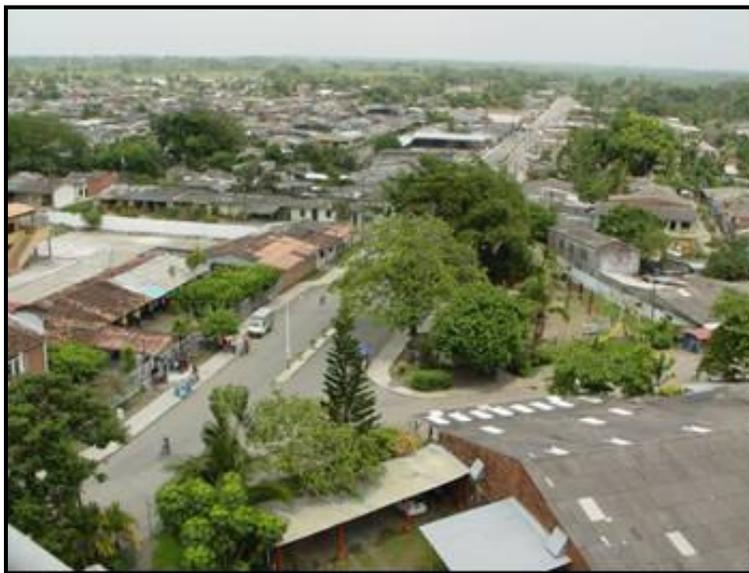
El asentamiento comenzó en torno al Río Chigorodó principalmente en el costado sur del río, creando una alineación irregular de las calles y carreras de municipio, ocasionando que manzanas y barrios sean geoméricamente irregulares pero a partir de la carretera al Mar hacia el sur del municipio se presenta distribución de las manzanas más regular y uniforme. La cabecera del municipio se encuentra en el costado noroccidental, sobre la margen sur (izquierda) del Río Chigorodó.

Chigorodó actualmente se encuentra conformado por 35 barrios, ocupando mayormente el costado sur del Río Chigorodó, la carretera al Mar desde su construcción se constituyó el eje estructural de la maya vial, el mayor desarrollo social se encuentra a lo largo de la carretera al Mar, ya que ésta fragmenta la cabecera municipal en dos, convirtiéndose es el principal corredor comercial y de servicios de la zona.

La parte o zona antigua de la cabecera la disposición original o tipología de las casas es de un piso, pero en la actualidad tienen la tendencia de convertirse edificaciones de dos y tres pisos. El complemento tiene una forma regular y homogénea, trayendo como consecuencia una densificación uniforme de la zona. El crecimiento de la cabecera se ha visto limitado por propiedades privadas como fincas ganaderas y bananeras.

### 3.7.2 Vías

De acuerdo con los datos del POT, en Chigorodó 25% de los 128 km que componen la red vial se encuentra con una superficie de rodadura pavimentada y el restante 75 % se encuentra en afirmado.



**Figura 3-35. Imagen de las vías de Chigorodó**

El 35% de la red vial del municipio, equivalentes a 45 km, tiene una jerarquía de red primaria, la red secundaria representa el 0 % y la terciaria corresponde al 65 %, 83 km, de la red vial total del municipio de Turbo.

El municipio administra el 30 % de la red vial del Municipio de Chigorodó, correspondiente a 38 km, el Departamento tiene bajo su administración el 27 % equivalente a 34 km, la red vial nacional representa el 27 %, 35 km y 21 km de la red vial es privada o comunal equivalentes al 16%.

El área del municipio es de 608km<sup>2</sup>, lo que arroja una densidad de 211m/km<sup>2</sup>.

La vía troncal atraviesa el municipio entrando por el extremo Sureste y saliendo por el norte hacia el municipio de Carepa.

La infraestructura vial del municipio se encuentra en condiciones deficientes, ya que la mayoría de las vías no cuentan con superficie de rodadura pavimentada, factor que impide el normal tránsito vehicular. En la cabecera municipal solamente se encuentran pavimentados tres tramos de vía a parte de la troncal principal. La plaza de mercado y la terminal de transporte terrestre se encuentran ubicadas en el borde oriental de la vía troncal, en este costado de la vía hay pequeños tramos de red vial secundaria que se encuentran sin pavimentar.

### **3.7.3 Manejo de aguas de esorrentía y alcantarillado**

Los afluentes del Río Chigorodó los caños La Cotorra y El Bohío sirven de desagüe de las aguas de lluvia y aguas negras de las poblaciones asentadas sobre la margen del Río, hasta llegar a la cabecera urbana del Municipio.

Es sistema de alcantarillado más deficiente de los servicios públicos prestados, sólo la Cabecera Municipal y el Corregimiento de Barranquillita cuentan con redes, no poseen sistema de tratamiento de aguas servidas. El vertimiento se efectúa directamente al río y a un costado de cada asentamiento.

Las aguas contaminadas por actividades agrícolas son vertidas directamente a las corrientes, las de uso domestico en algunas veredas han construido pozos sépticos caseros colectivos.

Los barrios que no están conectados a la red, representan el 27 % de las viviendas en la cabecera municipal, vierten las aguas al río Chigorodó y/o a los caños de La Cotorra y El Bohío, convirtiéndolos en foco de contaminación. Las excretas en el resto del área urbana y el área rural, son vertidas directamente al río sin tratamiento previo, a un campo abierto, en letrinas o en pozos sépticos construidos sin control respecto de las especificaciones.

### **3.8 CARACTERIZACIÓN SOCIAL DE LA POBLACIÓN**

Las variables socioeconómicas del municipio y de la población que vive en el área de influencia directa de la amenaza por inundación en el municipio, constituye un factor importante en la evaluación de la vulnerabilidad<sup>1</sup> de la sociedad, la cual permite establecer, sobre el contexto socio – económico, la capacidad de respuesta de una sociedad amenazada<sup>2</sup>. Ante la ocurrencia de una inundación potencialmente dañina, los hogares ubicados bajo la línea de pobreza presentan una mayor dificultad para su atención y recuperación que los de altos ingresos, ya que no cuentan con los recursos necesarios para hacer frente a la calamidad sufrida y, por tanto, su capacidad de respuesta puede llegara a ser nula.

Por esta razón, a continuación se describen las principales variables socio-económicas del municipio y de las manzanas ubicadas en el área de estudio, que han sido tomadas del Censo realizado por el DANE en el año 2005 y de las proyecciones de población hechas por la misma entidad.

#### **3.8.1 Variables municipales**

##### **3.8.1.1 Población**

El Municipio de Chigorodó ha tenido un proceso continuo de urbanización, ya que para 1973 la población urbana representaba el 52.4%, en 1993 era de 75%<sup>3</sup>, para el 2005 la población total municipal era de 58.911, de la cual el 84.2% (49.631) se concentraba en la cabecera municipal, en tanto que el 15.8% (9.280) de los habitantes vivían en la zona

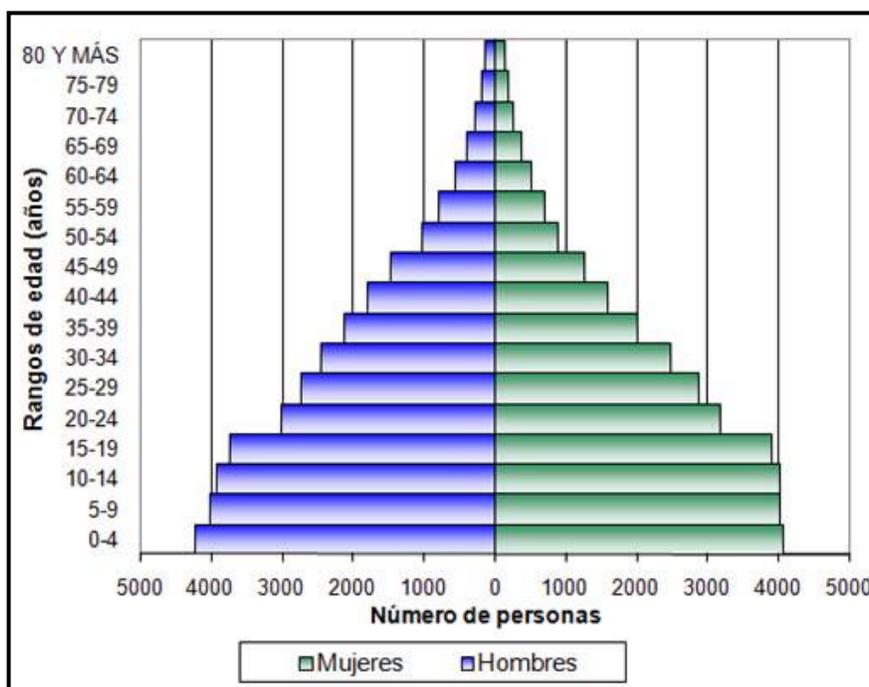
<sup>1</sup> Probabilidad de ser dañado o herido. Se relaciona tanto con la exposición a un riesgo como a la capacidad que tiene una comunidad, hogar o persona para enfrentarlo. CEPAL, Naciones Unidas. 2002. Documento Electrónico. Vulnerabilidad socio demográfica: viejos y nuevos riesgos para comunidades, hogares y personas.

<sup>2</sup> La vulnerabilidad es compleja, multicausal y está compuesta por varias dimensiones analíticas, pues confluyen aspectos de los individuos u hogares y características económicas, políticas, culturales y ambientales de la sociedad. BUSO G. 2002. La vulnerabilidad sociodemográfica en Nicaragua: Un desafío para el crecimiento económico y la reducción de la pobreza. Naciones Unidas. CEPAL. CELADE.

<sup>3</sup> Plan de Ordenamiento Territorial. Parte 1. Diagnóstico sociocultural. Pág. 9

rural. Según las proyecciones efectuadas por el DANE en el 2009 la población total del municipio es de 65.414 personas, de ellas, el 85.8% (56.150) ocupan el casco urbano y el 14.2% (9.264) viven en el área rural.

Al examinar la estructura poblacional es posible decir que el 37.4% de la población tiene edades entre 0 y 14 años, el 58.2% de los habitantes municipales está entre los 15 y 59 años de edad y el 4.6% de la población es mayor de 60 años. Además, existe una distribución porcentual muy similar entre hombres y mujeres, con una representación del 50.4% y 49.6% de cada género respectivamente, lo cual se muestra en la Figura 3-36. Ello indica que la población del municipio corresponde a un comportamiento expansivo, con predominio de los grupos de edad jóvenes.



**Figura 3-36 Distribución poblacional por grupo de edad. Municipio de Chigorodó 2009.**  
 Fuente: Información DANE. Elaboración propia

### 3.8.1.2 Servicios públicos

La cobertura de servicios públicos, especialmente de agua potable y saneamiento básico<sup>4</sup>, inciden directamente en la salud de la población y por tanto en su vulnerabilidad. A menor cobertura de estos servicios o una baja calidad del agua suministrada, aumentan los indicadores de morbilidad y enfermedades diarreicas agudas, incrementando la vulnerabilidad social y disminuyendo la calidad de vida de las personas. Según el censo del 2005, las coberturas de acueducto, alcantarillado y energía eléctrica en el municipio eran de 52%, 80% y 89% respectivamente.

<sup>4</sup> Según el numeral 14.1 de la Ley 142 de 1994, el saneamiento básico hace referencia a las actividades propias del conjunto de los servicios domiciliarios de alcantarillado y aseo.

Según el Subsistema de información para vigilancia de calidad de agua potable –SIVICAP del Instituto Nacional de Salud la calidad del agua suministrada en el municipio durante los últimos tres años se ha mantenido en el rango correspondiente a un agua apta para consumo humano cuyo consumo no representa un riesgo para la salud<sup>5</sup>.

### **3.8.1.3 Hogares**

Con relación a la información de sobre hacinamiento, según el censo de 2005, en el municipio el 36% (4.946) de los hogares presentaban condiciones de hacinamiento, indicando con ello un déficit habitacional cualitativo y cuantitativo elevado.

Por otra parte, según la base de datos del SISBEN<sup>6</sup>, a 3 de marzo de 2009, 42.349 personas que viven en el área urbana del municipio se encontraban inscritas en los niveles 1,2 y 3, es decir que podrá acceder a los subsidios que otorga el Estado a través de los diferentes programas de salud, educación, subsidios, vivienda, etc. de acuerdo con la reglamentación de cada uno de ellos. Ello indica que el 75.4% de la población urbana del municipio se considera con un elevado nivel de vulnerabilidad.

Las razones, manifestadas por las personas, para el cambio de lugar de residencia se relacionan principalmente con razones familiares (45.2%) y la dificultad de conseguir trabajo (19.7%).

### **3.8.1.4 Las viviendas**

En un 92% de los casos, las viviendas son empleadas únicamente como sitio de residencia, en tanto que en un 8% es empleada como unidad económica. Los materiales predominantes en las paredes de las viviendas corresponde a bloque, ladrillo, piedra o madera pulida en un 78.5%, seguido de madera pulida, tabla o tablón en un 14.4%, un 6.2% en tapia pisada, adobe o bareque y un 0.8% en otros materiales. En tanto que los materiales predominantes en los pisos son el cemento o gravilla en un 82%.

## **3.8.2 Variables área de influencia.**

Con base en el diagnóstico de la problemática de amenazas, vulnerabilidad y riesgo por inundación del Río Chigorodó, y de los resultados arrojados por el estudio base se identificaron 81 manzanas ubicadas en los barrios Las Palmas, El Camping, El Centro, Casablanca, Simón Bolívar, Ferrini, La Playa, Brisas del Río y Guayabal como área de estudio.

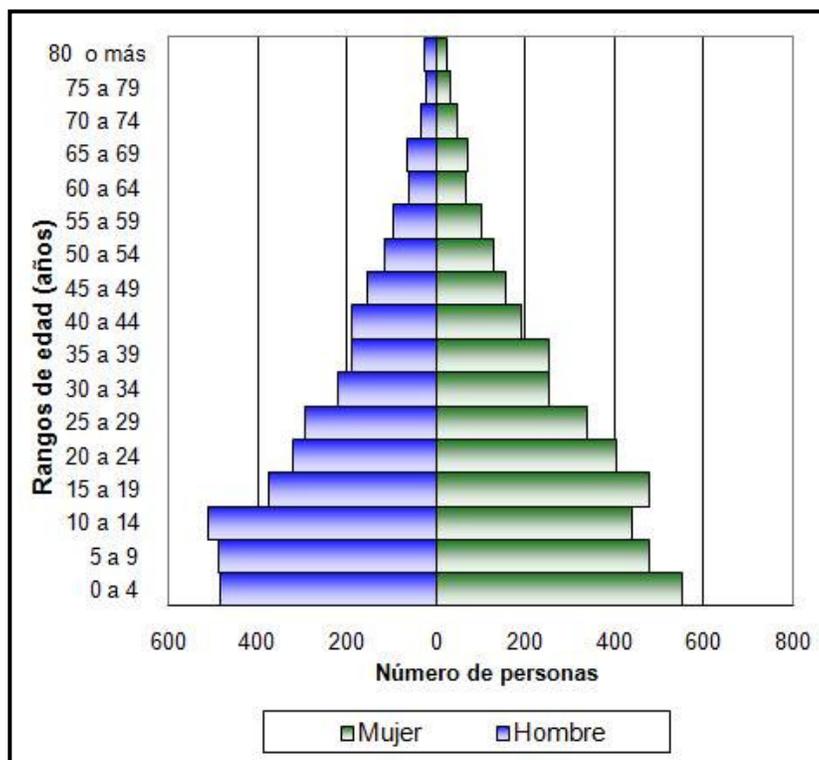
### **3.8.2.1 Población**

Tomando la información reportada por el Censo de 2005, elaborado por el DANE, para las 81 manzanas es posible decir que el comportamiento en edades y porcentaje masculino y femenino es muy similar al municipal.

<sup>5</sup> Resolución 2115 de 2007. Artículo 15. <http://www.ins.gov.co/?idcategoria=6110>

<sup>6</sup> El Sisben es el Sistema de Identificación de Potenciales beneficiarios de Programas Sociales. <http://www.sisben.gov.co/>

El total de la población censada en estas manzanas fue de 7.672 personas, de ellas, 2.951 (38.5%) personas que tiene edades entre 0 y 14 años, 4.260 (55.5%) personas están entre los 15 y 59 años de edad y 461 personas (6.0 %) es mayor de 60 años. Además, existe una distribución porcentual muy similar entre hombres y mujeres, con una representación mayoritaria de la población femenina 52.2% (4.001 personas) y un 47.8% (3.671 personas) de población masculina. En la Figura 3-37 se presenta la distribución poblacional por edad.



**Figura 3-37. Distribución poblacional por grupo de edad. Manzanas Área de Estudio. Municipio de Chigorodó 2005. Fuente: Información DANE. Elaboración propia.**

La figura indica que la población del área sujeto de estudio corresponde a un comportamiento expansivo, con predominio de los grupos de edad jóvenes, con un aumento claro de mujeres jóvenes entre los 14 a 19 años, con relación a los hombres de la misma edad.

Con relación a la escolaridad de los habitantes de éstas manzanas, se puede decir que el 18.6% de la población no cuenta con ningún nivel de escolaridad, el 13.8% han llegado a cumplir todo el ciclo de básica primaria, en tanto que el 10.8% de la población ha completado el ciclo hasta grado 11.

Por otra parte, el número de personas reportadas con alguna limitación física, que habitan en el área de estudio eran 493 personas, que corresponde al 6.5% del total de la población.

### **3.8.2.2 Servicios públicos.**

La cobertura de servicios públicos, según el censo del 2005, en el área sujeto de estudio, eran de 74.4% para acueducto, 92.7% en alcantarillado y 94.9% en energía eléctrica, indicando una mayor cobertura que en el promedio municipal.

### **3.8.2.3 Las viviendas**

En el área de estudio las viviendas son empleadas como sitio de residencia exclusiva en un 88.8% de los casos, como uso para el desarrollo de alguna actividad económica un 11.2%.

El tipo de vivienda predominante es la casa con un 62.8% de representatividad, seguido del apartamento 22.6%, en tanto que los inquilinatos o tipo cuarto se presentan en un 14.5%.

## CONTENIDO

4	EVALUACIÓN DE LA AMENAZA .....	3-1
4.1	INTRODUCCIÓN.....	3-1
4.2	AMENAZA POR TORRENCIALIDAD.....	3-1
4.3	AMENAZA POR INUNDACIÓN.....	3-1
4.3.1	Evaluación hidráulica .....	3-3
4.3.2	Categorización de la Amenaza.....	3-16
4.3.3	Precisión de la modelación .....	3-18
4.3.4	Resultados .....	3-19
4.4	AMENAZA POR INESTABILIDAD DE MÁRGENES.....	3-20
4.4.1	Condiciones Actuales.....	3-20
4.4.2	Evaluación de la Amenaza .....	3-20

## **1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Con la información base presentada en los capítulos anteriores, especialmente la geológica y geomorfológica, de hidrológica e hidráulica y de geotécnica, se procede a establecer las zonas de amenaza por inundación, avenidas torrenciales e inestabilidad de márgenes en el sector del río Chigorodó, a la altura del casco urbano del municipio.

A continuación se explica de manera resumida y clara, para cada uno de los 3 eventos la forma como se evalúo la amenaza. Igualmente se describen los criterios para la zonificación espacial de la misma de manera específica para cada evento, en función de las características del evento que amenaza y la vulnerabilidad de las viviendas y la población amenazada.

### **1.2 AMENAZA POR TORRENCIALIDAD**

Esta se establece mediante modelos de experto apoyados en los trabajos geomorfológicos adelantados sobre el valle del río Chigorodó. Ver Capítulo 3, aspectos geológicos y geomorfológicos.

De acuerdo con las características evidenciadas en las columnas estratigráficas levantadas para las unidades geomorfológicas, se puede concluir que en la formación del Abanico reciente de Chigorodó, sobre el cual se encuentra asentada la cabecera municipal, solamente se han presentado desde hace miles de años, fenómenos de inundación inherentes a un río de meandros y en ningún caso fenómenos torrenciales.

Sobre el mosaico aerofotográfico de Chigorodó, mostrado en la Figura 3-20, se delimitó el cauce activo del río, que de acuerdo con las aerofotografías disponibles muestra el contorno de las terrazas inundables  $T_0$  y  $T_1$ , es decir, cauces subcrecientes que por los efectos de profundización del río, actualmente parecen terrazas aluviales, pero que constituyen la zona de amenaza alta por este fenómeno. Esta línea envolvente debe ser tomada en cuenta para los procesos de urbanización futura y de esta manera, con retiros adicionales, evitar una mayor exposición a los riesgos derivados de la dinámica fluvial.

Es de anotar que el modelo geomorfológico presentado, donde se distingue el cauce activo del río a la altura de la cabecera municipal, terrazas  $T_0$  y  $T_1$ , se convierte en referente para verificar la precisión de los resultados obtenidos con el modelo hidráulico utilizado para establecer los niveles de inundación. En conclusión el casco urbano de Chigorodó no se encuentra expuesto a eventos torrenciales del río.

### **1.3 AMENAZA POR INUNDACIÓN**

Una planicie o llanura de inundación es un área usualmente seca adyacente al río, la cual se inunda durante eventos de crecientes que resultan generalmente de tormentas severas. La planicie de inundación puede incluir el ancho total de valles angostos o áreas amplias localizadas a lo largo del río en valles amplios y planos.



**Figura 1-1. Geomorfología local Chigorodó, con T0 - T1 como zonas de amenaza alta por inundación**

El canal y la planicie de inundación son partes integrales de la conducción natural de una corriente, la planicie de inundación conduce el caudal que excede la capacidad del canal y a medida que el caudal crece, aumenta el flujo sobre la planicie de inundación.

Se considera inundación a partir del desborde del agua que es conducida por el canal hacia las zonas adyacentes (llanuras de inundación).

El Análisis de la amenaza por inundación se adelanta de manera cuantitativa estableciendo por medio de técnicas numéricas los niveles de agua para diferentes periodos de retorno y estos a su vez se mapean sobre la cartografía base elaborada para obtener los límites de avance de la lamina de agua y establecer los niveles de inundación sobre la zona urbana del municipio de Chigorodó.

Igualmente, la modelación permite establecer las alturas de agua en las zonas inundables y las velocidades del flujo, parámetros que permiten establecer el nivel de daño que puede causar el flujo o la creciente sobre las viviendas y personas que ocupan el territorio.

A continuación se presenta un recuento de los análisis adelantados y los resultados obtenidos.

### 1.3.1 Evaluación hidráulica

Los análisis adelantados en el campo de la hidráulica se orientaron a la determinación de los niveles y las velocidades de flujo del río Chigorodo asociados a los caudales de recurrencia 2, 10, 50 y 100 años, de manera que se pudieran establecer los grados de amenaza debida a inundación. Con este propósito se empleo el modelo HEC RAS 4, al cual se le suministraron datos de entrada específicos, relacionados con la geometría de las secciones del río transversales al flujo, la rugosidad y pendiente hidráulica

La información sobre la geometría de las secciones de flujo, al igual que la pendiente se obtuvieron de los levantamientos topográficos adelantados en un tramo de río tres (3) kilómetros de longitud. Aunque se trato de obtener el valor de la rugosidad mediante la aplicación de formulas que involucran el diámetro representativo de los materiales que conforman el lecho de la corriente de agua, los resultados obtenidos no fueron satisfactorios. Se optó por recurrir a la metodología de Harry Barnes, del Geological Survey de USA y se tomo el valor de 0,035.

La calibración del modelo se adelanto con base en el caudal y el nivel de la corriente correspondientes a crecientes ocurridas en el año 2006 registradas en la estación hidrométrica del IDEAM en Chigorodó.

El día 10 de octubre de 2006 se presento un caudal de 15,65 m<sup>3</sup>/s para el cual la lectura del flujímetro fue de 78 cm, correspondiente a un nivel de 26,15 msnm. El caudal del día 12 de octubre de ese mismo año fue de 40,20 m<sup>3</sup>/s. La lectura fluviometrica correspondiente fue de 148 cm, que equivale, según la cota del cero del flujímetro a 26,67 msnm.

Con la información topográfica antes citada y los caudales mencionados en el párrafo anterior, se corrió el modelo y se obtuvieron los resultados de 26,14 msnm y 26,68 msnm, muy cercanos a lo reportado por el flujímetro. Estos resultados condujeron a establecer la validez del modelo, por lo cual se procedió a correrlo para los caudales preestablecidos para determinar la amenaza por inundación

Los resultados obtenidos de las corridas del modelo aun para el caudal de 100 años de recurrencia indicaron que el nivel de las aguas no era el que, de acuerdo con los moradores de la región y el testimonio de los integrantes de la comisión de topografía, se podría calificar como de inundación, pues no alcanzo niveles superiores a 32,50 msnm, tal como se aprecia en las Figuras correspondientes a las secciones reflujó y al Cuadro donde se presentan las características de este, para diferentes periodos de recurrencia, tanto aguas arriba del puente peatonal donde se localiza la estación hidrométrica, como hacia aguas debajo de esta.

En las siguientes páginas se presentan los resultados de los análisis realizados de la siguiente manera: En la Figura 1-2 se muestran algunas secciones de flujo para un caudal de recurrencia 100 años, en la Tabla 1-1 las características de flujo para un caudal de 50 años de recurrencia, en la Tabla 1-2 las características de flujo para un caudal de diez años de recurrencia y en la Tabla 1-3 las características de flujo para un caudal de 2 años de recurrencia.

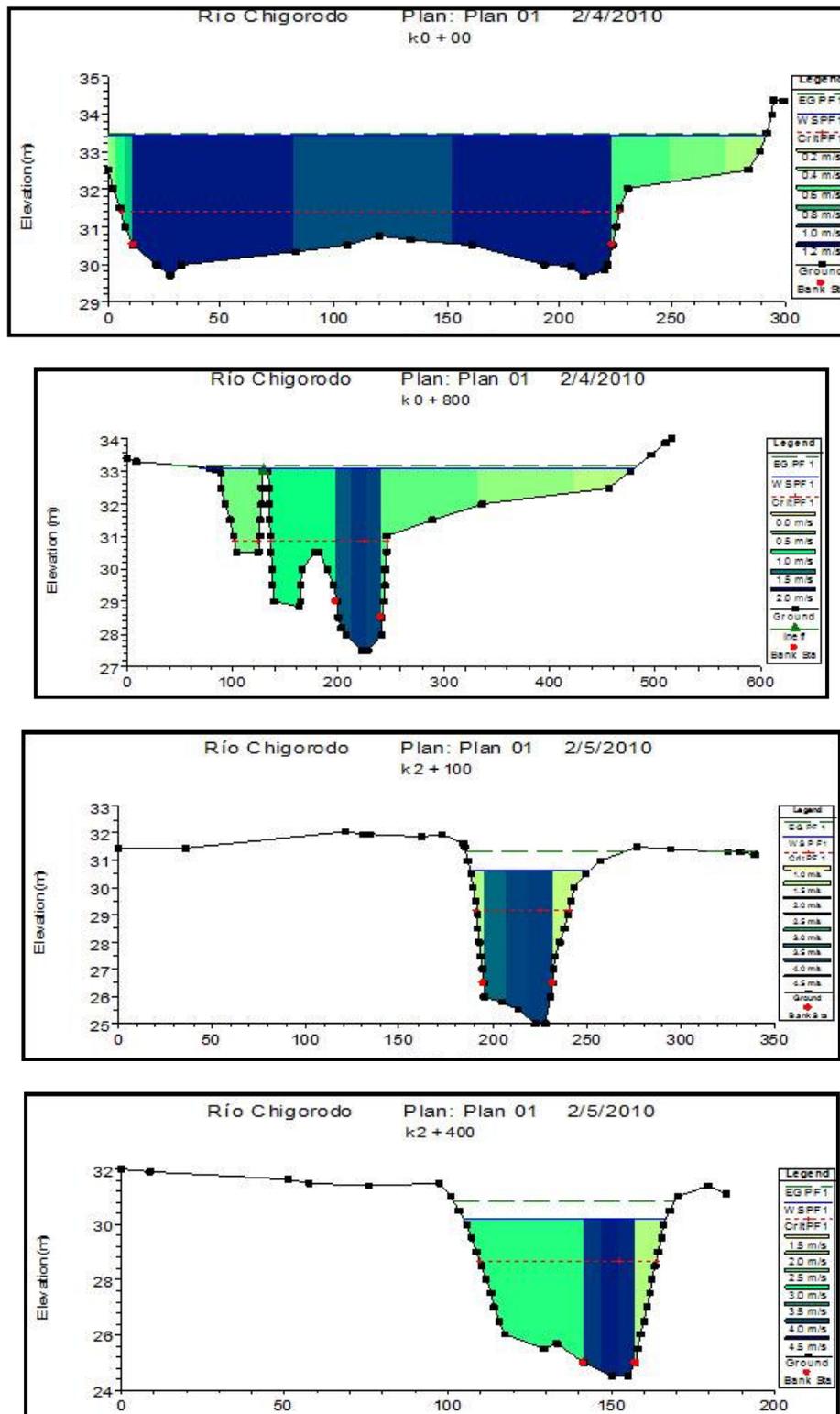


Figura 1-2. Secciones de flujo para un caudal de recurrencia 100 años

**Tabla 1-1. Características de flujo para un caudal de 50 años de recurrencia**

Tramo	Sección No	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota fondo (m)	Cota sup agua (m)	Vel flujo (m/s)	Área sección (m <sup>2</sup> )	Ancho Sección (m)	Número de Froude
1	61	561	29,66	32,48	1,17	499,59	281,67	0,25
1	60	561	29,17	32,45	1,25	472,79	269,85	0,27
1	59	561	29,50	32,42	1,27	461,61	263,28	0,26
1	58	561	29,24	32,38	1,44	452,00	286,00	0,30
1	57	561	29,50	32,36	1,34	464,49	279,49	0,27
1	56	561	29,00	32,32	1,43	452,23	263,25	0,29
1	55	561	29,00	32,28	1,54	431,25	235,69	0,31
1	54	561	28,65	32,28	1,38	497,77	229,15	0,25
1	53	561	28,85	32,25	1,43	480,96	237,19	0,25
1	52	561	28,50	32,22	1,46	458,78	216,67	0,25
1	51	561	28,50	32,17	1,63	412,60	208,37	0,28
1	50	561	27,50	32,19	1,23	512,01	239,57	0,20
1	49	561	28,00	32,12	1,78	425,93	231,59	0,29
1	48	561	27,70	32,10	1,76	463,07	291,15	0,29
1	47	561	28,00	31,97	2,28	358,85	283,44	0,38
1	46	561	27,31	31,92	2,29	334,40	230,73	0,36
1	45	561	27,50	31,93	2,06	370,49	227,58	0,33
1	44	561	27,21	31,90	1,95	360,40	185,87	0,30
1	43	561	27,50	31,85	2,16	329,55	139,47	0,34
1	42	561	26,69	31,86	1,82	371,35	108,11	0,28
1	41	561	27,00	31,76	2,20	309,06	98,11	0,34
1	40	561	26,69	31,71	2,22	290,56	88,08	0,34
1	39	561	27,00	31,63	2,39	269,35	80,61	0,36
1	38	561	26,70	31,51	2,71	244,04	76,30	0,41
1	37	561	26,79	31,36	2,96	205,22	55,20	0,46
1	36	561	26,18	31,34	2,75	217,26	56,88	0,42
1	35	561	27,00	31,18	3,07	193,36	54,30	0,49
1	34	561	26,23	31,21	2,68	225,48	63,93	0,41
1	33	561	26,50	31,04	3,07	198,27	61,11	0,47
1	32	561	26,29	31,01	2,94	213,49	71,08	0,46
1	31	561	26,50	30,85	3,22	194,49	69,06	0,50
1	30	561	26,22	30,64	3,53	167,06	47,28	0,56
1	29	561	26,31	30,35	3,99	146,93	41,50	0,65
1	28	561	25,74	30,40	3,40	171,96	46,90	0,54
1	27	561	26,50	30,39	3,14	189,31	57,40	0,52
1	26	561	26,26	30,40	2,82	214,47	62,57	0,46
1	25	561	26,00	30,33	2,80	216,19	70,69	0,45
1	24	561	25,77	30,28	2,82	220,32	65,00	0,44
1	23	561	25,50	30,13	3,21	204,14	64,75	0,50
1	22	561	25,14	29,88	3,63	174,38	55,74	0,57
1	21	561	25,50	29,84	3,39	181,82	53,79	0,54
2	21	561	25,50	29,96	3,26	188,53	54,38	0,51
2	20	561	25,33	29,75	3,56	165,07	44,44	0,56
2	19	561	25,00	29,70	3,45	175,35	51,98	0,54
2	18	561	24,73	29,71	3,07	197,21	57,42	0,48
2	17	561	25,00	29,60	3,19	188,24	54,94	0,50
2	16	561	24,27	29,63	3,04	228,58	65,29	0,45
2	15	561	25,00	29,59	2,93	229,19	65,82	0,44
2	14	561	24,72	29,43	3,23	202,53	57,18	0,49
2	13	561	24,50	29,32	3,73	195,50	56,88	0,55
2	12	561	24,25	29,08	4,00	177,74	54,60	0,60
2	11	561	24,50	29,05	3,47	184,77	56,52	0,53
2	10	561	24,00	29,15	2,65	233,17	61,02	0,39
2	9	561	24,00	29,10	2,88	237,66	64,45	0,41
2	8	561	24,00	28,64	4,18	167,78	53,33	0,64
2	7	561	24,00	28,60	4,06	180,13	65,68	0,65
2	6	561	24,00	28,59	3,83	203,20	70,41	0,58
2	5	561	24,00	28,65	2,84	243,36	82,24	0,45
2	4	561	24,00	28,38	3,70	197,36	70,93	0,58
2	3	561	24,30	27,79	4,85	148,61	65,13	0,84
2	2	561	24,00	27,90	3,45	173,88	57,15	0,58
2	1	561	24,00	27,00	5,54	119,63	47,93	1,03

NOTA: El Tramo 1 corresponde al sector aguas arriba del puente peatonal y el Tramo 2 al sector aguas abajo

**Tabla 1-2. Características de flujo para un caudal de 10 años de recurrencia**

Tramo	Sección No	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota fondo (m)	Cota sup agua (m)	Vel flujo (m/s)	Área sección (m <sup>2</sup> )	Ancho Sección (m)	Número de Froude
1	61	414	29,66	31,88	1,20	350,91	226,43	0,30
1	60	414	29,17	31,84	1,27	332,09	207,63	0,31
1	59	414	29,50	31,80	1,28	327,61	191,22	0,31
1	58	414	29,24	31,76	1,35	319,38	181,72	0,32
1	57	414	29,50	31,72	1,32	326,91	188,16	0,31
1	56	414	29,00	31,67	1,47	304,69	197,99	0,35
1	55	414	29,00	31,59	1,65	284,27	192,71	0,39
1	54	414	28,65	31,58	1,41	348,37	201,60	0,28
1	53	414	28,85	31,55	1,44	333,01	193,85	0,29
1	52	414	28,50	31,52	1,46	321,33	174,32	0,28
1	51	414	28,50	31,46	1,61	286,44	149,42	0,31
1	50	414	27,50	31,49	1,13	381,44	142,88	0,20
1	49	414	28,00	31,36	1,89	277,48	170,41	0,34
1	48	414	27,70	31,31	2,01	277,71	216,40	0,37
1	47	414	28,00	31,21	2,24	220,12	154,97	0,42
1	46	414	27,31	31,17	2,19	222,83	130,73	0,38
1	45	414	27,50	31,14	2,14	246,79	148,18	0,37
1	44	414	27,21	31,13	1,88	264,21	128,57	0,32
1	43	414	27,50	31,09	2,00	251,59	115,21	0,35
1	42	414	26,69	31,09	1,72	289,67	103,59	0,29
1	41	414	27,00	31,00	2,07	238,09	82,70	0,35
1	40	414	26,69	30,95	2,06	227,05	76,10	0,35
1	39	414	27,00	30,89	2,13	215,00	66,33	0,35
1	38	414	26,70	30,79	2,41	193,60	63,77	0,40
1	37	414	26,79	30,65	2,66	166,61	53,24	0,45
1	36	414	26,18	30,63	2,45	177,72	54,04	0,41
1	35	414	27,00	30,48	2,76	156,53	51,33	0,49
1	34	414	26,23	30,50	2,37	184,08	55,67	0,39
1	33	414	26,50	30,34	2,73	159,60	51,61	0,46
1	32	414	26,29	30,30	2,64	168,68	57,75	0,45
1	31	414	26,50	30,14	2,94	150,58	54,16	0,51
1	30	414	26,22	29,99	3,12	137,59	43,88	0,54
1	29	414	26,31	29,76	3,50	122,52	40,47	0,62
1	28	414	25,74	29,77	3,00	142,74	45,67	0,52
1	27	414	26,50	29,72	2,85	151,87	54,95	0,52
1	26	414	26,26	29,71	2,57	172,45	60,39	0,46
1	25	414	26,00	29,64	2,55	170,79	61,21	0,45
1	24	414	25,77	29,60	2,53	177,79	59,21	0,44
1	23	414	25,50	29,45	2,88	162,80	57,60	0,49
1	22	414	25,14	29,24	3,24	140,56	50,51	0,56
1	21	414	25,50	29,19	3,03	148,18	50,60	0,52
2	21	414	25,50	29,30	2,91	153,31	51,12	0,50
2	20	414	25,33	29,14	3,09	138,76	42,65	0,52
2	19	414	25,00	29,08	3,04	144,12	48,94	0,52
2	18	414	24,73	29,07	2,71	161,64	54,03	0,46
2	17	414	25,00	28,98	2,82	154,77	52,03	0,49
2	16	414	24,27	28,99	2,70	187,71	61,18	0,43
2	15	414	25,00	28,95	2,59	188,12	61,58	0,42
2	14	414	24,72	28,82	2,83	168,50	54,29	0,46
2	13	414	24,50	28,71	3,30	161,88	54,11	0,52
2	12	414	24,25	28,54	3,45	149,16	50,79	0,55
2	11	414	24,50	28,51	2,97	155,75	51,52	0,49
2	10	414	24,00	28,58	2,26	199,05	58,32	0,36
2	9	414	24,00	28,53	2,50	201,00	62,65	0,38
2	8	414	24,00	28,18	3,58	143,60	51,52	0,58
2	7	414	24,00	28,10	3,62	148,52	62,48	0,62
2	6	414	24,00	28,08	3,44	167,91	68,01	0,55
2	5	414	24,00	28,12	2,55	200,43	80,37	0,43
2	4	414	24,00	27,88	3,33	162,49	69,87	0,56
2	3	414	24,30	27,24	4,63	113,72	62,17	0,88
2	2	414	24,00	27,31	3,09	141,15	53,39	0,56
2	1	414	24,00	26,52	5,00	97,08	46,72	1,02

NOTA: El Tramo 1 corresponde al sector aguas arriba del puente peatonal y el Tramo 2 al sector aguas abajo

**Tabla 1-3. Características de flujo para un caudal de 2 años de recurrencia**

Tramo	Sección No	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota fondo (m)	Cota sup agua (m)	Vel flujo (m/s)	Área sección (m <sup>2</sup> )	Ancho Sección (m)	Número de Froude
1	61	200	29,66	31,04	1,23	162,96	217,80	0,45
1	60	200	29,17	30,95	1,34	150,61	199,14	0,49
1	59	200	29,50	30,87	1,31	153,01	185,61	0,46
1	58	200	29,24	30,79	1,39	146,13	175,61	0,50
1	57	200	29,50	30,71	1,42	144,17	172,73	0,49
1	56	200	29,00	30,60	1,61	129,04	133,98	0,51
1	55	200	29,00	30,29	2,46	85,51	111,64	0,83
1	54	200	28,65	30,30	1,63	130,41	141,81	0,48
1	53	200	28,85	30,23	1,61	127,49	117,39	0,47
1	52	200	28,50	30,20	1,44	140,32	102,59	0,38
1	51	200	28,50	30,13	1,59	127,70	94,83	0,42
1	50	200	27,50	30,17	0,96	210,41	120,29	0,23
1	49	200	28,00	30,05	1,69	129,73	88,11	0,40
1	48	200	27,70	29,98	1,84	119,97	83,53	0,45
1	47	200	28,00	29,78	2,41	92,23	77,05	0,63
1	46	200	27,31	29,74	2,11	104,97	75,69	0,49
1	45	200	27,50	29,64	2,29	100,04	78,06	0,54
1	44	200	27,21	29,64	1,89	123,56	89,78	0,42
1	43	200	27,50	29,58	2,04	119,37	83,62	0,47
1	42	200	26,69	29,57	1,71	140,03	93,98	0,38
1	41	200	27,00	29,47	2,04	116,89	75,70	0,45
1	40	200	26,69	29,44	1,88	118,84	69,08	0,42
1	39	200	27,00	29,41	1,81	120,09	61,76	0,39
1	38	200	26,70	29,32	2,03	107,45	55,81	0,44
1	37	200	26,79	29,21	2,26	92,67	49,05	0,50
1	36	200	26,18	29,19	2,00	103,07	50,01	0,43
1	35	200	27,00	29,02	2,44	83,96	48,15	0,57
1	34	200	26,23	29,05	1,91	107,23	50,68	0,40
1	33	200	26,50	28,92	2,25	91,12	45,92	0,49
1	32	200	26,29	28,87	2,22	92,83	49,15	0,49
1	31	200	26,50	28,74	2,46	83,29	44,07	0,55
1	30	200	26,22	28,65	2,53	80,49	41,02	0,56
1	29	200	26,31	28,45	2,89	70,69	38,93	0,66
1	28	200	25,74	28,46	2,37	85,14	41,86	0,52
1	27	200	26,50	28,31	2,62	77,89	49,94	0,65
1	26	200	26,26	28,26	2,40	87,58	56,19	0,60
1	25	200	26,00	28,19	2,27	89,90	52,61	0,54
1	24	200	25,77	28,14	2,18	97,21	53,18	0,49
1	23	200	25,50	27,99	2,56	85,54	49,28	0,57
1	22	200	25,14	27,79	2,87	73,45	42,77	0,65
1	21	200	25,50	27,73	2,66	78,82	44,70	0,61
2	21	200	25,50	28,06	2,24	93,68	45,93	0,47
2	20	200	25,33	27,98	2,24	90,92	39,88	0,46
2	19	200	25,00	27,9	2,26	90,56	42,19	0,47
2	18	200	24,73	27,87	2,04	100,67	47,57	0,43
2	17	200	25,00	27,78	2,13	96,15	46,39	0,45
2	16	200	24,27	27,77	2,04	117,65	53,90	0,39
2	15	200	25,00	27,73	1,96	116,57	53,95	0,39
2	14	200	24,72	27,64	2,10	107,20	49,48	0,42
2	13	200	24,50	27,54	2,52	101,80	48,97	0,48
2	12	200	24,25	27,48	2,36	100,78	43,16	0,44
2	11	200	24,50	27,46	1,99	107,23	43,12	0,38
2	10	200	24,00	27,48	1,55	137,60	53,71	0,29
2	9	200	24,00	27,42	1,80	133,90	59,54	0,32
2	8	200	24,00	27,23	2,56	95,93	48,63	0,47
2	7	200	24,00	27,04	3,03	85,16	56,60	0,62
2	6	200	24,00	26,97	2,97	94,77	62,75	0,57
2	5	200	24,00	26,98	2,15	111,61	74,87	0,44
2	4	200	24,00	26,47	3,55	68,21	58,77	0,77
2	3	200	24,30	26,19	3,74	60,60	39,99	0,89
2	2	200	24,00	26,29	2,27	90,22	47,87	0,51
2	1	200	24,00	25,68	3,97	58,59	44,58	1,00

NOTA: El Tramo 1 corresponde al sector aguas arriba del puente peatonal y el Tramo 2 al sector aguas abajo

Se contempló la posibilidad de que la serie de datos de caudales máximos no contemplara valores de la magnitud que correspondiera a los niveles de inundación ocurridos. Se realizó el proceso de ensayo y error, hasta encontrar el caudal que corresponde al nivel de inundación registrado en el mes de octubre de 2009 por la comisión de topografía. Este resultado ser de 1000 m<sup>3</sup>/s, para el cual el nivel del agua es de 33,96 msnm en la sección de la abscisa K 0 + 900, igual al registrado topográficamente. En la abscisa K 2+00 en la cual se encuentra la estación hidrométrica, el nivel encontrado fue de 31,69 msnm, sin que se produzca desbordamiento.

El caudal de 1000 m<sup>3</sup>/s se incluyo en la serie anual de caudales máximos y esta se sometió a análisis de frecuencia para obtener los valores mostrados en la Tabla 3-18.

**Tabla 1-4. Valores de caudal obtenidos Chigorodó al incluir en la serie anual el caudal hallado para la creciente de octubre de 2009**

Probabilidad de excedencia	Periodo de retorno (años)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)	Desviación estándar
1,00	200	1329,31	527,85
0,99	100	1127,64	377,61
0,98	50	938,37	260,43
0,96	25	761,23	172,82
0,90	10	544,95	96,28
0,80	5	393,69	61,69
0,67	3	287,83	43,95
0,50	2	204,85	31,68

De este análisis se obtuvieron valores de caudal de una magnitud mucho mayor que la del máximo de la serie registrada y cuyo nivel supera ampliamente la cota de la cresta del dique existente para protección contra las inundaciones como se observa en las secciones de flujo que se presentan más adelante. Esta circunstancia llevo a pensar en la existencia de desbordamientos aguas arriba de la población que al propagarse hacia aguas abajo causa la inundación de los barrios situados en la margen izquierda del río, entre las abscisas K 0+500 y K 1+300 m.

En las siguientes páginas se presentan los resultados de los análisis realizados de la siguiente manera:

- En la Tabla 1-5 se presentan las características de flujo para un caudal de 100 años de recurrencia.
- En la Tabla 1-6 las características de flujo para un caudal de 50 años de recurrencia.
- En la Tabla 1-7 las características de flujo para un caudal de 10 años de recurrencia.
- En la Figura 1-3 se muestran algunas secciones de flujo para un caudal de recurrencia 100 años.
- En la Figura 1-4 se muestran algunas secciones de flujo para un caudal de recurrencia 50 años.
- En la Figura 1-5 se muestran algunas secciones de flujo para caudales de recurrencia 10 años.

**Tabla 1-5. Características de flujo para un caudal de 100 años de recurrencia considerando el caudal hallado para la creciente de octubre de 2009**

Tramo	Sección No	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota fondo (m)	Cota sup agua (m)	Vel flujo (m/s)	Área sección (m <sup>2</sup> )	Ancho Sección (m)	Número de Froude
1	61	1128	29,66	34,44	1,14	1070,14	299,57	0,18
1	60	1128	29,17	34,43	1,20	1054,75	311,73	0,19
1	59	1128	29,50	34,42	1,22	1057,04	317,09	0,19
1	58	1128	29,24	34,41	1,23	1115,99	333,52	0,19
1	57	1128	29,50	34,40	1,19	1139,88	341,52	0,18
1	56	1128	29,00	34,39	1,24	1143,09	368,65	0,19
1	55	1128	29,00	34,37	1,35	1092,59	356,48	0,20
1	54	1128	28,65	34,36	1,36	1115,95	351,36	0,19
1	53	1128	28,85	34,35	1,39	1095,03	341,95	0,19
1	52	1128	28,50	34,33	1,46	1125,16	426,58	0,20
1	51	1128	28,50	34,32	1,50	1116,43	433,25	0,20
1	50	1128	27,50	34,33	1,22	1290,37	442,12	0,16
1	49	1128	28,00	34,32	1,45	1312,15	514,77	0,19
1	48	1128	27,70	34,32	1,39	1457,31	596,07	0,18
1	47	1128	28,00	34,31	1,41	1464,18	599,80	0,18
1	46	1128	27,31	34,29	1,51	1379,49	546,42	0,19
1	45	1128	27,50	34,29	1,47	1387,16	515,57	0,19
1	44	1128	27,21	34,27	1,48	1268,48	414,30	0,18
1	43	1128	27,50	34,24	1,76	1215,03	494,32	0,22
1	42	1128	26,69	34,17	2,10	1000,64	480,77	0,26
1	41	1128	27,00	34,05	2,63	789,71	396,38	0,32
1	40	1128	26,69	34,01	2,55	742,39	359,66	0,32
1	39	1128	27,00	33,88	2,89	658,56	399,61	0,36
1	38	1128	26,70	33,74	3,28	582,11	326,42	0,41
1	37	1128	26,79	33,72	3,19	576,68	304,25	0,40
1	36	1128	26,18	33,70	3,04	574,15	285,13	0,37
1	35	1128	27,00	33,52	3,41	491,12	264,38	0,43
1	34	1128	26,23	33,59	2,94	574,66	265,93	0,36
1	33	1128	26,50	33,48	3,23	525,48	236,82	0,40
1	32	1128	26,29	33,51	2,91	582,93	215,46	0,36
1	31	1128	26,50	33,51	2,84	653,43	271,16	0,35
1	30	1128	26,22	33,13	3,74	434,83	211,49	0,47
1	29	1128	26,31	32,07	5,51	225,75	62,09	0,75
1	28	1128	25,74	32,34	4,46	299,83	154,78	0,58
1	27	1128	26,50	32,46	3,85	375,01	199,07	0,51
1	26	1128	26,26	32,48	3,57	398,64	234,13	0,47
1	25	1128	26,00	32,64	3,01	587,97	332,15	0,38
1	24	1128	25,77	32,39	3,60	465,66	298,40	0,46
1	23	1128	25,50	32,39	3,65	551,42	353,42	0,46
1	22	1128	25,14	31,95	4,40	326,68	114,17	0,57
1	21	1128	25,50	31,83	4,43	356,19	225,34	0,57
2	21	1128	25,50	32,05	4,16	410,48	272,66	0,53
2	20	1128	25,33	31,63	4,75	296,55	159,03	0,62
2	19	1128	25,00	31,64	4,51	332,34	217,69	0,58
2	18	1128	24,73	31,77	3,81	396,86	181,10	0,49
2	17	1128	25,00	31,57	4,10	354,46	175,88	0,53
2	16	1128	24,27	31,54	4,49	390,71	135,88	0,56
2	15	1128	25,00	31,50	4,20	381,25	121,13	0,53
2	14	1128	24,72	31,28	4,50	327,75	89,95	0,58
2	13	1128	24,50	31,20	4,96	314,35	76,78	0,62
2	12	1128	24,25	30,92	5,23	300,66	78,68	0,66
2	11	1128	24,50	30,98	4,32	356,27	120,36	0,55
2	10	1128	24,00	31,05	3,62	367,65	81,84	0,45
2	9	1128	24,00	31,02	3,82	371,90	82,09	0,47
2	8	1128	24,00	30,24	5,67	260,73	64,69	0,74
2	7	1128	24,00	30,40	4,89	311,02	81,09	0,65
2	6	1128	24,00	30,43	4,60	344,39	94,41	0,59
2	5	1128	24,00	30,53	3,45	406,25	91,79	0,45
2	4	1128	24,00	30,21	4,42	332,47	77,17	0,58
2	3	1128	24,30	29,90	4,95	296,22	74,50	0,67
2	2	1128	24,00	29,83	4,30	295,25	68,38	0,58
2	1	1128	24,00	28,57	6,93	201,34	56,11	1,04

NOTA: El Tramo 1 corresponde al sector aguas arriba del puente peatonal y el Tramo 2 al sector aguas abajo

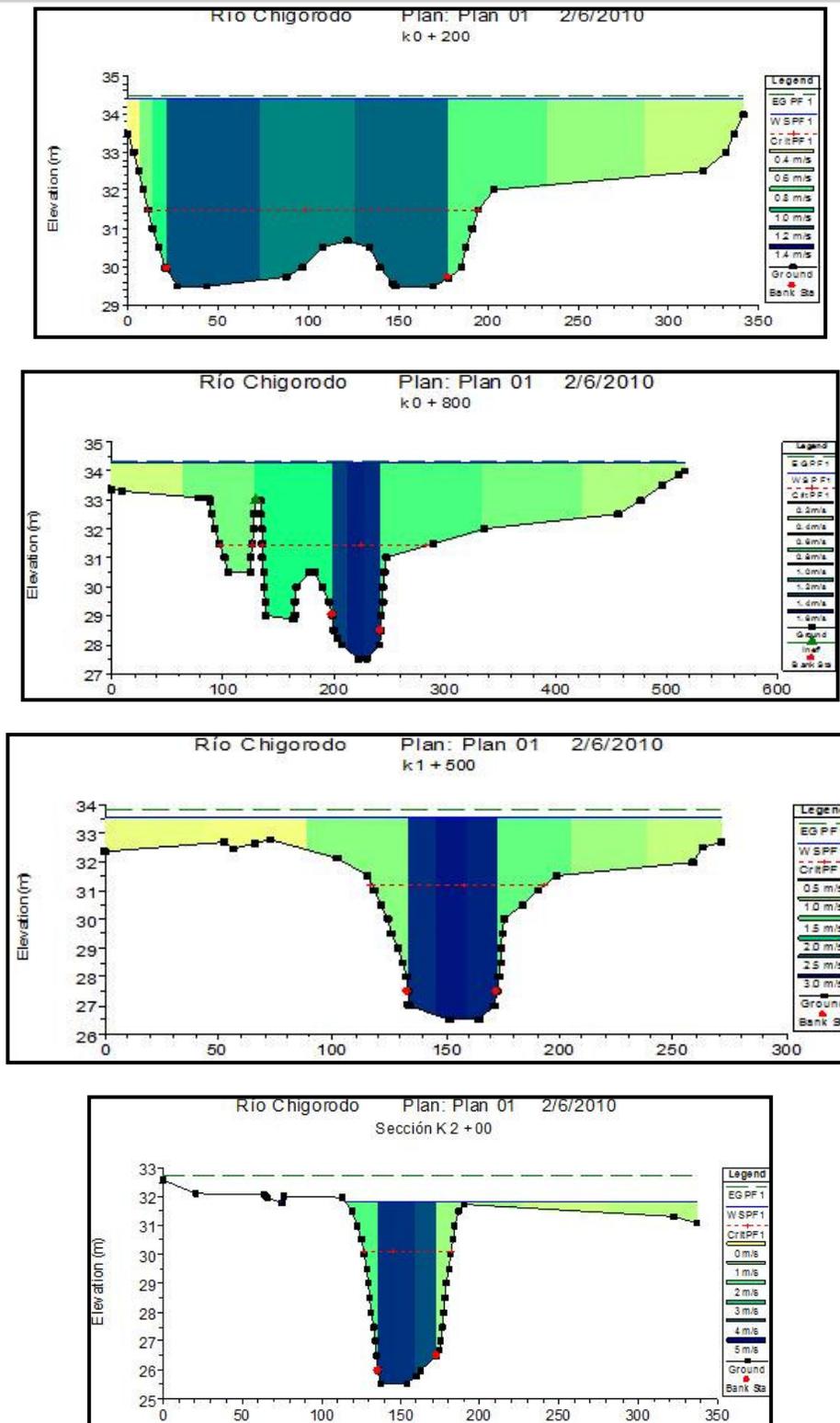


Figura 1-3. Secciones de flujo para un caudal de recurrencia 100 años considerando el caudal hallado para la creciente de octubre de 2009

**Tabla 1-6. Características de flujo para un caudal de 50 años de recurrencia considerando el caudal hallado para la creciente de octubre de 2009**

Tramo	Sección No	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota fondo (m)	Cota sup agua (m)	Vel flujo (m/s)	Área sección (m <sup>2</sup> )	Ancho Sección (m)	Número de Froude
1	61	938	29,66	33,88	1,12	904,99	293,30	0,19
1	60	938	29,17	33,86	1,18	881,77	301,79	0,20
1	59	938	29,50	33,85	1,21	878,91	307,99	0,20
1	58	938	29,24	33,84	1,24	926,33	333,52	0,20
1	57	938	29,50	33,83	1,20	945,24	339,63	0,19
1	56	938	29,00	33,82	1,25	934,98	354,65	0,20
1	55	938	29,00	33,80	1,38	890,66	343,59	0,22
1	54	938	28,65	33,79	1,34	925,44	318,64	0,20
1	53	938	28,85	33,78	1,35	911,23	305,99	0,20
1	52	938	28,50	33,76	1,41	907,08	345,59	0,20
1	51	938	28,50	33,73	1,53	876,33	376,66	0,22
1	50	938	27,50	33,74	1,22	1041,47	407,32	0,17
1	49	938	28,00	33,72	1,57	1007,00	499,62	0,21
1	48	938	27,70	33,72	1,40	1119,76	518,52	0,19
1	47	938	28,00	33,70	1,61	1099,92	573,77	0,22
1	46	938	27,31	33,67	1,69	1046,80	522,12	0,22
1	45	938	27,50	33,67	1,64	1068,95	501,84	0,22
1	44	938	27,21	33,66	1,56	1014,34	404,42	0,20
1	43	938	27,50	33,59	2,04	897,70	481,27	0,27
1	42	938	26,69	33,51	2,24	699,74	341,89	0,29
1	41	938	27,00	33,34	2,90	524,34	283,09	0,38
1	40	938	26,69	33,30	2,77	490,98	280,82	0,36
1	39	938	27,00	33,22	2,86	441,13	172,15	0,37
1	38	938	26,70	33,15	3,06	418,14	178,86	0,40
1	37	938	26,79	32,91	3,51	357,24	173,95	0,47
1	36	938	26,18	32,89	3,33	358,51	188,72	0,44
1	35	938	27,00	32,71	3,65	307,48	130,36	0,50
1	34	938	26,23	32,79	3,12	376,25	158,90	0,41
1	33	938	26,50	32,62	3,51	345,18	149,73	0,46
1	32	938	26,29	32,65	3,23	399,83	178,61	0,43
1	31	938	26,50	32,58	3,36	403,14	225,86	0,44
1	30	938	26,22	32,12	4,17	264,10	116,67	0,57
1	29	938	26,31	31,57	5,03	199,17	46,07	0,71
1	28	938	25,74	31,73	4,21	240,82	61,40	0,58
1	27	938	26,50	31,78	3,76	279,10	102,29	0,53
1	26	938	26,26	31,82	3,40	309,42	91,95	0,47
1	25	938	26,00	31,81	3,21	354,82	161,98	0,44
1	24	938	25,77	31,70	3,40	324,00	100,24	0,46
1	23	938	25,50	31,58	3,74	319,67	163,52	0,50
1	22	938	25,14	31,26	4,27	265,14	77,47	0,58
1	21	938	25,50	31,20	4,11	261,37	71,32	0,56
2	21	938	25,50	31,40	3,93	278,05	111,24	0,53
2	20	938	25,33	31,00	4,50	224,81	51,77	0,62
2	19	938	25,00	31,01	4,25	253,56	70,58	0,58
2	18	938	24,73	31,07	3,76	299,13	110,50	0,51
2	17	938	25,00	30,91	3,95	271,98	82,55	0,54
2	16	938	24,27	30,99	3,80	325,84	80,73	0,49
2	15	938	25,00	31,01	3,59	332,02	81,84	0,47
2	14	938	24,72	30,75	4,09	286,63	72,84	0,55
2	13	938	24,50	30,66	4,54	277,29	65,80	0,59
2	12	938	24,25	30,33	4,99	256,00	71,27	0,66
2	11	938	24,50	30,33	4,23	281,79	103,79	0,57
2	10	938	24,00	30,45	3,40	319,18	76,98	0,45
2	9	938	24,00	30,42	3,58	326,67	72,69	0,46
2	8	938	24,00	29,73	5,25	229,32	59,91	0,72
2	7	938	24,00	29,82	4,67	266,47	74,79	0,65
2	6	938	24,00	29,85	4,38	295,15	76,26	0,59
2	5	938	24,00	29,93	3,30	352,46	87,67	0,45
2	4	938	24,00	29,63	4,22	288,26	74,71	0,58
2	3	938	24,30	29,29	4,83	251,43	71,77	0,70
2	2	938	24,00	29,25	4,06	256,53	65,02	0,58
2	1	938	24,00	28,06	6,59	173,34	53,33	1,05

NOTA: El Tramo 1 corresponde al sector aguas arriba del puente peatonal y el Tramo 2 al sector aguas abajo

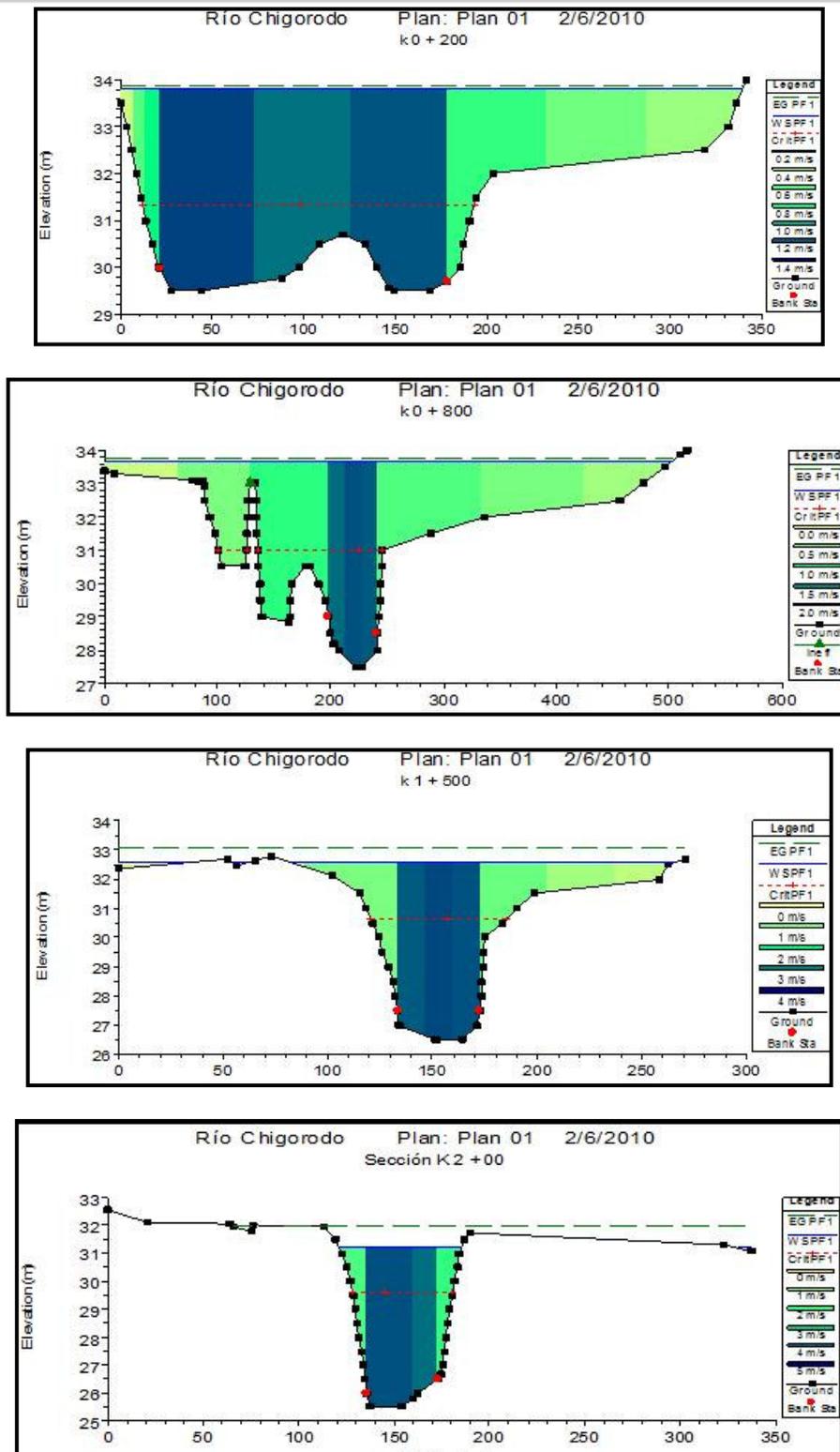


Figura 1-4. Secciones de flujo para un caudal de recurrencia 50 años considerando el caudal hallado para la creciente de octubre de 2009

**Tabla 1-7. Características de flujo para un caudal de 10 años de recurrencia considerando el caudal hallado para la creciente de octubre de 2009**

Tramo	Sección No	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota fondo (m)	Cota sup agua (m)	Vel flujo (m/s)	Área sección (m <sup>2</sup> )	Ancho Sección (m)	Número de Froude
1	61	545	29,66	32,42	1,17	482,11	274,64	0,26
1	60	545	29,17	32,38	1,25	455,81	261,17	0,27
1	59	545	29,50	32,36	1,27	444,92	252,38	0,27
1	58	545	29,24	32,31	1,44	433,78	268,12	0,30
1	57	545	29,50	32,29	1,34	446,33	263,62	0,27
1	56	545	29,00	32,26	1,43	434,56	253,85	0,30
1	55	545	29,00	32,21	1,55	414,85	230,74	0,32
1	54	545	28,65	32,21	1,38	481,72	226,18	0,25
1	53	545	28,85	32,18	1,43	464,42	230,24	0,26
1	52	545	28,50	32,15	1,46	443,53	210,79	0,25
1	51	545	28,50	32,10	1,63	397,79	201,45	0,28
1	50	545	27,50	32,12	1,22	495,35	225,46	0,20
1	49	545	28,00	32,04	1,79	408,76	223,20	0,29
1	48	545	27,70	32,03	1,78	442,48	281,19	0,29
1	47	545	28,00	31,89	2,32	338,44	274,53	0,39
1	46	545	27,31	31,84	2,29	319,12	218,81	0,36
1	45	545	27,50	31,84	2,07	355,17	219,12	0,33
1	44	545	27,21	31,83	1,94	349,02	180,59	0,30
1	43	545	27,50	31,77	2,14	320,97	136,99	0,34
1	42	545	26,69	31,78	1,81	362,88	107,65	0,28
1	41	545	27,00	31,68	2,19	301,34	97,79	0,34
1	40	545	26,69	31,63	2,21	283,67	88,01	0,34
1	39	545	27,00	31,55	2,37	263,06	80,40	0,36
1	38	545	26,70	31,44	2,69	238,32	74,92	0,41
1	37	545	26,79	31,29	2,93	201,20	55,00	0,46
1	36	545	26,18	31,27	2,72	213,09	56,51	0,42
1	35	545	27,00	31,11	3,03	189,48	53,70	0,49
1	34	545	26,23	31,14	2,64	220,93	61,95	0,40
1	33	545	26,50	30,97	3,03	193,95	59,59	0,47
1	32	545	26,29	30,94	2,91	208,32	69,36	0,46
1	31	545	26,50	30,78	3,20	189,36	67,59	0,51
1	30	545	26,22	30,58	3,49	163,93	46,87	0,56
1	29	545	26,31	30,29	3,94	144,44	41,38	0,65
1	28	545	25,74	30,34	3,36	168,97	46,78	0,54
1	27	545	26,50	30,32	3,11	185,45	57,15	0,52
1	26	545	26,26	30,33	2,80	210,16	62,35	0,46
1	25	545	26,00	30,26	2,78	211,22	70,01	0,45
1	24	545	25,77	30,21	2,80	215,79	64,41	0,44
1	23	545	25,50	30,06	3,18	199,61	64,09	0,50
1	22	545	25,14	29,81	3,59	170,75	55,17	0,57
1	21	545	25,50	29,77	3,36	178,29	53,47	0,54
2	21	545	25,50	29,89	3,23	184,72	54,04	0,51
2	20	545	25,33	29,68	3,51	162,25	44,23	0,55
2	19	545	25,00	29,63	3,41	171,96	51,56	0,54
2	18	545	24,73	29,65	3,03	193,35	57,05	0,48
2	17	545	25,00	29,54	3,15	184,62	54,56	0,50
2	16	545	24,27	29,57	3,01	224,12	64,79	0,45
2	15	545	25,00	29,52	2,90	224,68	65,41	0,44
2	14	545	24,72	29,37	3,19	198,82	56,85	0,49
2	13	545	24,50	29,25	3,69	191,82	56,56	0,55
2	12	545	24,25	29,03	3,93	174,77	53,87	0,59
2	11	545	24,50	28,99	3,41	181,76	55,45	0,53
2	10	545	24,00	29,09	2,61	229,58	60,68	0,39
2	9	545	24,00	29,04	2,84	233,83	64,24	0,41
2	8	545	24,00	28,60	4,12	165,30	53,11	0,63
2	7	545	24,00	28,55	4,02	176,82	65,30	0,65
2	6	545	24,00	28,54	3,80	199,51	70,19	0,58
2	5	545	24,00	28,59	2,81	238,90	82,03	0,45
2	4	545	24,00	28,32	3,66	193,75	70,83	0,58
2	3	545	24,30	27,71	4,87	143,66	64,74	0,85
2	2	545	24,00	27,84	3,42	170,43	56,79	0,58
2	1	545	24,00	26,94	5,49	117,05	47,79	1,03

NOTA: El Tramo 1 corresponde al sector aguas arriba del puente peatonal y el Tramo 2 al sector aguas abajo

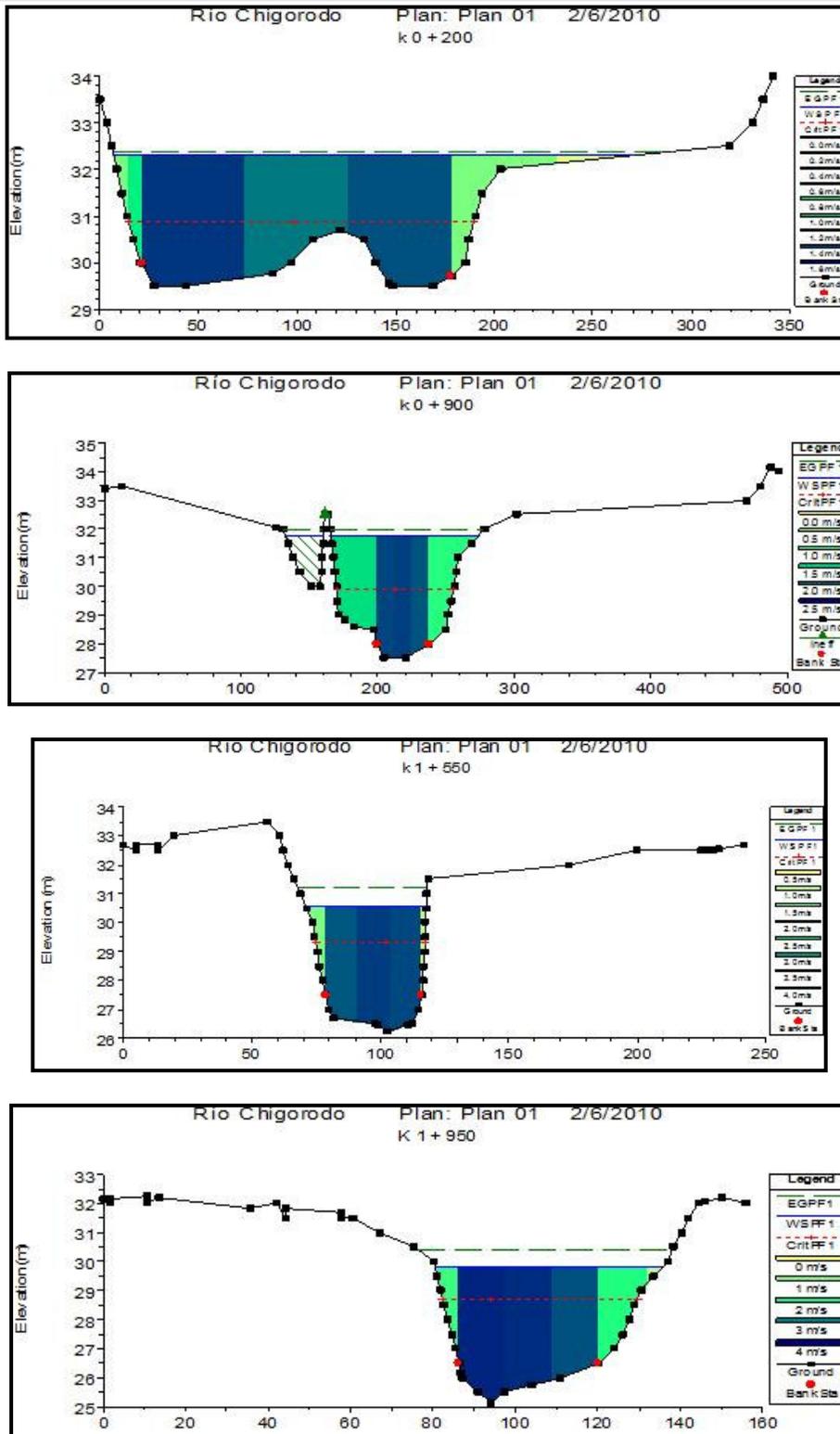
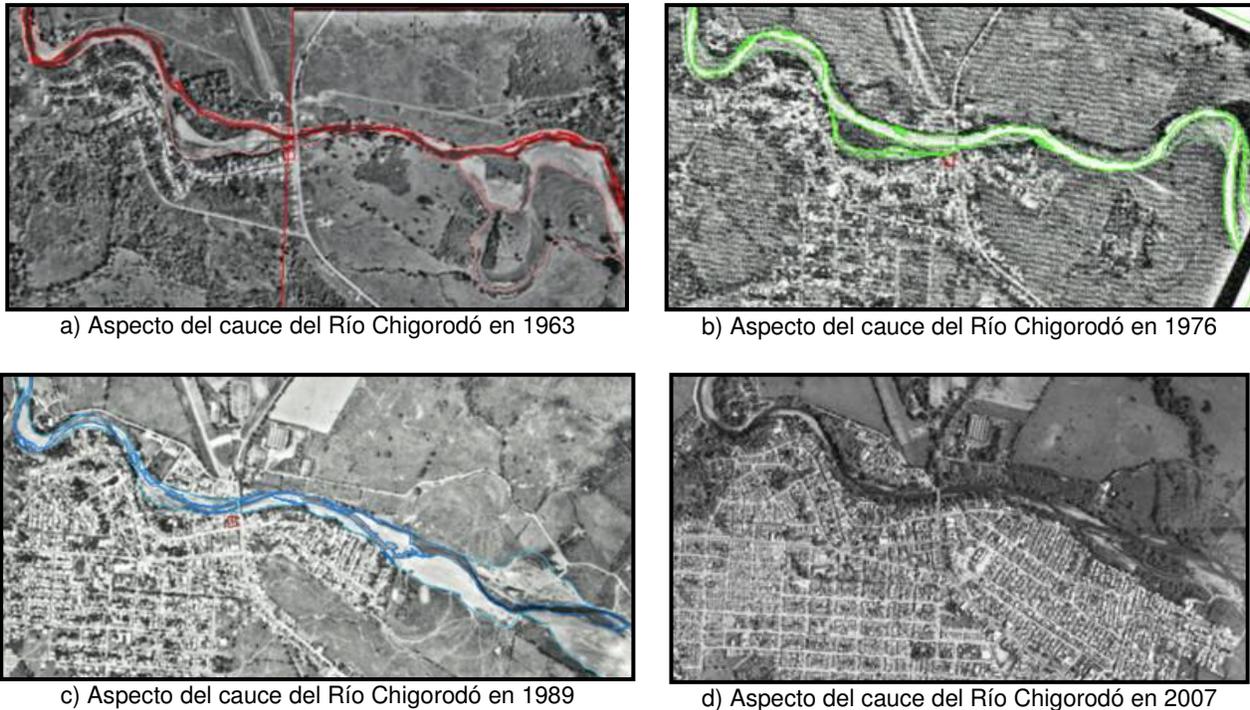


Figura 1-5. Secciones de flujo para un caudal de recurrencia 10 años considerando el caudal hallado para la creciente de octubre de 2009

De la observación de fotografías aéreas y basados en los resultados de los estudios geomorfológicos, se pudo establecer que en efecto, los desbordamientos ocurren aun para caudales de recurrencia de 10 años aguas arriba de los barrios que actualmente sufren por efecto de este fenómeno. Mas grave aun, se pudo establecer que estos barrios están asentados en una madre vieja o lecho antiguo del río el cual es invadido por las aguas cuando se presentan caudales de recurrencia menor de cinco años.



**Figura 1-6. Evolución del cauce del río Chigorodó en el periodo 1963 a 2007**

Los resultados de los análisis realizados conducen a afirmar que las inundaciones que se presentan en los barrios afectados no obedecen a desbordamientos del río ocurridos en el cauce frente a ellos por deficiencia del mismo para transportar caudales de avenida, pues tal como se observa en los resultados de los análisis con el modelo HEC RAS, aun para caudales de  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  que tienen recurrencia de 100 años, el nivel de las aguas en las abscisas K0 +200 a K1 +00 no se supera la cota a la cual estos podrían ocurrir.

Como se puede observar en las fotografías aéreas que acompañan el informe geomorfológico, los barrios que de manera frecuente sufren inundaciones ocupan un cauce viejo del río, el cual es ocupado nuevamente por las aguas durante el paso de avenidas de recurrencia de diez y menos años.

Visto el grado de amenaza por inundación para las comunidades que habitan en los barrios inundables, y aunque la velocidad de flujo sea en todos los casos inferior a  $0,50 \text{ m/s}$  en las áreas que se localizan bajo las aguas durante la ocurrencia de estos eventos, el nivel de estas puede, además de poner en peligro bienes, enseres y aun vidas de población infantil.

Por otra parte, como consecuencia del nivel de las aguas de desbordamiento, el sistema de alcantarillado sanitario tendrá una operación deficiente mientras dure la inundación, con las consecuencias lógicas que esta circunstancia implican.

Finalmente, se puede afirmar que el dique actual, aunque brinda alguna seguridad a los moradores del tramo en el cual se localiza, no realiza ningún trabajo de protección contra las avenidas que producen desbordamiento aguas arriba del mismo. Por el contrario, aun después de pasar la avenida, se tendrá agua depositada entre este y la ribera que se pretende proteger.

### 1.3.2 Categorización de la Amenaza

Se considera inundación a partir del desborde del agua que es conducida por el cauce hacia las zonas adyacentes (llanuras de inundación). Para delinear espacialmente la llanura de inundación del Río Chigorodó se usó el software HEC-RAS que permitió establecer para cada sección de análisis las cotas que alcanza el nivel de agua mostrados en el numeral anterior, datos que fueron mapeados en el plano topográfico para generar las curvas de nivel de inundación para cada periodo de retorno. En el caso del río Chigorodó se mapearon las curvas de inundación para los Tr de 50 y 100 años, los cuales registraron desborde del cauce y que se muestran en el plano C-4 del Anexo C.

Para la zonificación espacial de la amenaza por inundación, se optó por tomar 3 categorías de amenaza: alta, media y baja, que se determinaron a partir de las variables: probabilidad de falla, distancia de afectación de inundación y nivel de peligrosidad del flujo, a continuación se explican cada una de ellas:

**Probabilidad de falla:** La falla por inundación del cauce, se define como la probabilidad del evento en el cual el cauce alcanza su banca llena, y a partir de este nivel el río se desborda y causa inundación. Y la probabilidad de ocurrencia está asociada directamente a los periodos de retorno. Para el río Chigorodó, las crecientes que generan inundación son las correspondientes a los periodos de retorno de 50 y 100 años, que corresponden a probabilidades de ocurrencia de 0.02 y 0.01, relativamente bajas.

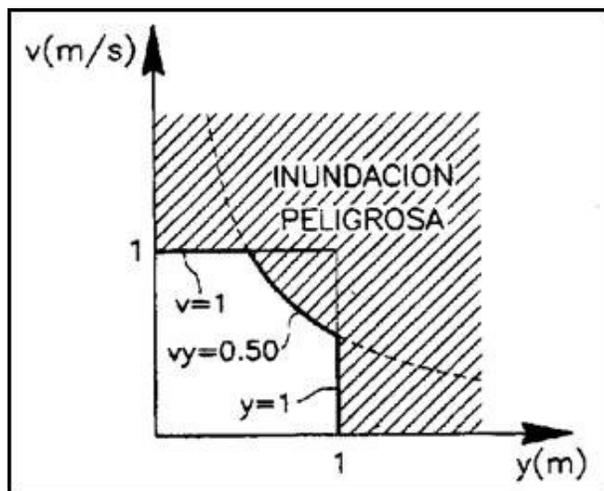
Para efectos de la categorización de la amenaza, la zona inundable con tr de 50 años se define como amenaza media, mientras la zona de inundación para el tr de 100 años se define como baja.

**Distancia de afectación inundación:** La amenaza de inundación normalmente va reduciéndose a medida que aumenta la altitud de la superficie terrestre en relación con el nivel de agua de la orilla del río. Generalmente la altitud de la superficie terrestre aumenta a medida que nos alejamos de la orilla del río y esto suele significar que la amenaza por inundación tiende a disminuir.

La distancia inundación se estimó a partir de la topografía de cada sección transversal según el reporte del modelo hidráulico, por lo tanto se definió cartográficamente la distancia de afectación de la inundación sobre la zona urbana de Chigorodó, como se puede observar en el mapa de amenaza.

**Nivel de peligrosidad del flujo de agua:** La amenaza queda determinada de manera completa con la estimación de la capacidad de daño de esta sobre el entorno donde se manifiesta. Se define severidad de la inundación o inundación peligrosa a aquellos eventos en donde existe una posibilidad de que se produzca pérdidas de vidas humanas o graves daños personales y daños a las edificaciones.

Mediante experimentos realizados por Bewick (1988) y Jaeggi (1990), sobre la resistencia y estabilidad de seres humanos ante el flujo de agua, se ha propuesto considerar inundaciones peligrosas, a los eventos de crecientes máximas con condiciones hidráulicas de: altura de flujo ( $y$ ) mayor a un metro, velocidad ( $v$ ) mayor a 1m/s y el producto de ambas ( $vy$ ) mayor de 0.5 m/s, según se muestra en la Figura 1-7.



**Figura 1-7. Criterio de Inundación Peligrosa**

La severidad de la inundación se categorizó en tres grados o intensidades a saber: baja, media y alta, de acuerdo con los valores de altura de flujo y velocidad para los diferentes periodos de retorno en cada sección transversal, el cálculo de los anteriores resultados se resumen en las siguientes matrices:

**Tabla 1-8. Matriz de intensidad del evento, parámetros hidráulicos altura y velocidad de flujo**

Categoría	Símbolo	Altura de flujo $y$ (m)	Velocidad de flujo $v$ (m)
Baja	B	$y < 1$	$v < 1$
Alta	A	$y > 2$	$v > 1$

**Tabla 1-9. Matriz de intensidad del evento del producto de los parámetros hidráulicos velocidad ( $v$ ) y altura de flujo ( $y$ )**

Categoría	Símbolo	Altura de flujo $y$ x velocidad de flujo $v$ ( $m^2/s$ )
Baja	B	$yxv < 0.5$
Alta	A	$yxv > 0.5$

**Clasificación de la Amenaza:** Ahora, para determinar la calificación de la amenaza por inundación teniendo en cuenta los criterios mencionados se recurre a la siguiente matriz:

**Tabla 1-10. Matriz de calificación de la amenaza por inundación**

Probabilidad de falla	Nivel de peligrosidad del flujo de agua		
	Alta	Media	Baja
Alta	Alta	Alta	Media
Media	Alta	Media	Baja
Baja	Media	Baja	Baja

Los resultados de las anteriores variables permitieron establecer las siguientes categorías de amenaza por inundación para la zona urbana de Turbo, que se muestran en el mapa de amenaza por Inundación del Anexo F.

**Amenaza alta por inundación:** Aquella zona de la llanura de inundación que se considera como área de desagüe de las crecientes con periodo de retorno  $Tr < 25$  años, alturas de agua mayores a 1 m o las velocidades del flujo mayores a  $1 \text{ m/s}^2$ . Dentro de las zonas de amenaza alta por inundación encontradas con base en los análisis realizados se encuentran algunas manzanas localizadas en las partes bajas de los barrios Guayabal, Brisas del Río, Casablanca, Zona Industrial, El Centro, El Camping y Las Palmas, además de la mayor parte del Barrio La Playa, de acuerdo con lo que se muestra en el Anexo F plano F-1.

**Amenaza media por inundación:** Es la zona de la llanura de inundación donde las crecientes presentan periodos de retorno  $25 \leq Tr < 50$  años, las alturas de agua son menores a 1 m o las velocidades de flujo menores a  $1 \text{ m/s}^2$ . Dentro de las zonas de amenaza media por inundación encontradas con base en los análisis realizados se encuentran algunas manzanas de los barrios Brisas del Río, Ferrini, Simón Bolívar, Casablanca y El Centro, de acuerdo con lo que se muestra en el Anexo F plano F-1.

**Amenaza baja por inundación:** Esta zona de la llanura de inundación se caracteriza por una rara ocurrencia de crecientes, con periodos de retorno igual o mayor a  $Tr \geq 50$  años. Las alturas de agua son menores a 50 cm o las velocidades de flujo menores a  $0.50 \text{ m/s}^2$ . Dentro de las zonas de amenaza baja por inundación encontradas con base en los análisis realizados se encuentran algunas manzanas de las partes altas de los barrios Guayabal, Brisas del Río, La Unión, Casablanca, El Centro, EL Camping y Las Palmas, de acuerdo con lo que se muestra en el Anexo F plano F-1.

### 1.3.3 Precisión de la modelación

Como ya se menciono anteriormente la precisión de los resultados obtenidos se definió en función de la comparación cartográfica de los diferentes temáticos relacionados, así se comparó el mapa geomorfológico que establece el cauce activo con los niveles de inundación del modelo hidráulico.

Contrastando las dos cartografías se puede observar una buena correspondencia entre las terrazas inundables y los límites de inundación para  $T_r$  de 50 años, lo que permite definir que los resultados obtenidos presentan una precisión alta.

Por otro lado se comparo el mapa de amenaza por inundación del área urbana de Chigorodó establecido en el POT con los límites obtenidos de la modelación hidráulica. La comparación muestra una buena concordancia con los límites de inundación del área inundables para  $T_r$  de 100 años.

En conclusión se puede concluir que los resultados presentados son precisos, es decir reflejan la condición de inundación de la zona urbana del Municipio de Chigorodó.

#### **1.3.4 Resultados**

El evento de inundación de la zona urbana de Chigorodó se presenta para periodos de retorno mayores a 50 años, que se consideran probabilidades de ocurrencia bajas.

El nivel de peligrosidad varia, en las áreas cercanas al cauce principal, donde las viviendas se han invadido las márgenes de las orillas del río, se presentan alturas de agua mayores de 1 m y velocidades del orden de  $1 \text{ m/s}^2$ , considerada como zona peligrosa, mientras nos alejamos de la orilla esta condición disminuye a una zona considerada de baja afectación con alturas de agua menores a 0.5 m.

Geográficamente, se pueden establecer 2 zonas de comportamiento ante el evento de inundación: una aguas arriba del puente vehicular, donde se ha expandido el municipio a lo largo de las orillas derecha del río, donde el cauce llega con una gran amplitud y se encausa en un canal más estable, que se caracteriza por la existencia de áreas de divagación que conforman madres viejas, que han sido ocupadas sobre la margen derecha del río, mientras la margen izquierda no ha sido urbanizada.

La segunda zona, aguas abajo del puente vehicular, el río se encausa en un canal bien definido, pero con una mayor sinuosidad. En esta zona el área urbana se desarrolla en ambas márgenes y son más antiguas.

La primera zona en la margen derecha, las áreas afectadas son mayores y los niveles de amenaza se categorizan como altos sobre las orillas del río y media a bajos en la parte interior alejado de las orillas. Los barrios con mayor afectación son La Playa, Ferrini, Simón Bolívar y Casablanca y los barrios con afectación baja o local son Guayabal, Brisas del Río y la Unión.

La margen izquierda de esta zona, presenta niveles de amenaza altos por inundación. Teniendo en cuenta que el uso es industrial y con cobertura vegetal, la zona debe definirse de protección y las industrias localizadas allí deberán controlar estos eventos mediante obras de protección.

La zona localizada aguas abajo, se caracteriza porque los niveles de agua de las áreas inundables es menor a 50 cm y velocidades menores a  $0.5 \text{ m/s}^2$ , que sumado a  $T_r$  mayores de 50 años de las crecientes que inundan, dan como resultado niveles de amenaza bajos.

## 1.4 AMENAZA POR INESTABILIDAD DE MÁRGENES

La amenaza por inestabilidad de las márgenes se enfoca a la identificación de sectores inestables de las márgenes del río Chigorodó a la altura del casco urbano del municipio, que por sus características generen riesgo para la comunidad.

La evaluación de esta amenaza se sustenta en el inventario de procesos actuales y evidencias de procesos antiguos que han afectado las márgenes del río. En el capítulo de información Base, en los aspectos geomorfológicos se presenta la dinámica actual del cauce y se realiza un inventario detallado de puntos inestables y sectores con obras de contención.

### 1.4.1 Condiciones Actuales.

El Cauce del río Chigorodó a la altura del casco urbano del municipio presenta geomorfológicamente dos sectores bien definidos, el primero en la parte agua arriba, un sector con un cauce amplio de divagación con presencia de madres viejas, por donde desborda el río en crecientes, las márgenes están definidas por diferentes unidades de terrazas con cambios de nivel entre una y otro de alturas del orden de 1 a 2 m, definiendo taludes estables y de baja altura.

El segundo sector corresponde a donde el cauce principal queda perfectamente definido por sus márgenes con un canal hidráulico con comportamiento meándrico, las márgenes se conforman con taludes de mayor pendiente del orden de los 45 grados y donde se observa una dinámica erosiva lateral del cauce sobre los taludes.

Los procesos erosivos y de inestabilidad de las márgenes se presentan en el segundo sector, siendo un comportamiento típico de este tipo de cauces.

Los procesos identificados en general, se caracterizan por ser aislados y de pequeña magnitud, estar asociados a descargas incontroladas de agua y por el proceso de deforestación de la cobertura de galería que han sufrido las márgenes. El detonante de los procesos de inestabilidad de las márgenes corresponde a la erosión lateral del cauce sobre las márgenes que actúa en la base de los taludes en las partes curvas del cauce (margen exterior de la curva).

### 1.4.2 Evaluación de la Amenaza

A partir de los criterios geomorfológicos establecidos y utilizando la técnica de criterio de experto se caracteriza la amenaza de inestabilidad de las márgenes del río Chigorodó en la zona urbana del municipio, según se muestra en el plano F-2 del Anexo F, de la siguiente manera:

**Zonas de amenaza alta por FRM:** Son aquellas márgenes en zonas donde el río Chigorodó discurre por el canal bien definido, sobre la zona meándrica y por la parte exterior del alineamiento curvo, donde los procesos erosivos de la corriente son frecuentes.

**Zona de amenaza media:** Son aquellas márgenes en zonas donde el río Chigorodó discurre por el canal bien definido, en los alineamientos rectos y sobre la zona meándrica y por la parte interior del alineamiento curvo.

**Zona de Amenaza baja:** Corresponde a las márgenes del río Chigorodó donde el cauce presenta una zona de divagación amplia, con taludes de altura menor a 2 m.

Es de notar que los niveles de amenaza se ven mayorados por la intervención del hombre realizado descarga de aguas negras sin control, talando el bosque de galería de protección del cauce y a la disposición localizada de basuras y escombros sobre los taludes.

## CONTENIDO

5	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD .....	2-1
5.1	INTRODUCCIÓN.....	2-1
5.2	IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS .....	2-1
5.3	CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS.....	2-1
5.4	IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS GENERADORES DE DAÑO .....	2-5
5.5	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD .....	2-5
5.5.1	Matrices de daño.....	2-5
5.5.2	Valoración de la vulnerabilidad.....	2-7
5.5.3	Vulnerabilidad de la sociedad.....	2-9
5.5.4	Vulnerabilidad institucional.....	2-15

## **2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

La Evaluación de Vulnerabilidad se adelanta a partir de la identificación de los elementos urbanos localizados sobre las márgenes y valle de inundación del río Chigorodó. Es así como a partir del inventario de manzanas, la zonificación por los eventos de inundación e inestabilidad de las márgenes, se definen los elementos amenazados en cada zona y su nivel de exposición.

Así, en forma semi cuantitativa se establece el nivel de vulnerabilidad física, corporal y social de cada una de las manzanas que se encuentran dentro de las franjas de inundación, en función de los posibles daños que pueden llegar a sufrir los elementos expuestos situados en la zona de afectación previsible por los eventos amenazantes.

El nivel de daño de los elementos expuestos se define en función de la tipología característica de cada una de las manzanas establecida en la caracterización del área en estudio y los modos de daño asociados a la sollicitación impuesta por la corriente de agua y por los procesos de inestabilidad.

### **2.2 IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS**

La identificación de los elementos expuestos para los eventos de inundación e inestabilidad de las márgenes del río Chigorodó, se adelantó en función de las zonas de influencia establecida en los respectivos mapas de Amenaza.

Para efectos del estudio se estableció como unidad base de mapeo la manzana, teniendo en cuenta las características urbanísticas del área, que la información DANE se encuentra a nivel de manzana y que las actuaciones sobre el entorno urbano deben hacerse a nivel de manzana.

Para tal efecto el área de estudio se delimito urbanísticamente, con las manzanas que se identificaron que posiblemente podían ser afectadas por la ocurrencia de eventos de inundación. En el Anexo A se presenta el mapa base en el que aparece la delimitación del área de estudio. La Tabla 2-1 muestra el listado de las manzanas involucradas en los análisis de vulnerabilidad, de acuerdo con la codificación catastral.

En resumen para el análisis de vulnerabilidad se toman como elementos expuestos, las unidades habitacionales y las personas. Sobre las unidades habitacionales se define la vulnerabilidad física como posible daño de las mismas, sobre las personas su afectación corporal y sobre la comunidad su vulnerabilidad social.

### **2.3 CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS**

La caracterización de los elementos expuestos permite hacer una evaluación sobre el estado de cada una de las unidades habitacionales construidas, con un carácter más cualitativo que cuantitativo, sobre aspectos como la tipología estructural y la condición de los habitantes, con el objetivo primordial de identificar de manera conceptual su resistencia y capacidad de respuesta ante eventos de inundación o de deslizamientos.

**Tabla 2-1. Listado de manzanas consideradas en el análisis de vulnerabilidad**

Barrio	Manzana	Barrio	Manzana	Barrio	Manzana	Barrio	Manzana
005	018	014	003	017	026	018	045
005	019	014	005	017	027	018	046
005	017	014	006	017	028	018	047
005	013	014	007	017	029	018	048
005	011	014	008	017	030	018	049
005	010	014	009	017	032	023	001
005	009	014	010	017	033	023	002
005	008	014	011	017	034	023	003
005	007	014	012	017	035	023	004
005	006	015	001	017	036	023	005
011	005	015	002	017	037	023	006
011	006	015	003	017	038	023	007
011	008	015	004	017	039	023	008
011	007	015	005	017	040	023	009
012	011	015	006	017	041	023	010
012	010	015	007	017	042	023	011
012	009	016	001	018	034	027	001
012	008	016	002	018	035	027	002
012	007	016	003	018	036	027	003
012	006	016	004	018	037	027	004
012	005	016	005	018	038	027	005
012	004	016	006	018	039	027	006
012	003	016	007	018	040	027	007
012	002	017	022	018	041	027	008
012	001	017	023	018	042	027	009
014	001	017	024	018	043	029	001
014	002	017	025	018	044		

NOTA: Se presenta el listado de manzanas de acuerdo con la codificación que aparece en el plano catastral del municipio

Sobre este aspecto, conviene agregar que en general, casi ninguna edificación y mucho menos las que ocupan la atención de este estudio son diseñadas, ni construidas específicamente para resistir empujes o fuerzas laterales generadas por la corriente de agua, ni soportar desplazamientos producto de la acción de un deslizamiento y que por lo tanto, la evaluación que sobre el particular puede hacerse con base en el inventario es muy limitada. Más aún si las edificaciones del área en su construcción responden a una necesidad primaria de vivienda y esta además responde a la capacidad de respuesta de su propietario, a las necesidades de espacio, reflejando el nivel socio económico y cultural del mismo.

Así, la caracterización de los elementos expuestos, se estableció con base en la visita de reconocimiento realizada a la zona de estudio y consistió en:

- Identificación general de las características de tipología de las viviendas.
- Muestreo de tipología de vivienda por manzana.
- Caracterización de la población a nivel de manzana.
- Definición de tipología de viviendas a nivel de Manzana.

**Identificación general de tipología de viviendas:** La tipología de las estructuras se asocia de acuerdo a su naturaleza y a la capacidad de resistencia ante la acción que produce fuerzas externas, como por ejemplo la capacidad de resistir el empuje hidrostático de la corriente de agua o la pérdida de soporte por la ocurrencia de un deslizamiento. Una estructura en concreto seguramente presenta una mayor capacidad de resistencia que una estructura hecha con madera.

Es por esto, que la capacidad de respuesta o la vulnerabilidad física se evalúa de acuerdo al tipo de estructura definida para cada una de las manzanas mediante las características establecidas en campo. Se identificaron tres tipologías, así:

1 – Corresponde a unidades de recuperación, se caracterizan por tener un estructura de poca estabilidad y estar construidas en materiales perecederos como madera, lata, plástico, poli sombra, etc..

2- Corresponden a casas en muros portantes o prefabricados. Unidades en un solo nivel, construidas con ladrillos o bloques con cubiertas en teja, generalmente sin sistemas de confinamiento como lo establece el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes.

3 – Unidades de vivienda de 2 niveles construidas con algún sistema estructural de muros confinados, mampostería o con pórticos.

Por su localización se identificaron dos unidades de vivienda, la primera la que se construye sobre la llanura de inundación del río y la segunda construida directamente sobre la corona de las márgenes del río. Esta localización imprime la necesidad que cualquier tipo de vivienda requiera de construcción de columnas o pilas para alcanzar los niveles arquitectónicos de las viviendas – lo que comúnmente se le denomina palafito. Esta condición es tenida en cuenta para calificar la vulnerabilidad.

Vale la pena anotar que las viviendas se referenciaron espacialmente en el área de estudio, de tal forma que resulta sencillo asignarles el tipo de evento amenazante al que están expuestas, según su localización en el valle de inundación y/o en las márgenes del cauce principal.

**Muestreo de Viviendas:** Con base en la anterior identificación de tipología de viviendas se adelanto el inventario de las mismas de manera sistemática en cada una de las manzanas identificadas como elementos vulnerables. El formato de inventario empleado se presenta en el Anexo E.

Para tal fin se utilizo como instrumento de recolección de información el formato ajustado de inventario de viviendas que permite establecer las condiciones generales de la vivienda y la identificación de daños asociados a inundaciones o Fenómenos de remoción en masa. En la Figura 5.1 se muestra la localización de los predios inventariados.

El formulario de inventario consta de cuatro bloques o partes básicas de información, mediante los cuales se pretende cubrir los alcances y objetivos del estudio, como es la de evaluar la vulnerabilidad física y social del predio:

La parte I, denominada Datos Básicos, se pretende obtener información de la identificación catastral del predio, propietario, tiempo de permanencia, tipo de vivienda en cuanto a su número de plantas y área construida, ocupación y cobertura de servicios.

La parte II, Condición Estructural, permite obtener la información necesaria para establecer la ubicación espacial del predio respecto a la ladera, tipo de cimentación, sistema estructural y estado de la misma.

La parte III, Daños, permite identificar el estado físico de la vivienda frente a la ocurrencia o no de eventos tipo inundación o FRM, su grado de exposición, condición estructural, el tipo de daño, los elementos afectados y dictar recomendaciones en cuanto a medidas de mitigación de ser necesario.

La parte IV, denominada Aspecto Social, pretende identificar la participación de los habitantes en la gestión comunitaria, inferir el nivel de ingresos y la percepción del riesgo.

Para la ejecución del trabajo de inventario de viviendas, se contó con los planos prediales a nivel de manzana o predio obtenido de la cartografía DANE o catastro Municipal.

Fueron inventariados 94 predios para la evaluación estructural y a los mismos se le realizó la encuesta social.

Toda la información consignada en los formularios fue transcrita fielmente a la base de datos diseñada en aplicación Excel según se muestra en el Anexo E, a partir de la cual se realizaron todos los análisis de tipología estructural y condición física de la vivienda, enfocados a establecer su vulnerabilidad física y el nivel de daño esperado.

**Caracterización de la población:** Los resultados de esta caracterización se muestran en el numeral de vulnerabilidad social.

**Tipología de viviendas:** La tipología de viviendas se adelanta a nivel de manzana de acuerdo a lo expuesto anteriormente. Para cada manzana se definió una tipología característica, en términos de:

- 1 - Unidades de recuperación,
- 2 - Casas en muros portantes o prefabricados.
- 3 - Unidades de vivienda con sistema estructural.

La tercera categoría corresponde principalmente a edificaciones institucionales o de servicios, que su sistema constructivo obedece a la utilización de procesos constructivos norma tizados y técnicas adecuadas. Muy pocas viviendas se encuentran construidas con algún sistema estructural, predomina muros confinados.

La Figura 5.2, muestra la tipología característica por manzana.

## 2.4 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS GENERADORES DE DAÑO

Esta identificación busca para cada evento generador de daño, inundación y deslizamientos, establecer la forma como se representa la acción sobre los elementos vulnerables y la manera como se produce el daño.

**Procesos de daño por inundación:** Una inundación puede producir arrastre, empujes, flotación, socavación, traslación o volcamiento sobre una estructura, estas acciones están dadas en función de las características de la creciente, especialmente la altura de lámina de agua o calao y velocidad de misma.

Teniendo en cuenta las características de las crecientes en términos de altura y velocidad de agua, para la zona en estudio se definieron tres tipos de solicitaciones para las estructuras (vulnerabilidad física):

- Fuerza de arrastre o golpeteo – FA
- Presión hidrostática – PH.
- Socavación - SV

Ahora para tener en cuenta la afectación sobre las personas, vulnerabilidad corporal, se tuvo en cuenta la fuerza de arrastre definida cualitativamente con la velocidad de flujo y la altura de agua.

**Procesos de daño por deslizamiento:** Para este evento y teniendo en cuenta la localización geográfica de las construcciones, corona de las márgenes del río, y los mecanismos de falla de los taludes que conforman las márgenes, la acción sobre las estructuras de las viviendas es la de desplazamiento vertical por pérdida de soporte en la base o cimientos.

Los desplazamientos verticales son experimentados por los elementos localizados sobre la corona de las áreas inestables y su posible área de retroceso; su valoración se hace a partir de la dinámica de los movimientos, que para este caso específico se considera que se desencadenarían de manera súbita y rápida. Este tipo de solicitación principalmente se asocia en la zona a los predios localizados en la margen izquierda del río aguas abajo del puente vehicular.

## 2.5 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

### 2.5.1 Matrices de daño

Una vez definidos los posibles tipos de daño sobre las edificaciones y sobre las personas, se procede a definir las matrices de daño de manera cualitativa en términos de intensidad de afectación de acuerdo al tipo de solicitación, en función de la calificación de la amenaza, y de la tipología de las viviendas.

**Matriz de afectación por Inundación:** Para esta se establecieron las siguientes matrices de afectación:

La primera en función de la velocidad de flujo. De acuerdo al criterio de peligrosidad, las velocidades son bajas si son menores 0.5 m/s<sup>2</sup> y altas si son mayores a 1 m/s. Se considera que las velocidades mayores a 1 m/s la sollicitación sobre la estructura es alta, mientras velocidades menores a 1 m/s es baja. Entonces la afectación sobre las viviendas según su tipología se define:

**Tabla 2-2. Matriz de afectación física por inundación**

Tipo de vivienda	Localización vivienda	Velocidad de flujo		
		Alta	Media	Baja
Madera – Sistema de recuperación	Valle del río	Alta	Media	Baja
	Borde del río	Alta	Alta	Media
Mampostería – Muros portantes	Valle del río	Media	Baja	Baja
	Borde del río	Alta	Media	Baja

Igualmente para el efecto de la socavación se determinó la siguiente matriz de afectación:

**Tabla 2-3. Matriz de afectación física por socavación**

Tipo de vivienda	Localización vivienda	Velocidad de Flujo		
		Alta	Media	Baja
Madera – Sistema de recuperación	Valle del río	Media	Baja	Baja
	Borde del río	Alta	Alta	Media
Mampostería – Muros portantes	Valle del río	Baja	Baja	Nula
	Borde del río	Alta	Media	Baja

En función de la altura de agua, se estableció el nivel de afectación sobre las personas. El criterio de peligrosidad utilizado define: una altura de agua mayor a 1 m se considera peligrosa o de alto impacto, mientras alturas de agua menores a 0.5 m se consideran de bajo impacto, y de medio impacto cuando la altura de agua está entre 0.5m y 1 m.

Entonces la matriz de afectación a personas se define:

**Tabla 2-4. Matriz de afectación corporal por altura del agua**

Tipo de vivienda	Altura de agua		
	Alta	Media	Baja
Madera – Sistema de recuperación	Alta	Alta	Media
Mampostería – Muros portantes	Alta	Media	Baja

**Matriz de afectación por deslizamientos:** Para la zona en estudio se definieron dos tipos de sollicitaciones: Desplazamientos verticales – **DV** y Empujes o presión lateral – **E**.

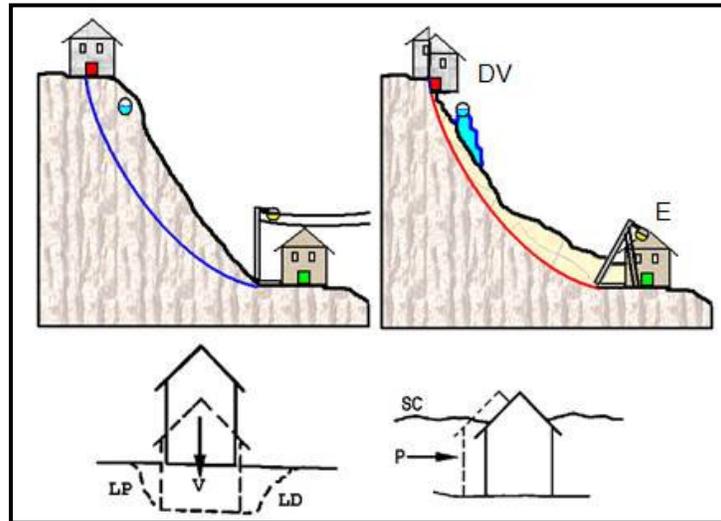


Figura 2-3. Solicitaciones por deslizamientos

Para los eventos tipo deslizamientos y teniendo en cuenta que los procesos generadores de daño en el caso de la zona de estudio son los desplazamientos verticales, el nivel de afectación de este tipo de solicitación se considera alto toda vez que el efecto sobre la edificación es la pérdida de su sistema de cimentación. La matriz de afectación se define:

Tabla 2-5. Matriz de afectación por deslizamientos

Tipo de vivienda	Afectación por desplazamientos verticales
Madera – Sistema de recuperación	Alta
Mampostería – Muros portantes	Alta

## 2.5.2 Valoración de la vulnerabilidad

**Vulnerabilidad por Inundación:** La valoración de la vulnerabilidad para las manzanas se adelanta en función de los niveles de daño en términos de afectación definidos en los numerales anteriores y los niveles de amenaza a que está expuesta la misma establecidos de acuerdo al periodo de retorno ( la amenaza para un Tr de 100 años se considera baja, mientras para un Tr de 50 a 100 años se considera media), de acuerdo a su localización en el área inundada y las características de la misma en términos de altura de agua y velocidad.

La vulnerabilidad física se estableció con base en la matriz de afectación definida en función de la velocidad de flujo, mientras la vulnerabilidad corporal o de las personas se definió en función de la altura de agua.

Los intervalos de clasificación de la vulnerabilidad se establecen según la información contenida en la Tabla 2-6.

**Tabla 2-6. Categorización niveles de vulnerabilidad**

Niveles	Vulnerabilidad
MB Muy Bajo	$<0.1$
B Bajo	$0.1 \leq B < 0.3$
M Medio	$0.3 \leq M < 0.6$
A Alto	$0.6 \leq A < 0.8$

Los resultados de la cualificación de la vulnerabilidad se presentan en el Anexo G, discriminando la vulnerabilidad física de la vulnerabilidad corporal y sumada a la vulnerabilidad social definida para cada manzana.

La representación de estos resultados sobre la base cartográfica se muestra en el Plano G-4 Vulnerabilidad de Edificaciones, empleando el criterio semáforo, esto es:

Tono naranja	Niveles de vulnerabilidad alto
Tono amarillo	Niveles de vulnerabilidad medio
Tono verde	Niveles de vulnerabilidad bajo

**Vulnerabilidad por deslizamientos:** Dadas las características de los procesos que afectan las márgenes del Río Chigorodó, aguas abajo del puente vehicular, se considera que la vulnerabilidad de las viviendas localizadas sobre las coronas de la márgenes y que se encuentren afectadas por inestabilidad de las mismas, es alta a muy alta, vulnerabilidad 1.

En el plano G-5 del Anexo G se muestra la vulnerabilidad física por inestabilidad de márgenes.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede establecer que la vulnerabilidad física y corporal por los eventos tipo inundación se concentra en el sector del Barrio La Playa, Ferrini y la parte baja del Guayabal, con niveles altos, mientras los Barrios Brisas del río y Simón Bolívar los niveles se reducen a medios, excepto las manzanas localizadas a la orilla de la margen izquierda del río, las cuales están invadiendo el cauce principal del río y además están afectadas por procesos de socavación.

Como nota al margen, sobre la margen derecha, se encuentran localizada la zona industrial, esta parte se caracteriza porque las inundaciones de los 50 y 100 años alcanzan la vía de acceso, por tanto están expuestos a la acción de la corriente, la mayor vulnerabilidad es la corporal, la cual debe ser manejada internamente por los dueños de dichas industrias.

Los sectores antes mencionados se localizan aguas arriba del puente vehicular, es de notar que los barrios localizados aguas abajo del puente presentan niveles de vulnerabilidad por inundación predominantemente bajos.

Es de notar que dado que los procesos de inestabilidad son de baja magnitud y se enmarcan sobre los taludes que conforman las partes externas de las curvas del cauce, los niveles de exposición de las construcciones urbanas son bajos a este evento, y las vulnerabilidades por exposición se encuentran muy localizadas en el Barrio del Centro y Las Palmas, sobre las instalaciones de la planta de Tratamiento de aguas y la manzana localizada al costado derecho del puente peatonal.

Sobre la margen derecha del río, la vulnerabilidad se asocia a la vía de acceso al sector que se localiza de manera paralela a la margen del cauce, y se convierte en una zona de aislamiento y de protección contra las viviendas. Excepto las últimas dos manzanas que no dejaron aislamiento contra la margen del río.

### 2.5.3 Vulnerabilidad de la sociedad

Adicional a la vulnerabilidad física de las viviendas ante una amenaza de inundación, se introduce el concepto de vulnerabilidad social. Ésta permite establecer, sobre el contexto socio – económico de la población ubicada en el área de afectación, la capacidad de respuesta de una sociedad amenazada<sup>7</sup>. Ante la ocurrencia de un evento de inundación potencialmente dañino, aquellos hogares con menores recursos económicos presentan una mayor dificultad para su atención que los de altos ingresos, ya que suelen tener menor capacidad de recuperarse.

La vulnerabilidad de la población expuesta puede verse incrementada por la capacidad de respuesta de las instituciones y por tanto, estos dos elementos en conjunto, constituyen la **vulnerabilidad de la sociedad**, cuya evaluación resulta básica en la gestión del riesgo ya que permite la definición de medidas de mitigación tendientes a mejorar la capacidad de respuesta tanto de las familias como de las instituciones.

La vulnerabilidad social, se relaciona con la *fragilidad social* y la *falta de resiliencia*. Por un lado, la fragilidad social indica que la vulnerabilidad se explica por la misma pobreza en que viven las familias, relacionándose muy de cerca, en términos causales, con sus grados de exclusión social y el peso del riesgo cotidiano que deben vencer como parte de sus vidas diarias y, por otro lado, a que precisamente ésta fragilidad se vuelve un factor que expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos para una adecuada ubicación del asentamiento humano<sup>8</sup>, falta de preparativos para atender emergencias y en esa medida su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto que producen los desastres y su rehabilitación o recuperación post-desastres.

La valoración de la vulnerabilidad social parte de la caracterización de la población y requiere de la definición de variables consideradas apropiadas en un área expuesta a inundaciones.

7 La vulnerabilidad es compleja, multicausal y está compuesta por varias dimensiones analíticas, pues confluyen aspectos de los individuos u hogares y características económicas, políticas, culturales y ambientales de la sociedad. BUSO G. 2002. La vulnerabilidad sociodemográfica en Nicaragua: Un desafío para el crecimiento económico y la reducción de la pobreza. Naciones Unidas. CEPAL. CELADE.

8 La localización de vivienda e infraestructura en terrenos frágiles o inestables, "está ligada por una serie de presiones dinámicas, que canalizan las causas de fondo hacia condiciones inseguras y hacia colisiones específicas en el tiempo y espacio con una amenaza natural". PIERS BLAIKIE, otros. 1996. Vulnerabilidad. La Red.

En este caso, teniendo en cuenta la homogeneidad de las condiciones sociales de la población asentada en el área de estudio, la estimación de la fragilidad social se elaboró a nivel de manzana evaluando aquellas variables que constituyen una discriminación positiva hacia aquellos hogares que se encuentran en condiciones de mayor fragilidad, utilizando para ello la información del Censo 2005, elaborado por el DANE.

Los factores que fueron tomados en cuenta para determinar la vulnerabilidad social de los hogares a nivel de manzana se presentan en la Tabla 2-7.

**Tabla 2-7. Factores de vulnerabilidad de la valoración de vulnerabilidad social.**

<b>Factor de vulnerabilidad</b>	<b>Criterio</b>
El número de personas en la manzana.	A mayor número de personas, se aumenta en número de damnificados en caso de presentarse una inundación.
La proporción de niños menores 14 años y los adultos mayores con relación a la población adulta.	Indica la población que requiere de atención y sostenimiento por parte de los adultos.
La proporción de personas con alguna discapacidad en la manzana.	La presencia de un elevado número de personas con alguna discapacidad limita la capacidad de respuesta ante un evento de desastre.
El nivel de escolaridad de las personas que habitan en la manzana.	El nivel de escolaridad de las personas se relaciona con la capacidad de acceder a un trabajo. Se calificó como bajo si el 45% de los habitantes tenían una escolaridad hasta 4 primaria, medio si más del 30% de los habitantes de la manzana contaban con primaria completa hasta básica secundaria y alto si más del 20% de las personas de la manzana tenían una escolaridad mayor de básica secundaria.
La relación hombres/mujeres en edad adulta.	Considerando la influencia del conflicto armado en el municipio, una mayor presencia de mujeres en edad adulta indica la presencia de hogares con mujeres cabeza de hogar.
El acceso al servicio de alcantarillado	Resulta ser el servicio público más discriminativo.
La presencia en la manzana de lugares especiales de alojamiento - LEA.	Que implican concentración de personas, como asilo de ancianos, conventos, seminarios, cárcel, etc.
La proporción vivienda “tipo cuarto” en la manzana.	Indica un mayor grado de hacinamiento de los habitantes de una manzana.

La valoración de la fragilidad social y del factor de resiliencia de los habitantes de una manzana se realizó aplicando la calificación que se presenta en la Tabla 2-8 a los factores definidos.

**Tabla 2-8. Fragilidad social y factor de resiliencia por manzana**

<b>Factor de vulnerabilidad</b>	<b>Rangos /Valoración para ponderación</b>		
Número de personas por manzana	≤ 40	40 – 80	> 80
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Proporción de niños y adultos mayores	< 0.5	0.5 – 0.7	> 0.7
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Proporción de personas con discapacidad	< 0.07	0.07 – 0.11	> 0.11
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Nivel de escolaridad	Alto	Medio	Bajo
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Relación hombres/mujeres	≥ 1	< 1	
	<b>0</b>	<b>1</b>	
Servicio de alcantarillado	SI	NO	
	<b>0</b>	<b>1</b>	
Presencia de lugares especiales de alojamiento - LEA	NO	SI	
	<b>0</b>	<b>1</b>	
Proporción de viviendas “tipo cuarto”	≤ 5	5 – 9	> 9
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

El peso de la valoración recaerá en las variables con puntaje máximo de 2, entre las cuales se encuentran: número de persona por manzana, proporción de niños y adultos mayores, nivel de escolaridad de las personas que habitan una manzana y proporción de viviendas “tipo cuarto”. Los extremos están dados por una fragilidad social muy alta con un puntaje máximo de 13 puntos (sumando) frente a una fragilidad social baja con un valor mínimo de 0. Se establecieron rangos de calificación intermedios, a partir del análisis de distribución de frecuencias de la información procesada por manzana estudiada, para definir vulnerabilidad social muy alta, alta, media y baja, según se presenta en la Tabla 2-9.

**Tabla 2-9. Clasificación de la fragilidad social por vivienda**

<b>Fragilidad social</b>	<b>Calificación</b>
Baja	< 4
Media	4 - 6
Alta	6 - 8
Muy alta	> 8

Adicionalmente, con el fin de corroborar y complementar la información reportada por el DANE se elaboraron encuestas a algunas familias ubicadas en el área de estudio, escogidas al azar, con el fin de determinar su vulnerabilidad. Para ello se empleo el Formulario para la evaluación de daños en edificaciones por inundación y FRM, que recoge no solo aspectos de las viviendas sino familiares.

Teniendo en cuenta que, según Núñez y Espinosa (2005)<sup>9</sup>, un hogar es más vulnerable cuando es pobre que uno rico (en relación con los ingresos), además, en relación con la proporción de niños menores de 12 años, son más vulnerables aquellos hogares donde más de uno de cada tres miembros es un niño. De otra parte, los hogares donde menos de una cuarta parte de los miembros trabaja son más vulnerables y la incidencia de vulnerabilidad es mayor en los hogares desplazados, en los que hay una persona discapacitada, en aquellos que no tienen activos productivos y en los hogares que no son propietarios de la vivienda, se establecieron las variables y los rangos de calificación de la vulnerabilidad para los hogares encuestados. La valoración de la fragilidad social y del factor de resiliencia de los habitantes de una vivienda se realizó aplicando los factores definidos y presentados en la Tabla 2-10.

**Tabla 2-10. Fragilidad social y factor de resiliencia por familia**

Variables	Rangos /Valoración para ponderación			
	1 y 2	3	4 y 5	6
Estrato	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
No. Personas/ vivienda	Más de 9 <b>3</b>	7 a 9 <b>2</b>	4 a 6 <b>1</b>	De 1 a 3 <b>0</b>
Ingresos (en SMMLV)	Menor a 1 <b>3</b>	Entre 1 y 2 <b>2</b>	Entre 2 y 4 <b>1</b>	Más de 4 <b>0</b>
Escolaridad Jefe de Familia	Ninguna <b>3</b>	Primaria <b>2</b>	Secundaria <b>1</b>	Técnica o Universitaria <b>0</b>
Propiedad sobre la vivienda	Arrendada <b>1</b>	Propia <b>0</b>		
Proporción personas que trabajan en la familia	Menor a ¼ <b>1</b>	Igual o mayor a ¼ <b>0</b>		
Género Jefe de Familia	Mujer <b>1</b>	Hombre <b>0</b>		
Ocupación Jefe de Familia	Desempleado <b>2</b>	Pensionados; E. Domésticas, T. Independiente <b>1</b>	Empleado <b>0</b>	
Edad Jefe de Familia (años)	Menor de 25 <b>1</b>	Mayor de 25 <b>0</b>		
Proporción niños por adulto en la familia	≥ 1/3 <b>1</b>	Menor a 1/3 <b>0</b>		
Discapacitados en la vivienda	Si <b>1</b>	No <b>0</b>		

1 9 NÚÑEZ J., ESPINOSA S. 2005. Determinantes de la pobreza y la vulnerabilidad. Misión para el Diseño de una Estrategia para la Reducción de la Pobreza y la Desigualdad (MERPD)

Los rangos de calificación que se establecieron de la información procesada por cada una de las familias encuestadas en la muestra se presentan en la Tabla 2-11.

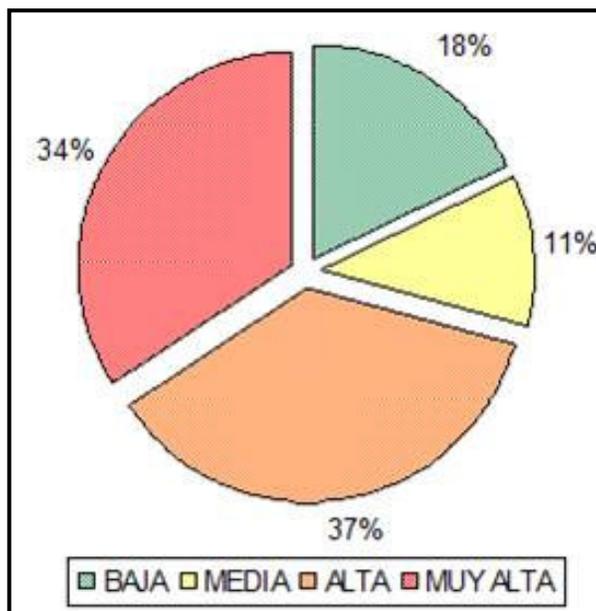
**Tabla 2-11. Clasificación de la fragilidad social por familia entrevistada**

Fragilidad social	Calificación
Baja	< 6
Media	6 – 8
Alta	9 – 11
Muy alta	> 11

El resultado final de la calificación de la fragilidad social a nivel de manzana y de familia para el Municipio de Chigorodó se aprecia en la Tabla 2-13. En aquellos casos en los que las dos calificaciones fueron opuestas se evaluaron las razones y se optó por la que mayor discriminación positiva representa a nivel de manzana. Sin embargo, en general las encuestas a nivel de familia confirmaron lo obtenido a nivel de manzana.

Para las 79 manzanas ubicadas en el área de estudio de este municipio se obtuvo una distribución de la vulnerabilidad social predominantemente “Muy alta” y “Alta” como puede apreciarse en la Tabla 2-12. Indicando que las medidas de mitigación deben contemplar acciones que minimicen esta vulnerabilidad, de tal forma que repercutan en una mejor calidad de vida de los habitantes de este sector.

**Tabla 2-12. Distribución porcentual de las categorías de vulnerabilidad social en el área de estudio**



**Tabla 2-13. Vulnerabilidad social de las manzanas del área de estudio en el Municipio de Chigorodó**

Código Manzana DANE	Total puntaje vulnerabilidad social a nivel de manzana	Calificación de la Vulnerabilidad social a nivel de manzana	Total puntaje vulnerabilidad a nivel de vivienda	Calificación vulnerabilidad por vivienda
051721990000000000030101	9	MUY ALTA	14	MUY ALTA
051721990000000000030104	7	ALTA	6	BAJA
051721990000000000030105	10	MUY ALTA	10	ALTA
051721990000000000030106	7	ALTA	9	ALTA
051721990000000000030107	6	ALTA		
051721990000000000030110	2	BAJA	11	ALTA
051721990000000000030111	7	ALTA		
051721990000000000030115	5	MEDIA	8	MEDIA
051721990000000000030116	9	MUY ALTA		
051721990000000000030117	5	MEDIA		
051721990000000000030209	10	MUY ALTA	10	ALTA
051721990000000000030210	2	BAJA		
051721990000000000040101	1	BAJA		
051721990000000000040102	1	BAJA		
051721990000000000040103	5	MEDIA		
051721990000000000040104	6	ALTA		
051721990000000000040105	Manzana sin viviendas			
051721990000000000040106	Manzana sin viviendas			
051721990000000000040107	0	BAJA		
051721990000000000040112	3	BAJA		
051721990000000000040113	8	MUY ALTA		
051721990000000000040114	11	MUY ALTA	13	MUY ALTA
051721990000000000040115	8	MUY ALTA	8	MEDIA
051721990000000000050101	6	ALTA		
051721990000000000050102	3	BAJA		
051721990000000000050103	7	ALTA	12	MUY ALTA
051721990000000000050104	5	MEDIA	13	MUY ALTA
051721990000000000050105	8	MUY ALTA	15	MUY ALTA
051721990000000000050106	6	ALTA	9	ALTA
051721990000000000050107	6	ALTA	10	ALTA
051721990000000000050108	6	ALTA		
051721990000000000050109	Terminal de transporte	ALTA		
051721990000000000050113	5	MEDIA	12	MUY ALTA
051721990000000000050124	4	BAJA		
051721990000000000050201	6	ALTA		
051721990000000000050202	6	ALTA		
051721990000000000050203	3	BAJA		
051721990000000000050204	8	MUY ALTA		
051721990000000000050205	7	ALTA	9	ALTA
051721990000000000050206	3	BAJA		
051721990000000000050207	4	BAJA		
051721990000000000050208	10	MUY ALTA		
051721990000000000050210	8	MUY ALTA	9	ALTA
051721990000000000050211	7	ALTA		
051721990000000000050212	10	MUY ALTA	12	MUY ALTA
051721990000000000050301	7	ALTA		
051721990000000000050302	11	MUY ALTA		
051721990000000000050303	9	MUY ALTA		
051721990000000000050304	10	MUY ALTA	12	MUY ALTA
051721990000000000050305	5	MEDIA		
051721990000000000050306	9	MUY ALTA		
051721990000000000050307	10	MUY ALTA		
051721990000000000050310	7	ALTA		
051721990000000000050311	9	MUY ALTA		
051721990000000000050312	9	MUY ALTA		
051721990000000000050313	7	ALTA		
051721990000000000050314	9	MUY ALTA		
051721990000000000050315	9	MUY ALTA	12	MUY ALTA
051721990000000000050316	7	ALTA		
051721990000000000050317	6	ALTA		
051721990000000000050318	9	MUY ALTA		
051721990000000000050319	9	MUY ALTA	11	ALTA
051721990000000000050321	7	ALTA	12	MUY ALTA
051721990000000000050322	7	ALTA		
051721990000000000050323	6	ALTA		
051721990000000000050324	7	ALTA		
051721990000000000050325	4	BAJA		
051721990000000000050326	5	MEDIA		
051721990000000000050401	6	ALTA		
051721990000000000050402	3	BAJA		
051721990000000000050403	5	MEDIA		
051721990000000000050404	7	ALTA		
051721990000000000050408	7	ALTA		
051721990000000000050409	5	MEDIA		
051721990000000000050410	7	ALTA		
051721990000000000050411	4	BAJA		
051721990000000000050413	8	MUY ALTA		
051721990000000000050701	10	MUY ALTA	12	MUY ALTA
051721990000000000050702	9	MUY ALTA		
051721990000000000050704	9	MUY ALTA		
051721990000000000050705	6	ALTA		

#### 2.5.4 Vulnerabilidad institucional

La vulnerabilidad institucional, se refiere a la capacidad de las instituciones para incorporar la gestión del riesgo en sus planes de desarrollo y de ordenamiento territorial, de tal forma que se definan las políticas, estrategias, programas y proyectos orientados a la mitigación y prevención de riesgo en su nivel territorial, así como que contemplen la gestión de riesgo como un componente de los procesos de gestión del desarrollo sectorial y territorial, del ambiente y de la sostenibilidad<sup>10</sup>.

Se refiere también a su capacidad de respuesta ante la ocurrencia de desastres así como la capacidad de recuperarse una vez sucedidos, que se relaciona con la vulnerabilidad fiscal de la entidad territorial afectada.

Además de lo anterior, es preciso tener en cuenta la capacidad de gestión del riesgo que poseen las instituciones de acuerdo a los roles, funciones y responsabilidades que deben cumplir según la normatividad vigente, que se refleja en el conocimiento de los riesgos presentes en el municipio, la incorporación de la prevención y reducción de riesgos en la planificación, el fortalecimiento del desarrollo institucional y la socialización de la prevención y la mitigación de desastres.

Por otro lado la capacidad de respuesta institucional, está dada tanto por la coordinación entre el ejecutivo y las instituciones operativas, como por la disponibilidad de personal y recursos físicos y financieros que permita una actuación eficaz y oportuna.

Todo acompañado por la generación de información confiable, clara, detallada, segura, específica, adaptada y apropiada por la sociedad vulnerable (población e instituciones).

Por ello, el conocimiento de la Vulnerabilidad de la Sociedad dentro de un estudio de riesgo ante cualquier amenaza constituye un insumo importante, toda vez que las acciones definidas como medidas de mitigación y reducción del riesgo requerirán, necesariamente, de instituciones que integren esfuerzos para su cabal desarrollo.

La vulnerabilidad institucional es un factor que afecta a una escala diferente ya que generalmente compromete la totalidad de la entidad territorial sobre la cual ésta ejerce su nivel jurisdiccional. Se constituye en una variable que influye sobre la vulnerabilidad global, pero que resulta difícil medirla en el nivel de áreas más detalladas. Sin embargo, es importante evaluar su impacto en los procesos de gestión del riesgo tanto en la prevención y mitigación como en la atención de emergencias, como se mencionó anteriormente.

Con el fin de evaluar la vulnerabilidad institucional relativas con los aspectos administrativos se realizaron entrevistas con las diferentes instituciones locales que se encuentran directamente relacionadas con la gestión del riesgo, con el fin de establecer el grado de preparación con que cuenta el municipio para hacer frente a una situación de desastre. Se llevaron a cabo entrevistas con el Secretario de Planeación, el Comandante del Cuerpo de Bomberos y la directora de la Cruz Roja del municipio. No opera la Defensa Civil en el municipio.

---

<sup>10</sup> LAVELL, 2003

Se puede decir que, a pesar de que el municipio conoce los lugares en los que se presentan riesgos por inundación y se cuenta con un Plan Local de Emergencias y Contingencias, el Comité Local de Prevención y Atención de Desastres -CLOPAD se encuentra activo y se reúne periódicamente, la población entrevistada en las casas tiene una clara percepción de encontrarse en riesgo, pero desconoce los sistemas de alarma. Además los bomberos manifiestan que en muchas ocasiones los eventos de inundación no son reportados por los damnificados pues ellos conviven con este riesgo.

De otra parte, no se cuenta con una sistematización de los registros y reportes que se generan en cada uno de los eventos que ocurren con el fin de estimar los daños ocurridos y las pérdidas ocasionadas por ellos, adicional a esto, los recursos disponibles resultan insuficientes en muchos de los casos para la renovación y adquisición de equipos, así como para realizar obras de mitigación.

## CONTENIDO

6	VALORACIÓN DEL RIESGO.....	3-1
6.1	DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO .....	3-1
6.1.1	Riesgo por inundación.....	3-1
6.1.1.1	Riesgo físico por Inundación .....	3-1
6.1.1.2	Riesgo corporal por Inundación.....	3-2
6.1.2	Riesgo por Inestabilidad de márgenes: .....	3-3
6.2	MITIGABILIDAD DE RIESGO .....	3-3

### 3 VALORACIÓN DEL RIESGO

Una vez definida la amenaza por inundación y por inestabilidad de las márgenes y haber establecidos los índices de vulnerabilidad (física y corporal) en términos de nivel de daño, el riesgo por se define cualitativamente como el producto de la amenaza por la vulnerabilidad. Se establecen los mapas de riesgo de manera separada tanto para los aspectos físicos como de afectación a la población – aspectos corporales.

#### 3.1 DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO

##### 3.1.1 Riesgo por inundación

La categorización de los niveles de riesgo por inundación se presenta en los planos H-1 y H-2 del Anexo H y se definieron con la aplicación de las siguientes matrices:

##### 3.1.1.1 Riesgo físico por Inundación

**Tabla 3-1. Matriz de Riesgo físico por Inundación.**

Amenazad	Vulnerabilidad		
	Alta	Media	Baja
Alta	Alta	Alta	Media
Media	Alta	Media	Baja
Baja	Media	Baja	Baja

El plano se elaboro empleando el criterio semáforo, esto es:

*Tono Naranja - Niveles de riesgo alto(A):* El nivel de afectación de la construcción es alto, especialmente debido a que la localización de la misma, que implica esté sometida a flujos de agua con alturas y/o velocidades de agua mayores a 1 m y/o 1 m/s. Está asociada principalmente a vivienda de recuperación. Se encuentran en zona de riesgo físico alto por inundación algunas manzanas del Barrio Guayabal, Brisas del Río, La Playa, Ferrini, Simón Bolívar, Casablanca, Zona Industrial y El Camping, de acuerdo con lo que se muestra en el Anexo H en el plano H-1.

*Tono amarillo - Niveles de riesgo medio (M):* Nivel de afectación de la construcción es medio, y está asociado a sectores donde las construcciones son en ladrillos o las intensidades de flujos en términos de velocidad son menores a 1 m/s. Se encuentran en zona de riesgo físico medio por inundación algunas manzanas del Barrio Brisas del Río, Ferrini, Casablanca, El Centro, El Camping y Las Palmas, de acuerdo con lo que se muestra en el Anexo H en el plano H-1.

*Tono verde - Niveles de riesgo bajo (B):* Nivel de afectación de la construcción es bajo. Corresponde a zonas que solo se inundan para eventos con Tr del orden de los 100 años, las velocidades de flujo son bajas, menores a 0.5 m/s y alturas de agua menores a 0.5 m y las construcciones son por lo general en ladrillo. Se encuentran en zona de riesgo físico bajo por inundación algunas manzanas del Barrio Guayabal, Brisas del Río, Ferrini, Simón Bolívar, Casablanca, El Centro y El Camping, de acuerdo con lo que se muestra en el Anexo H en el plano H-1.

### 3.1.1.2 Riesgo corporal por Inundación

**Tabla 3-2. Matriz de Riesgo corporal por Inundación.**

Amenazad	Vulnerabilidad		
	Alta	Media	Baja
Alta	Alta	Alta	Media
Media	Alta	Alta	Media
Baja	Media	Media	Baja

Para la estimación del riesgo corporal por las inundaciones, afectación a personas, la matriz se estimo asignando un mayor nivel de riesgo dada la presencia de una población infantil numerosa. El criterio utilizado es la altura de agua de inundación, que a partir de los 0.5 m ya representa peligro para los niños, independientemente del tipo de construcción.

El plano se elaboro empleando el criterio semáforo, esto es:

*Tono Naranja - Niveles de riesgo alto(A):* El nivel de afectación de la persona es alto, las personas en estas zonas estarán sometidas a flujos de agua con alturas iguales o mayores a 1 m. Se encuentran en zona de riesgo corporal alto por inundación algunas manzanas del Barrio Guayabal, Brisas del Río, La Playa, Ferrini, Simón Bolívar, Casablanca y Zona Industrial, de acuerdo con lo que se muestra en el Anexo H en el plano H-2.

*Tono amarillo - Niveles de riesgo medio (M):* Nivel de afectación de las personas es medio, y está asociado a sectores donde el nivel de agua esta por debajo de 1 m y cercano a los 0,5 m. Se encuentran en zona de riesgo corporal medio por inundación algunas manzanas del Ferrini, Simón Bolívar, Casablanca, El Camping y Las Palmas, de acuerdo con lo que se muestra en el Anexo H en el plano H-2.

*Tono verde - Niveles de riesgo bajo (B):* Nivel de afectación de las personas es bajo. Corresponde a zonas que solo se inundan para eventos con tr del orden de los 100 años, y alturas de agua menores a 0.5 m. Se encuentran en zona de riesgo corporal bajo por inundación algunas manzanas del Barrio Guayabal, Brisas del Río, Simón Bolívar, Casablanca, El Centro y El Camping, de acuerdo con lo que se muestra en el Anexo H en el plano H-2.

Como se puede observar en los planos de riesgo por inundación presentados las manzanas con altos niveles de riesgo, corporal o físico, se localizan en la zona de divagación natural del río Barrio La Playa, Casa Blanca y Guayabal, especialmente las viviendas localizadas sobre las márgenes de cauce principal, incluyendo el Barrio Zona Industrial.

### 3.1.2 Riesgo por Inestabilidad de márgenes:

La delimitación de las áreas de riesgo por inestabilidad de las márgenes se realiza en función del mapa de amenaza y con la identificación de las edificaciones e infraestructura que estaría expuesta a este tipo de procesos. En el plano H-3 del Anexo H se presenta el plano de riesgo por inestabilidad de márgenes.

Así, teniendo en cuenta el grado de exposición ante el evento los niveles de riesgo se definen como:

*Riesgo alto:* La manzana 018 del Barrio Centro, que se localiza de manera paralela y sobre la corona del talud, al igual que los predios de las manzana 009,010 y 011 del Barrio El Camping, sobre la margen derecha del río.

En estos sectores se recomienda redefinir la zona urbana, dejando unos aislamientos entre la margen del río y las viviendas, que puede ser la zona de protección y manejo ambiental incluida la ronda.

*Riesgo Medio:* Esta categorizado como riesgo medio, la manzana donde se encuentra la planta de tratamiento de agua del municipio o manzana 008 del Barrio El Centro. Aunque su amenaza es media a baja, sobre el talud se encuentran obras de protección, por importancia de la planta para el municipio, se debe tomar medidas de protección que mejoren la inestabilidad en la zona y mitiguen los efectos de socavación del río.

*Riesgo Bajo:* Están en esta categoría las manzanas que en la actualidad no se identifica la generación de riesgo por inestabilidad de las márgenes, si no se realiza la gestión del riesgo adecuada son susceptibles a este, estas son la manzana de la zona industrial o manzana 001 del Barrio Zona Industrial y las manzanas 009, 010, 011 que no han sido construidas del Barrio El Camping.

En general se recomienda proteger y mejorar la cobertura de ribera del cauce a todo lo largo del mismo, en las zonas donde esta mas intervenida la vegetación se han generado los problemas de inestabilidad de las márgenes.

## 3.2 MITIGABILIDAD DE RIESGO

Dadas las características de las inundaciones que afectan al casco urbano del Municipio de Chigorodó:

- Sus bajas velocidades en la planicie de inundación
- Alturas de lamina de agua menores a los 2 m,

- Tiempo de la inundación es muy bajo, la creciente dura del orden de las 4 a 6 horas.
- Las velocidades de flujo en la zona urbana son menores a 1 m/s

Se puede afirmar que el nivel de riesgo actual que afecta a la comunidad es mitigable. De hecho el jarillón construido después de la inundación del 2006, mitigó los efectos de la inundación del 2009.

Por tanto, las consecuencias de las inundaciones se pueden mitigar o atenuar con la conformación de zonas que aíslen los asentamientos humanos del cauce o valle de inundación del río, mediante la conformación de jarillones a lo largo de la margen izquierda del cauce, estos confinan el cauce, modificando la cota de desborde, por tanto minimizando los eventos de inundación y sus efectos.

Por sectores, con la conformación de los jarillones, el proceso de inundación se controla totalmente, este control en el tiempo va a depender de un adecuado mantenimiento de los mismos y de la recuperación de la vegetación de ribera en las márgenes del cauce.

Adicionalmente, se debe aprovechar la oportunidad que brinda la gestión del riesgo, para establecer y normatizar la zona de ronda y de manejo y protección ambiental de las márgenes del río, de manera congruente con los resultados del presente estudio y obras propuestas para el control y mitigación del riesgo por inundación e inestabilidad de las márgenes del río Chigorodó a la altura del casco urbano.

## CONTENIDO

7	PLAN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO .....	4-1
7.1	INTRODUCCIÓN.....	4-1
7.2	ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES .....	4-1
7.3	PLAN GENERAL DE ACCIÓN .....	4-2
7.3.1	Plan de mejoramiento integral.....	4-2
7.3.2	Medidas de Mitigación - No Estructurales .....	4-3
7.3.3	Medidas de Mitigación – Estructurales .....	4-6
7.4	NIVEL DE RESPONSABILIDAD .....	4-8

## **4 PLAN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

A partir de los resultados obtenidos de la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por inundación e inestabilidad de márgenes en la zona urbana del municipio de Chigorodó, se plantea una serie de actividades de prevención, mitigación y control.

Entre los parámetros más importantes que se tienen presentes en el planteamiento de las acciones y de las obras de mitigación estuvo la funcionalidad de las mismas frente al desarrollo social sostenible y la factibilidad de la medida mitigante.

Otros aspectos importantes a considerar desde el punto de vista ambiental y social, lo constituyen el planteamiento del mejoramiento de las condiciones del hábitat a partir de la reorganización del uso de la tierra y la restricción de uso por inundación. Este cambio de uso busca mitigar los efectos negativos de la actividad antrópica y el inadecuado planeamiento y desarrollo urbano con el que se ha venido consolidando la parte urbana y que han sido claramente identificados con los resultados obtenidos en este estudio de vulnerabilidad y riesgo.

### **4.2 ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES**

La evaluación de la Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo actual en el área estudiada permite concluir que la problemática de riesgo ha sido generada por la intervención del hombre sobre el medio físico, consecuencia directa del avance urbanístico de la zona. Se aprecia que existen unidades de vivienda que se han construido dentro de la zona inundable del Río Chigorodó como es el caso del Barrio La Playa, que se encuentra sobre un antiguo meandro del río, además de construcciones en otros sectores que han extendido sus patios hasta el cauce activo del mismo.

En la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo por inundación e inestabilidad de márgenes se aprecia que la principal fuente de amenaza para la zona urbana del municipio corresponde a la de inundación por creciente del Río Chigorodó. De acuerdo con lo indicado en el estudio geológico, no se han presentado en la zona de la cabecera urbana fenómenos torrenciales. En lo que respecta a la inestabilidad de márgenes, se aprecia que los fenómenos de socavación lateral se producen en zonas puntuales y aunque actualmente no amenazan directamente a viviendas o infraestructura dentro de la zona urbana del municipio, es necesario que se establezcan medidas de mitigación de la amenaza para evitar que dichas afectaciones se lleguen a producir, y que concretamente corresponderían a obras de protección de las márgenes.

De acuerdo con lo anterior, dentro de las consideradas la principal amenaza para la zona urbana del municipio es la de inundación por creciente del Río Chigorodó. En este sentido las actividades de mitigación y control deben estar dirigidas a reducir la amenaza, la

vulnerabilidad y los efectos sociales derivados de éstas. Las zonas amenazadas por inundación corresponden básicamente a las terrazas bajas inundables del Río Chigorodó, que se encuentran dentro del cauce activo del río, mientras que el riesgo asociado a los eventos amenazantes se presenta por la alta exposición de las viviendas construidas sin contar con zonas de aislamiento que las provea de una franja de seguridad.

### **4.3 PLAN GENERAL DE ACCIÓN**

El plan de acciones establece las medidas preventivas, correctivas y de mitigación que buscan en primera instancia, reducir al mínimo los niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a que está expuesta la comunidad, bien sea controlando los procesos o anulando los niveles de exposición de las viviendas y, en segunda instancia, busca corregir las condiciones del entorno físico y ambiental que favorecen la ocurrencia de los procesos de inundación e inestabilidad de márgenes.

Cada una de las medidas se debe convertir en planes y proyectos detallados, los cuales en su conjunto se consideran esenciales para un manejo integral y sistemático de la problemática de riesgo actual del sector estudiado.

En el plan general de acciones se establece como escenario básico la restricción de uso por inundación de los predios situados en las terrazas bajas inundables, la restricción de uso de los terrenos afectados por inestabilidad de márgenes y su redefinición de uso como área de protección del sistema ecológico del municipio, además del planteamiento del mejoramiento del entorno urbano y ambiental del área en estudio. Lo anterior aplica para las zonas no urbanizadas y teniendo en cuenta que sectores inundables como el barrio La Playa que fueron densamente urbanizados, también se deben implementar obras de protección para mitigar los efectos de las crecientes del Río Chigorodó.

Se plantean entonces dos tipos de actividades: No Estructurales y Estructurales. Sin embargo estas actividades en su conjunto pueden ser integradas a través de la implementación de un programa de mejoramiento integral, que permita acceder a un ordenamiento racional del uso del suelo y corregir la ausencia o complementación adecuada de la infraestructura de servicios públicos básicos.

#### **4.3.1 Plan de mejoramiento integral**

Esta actividad está enfocada a dar un tratamiento urbanístico global a la zona, en aras de generar un cambio radical en la forma de vida de la comunidad, ya que su objetivo es mejorar la calidad de vida de la población y cuyo desarrollo ha generado procesos de degradación de las condiciones físicas y ambientales de la zona.

Este plan contempla la planificación y ejecución integral de todas las actividades de mitigación y prevención no estructurales y estructurales que a continuación se plantean, como alternativas de mitigación independientes y que a través de su formulación en conjunto, permitirá la integración de los esfuerzos y recursos de todas las entidades Municipales y Corpourabá, ya que implica atacar de lleno las deficiencias generadas en la infraestructura física y social por el desarrollo urbanístico ilegal, por medio de acciones masivas, integrales y plenamente coordinadas.

El plan de mejoramiento integral comprende la ejecución de los siguientes tipos de obras:

- *Obras de mitigación y control del riesgo:* corresponde a las medidas planteadas en el presente informe para el manejo de las amenazas por inundación e inestabilidad de márgenes. Se consideran obras que se deben ejecutar a corto plazo.
- *Obras urbanísticas:* Las obras contempladas dentro de esta categoría en este caso corresponden a la construcción de andenes y parques.
- *Obras de consolidación urbana:* En este grupo se encuentra la construcción y adecuación de vías, la complementación del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial.

#### 4.3.2 Medidas de Mitigación - No Estructurales

Dentro de este grupo se proponen las siguientes acciones:

**Regulación del uso del suelo:** Se refiere a la restricción normativa de uso del suelo que se debe aplicar en las terrazas bajas inundables, en los sectores afectados por inestabilidad de márgenes y en los sectores en donde se debe adelantar programas de reubicación de familias porque se localizan en zonas de alta amenaza y/o en áreas de restricción geomorfológico o ambiental, como es el caso de la manzana 011 del Barrio La Playa, la manzana 007 del Barrio Simón Bolívar, la manzana 009 del Barrio Casablanca, la manzana 018 del Barrio El Centro, las manzanas 009 y 010 del Barrio El Camping y la parte baja de las manzanas 009 del Barrio Guayabal, 041 del Barrio Brisas del Río y 011 del Barrio El Camping. En el caso de las manzanas 006 y 008 del Barrio Las Palmas y de la manzana 012 del Barrio el Camping es necesario que se respeten las zonas de protección ambiental definidas dentro de las acciones de gestión del riesgo.

Dada la coexistencia del Río Chigorodó y su ronda en el área de las manzanas mencionadas en el párrafo anterior, y la restricción de uso para vivienda por estar en zonas de alto riesgo por inundación, se debe redefinir su uso como zonas de ronda y de manejo y protección ambiental, de uso común para actividades recreativas para el beneficio de toda la comunidad. De esta manera las terrazas bajas inundables y zonas afectadas por inestabilidad de márgenes, incluyendo las manzanas mencionadas y el sector comprendido entre el jarillón y el Barrio La Playa se definirían como zonas con restricción de uso para vivienda, que pasarían a ser zonas de ronda y de manejo y protección ambiental de uso recreativo en lo que se constituiría en un parque lineal.

Esta medida No estructural busca que el uso del suelo para vivienda en la manzana 011 del Barrio La Playa, la manzana 007 del Barrio Simón Bolívar, la manzana 009 del Barrio Casablanca, la manzana 018 del Barrio El Centro, las manzanas 009 y 010 del Barrio El Camping y la parte baja de las manzanas 009 del Barrio Guayabal, 041 del Barrio Brisas del Río y 011 del Barrio El Camping sea limitado en beneficio de la estabilidad física y ambiental del valle de la quebrada; además en las manzanas 006 y 008 del Barrio Las Palmas y de la manzana 012 del Barrio el Camping es necesario que se respeten las zonas de protección ambiental definidas dentro de las acciones de gestión del riesgo. El uso recomendado para estas áreas de protección ambiental es de zonas verdes y de recreación, y han sido restringidas no sólo por el grado de amenaza y riesgo establecido, sino por su importancia ambiental dentro del entorno urbano del asentamiento.

La restricción de uso por amenaza de inundación de las manzanas indicadas está asociada a las alturas de lámina de agua y velocidades de flujo encontradas en la modelación hidráulica, además de las restricciones que se deben tener por la existencia de la zona de ronda del Río Chigorodó. Otro factor corresponde a que la intervención técnica para la construcción de viviendas en condiciones seguras en dichos sectores involucraría recursos que se salen del alcance de la capacidad adquisitiva del habitante común, y en mira de establecer medidas de prevención y mitigación del riesgo se recomienda clasificar dichas zonas como de uso restrictivo para vivienda. El plano I-1 del Anexo I en el que se presentan las acciones de gestión del riesgo muestra sectores a lo largo de ambas márgenes del Río Chigorodó a su paso por la zona urbana en donde se recomienda la regulación del uso del suelo, lo cual como se ha comentado implica la ejecución conjunta de otras acciones como se verá en adelante.

**Reubicación de Viviendas:** Comprende la reubicación de las familias de la manzana 011 del Barrio La Playa, la manzana 007 del Barrio Simón Bolívar, la manzana 009 del Barrio Casablanca y la manzana 018 del Barrio El Centro. La reubicación de familias se hace tanto para evitar afectaciones debidas a posibles fenómenos de inundación o inestabilidad de márgenes como para consolidar la zona de protección del río (ronda) y el manejo urbano de la zona. En la Tabla 4-1 se presenta el listado de predios y viviendas para cambio de uso y reubicación, de acuerdo con la codificación e información presentada en el mapa catastral del municipio.

**Tabla 4-1. Listado de predios y viviendas para reubicación y cambio de uso**

Barrio	Manzana	Predio	Barrio	Manzana	Predio	Barrio	Manzana	Predio
005	018	001	014	009	026	017	041	008
005	018	002	015	007	001	017	041	009
005	018	003	015	007	002	017	041	010
005	018	004	015	007	003	017	041	011
005	018	005	015	007	004	017	041	012
014	009	001	015	007	005	017	041	013
014	009	002	015	007	006	017	041	014
014	009	003	015	007	007	017	041	015
014	009	004	015	007	008	017	041	016
014	009	005	015	007	009	017	041	017
014	009	006	015	007	010	017	041	018
014	009	007	015	007	011	017	041	019
014	009	008	015	007	012	017	041	020
014	009	009	015	007	013	017	041	021
014	009	010	015	007	014	017	041	022
014	009	011	015	007	015	023	011	001
014	009	012	015	007	016	023	011	002
014	009	013	015	007	017	023	011	003
014	009	014	015	007	018	023	011	004
014	009	015	015	007	019	023	011	005
014	009	016	015	007	020	023	011	006
014	009	018	015	007	021	023	011	007
014	009	019	017	041	001	023	011	008
014	009	020	017	041	002	023	011	009
014	009	021	017	041	003	023	011	010
014	009	022	017	041	004	023	011	011
014	009	023	017	041	005	023	011	012
014	009	024	017	041	006	023	011	013
014	009	025	017	041	007	027	009	001

**Recuperación Urbanística y Adecuación Paisajística del Área:** Esta actividad consiste en el desarrollo del plan de obras de prevención y control de los riesgos por inundación e inestabilidad de márgenes, tendientes a consolidar el sector con los servicios mínimos requeridos y el establecimiento normas que permitan un ordenamiento urbanístico de forma tal que se minimicen los agentes físicos de riesgo y buscando la preservación del entorno.

El planteamiento urbanístico de este sector del municipio requiere un diseño, donde además del ajuste del urbanismo existente, se involucre las zonas de restricción por riesgo por inundación e inestabilidad de márgenes, y áreas de protección del sistema ecológico del municipio así como contemplar dentro del mismo el adecuado manejo de las aguas de escorrentía. Se propone que se lleve a cabo el mejoramiento de las vías del sector, y que se mejore y complemente el alcantarillado sanitario y pluvial y adicionalmente se recomienda la recuperación de la cobertura vegetal y control de los procesos erosivos presentes en las márgenes del Río Chigorodó.

**Delimitación de la Ronda y Zona de Protección y Manejo Ambiental del Río Chigorodó:** Es indispensable que conjuntamente con la conformación de la zona de manejo y protección ambiental, se delimite geográficamente la ronda del Río Chigorodó en ambas márgenes en cumplimiento de las normas de protección y preservación de cauces establecidas en la normatividad y en el POT de Chigorodó, de tal manera que se proteja y blinde su cauce, reactivando y protegiendo además la vegetación de ribera.

Para la condición actual, la zona de ronda incluiría todo el perímetro inundable al hacer el análisis con Tr 100 años más una franja de treinta metros; con esto buena parte de las viviendas situadas en la zona de estudio quedarían dentro de la zona de ronda así demarcada. Sin embargo, con la realización de las obras de mitigación y control que se plantean en este estudio sería posible modificar la zona de ronda actual; la definición de la zona de ronda propuesta en este estudio se basa en los siguientes criterios, sin los cuales ésta no resultaría válida:

- Que las obras de mitigación planteadas sean construidas.
- Que se implemente el plan de mejoramiento integral propuesto.
- Que se establezca la zona de protección y manejo ambiental para el Río Chigorodó a su paso por la zona urbana.

Adicionalmente es necesario llevar a cabo la delimitación de predios que se localizan dentro de la zona de ronda propuesta para establecer las manzanas en las que se debe replantear su uso como la parte baja de las manzanas 009 del Barrio Guayabal y 041 del Barrio Brisas del Río, las manzanas 009 y 010 del Barrio El Camping y la parte baja de las manzanas 011 del Barrio El Camping y 006 y 008 del Barrio Las Palmas.

En la redefinición de predios del planteamiento urbanístico se contempla la limitación o restricción de uso por afectación de riesgo por inundación o inestabilidad de márgenes de las manzanas referidas y por tanto en éstas no se delimitan predios urbanos y se definen como área del sistema ecológico del sector. En el caso de la manzana 001 del Barrio Zona Industrial, la cual se sitúa dentro de la zona de ronda propuesta, es necesario que se implementen obras de mitigación y control con base en las cuales se pueda modificar el trazado de la misma.

**Información pública:** Esta actividad busca suministrar mediante campañas educativas la información y capacitación necesaria para mejorar la actitud de la comunidad frente a su medio físico, su entorno habitacional y ambiental.

Para esto el municipio debe realizar campañas educativas participativas que lleven a la comunidad a entender y apropiarse los conceptos de:

1. El nivel de riesgo a que están expuestos, especialmente en las áreas urbanas no consolidadas del sector estudiado como las zonas bajas del Barrio Guayabal y el sector al oriente de este barrio que posiblemente sea usado como zona de expansión urbano; de igual manera en los sectores de urbanismo consolidado que se encuentran sobre las terrazas bajas inundables como el Barrio La Playa y las partes bajas de los barrios Brisas del Río Sucio, Ferrini, Simón Bolívar, Casablanca, El Centro, Las Palmas y Zona Industrial.
2. Identificación de agentes contribuyentes a los fenómenos de inundación e inestabilidad de márgenes y cómo debe ser el comportamiento frente a los mismos.
3. Beneficios de las obras recomendadas para la mitigación del riesgo y cómo debe ser la construcción y el mantenimiento de las mismas.
4. Manejo ambiental y mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

Estas campañas deben ser realizadas por cada una de las entidades responsables mediante charlas, talleres participativos, cartillas de fácil entendimiento y divulgación, entre otros que permitan la adecuada apropiación de los conceptos.

#### **4.3.3 Medidas de Mitigación – Estructurales**

Este tipo de medidas pretende mejorar las condiciones de seguridad en los sectores más vulnerables ante eventos de inundaciones e inestabilidad de márgenes por la ocurrencia de crecientes del Río Chigorodó, disminuyendo en forma directa el riesgo y modificando las características de los eventos amenazantes o las características de los elementos expuestos; en este el mejoramiento de las condiciones de seguridad se busca lograr controlando las afectaciones a la zona urbana por el desborde por creciente del Río Chigorodó.

A continuación se comenta y describe el tipo de obras en cada tipo de acción, de acuerdo con lo presentado en los planos del Anexo I, adjuntando al final las fichas técnicas de obras de control y mitigación del riesgo de las principales obras típicas recomendadas.

**Diseño y Construcción de Obras de Protección y Control:** Estas obras están encaminadas a la protección contra los ascensos del nivel de agua durante las crecientes, así como el control de procesos de socavación lateral existentes y que hoy afectan la comunidad, dentro de un concepto de tratamiento integral.

Consisten en el diseño y construcción de un jarillón paralelo a la margen izquierda del río Chigorodó en el sector comprendido entre el Barrio Guayabal y el Barrio Casablanca hasta la Carrera 99C; en el paso por el Barrio La Playa el trazado del nuevo jarillón coincide con el del existente, pero se buscará realzarlo para alcanzar el nivel de la inundación con un periodo de retorno de 100 años hallado en los análisis hidráulicos. Se plantea que los espaldones del jarillón sean revegetalizados para evitar la ocurrencia de fenómenos de erosión y en la zona comprendida entre el jarillón y las zonas urbanas, la cual no será destinada a la construcción de viviendas sino que se destinará como zona de protección ambiental, se propone conformar un parque lineal.

Para proteger las viviendas en los sectores en que las terrazas son más altas y las alturas de las láminas de agua estimadas en los análisis hidráulicos son menores, del orden de los 0.5 m o menos, se plantea la construcción de un realce en trinchos de madera, paralelos a la margen derecha del Río Chigorodó en el sector del Barrio El Camping y a la margen izquierda en el paso por el Barrio El Centro y Barrio Las Palmas hasta la Carrera 103. Adicionalmente esta obra puede servir para contribuir a la revegetalización de los márgenes del río, puesto que el sistema de trinchos permite que sean rellenados con tierra y en éstos se puede plantar vegetación de baja altura; en las superficies descubiertas de las terrazas en ambos márgenes del río también resulta recomendable la empradización y revegetalización para protegerlas del ataque de agentes erosivos.

Para la protección de las zonas afectadas por procesos de socavación lateral, en los sectores considerados como de amenaza alta por inestabilidad de márgenes, se contempla la colocación de pilotes, gaviones tubulares y enrocados en la parte baja de la terraza, y protección con fajas y empradización en la parte alta.

Las obras indicadas anteriormente son complementarias a las acciones no estructurales comentadas en el numeral anterior. Los costos de obras de mitigación y control de amenazas por inundación e inestabilidad de márgenes se reportan en el Capítulo 9 de este informe.

Respecto a la protección de la cimentación del puente vehicular por el que pasa la Vía al Mar, actualmente existen algunas obras como una protección con sacos de suelo-cemento y un muro en gaviones que fue recalzado. La protección de esta obra es responsabilidad del Instituto Nacional de Vías por lo que en el presente estudio no se hace referencia a este aspecto. Un caso similar es el de las instalaciones localizadas en la manzana 001 del Barrio Zona industrial, ya que las medidas de mitigación y control deben ser acometidas por particulares.

**Consolidación Urbana:** Son las obras necesarias para el afianzamiento de las zonas determinadas como aptas urbanísticamente para el uso de vivienda una vez se construyan las obras de mitigación y control propuestas (jarillón, realce en trinchos de madera), y por medio de las cuales se establecen los límites de cobertura técnica, que permiten dar garantía permanente a los servicios y satisfacen las necesidades básicas de la comunidad, evitando la generación de actividades ilícitas para su satisfacción, especialmente en el manejo de las aguas servidas. A continuación se relacionan entre otras las obras y medidas que cumplen los objetivos expuestos:

- Construcción de una vía de acceso con drenajes adecuados en la zona de protección ambiental en la que se planea conformar el parque lineal, cuya implementación mejorará la conducción de las aguas superficiales y de infiltración.
- Construcción de la red de alcantarillado de aguas lluvias con lo cual se disminuye o elimina las descargas inadecuadas al sistema de drenaje natural, mejorando las condiciones ambientales locales en épocas de lluvias.
- Construcción de la red de alcantarillado de agua negras o servidas para evitar las descargas hacia el Río Chigorodó.

En este punto es importante que cada entidad encargada de la ejecución dicte la normatividad mínima para el uso y manejo adecuado de las redes y las condiciones mínimas que deben tener y cumplir las diferentes redes internas de las viviendas, aguas negras, lluvias, etc., de tal forma que su uso y disposición final a las redes externas, permita que cada sistema sea consistente con su objeto y no se vaya a perder su eficiencia por estos efectos.

La construcción de la malla vial debe realizarse en función del planeamiento urbanístico definido para el sector, respetando las tipologías de vías y dando manejo técnico a las áreas de andenes por los cambios de nivel que impone la topografía del sector.

#### **4.4 NIVEL DE RESPONSABILIDAD**

Para adelantar la gestión del riesgo en la zona en estudio se identificaron los actores de riesgo que de acuerdo a sus roles y competencias y que son parte activa del desarrollo de la ciudad. Con base en el planteamiento de alternativas de mitigación y prevención del riesgo por inundación e inestabilidad de márgenes se establece de manera inicial una propuesta de participación de cada uno de los actores identificados en la solución de la problemática local, planteada mediante una matriz de responsabilidades en la Tabla 4-2.

En la Tabla 4-2 se presenta la Matriz de Responsabilidades, en la cual se establece para cada tipo de actividades de mitigación y control estructural y no estructural, a cual entidad municipal o empresa operadora le corresponde la planificación y ejecución de la acción y su grado de responsabilidad.

Dentro de los responsables se incluye a la comunidad a través de las Juntas de Acción Comunal, como el actor que se beneficia directamente y quien debe además de ser el receptor y multiplicador hacia los grupos comunitarios de la normatividad, uso y preservación de las obras construidas.

**Tabla 4-2. Matriz de responsabilidades**

Plan general de acciones	Tipo de acción	Alcaldía municipal – Secretarías				RESPONSABLES		
		Gobierno	Planeación	Desarrollo Comunitario	Obras Públicas	Corpourabá	Dapard	Empres Acuedu Alcant
<b>OBRAS DE MITIGACION – NO ESTRUCTURALES</b>								
<b>Plan de Mejoramiento integral (*)</b>	P, E	1	1	1	1	1	1	1
<b>1- Regulación del Uso del Suelo</b>	P, Rec, R	1	1	1		1	2	1
<b>2- Reubicación de Viviendas y Asignación de Predios</b>	P, E, Ad	1	1	1			1	
<b>3- Recuperación Urbanística y Adecuación Paisajística del Área.</b>	P, D, C, R	1	1	1	1	2	3	
<b>4- Delimitación de la Ronda y Zona de Protección y Manejo Ambiental del Río Chigorodó</b>	P, D, E		1	2		1	2	2
<b>5- Información Pública</b>	TS, R			1		2	2	
<b>OBRAS DE MITIGACION – ESTRUCTURALES</b>								
<b>1- Diseño y construcción de obras de mitigación y control</b>								
Diseño y construcción de un jarillón paralelo al Río Chigorodó	P, D, C		1			1	1	
Diseño y construcción de trinchos paralelos al Río Chigorodó	D, C		1			1	1	
Revegetalización y empradización de zonas de protección y ronda	D, C		1			1		
<b>2- Tratamiento local de mitigación y control de procesos</b>								
Construcción de obras de protección	D, C		1			1	1	
<b>3- Consolidación Urbana</b>								
Construcción vías de Acceso	D, C		1			1		
Construcción Red de Alcantarillado	D, C					1		1
Construcción Red de Drenaje Superficial	D, C					1		1

(\*) El Plan de Mejoramiento Integral es una Actividad de Mitigación tanto No Estructural como Estructural, que cubre totalmente las demás acciones.

**TIPO DE ACCION**

- P Planeación
- E Ejecución
- D Diseño
- C Construcción
- R Recomendaciones y pautas
- Ad Adquisición de terrenos
- Rec Restricción de uso
- TS Talleres de socialización

**NIVEL DE RESPONSABILIDAD**

- 1 Responsabilidad principal
- 2 Responsabilidad en segunda instancia
- 3 Responsabilidad en tercera instancia - Mantención

## CONTENIDO

8	ARTICULACIÓN DE LOS MAPAS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO CON LOS POT DEL MUNICIPIO.....	5-1
8.1	INTRODUCCIÓN.....	5-1
8.2	DIAGNÓSTICO DEL POT FRENTE A LA GESTIÓN DE RIESGOS .....	5-1
8.2.1	Componente general.....	5-1
8.2.1.1	Políticas de asentamientos urbanos.....	5-1
8.2.1.2	Política servicios públicos y saneamiento básico .....	5-2
8.2.1.3	Política Para La Prevención, Atención y Recuperación de Desastres ...	5-2
8.2.2	Componente urbano .....	5-3
8.2.2.1	Política urbana .....	5-3
8.2.2.2	Prevención y atención de desastres.....	5-4
8.2.2.3	Zonificación y reglamentación del suelo urbano.....	5-4
8.2.2.4	Vivienda .....	5-4
8.2.2.5	Propuesta de espacio público .....	5-5
8.2.2.6	Planes parciales y unidades de actuación urbanística .....	5-5
8.3	REQUERIMIENTOS DE LA LEY 388/97 EN MATERIA DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGOS DE ORIGEN NATURAL .....	5-6
8.4	PLAN DE ARTICULACIÓN DE LOS MAPAS DE AMENAZA Y RIESGO CON EL POT	5-6
8.5	MAPAS PROPUESTOS EN EL PRESENTE ESTUDIO .....	5-10

## **5 ARTICULACIÓN DE LOS MAPAS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO CON LOS POT DEL MUNICIPIO**

### **5.1 INTRODUCCIÓN**

La inclusión de la gestión de riesgos en la planeación del desarrollo municipal es tal vez una de las más importantes tareas a las que se enfrentan los diferentes niveles territoriales e instituciones sectoriales, dentro del proceso de descentralización. La incorporación del riesgo en los procesos de planeación y ordenamiento territorial, permite establecer medidas no estructurales para la prevención y mitigación, orientadas a la reducción del riesgo existente y evitar la generación de nuevos riesgos a futuro.

Evitar la ocupación de terrenos no apropiados para la urbanización por presencia de amenazas naturales más que una restricción, es una oportunidad para el desarrollo local, ya que evita costosas inversiones que de una u otra manera los municipios deben sufragar en el momento de presentarse un desastre. Identificar y zonificar de forma anticipada las zonas donde se puede generar riesgo es fundamental para determinar correctamente las áreas de expansión del municipio a fin de evitar desastres futuros.

Es por todo lo anterior que se requiere incorporar los Planes Municipales para la Prevención de Desastres y Mitigación de Riesgos en los Planes de Desarrollo del Municipio, respondiendo a los lineamientos de los Planes de Ordenamiento Territorial. El municipio cuenta con un POT desarrollado para el año 2000 el cual debe ser ajustado en el tema de riesgo a partir de los resultados del presente estudio.

### **5.2 DIAGNÓSTICO DEL POT FRENTE A LA GESTIÓN DE RIESGOS**

En términos generales el plan general de acción recomendado en el estudio guarda coherencia con lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Chigorodó. En esta sección se presenta el resumen de los planes del POT que se consideran aplicables dentro del contexto del presente estudio y que aplican para el manejo integral del mejoramiento de la zona urbana del municipio, y a ser tenidos en cuenta en la propuesta urbanística del sector objeto de estudio.

#### **5.2.1 Componente general**

En este componente se presentan las políticas y programas de largo plazo para el logro de las metas propuestas en la Imagen Objetivo Municipal y que complementan, desde el punto de vista territorial, el desarrollo municipal. A continuación se hace referencia a algunos aspectos incluidos dentro de las políticas que hacen parte de los logros establecidos a largo plazo.

##### **5.2.1.1 Políticas de asentamientos urbanos**

Estas políticas consideran una serie de estrategias y acciones de las cuales a continuación se presentan las relacionadas con el desarrollo del estudio:

*Adecuación de centros poblados para el mejoramiento de la calidad de vida y el entorno:*

- Construcción de vivienda nueva para atender el déficit habitacional.

- Plan de mejoramiento integral de vivienda.
- Ampliación de cobertura en electrificación y servicios públicos

*Manejo integral del espacio público:*

- Estudio de franjas y sectores ya afectados por considerarse suelos de amenaza o riesgo, o de retiros obligados por la ley, buscando su posible vinculación a la propuesta general interviniéndolas como áreas de uso y disfrute público.

*Recuperación de espacio público invadido o deteriorado:*

- Recuperación de zonas verdes y parques invadidos en los cascos urbanos con adecuación y/o dotación correspondiente
- Recuperación de espacio público para construcción de andenes y antejardines y otros corredores de circulación peatonal paralelos a las vías urbanas.
- Establecimiento de cobertura vegetal en las zonas de retiro a ríos.

*Construcción de espacio público nuevo:*

- Habilitación e intervención de espacios baldíos, franjas y sectores identificados dentro del suelo urbano, para integrarlos al espacio público como zonas verdes , recreativas o posterior desarrollo urbanístico de parques y/o plazas.
- Construcción de parques y/o plazas nuevas como proyecto a mediano - largo plazo consolidará un porcentaje representativo de la red caminera del municipio.

*Reubicación de asentamientos humanos*

- Elaboración y Ejecución de Planes Parciales para la reubicación como mecanismo para elevar al corto y mediano plazo los niveles de vida de la población.

*Control de crecimiento expansivo urbano en la zona de abanico aluvial*

- - Microzonificación geológica – geotécnica

### **5.2.1.2 Política servicios públicos y saneamiento básico**

*Construcción, ampliación y mejoramiento de sistemas de alcantarillado*

- Reposición o cambio de redes.
- Extensión de redes.
- Sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Separación de aguas lluvias y negras.
- Control de vertimientos y elementos contaminantes.

### **5.2.1.3 Política Para La Prevención, Atención y Recuperación de Desastres**

*Fortalecimiento de la organización y desarrollo institucional*

- Fortalecimiento del cuerpo de bomberos municipal
- Conformación del Comité Local en Prevención, Atención y Recuperación de desastres
- Elaboración de un plan municipal para la prevención, atención y recuperación de desastres.
- Campaña de concientización a comunidades acerca de las amenazas naturales y la mejor manera de enfrentarlas.

*Procesos para identificar, disminuir o evitar la vulnerabilidad de áreas y poblaciones susceptibles de ser afectadas por amenazas naturales.*

- Taller de capacitación en construcciones seguras para la mitigación de riesgos.
- Evaluación estructural de viviendas y edificaciones
- Reubicación de viviendas ubicadas en zonas de alto riesgo
- Reubicación de empresas recicladoras de plástico y fibra.

*Atención y recuperación de áreas afectadas por amenazas naturales*

- Fortalecimiento del cuerpo de bomberos municipal
- Fortalecimiento del Comité Local en Prevención, Atención y Recuperación de desastres
- Elaboración de un plan municipal para la prevención, atención y recuperación de desastres

## **5.2.2 Componente urbano**

### **5.2.2.1 Política urbana**

*Determinación de áreas prioritarias para el desarrollo urbano de acuerdo con las necesidades de la población y la disponibilidad de suelos.*

- Reubicación de viviendas en zonas de alto riesgo
- Ejecución de planes parciales para el adecuado desarrollo urbano
- Plan de vivienda
- Ejecución de los planes maestros de acueducto y alcantarillado

*Determinación de áreas de interés público para conformación de espacio público, recreación y esparcimiento*

- Conformación de una red caminera para la cabecera municipal
- Establecimiento de un parque lineal a lo largo del Río
- Recuperación y dotación del espacio público existente
- Ejecución de planes parciales para el adecuado desarrollo urbano

*Asignación de un uso adecuado a cada porción del suelo urbano con el fin de mejorar las condiciones de convivencia y habitabilidad*

- Ejecución de planes parciales para el adecuado desarrollo urbano
- Zonificación urbana

*Establecimiento de normas y reglas para la ocupación del suelo*

- Ejecución de planes parciales para el adecuado desarrollo urbano
- Reglamento de usos del suelo urbano

*Realizar estudios para conocer en detalles las características del suelo urbano y poder tomar decisiones con respecto a su redensificación y crecimiento en altura.*

- Microzonificación geológica – geotécnica

### 5.2.2.2 Prevención y atención de desastres

#### *Fortalecimiento de la organización y desarrollo institucional*

- Consolidación del cuerpo de bomberos municipal
- Conformación del Comité Local en Prevención, Atención y Recuperación de desastres
- Elaboración de un plan municipal para la prevención, atención y recuperación de desastres
- - Campaña de concientización a comunidades acerca de las amenazas naturales y la mejor manera de enfrentarlas.

#### *Procesos para identificar, disminuir o evitar la vulnerabilidad de áreas y poblaciones susceptibles de ser afectadas por amenazas naturales.*

- Taller de capacitación en construcciones seguras para la mitigación de riesgos.
- Evaluación estructural de viviendas y edificaciones
- Reubicación de viviendas ubicadas en zonas de alto riesgo
- Reubicación de empresas recicladoras de plástico y fibra.

#### *Atención y recuperación de áreas afectadas por amenazas naturales*

- Fortalecimiento del cuerpo de bomberos municipal
- Fortalecimiento del Comité Local en Prevención, Atención y Recuperación de desastres
- Elaboración de un plan municipal para la prevención, atención y recuperación de desastres
- Conformación del Comité Regional para la Prevención, Atención y Recuperación de desastres

### 5.2.2.3 Zonificación y reglamentación del suelo urbano

Dentro de la zonificación presentada en el POT del municipio se definen como zonas de amenaza y/o protección los sectores aledaños al Río Chigorodó, los cuales se busca proteger y recuperar para que entren a formar parte del espacio público y de recreación para la comunidad. Adicionalmente se indica que existen viviendas asentadas en estas zonas que presentan amenaza por inundación y por desprendimiento de taludes, pertenecientes a los barrios La Playa, La Playita y Guayabal, las cuales deben ser reubicadas a suelos estables, requiriendo áreas no solo para la vivienda, sino para equipamiento comunitario, espacio público, vías etc.

### 5.2.2.4 Vivienda

#### *Reubicación general de asentamientos localizados en suelos de protección y de amenaza, para asignación de nuevos usos determinados por el plan de ordenamiento.*

- Construcción de vivienda nueva para atender déficit habitacional
- Reajuste de tierras
- Legalización de predios

*Implementación de programas de vivienda de interés social, para sectores poblacionales de escasos recursos.*

- Implementación de programas de reubicación de viviendas situadas en zonas de amenaza alta por inundación o deslizamiento

#### **5.2.2.5 Propuesta de espacio público**

*Manejo integral del espacio público:*

- Estudio de franjas y sectores ya afectados por considerarse suelos de amenaza o riesgo, o de retiros obligados por la ley, buscando su posible vinculación a la propuesta general interviniéndolas como áreas de uso y disfrute público.

*Recuperación de espacio público invadido o deteriorado:*

- Recuperación de zonas verdes y parques invadidos en los cascos urbanos con adecuación y/o dotación correspondiente con la estrategia general de espacio público.
- Recuperación de espacio público para construcción de andenes y antejardines
- Establecimiento de cobertura vegetal en las zonas de retiro a ríos, vías y los asentamientos humanos.

*Construcción de espacio público nuevo*

- Habilitación e intervención de espacios baldíos, franjas y sectores identificados dentro del suelo urbano, para integrarlos al espacio público como zonas verdes, recreativas o posterior desarrollo urbanístico de parques y/o plazas.
- Construcción de parques y/o plazas nuevas que como proyecto a mediano - largo plazo consolidará un porcentaje representativo de la red caminera del municipio. como propuesta urbana integral de espacio público que permite:

#### **5.2.2.6 Planes parciales y unidades de actuación urbanística**

*Plan parcial para la reubicación de vivienda en zona de riesgo.*

- A desarrollarse en los Barrios La Playa, La Playita y Guayabal
- Se debe adelantar un estudio y revisión de las viviendas para determinar el plazo de la reubicación, corto, mediano o largo plazo.
- Se debe además adelantar proyectos de adecuación de los terrenos donde serán reubicadas las viviendas seleccionadas.
- En el momento que sean reubicadas las viviendas, el municipio tiene la obligación de afectar los predios para que no sean invadidos con nuevas viviendas y destinarlos para la protección del río y para su utilización como espacio público por medio del desarrollo de parques lineales, unidades de descarga, obras de arte y adecuación de espacios.

*Plan Parcial para la conservación de las áreas ribereñas del río Chigorodó*

- Involucra las áreas ribereñas del río Chigorodó en toda la extensión comprendida dentro del perímetro urbano para la conformación de parques lineales.
- Se plantea la conservación del río y sus riveras para lo cual se construirá un parque lineal mediante acciones de Recuperación de espacios públicos y zonas

verdes, construcción de senderos peatonales, establecimiento de cobertura vegetal, amoblamiento urbano e iluminación.

- Es un plan que debe desarrollarse en el corto y mediano plazo y que involucra diseños paisajísticos, concertación con la comunidad, programas de educación a la comunidad y promoción turística.

#### *Plan parcial para el mejoramiento integral*

- Barrios Simón Bolívar, Ferrini y La Playa. Área delimitada por las Carreras 84 y 93A y la Calle 96B y el Río Chigorodó. Se deben adelantar programas de mejoramiento de vías y entorno, programas de mejoramiento de vivienda y amoblamiento urbano, construcción de andenes y extensión de redes de servicios públicos.

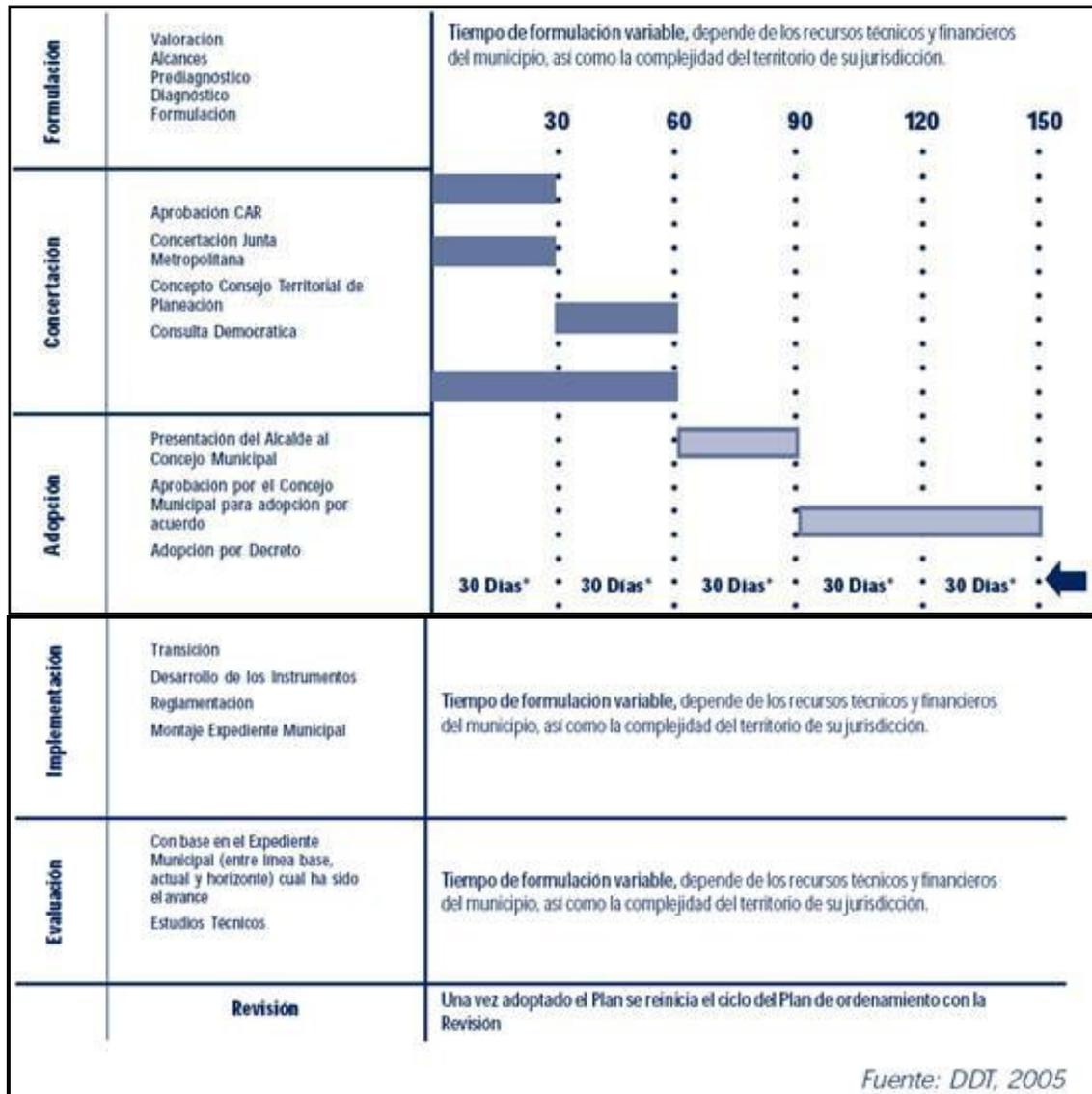
### **5.3 REQUERIMIENTOS DE LA LEY 388/97 EN MATERIA DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGOS DE ORIGEN NATURAL**

Se tienen las siguientes consideraciones generales:

1. Tener en cuenta las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales, que constituyen normas de superior jerarquía.
2. Componente general del Plan de Ordenamiento: determinar y ubicar en mapas las zonas que presenten alto riesgo para la localización de asentamientos humanos, por amenazas o riesgos naturales, así como las estrategias para su manejo (entendidas como los mecanismos para la reubicación de los asentamientos humanos localizados en zonas de alto riesgo y para evitar su nueva ocupación).
3. Incluir en el componente urbano del plan de ordenamiento la delimitación, en suelo urbano y de expansión urbana, de las áreas expuestas a amenazas y riesgos naturales.
4. Clasificación del suelo: Se define como suelo de protección aquel “Constituido por las zonas y áreas de terrenos..., que por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructuras para la provisión de servicios públicos domiciliarios o de las áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos, tiene restringida la posibilidad de urbanizarse”.

### **5.4 PLAN DE ARTICULACIÓN DE LOS MAPAS DE AMENAZA Y RIESGO CON EL POT**

Con el fin de identificar el momento en el cual se encuentra el POT y el procedimiento que deberá adelantar para la adecuada incorporación de la prevención y reducción del riesgo, en primer lugar se debe identificar en el ciclo del POT mostrado en la Figura 5-1, la etapa en la cual se encuentra el municipio.



**Figura 5-1 Procedimiento general para la incorporación del riesgo en los POT**

A continuación se debe hacer un diagnóstico sobre las fortalezas, debilidades, oportunidades, amenazas y tendencias de la organización territorial del municipio. Es en este momento del proceso de planificación para el ordenamiento territorial, en donde se hace necesario involucrar dentro de los determinantes ambientales, además de otras variables, la caracterización de las amenazas y vulnerabilidades, es decir los riesgos, presentes en el territorio. La determinación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de inundación e inestabilidad de márgenes en la zona urbana del municipio de Chigorodó es lo que se ha llevado a cabo en desarrollo del presente estudio.

Una vez concluida esta etapa y consolidado el diagnóstico con una adecuada incorporación del riesgo, se podrá implementar las acciones en los procesos de formulación para la adopción o revisión del POT y en las etapas de implementación y evaluación.

A partir de las potencialidades y problemática identificadas se deben llevar a cabo talleres de concertación para consolidar la imagen actual del territorio y la imagen deseada, confrontándolas para definir las acciones del municipio en el corto, mediano y largo plazo (DDT, 2005). Con las etapas anteriores, se inicia la formulación de POT, que comprende los procesos de toma de decisiones fundamentales acerca del ordenamiento del territorio que se traducen en el desarrollo del contenido estructural del plan, los componentes general, urbano y rural y las acciones que serán incorporadas en el Plan de ejecución. (DDT, 2005).

Los resultados del proceso de ordenamiento territorial se deben consignar en los siguientes documentos, que se desarrollan en las etapas mencionadas y forman parte integral del Plan (DDT, 2005):

- Documento técnico de soporte (DTS), que debe realizarse de acuerdo con lo indicado en la ley 388/97
- Documento Resumen.
- Proyecto de Acuerdo presentado para aprobación de la Corporación Autónoma Regional.
- Acuerdo de adopción – Proceso de Planificación, Art 17 Decreto Reglamentario 879 de 1998 - o decreto en los casos que se presenten de conformidad con lo establecido en la Ley 388 de 1997.

Para incorporar la Prevención y Reducción de Riesgos en la formulación del POT se debe incorporar la zonificación de amenazas a partir de la elaboración de un mapa de aptitud para ocupación urbana, el cual resulta de la combinación de mapas primarios que incluyen los mapas de amenaza para diferentes eventos de acuerdo con las características del municipio. Además es importante integrar la distribución de los recursos para lograr una representación simultánea de los recursos y de las restricciones para el uso, que permita una escogencia racional del mejor aprovechamiento posible de la tierra en función de su vocación natural.

La localización de los aspectos específicos exigidos por al reglamentación de la Ley 388 (Decreto 879 de 1998, Art. 14) se obtiene también utilizando la información de los mapas anteriores y la inspección directa necesaria, a saber:

- Áreas de conservación y protección de los recursos naturales
- Conjuntos urbanos, históricos y culturales
- Áreas expuestas a amenazas y riesgos
- Infraestructura para vías y transporte
- Redes de servicios públicos

- Equipamientos colectivos y espacios públicos libres para parques y zonas verdes y el señalamiento de las cesiones urbanísticas gratuitas correspondientes a dichas infraestructuras.
- La estrategia de mediano plazo para programas de vivienda de interés social.
- Planes parciales y unidades de actualización urbanística.

El modelo territorial se debe sustentar en los sistemas estructurantes, que en la mayor parte de los casos se refieren a una estructura ecológica principal, a una estructura urbana y una estructura rural. La definición, delimitación y manejo de estos sistemas requiere el conocimiento de las amenazas y riesgos como elementos determinantes, dado que, por un lado dichos sistemas deben establecerse a partir de principios como la sostenibilidad y la seguridad y, por otro, se debe proteger la estructura ecológica principal, que tiene como base la estructura ecológica, geomorfológica y biológica original existente en el territorio.

Una vez definido el modelo territorial se realiza la clasificación del suelo que divide el territorio en suelo urbano, suelo rural y suelo de expansión urbana; al interior de estas clases podrán establecerse las categorías de suburbano y de protección. En este momento se establecen las normas estructurales, generales y complementarias y los proyectos estratégicos estructurantes de largo plazo.

También se debe tener en cuenta que la Prevención y Reducción de Riesgos y la planificación territorial son procesos dinámicos que requieren continuas revisiones y actualizaciones, y además se debe considerar que la incorporación de políticas de prevención de desastres y mitigación de riesgos en el Ordenamiento Territorial de los municipios debe estar ligada al plan de prevención y atención de emergencias que se desarrolla para cada municipio.

La implementación comprende al menos dos procesos: el desarrollo reglamentario de las normas definidas en el plan y el seguimiento. El seguimiento básicamente consiste en evaluar los avances entre la situación del municipio en el momento de elaboración del diagnóstico (línea base) y el escenario propuesto para el desarrollo del municipio (línea horizonte), este proceso se lleva a cabo de manera permanente a lo largo de la vigencia del POT, PBOT o EOT, por parte del municipio y con la participación de los actores interesados y en especial del Consejo Consultivo de Ordenamiento Territorial (DDT, 2005).

La evaluación comprende la apertura del espacio destinado a analizar y a ponderar los resultados de gestión del POT, a partir del seguimiento realizado a las acciones y proyectos -estructurales y no estructurales- de prevención de desastres y de mitigación de riesgos, con la participación de los actores del proceso, autoridades, funcionarios, técnicos y representantes de la comunidad, desde su propuesta, elaboración hasta su implementación. El instrumento indicado para el seguimiento es el expediente municipal. La operatividad del proceso deberá determinarse a través de la definición de indicadores de efectividad e impacto y la constitución de las veedurías ciudadanas por cada uno de las acciones y proyectos de prevención y reducción de riesgos.

El seguimiento y evaluación es un proceso ordenado por la ley 388 y está en relación directa con el montaje de expedientes municipales. Es además, condición imprescindible para iniciar el proceso de revisión del plan. La evaluación del Plan debe abordar solamente los aspectos que se consideren estratégicos en la perspectiva de desarrollo integral del municipio, y que sean fácilmente evaluables, porque cuentan con indicadores ya definidos o con la posibilidad de construirlos. Es fundamental tener en cuenta aspectos relacionados con déficits de suelo y de vivienda de interés social (VIS), cobertura de la prestación de servicios públicos, desarrollo del sistema vial y de transporte, equipamiento comunitario y estándares de espacio público.

## **5.5 MAPAS PROPUESTOS EN EL PRESENTE ESTUDIO**

En este informe se presentan los siguientes mapas:

- Amenaza por inundación
- Amenaza por inestabilidad de márgenes
- Riesgo corporal por inundación
- Riesgo físico por inundación
- Riesgo por inestabilidad de márgenes

Se espera que estos mapas sean incorporados al POT del municipio con el fin de reemplazar los existentes.

## CONTENIDO

<b>9</b>	<b>DISEÑO DE OBRAS DE MITIGACIÓN Y CONTROL .....</b>	<b>6-1</b>
9.1	INTRODUCCIÓN.....	6-1
9.2	ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES .....	6-1
9.2.1	<i>Consideraciones técnicas .....</i>	<i>6-1</i>
9.2.2	<i>Consideraciones ambientales .....</i>	<i>6-1</i>
9.2.3	<i>Consideraciones Urbanísticas.....</i>	<i>6-2</i>
9.3	DISEÑO DE OBRAS.....	6-2
9.4	CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO .....	6-4

## **6 DISEÑO DE OBRAS DE MITIGACIÓN Y CONTROL**

### **6.1 INTRODUCCIÓN**

A partir del planteamiento general de obras presentado en el capítulo anterior, las cuales se enmarcan dentro del plan general de acciones propuesto y cuyo objetivo específico es minimizar los niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a que está expuesta la comunidad que habita las terrazas inundables del río Chigorodó y los sectores afectados por inestabilidad de márgenes, se presenta en este capítulo las obras propuestas y su priorización. En el Anexo I que corresponde al diseño de obras, se presentan los planos de localización, planos de diseño y cálculos de cantidades de obra y presupuesto realizados.

Es de resaltar que las obras aquí expuestas buscan la recuperación morfológica y ambiental de la zona de ronda y preservación ambiental del río Chigorodó a su paso por la zona urbana. Se debe tener en cuenta que además de las obras planteadas para la mitigación y control de los fenómenos de inundaciones e inestabilidad lateral que afectan el sector objeto de estudio es necesario que se lleve a cabo la construcción del sistema de alcantarillado de aguas lluvias y se haga la pavimentación de las calles.

### **6.2 ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES**

#### **6.2.1 Consideraciones técnicas**

En el municipio de Chigorodó existen asentamientos humanos en sectores que se encuentran sobre terrazas bajas inundables y antiguos meandros del río del mismo nombre, que corresponden su zona de divagación; se aprecia que no se han respetado las zonas de aislamiento y ronda que se deberían preservar para el Río Chigorodó, y como resultado de esto durante la temporada invernal en años anteriores se ha dado la ocurrencia de inundaciones que han afectado algunos sectores densamente urbanizados y poblados como el Barrio La Playa. Posterior a la inundación ocurrida en este sector en el año 2006, se construyó un jarillón en la margen izquierda del río a la altura del Barrio La Playa, obra que ha servido para mitigar los efectos de las crecientes posteriores aunque de todas formas ésta debe ser extendida y realizada para contener al menos las crecientes de Tr 100 años consideradas en los análisis hidráulicos.

También se presentan fenómenos de socavación lateral derivados de la evolución del trazado del cauce del río Chigorodó, especialmente en la zona aguas abajo del puente vehicular del cruce con la vía al mar y otro problema corresponde al conflicto ambiental con la zona de ronda de la quebrada. En este caso se requiere por una parte definir adecuadamente la zona de ronda del río y por otro lado establecer obras de protección en los sectores en que la terraza se ha visto afectada.

#### **6.2.2 Consideraciones ambientales**

El deterioro ambiental del Río Chigorodó en su paso por la zona urbana se observa por la contaminación de sus aguas debido a la disposición de basuras y las entregas de aguas negras. Además se observa que en la depresión existente entre el jarillón y la zona urbana se produce el empozamiento de aguas de escorrentía lo que puede ocasionar

problemas de salubridad en este sector. Por lo tanto se recomienda mejorar las vías aledañas al sector y construir la red de alcantarillado pluvial para mejorar las condiciones de drenaje de la zona y complementar las redes de alcantarillado sanitario con el fin de evitar la ocurrencia de vertimientos en el río.

La franja natural que correspondería a la zona de ronda del Río Chigorodó adicionalmente carece de cobertura vegetal en algunos sectores y sufre procesos erosivos y pequeños deslizamientos. Por lo tanto se recomienda restaurar la cobertura vegetal a lo largo de toda la zona de ronda del río para favorecer su estabilidad, además de que los bosques se constituyen en una barrera natural para los procesos urbanísticos irregulares que tienden a llegar muy cerca a la quebrada.

### **6.2.3 Consideraciones Urbanísticas**

La tipología estructural de las viviendas, no obedece a ninguna de las normas y códigos establecidos y responde más bien a la necesidad de espacio y condición económica de quien la habita. Son unidades de vivienda conformadas de manera irregular, pero guardando una geometría de las manzanas, y su desarrollo se ha adelantado alrededor de accesos viales.

El desarrollo urbanístico viene avanzando configurando sectores sin infraestructura básica de redes, lo que ha degenerado en que la comunidad la construya de manera coyuntural y sin técnica. Situaciones como la deficiencia de cobertura de alcantarillado y la existencia de invasiones de la zona de ronda del río deben ser atendidas en los procesos de legalización de área, para lo cual se deben acometer obras que busquen proveer redes adecuadas de servicios y preservar las zonas de aislamiento requeridas, respectivamente.

## **6.3 DISEÑO DE OBRAS**

A continuación se presentan los resultados de los diseños detallados de las obras planteadas en el capítulo anterior y que deben ser implementadas en el área correspondiente a las márgenes del Río Chigorodó a su paso por la zona urbana del municipio.

La intervención contempla la implementación de obras y medidas de mitigación y control que tienden a mejorar la condición de seguridad del área respecto a la ocurrencia de crecientes del río, la estabilidad de las márgenes ante la ocurrencia de procesos de erosión lateral y en general mejorar las condiciones del entorno con la definición de zonas de recuperación y aislamiento ambiental. Los planos de localización y diseño de obras se presentan en el Anexo I de este informe.

### ***Obras para el control de crecientes del río Chigorodó:***

- *Jarillón paralelo a la margen izquierda del río Chigorodó:* A construir en material seleccionado en el sector comprendido entre el Barrio Guayabal desde la Carrera 89 y el Barrio Casablanca hasta la Carrera 99C. Esta obra se plantea para proteger a las viviendas y habitantes de las zonas afectadas por inundaciones en los barrios Guayabal, Brisas del Río, La Playa, Ferrini, Simón Bolívar y Casablanca. La longitud de esta obra es de 958 m, su altura es variable entre los 2.5 y 4 m, el ancho de la

corona es de 1 m, el talud del relleno es 2H:1V y el trazado de esta obra coincide con el del jarillón existente en un tramo de unos 280 m. El trazado de esta obra se ha definido de acuerdo con la zonificación de amenaza por inundación presentada en el respectivo plano del Anexo F y la cota de corona se ha definido a partir de las cotas de inundación halladas en los análisis hidráulicos para Tr de 100 años, además del respectivo borde libre. De esta manera se espera contener las aguas del río Chigorodó durante los eventos de crecientes y evitar la inundación de los sectores que se han visto afectados.

- *Realce en trinchos de madera:* Construcción de trinchos en madera paralelos a la margen derecha del Río Chigorodó en el sector del Barrio El Camping y a la margen izquierda en el paso por el Barrio Casablanca entre Carreras 99 C y 100, en el paso por el Barrio El Centro y por el Barrio Las Palmas hasta la Carrera 103. Se ha previsto la construcción un total de 1416 metros lineales de trinchos de madera de 1 m de ancho y 1 m de altura en la parte interior de la terraza. El propósito de esta obra es por una parte contener láminas de agua de baja altura en las terrazas y por otra servir para revegetalizar los márgenes del río Chigorodó. La construcción de los trinchos se hará con postes de madera de 0.10 m de diámetro y tablones de madera burda, unidos con clavos y con tensores de alambre a 1/3 y 2/3 de la altura; el cajón conformado se reviste con geotextil no tejido, se rellena con tierra compactada en capas de 0.20 m de espesor y al final se revegetaliza con especies nativas de baja altura.

### **Obras de protección contra socavación lateral**

Los sectores en que se ha previsto la instalación de estas obras son el margen derecho del Río Chigorodó entre las abscisas K2+200 a K2+500 y la margen izquierda entre las abscisas K1+850 y 2+050. De esta manera se espera evitar afectaciones a las viviendas e infraestructura cercanas a los sectores en que se ha dado la ocurrencia de fenómenos de socavación lateral.

- *Pilotes en madera:* Corresponde a la instalación de pilotes en madera inmunizada de al menos 6" de diámetro cada 2 m en la pata de la terraza aluvial, los cuales van a servir como llaves de fondo para tratar de evitar la profundización del cauce y el avance de los procesos de erosión lateral.
- *Gaviones cilíndricos:* Como complementación a los pilotes que se instalen en el fondo y en la parte posterior de éstos, se plantea la construcción de una zanja e instalación de gaviones cilíndricos de 0.60 m de diámetro. Los gaviones se construirán con malla eslabonada de triple torsión 10x10 calibre 12 y se rellenarán con fragmentos de roca de 20 cm de diámetro.
- *Protección con enrocado:* Apoyándose en la línea de gaviones cilíndricos se establecerá una protección con fragmentos de roca de al menos 0.40 m de espesor
- *Fajinas de protección contra socavación lateral:* Se toman ramas de especie de ribera que tengan buena capacidad de regeneración por estacas para formar cilindros que se introducen en zanjas según las curvas de nivel, espaciadas entre 1 y 1.5 m. El terreno entre fajinas se debe empradizar con semillas.

En el plano I-2 de localización de obras en planta que hace parte del Anexo I se presenta la distribución y detalles de las obras propuestas en este estudio. Para cada sector se establecieron las cantidades de obra y los costos directos respectivos.

#### 6.4 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

En la

Tabla 6-1 se presentan las cantidades de obra por ítem establecido y el presupuesto estimado para la construcción de las diferentes tipos de obras contempladas en los diseños; los precios unitarios establecidos para este fin, han sido generados de acuerdo con las condiciones que imponen las características del sector y de las mismas obras.

**Tabla 6-1. Cantidades de obra y presupuesto**

ITEM	ACTIVIDAD	UN	CANT	Vr. UNITARIO	VR. TOTAL
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>				
1,1	Desmante y limpieza en zona no boscosa (incluye herramienta menor, mano de obra y manejo de desperdicios)	M2	12.417	\$3.010	\$ 37.375.471
1,2	Descapote a máquina (Incluye mano de obra y manejo de desperdicios e=0,20 m)	M2	62.085	\$1.860	\$ 115.478.658
<b>SUB TOTAL</b>					<b>\$ 152.854.129</b>
<b>2</b>	<b>RELLENOS</b>				
2,1	Relleno con material seleccionado	M3	76.395	\$24.428	\$1.866.160.083
<b>SUB TOTAL</b>					<b>\$1.866.160.083</b>
<b>3</b>	<b>OBRAS DE MITIGACION DE INUNDACIÓN</b>				
3,1	Construcción de jarillón	M3	24.755	\$27.450	\$ 679.524.750
3,2	Realce en trinchos de madera con material del sitio	ML	1.416	\$80.400	\$ 113.846.400
<b>SUB TOTAL</b>					<b>\$ 793.371.150</b>
<b>4</b>	<b>OBRAS DE PROTECCIÓN DE SOCAVACIÓN</b>				
4,1	Enrocado en material de Dprom=0,20m	M3	1.185	\$27.600	\$ 32.706.000
4,2	Cilindro en enrocado D=0,60 m	M3	148	\$80.717	\$ 11.921.852
4,3	Pilotes hincados en madera inmunizado L=3,0 m	UN	264	\$16.333	\$ 4.312.000
<b>SUB TOTAL</b>					<b>\$ 48.939.852</b>
<b>5</b>	<b>OBRAS DE TRATAMIENTO DE COBERTURA</b>				
5,1	Tratamiento de cobertura con fajinas	M2	3.396	\$3.350	\$ 11.376.600
5,2	Empradización con semillas	M2	8.619	\$ 340	\$ 4.084.726
<b>SUB TOTAL</b>					<b>\$ 15.461.326</b>
<b>VALOR COSTO DIRECTO</b>					<b>\$ 2.876.786.540</b>
A. ADMINISTRACIÓN				24,00%	\$ 690.428.770
I. IMPREVISTOS				3,00%	\$ 86.303.596
U. UTILIDAD				5,00%	\$ 143.839.327
IVA				16,00%	\$ 23.014.292
<b>VALOR COSTO INDIRECTO</b>					<b>\$ 943.585.985</b>
<b>VALOR COSTO TOTAL</b>					<b>\$ 3.820.372.525</b>

Las cantidades de obra se obtuvieron a partir de los planos de construcción, planta y detalles, empleando las unidades de medidas establecidas en las especificaciones adoptadas y ya referidas. El cálculo de cantidades de obra se adelantó en forma ordenada y sistemática como se muestra en las memorias correspondientes que se presentan en el Anexo I.

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El área urbana del municipio se localiza principalmente sobre la llanura aluvial del río Chigorodó, la cual posee una morfología plana. Dado el bajo nivel de planificación urbana con que se ha expandido la ciudad, en la zona urbana se han generado asentamientos subnormales en sectores no aptos para la vivienda sobre la llanura de inundación del río Chigorodó especialmente en zonas de meandros abandonados, y sobre la parte alta de los taludes que conforman las márgenes del río con procesos de inestabilidad asociada a los procesos de socavación lateral del cauce. La cercanía de las viviendas al cauce en las partes bajas de las terrazas aluviales y la dinámica geomorfológica del cauce del río configuran la condición de riesgo a que está expuesto el municipio por eventos de inundaciones e inestabilidad de las márgenes del río.
- El proceso morfodinámico más importante en el río Chigorodó es la socavación de sus márgenes durante épocas de crecientes, lo que provoca modificación de su eje geométrico y en consecuencia generación de procesos erosivos en sus márgenes. En inmediaciones de la cabecera municipal, el río muestra severas variaciones en la morfología de su cauce, que ha pasado de ser de tipo meándrico con relativa estabilidad a un cauce recto – trezado, que muestra alta capacidad erosiva, no sólo por la cantidad de material suelto en su cauce activo, sino también por la cantidad de sedimentos que arrastra. El origen de este fenómeno es complejo, pero lo más evidente es la explotación indiscriminada de material de arrastre aguas arriba de la población y la invasión de su cauce mayor en especial sobre su margen izquierda.
- De acuerdo con las características evidenciadas en las columnas estratigráficas levantadas para las unidades geomorfológicas, se puede concluir que en la formación del Abanico reciente de Chigorodó, sobre el cual se encuentra asentada la cabecera municipal, solamente se han presentado desde hace miles de años, fenómenos de inundación inherentes a un río de meandros y en ningún caso fenómenos torrenciales. Sobre el mosaico aerofotográfico de Chigorodó se delimitó el cauce activo del río, que de acuerdo con las aerofotografías disponibles muestra el contorno de las terrazas inundables T<sub>0</sub> y T<sub>1</sub>, es decir, cauces subcrecientes que por los efectos de profundización del río, actualmente parecen terrazas aluviales, pero que constituyen la zona de amenaza alta por este fenómeno.
- De la observación de fotografías aéreas y basados en los resultados de los estudios geomorfológicos, se pudo establecer que en efecto, los desbordamientos ocurren aun para caudales de recurrencia de 10 años aguas arriba de los barrios que actualmente sufren por efecto de este fenómeno. Se pudo establecer que estos barrios están asentados en una madre vieja o lecho antiguo del río el cual es invadido por las aguas cuando se presentan caudales de recurrencia menor de cinco años. Los resultados de los análisis realizados conducen a afirmar que las inundaciones que se presentan en los barrios afectados no obedecen a desbordamientos del río ocurridos en el cauce frente a ellos por deficiencia del mismo para transportar caudales de avenida.
- Visto el grado de amenaza por inundación para las comunidades que habitan en los barrios inundables, y aunque la velocidad de flujo sea en todos los casos inferior a 0,50 m/s en las áreas que se localizan bajo las aguas durante la ocurrencia de estos eventos, el nivel de estas puede, además de poner en peligro bienes, enseres y aun

vidas de población infantil. También se puede afirmar que el dique actual, aunque brinda alguna seguridad a los moradores del tramo en el cual se localiza, no realiza ningún trabajo de protección contra las avenidas que producen desbordamiento aguas arriba del mismo y por el contrario, aun después de pasar la avenida, se tendrá agua depositada entre este y la ribera que se pretende proteger.

- El evento de inundación de la zona urbana de Chigorodó se presenta para periodos de retorno mayores a 50 años, que se consideran probabilidades de ocurrencia bajas. El nivel de peligrosidad varia, en las áreas cercanas al cauce principal, donde las viviendas se han invadido las márgenes de las orillas del río, se presentan alturas de agua mayores de 1 m y velocidades del orden de  $1 \text{ m/s}^2$ , considerada como zona peligrosa, mientras nos alejamos de la orilla esta condición disminuye a una zona considerada de baja afectación con alturas de agua menores a 0.5 m.
- Geográficamente, se pueden establecer 2 zonas de comportamiento ante el evento de inundación: una aguas arriba del puente vehicular, donde se ha expandido el municipio a lo largo de las orillas derecha del río, donde el cauce llega con una gran amplitud y se encausa en un canal más estable, que se caracteriza por la existencia de áreas de divagación que conforman madres viejas, que han sido ocupadas sobre la margen derecha del río, mientras la margen izquierda no ha sido urbanizada. La segunda zona, aguas abajo del puente vehicular, el río se encausa en un canal bien definido, pero con una mayor sinuosidad. En esta zona el área urbana se desarrolla en ambas márgenes y son más antiguas.
- La primera zona en la margen derecha, las áreas afectadas son mayores y los niveles de amenaza se categorizan como altos sobre las orillas del río y media a bajos en la parte interior alejado de las orillas. Los barrios con mayor afectación son La Playa, Ferrini, Simón Bolívar y Casablanca y los barrios con afectación baja o local son Guayabal, Brisas del Río y la Unión. La margen izquierda de esta zona, presenta niveles de amenaza altos por inundación. Teniendo en cuenta que el uso es industrial y con cobertura vegetal, la zona debe definirse de protección y las industrias localizadas allí deberán controlar estos eventos mediante obras de protección. La zona localizada aguas abajo, se caracteriza porque los niveles de agua de las áreas inundables es menor a 50 cm y velocidades menores a  $0.5 \text{ m/s}^2$ , que sumado a Tr mayores de 50 años de las crecientes que inundan, dan como resultado niveles de amenaza bajos.
- La precisión de los resultados obtenidos en la modelación hidráulica se definió en función de la comparación cartográfica de los diferentes temáticos relacionados, así se comparó el mapa geomorfológico que establece el cauce activo con los niveles de inundación del modelo hidráulico. Contrastando las dos cartografías se puede observar una buena correspondencia entre las terrazas inundables y los límites de inundación para Tr de 50 años, lo que permite definir que los resultados obtenidos presentan una precisión alta.
- Los procesos erosivos y de inestabilidad de las márgenes se presentan en el sector en que el cauce principal del Río Chigorodó queda perfectamente definido por sus márgenes con un canal hidráulico con comportamiento meándrico y en el que las márgenes se conforman con taludes de mayor pendiente del orden de los 45 grados. Los procesos identificados en general, se caracterizan por ser aislados y de pequeña

magnitud, estar asociados a descargas incontroladas de agua y por el proceso de deforestación de la cobertura de galería que han sufrido las márgenes. El detonante de los procesos de inestabilidad de las márgenes corresponde a la erosión lateral del cauce sobre las márgenes que actúa en la base de los taludes en las partes curvas del cauce (margen exterior de la curva).

- Para las manzanas ubicadas en el área de estudio de este municipio se obtuvo una distribución de la vulnerabilidad social predominantemente “Muy alta” y “Alta”, indicando que las medidas de mitigación deben contemplar acciones que minimicen esta vulnerabilidad, de tal forma que repercutan en una mejor calidad de vida de los habitantes de este sector.
- En lo que refiere a la vulnerabilidad institucional, se puede decir que el municipio conoce los lugares en los que se presentan riesgos por inundación y que la población entrevistada en las casas tiene una clara percepción de encontrarse en riesgo, pero desconoce los sistemas de alarma y en muchas ocasiones los eventos de inundación no son reportados por los damnificados pues ellos conviven con este riesgo. De otra parte, no se cuenta con una sistematización de los registros y reportes que se generan en cada uno de los eventos que ocurren con el fin de estimar los daños ocurridos y las pérdidas ocasionadas por ellos, además de que los recursos disponibles resultan insuficientes en muchos de los casos para la renovación y adquisición de equipos, así como para realizar obras de mitigación.
- Dadas las características de las inundaciones que afectan al casco urbano del Municipio de Chigorodó se puede afirmar que el nivel de riesgo actual que afecta a la comunidad es mitigable. Por tanto, las consecuencias de las inundaciones se pueden mitigar o atenuar con la conformación de zonas que aislen los asentamientos humanos del cauce o valle de inundación del río, mediante la conformación de un jarillón a lo largo de la margen izquierda del cauce para confinar el cauce y modificar la cota de desborde, minimizando los eventos de inundación y sus efectos. Adicionalmente, se debe establecer y normatizar la zona de ronda y de manejo y protección ambiental de las márgenes del río, de manera congruente con los resultados del presente estudio y obras propuestas para el control y mitigación del riesgo por inundación e inestabilidad de las márgenes del río Chigorodó a la altura del casco urbano.
- Dentro de las medidas de mitigación no estructurales consideradas se encuentra la restricción normativa de uso del suelo que se debe aplicar en las terrazas bajas inundables, en los sectores afectados por inestabilidad de márgenes y en los sectores en donde se debe adelantar programas de reubicación de familias porque se localizan en zonas de alta amenaza y/o en áreas de restricción geomorfológico o ambiental. Otras medidas no estructurales corresponden a la recuperación Urbanística y Adecuación Paisajística del Área que incluye el mejoramiento de las vías del sector, la construcción de las redes de alcantarillado sanitario y pluvial y la recuperación de la cobertura vegetal en las márgenes del Río Chigorodó. También resulta necesaria la implementación de un programa de información pública para mejorar la actitud de la comunidad frente a su medio físico, su entorno habitacional y ambiental.

## 1 BIBLIOGRAFÍA

ASIAN TECHNICAL COMMITTEE ON GEOTECHNOLOGY FOR NATURAL HAZARDS (1997). Manual for Zonation on areas susceptible to rain-induced Slope Failure. Touchin Insatsu Co. Ltd, Japan.

CARDENA CAMILO, Agosto de 2005. Gestión para la Reducción del Riesgo de Desastres. III Curso Latinoamericano de Movimientos en Masa.

CONVENIO CORPOURABÁ, ADMINISTRACIÓN MUNICIPAL, UNIVERSIDAD NACIONAL, UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, ESAP, 2000. Plan de ordenamiento territorial municipio de Chigorodó.

CORPOURABÁ, 1979. Dinámica del río Chigorodó y defensa del casco urbano.

CORPOURABÁ, 2008. Plan local de emergencias y contingencias municipio de Chigorodó.

CORPOURABÁ - INGEOMINAS, 1993. Evaluación de amenazas geológicas en el Municipio de Chigorodó.

DECLARACIÓN DE MANIZALES. 2004. Conferencia Interamericana sobre reducción del riesgo de los desastres. Reflexiones y propuestas para mejorar la efectividad de la gestión. Noviembre 17, 18 y 19, Manizales, Colombia.

DANE, 2002. Mapa zona urbana municipio de Chigorodó sectores, secciones, manzanas y vías.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE HYOGO. Erosión control in Hyogo.

DIRECCIÓN DE DESARROLLO TERRITORIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Guía metodológica 1 Incorporación y la Reducción de Riesgos en los Procesos de Ordenamiento Territorial. Bogotá, 2005.

D.N.P.A.P., 1988. Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. Bogotá.

GONZALEZ A., MILLAN J., SOLER F., VESGA L., 1998. Evaluación de Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa en Santa Fe de Bogotá Artículo, X Jornadas geotécnicas.

GONZALEZ GARCIA ALVARO J., Agosto de 2005. Evaluación de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa III Curso Latinoamericano de Movimientos en Masa. Bogotá, Colombia.

HAFFER, J. & BEATTIE, D. 1959. On the Geology of the Uraba (Northwest Colombia). Mobil GGR 483. Bogotá.

HAFFER, J. 1967. On the Geology of the Uraba and northern Chocó report. 357 (mecanografiado). p. 1-105. Ecopetrol. Bogotá.

IGAC, 1963. Fotografías aéreas 53-2, 53-3, 53-4. Escala 1:10000. Vuelo S-11023 y S-11024.

IGAC, 1972. Plancha topográfica 90-II-C, 90-IV-A Escala 1:25000.

IGAC, 1976. Fotografías aéreas 296,297 Escala 1:9450. Vuelo R-735-9-76.

IGAC, 1989. Fotografías aéreas 42,43 Escala 1:12300. Vuelo R-1148.

IGAC, 2004. Fotografías aéreas 118, 119 Escala 1:9220. Vuelo C-2755.

IGAC - ORGANIZACIÓN DE ESTADOS AMERICANOS. Proyecto Darién: Estudio para la orientación del desarrollo integral de la región del Darién colombiano, Medellín, 1978. 171 p.

IGAC – INGEOMINAS. 2006. Estudio Integral del Andén Pacífico Colombiano, Tomo I Geología, 168 p.; Tomo II Geomorfología, 66 p. Bogotá.

INGEOMINAS, 1993. Evaluación de amenazas geológicas en el área urbana del municipio de Chigorodó.

INGEOMINAS, 1995.- Evaluación del agua subterránea en la región de Urabá, Antioquia.

INGEOMINAS, 1999. Geología del departamento de Antioquia. Plancha Escala 1:400000.

INGEOMINAS, 2001. Mapa geológico del departamento de Antioquia Escala 1:400000. Memoria explicativa.

INSTITUTO DE ESTUDIOS REGIONALES. 1994. Plan de desarrollo de Urabá con énfasis en lo ambiental. Universidad de Antioquia. Medellín.

JAM INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE E.U., 2006. Guía Metodológica para la Evaluación, Zonificación y Reducción de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa a Escala de Detalle.

LEONE F., 1996. Concept de Vulnerabilite Applique a L. Evaluation Des Risques Generes par les Phenomenes de Mouvements de Terrain. Université Joseph Fourier Grenoble; These de Doctorat, Grenoble.

MILLAN J., 1988. Lineamientos Metodológicos Para la Evaluación de la Amenaza por FRM.

MILLAN J. GONZALEZ A, 2000. Evaluación Sistemática de Procesos y Efectos de Fenómenos de Remoción en Masa en Santa Fe de Bogotá - Propuesta Metodológica, VIII Congreso Geotecnia.

MILLAN J., VESGA L., 1998. Inventario de Procesos de Remoción en Masa en los Estudios de Amenaza y Riesgo en Santa Fe de Bogotá. Artículo X Jornadas Geotécnicas.

SANCHEZ SILVA, MAURICIO, 2005. Introducción a la Confiabilidad y Evaluación de Riesgos, U. de los Andes.

TERLIEN M.T.J. 2005. Modelling Spatial and Temporal Variations in Rainfall - Triggered Landslides. The Integration of Hidrology Models Slope Stability Models and Geographic Information Systems for the Hazard Zonation of Rainfall - Triggered Landslides whit Examples from Manizales (Colombia) ITC, Publication NO. 32.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2004. Estimación del valor del agua superficial en la cuenca del río Chigorodó.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 1979. Monografía de la cuenca hidrográfica del río Chigorodó.

VARNES, D.J. (1978). "Slopes Movement Types and Processes in: Landslides, Analysis and Control". TRB Special Report 176, Washington D.C., 1978.