

CONTENIDO

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1	Localización general del municipio de Abriaquí	1-2
Figura 1-2.	Vista general del municipio de Abriaquí	1-3
Figura 1-3	Esquema del municipio de Abriaquí y la zona de estudio	1-4

ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS Y RIESGOS DE ORIGEN NATURAL Y ANTRÓPICO DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ABRIAQUÍ

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Corpourabá, a través del Contrato de Consultoría No 200-10-01-09-0194-10 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 Abriaquí, Cañasgordas y Peque, 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.

1.2 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.2.1 Localización general

El Occidente Antioqueño es la región costera del departamento de Antioquia que conduce hacia el mar Caribe, es la salida en la zona del golfo de Urabá.

En la Figura 1-1 se presenta la localización a nivel regional de la zona de estudio.

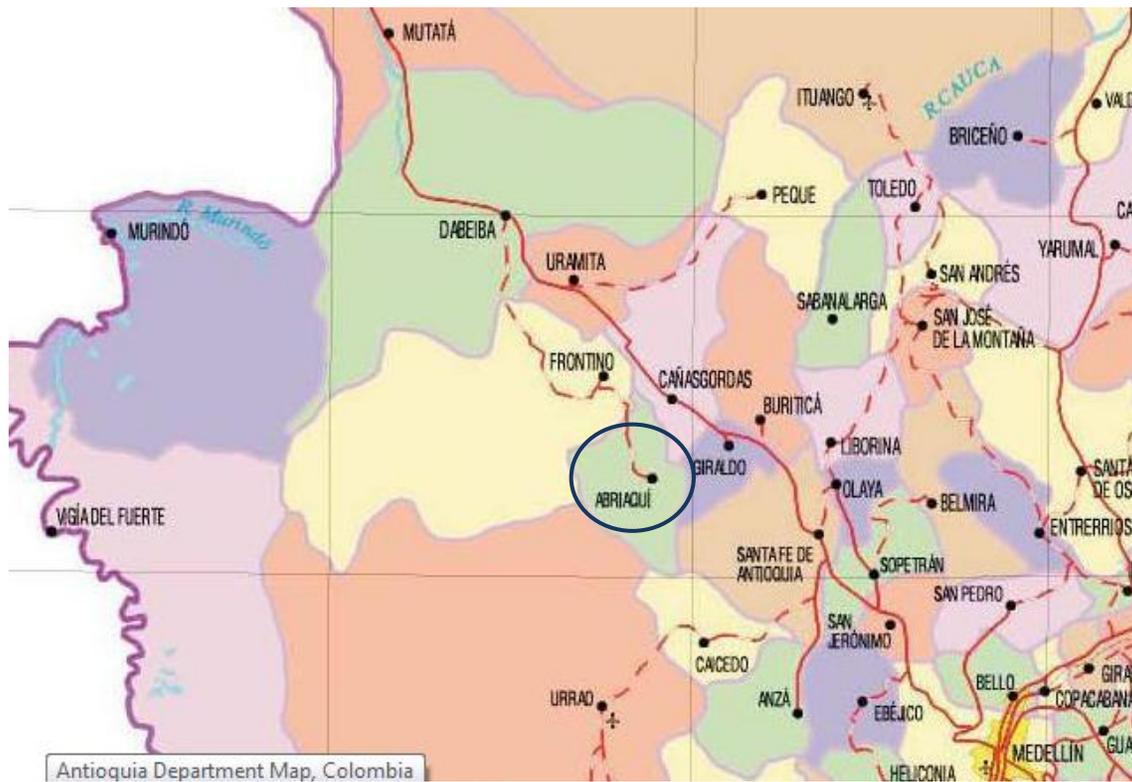


Figura 1-1 Localización general del municipio de Abriaquí

1.2.2 Generalidades

El municipio de Abriaquí comprende un área de 290 km², la cual se reparte en el casco urbano, 1 corregimiento y 16 veredas en su parte rural. y. Su cabecera municipal tiene una altitud de 1920 m sobre el nivel del mar, en una topografía quebrada y de pendientes superiores al 50% en su área y una temperatura promedio de 18° C. Abriaquí limita por el norte con los municipios de Frontino y Cañasgordas, por el este con los municipios de Giraldo y Santa Fe de Antioquia, por el sur con los municipios de Caicedo y Urrao, y por el oeste con los municipios de Urrao y Frontino (POT, 2010).

La distancia del municipio a la ciudad de Medellín es de 125 km. Las actividades económicas del municipio se concentran en la agricultura con productos como el maíz, el frijol y la panela, y la ganadería en todas sus formas. En la Figura 1-2 se presenta una vista general del municipio de Abriaquí.



Figura 1-2. Vista general del municipio de Abriaquí

1.2.3 Área de estudio

La zona de estudio, se encuentra dentro del casco urbano del Municipio de Abriaquí, siendo de interés para el estudio el área de influencia del Río Herradura y las laderas adyacentes al sector urbano, según se muestra en la Figura 1-3.

Esta zona de estudio ha determinado los límites perimetrales del municipio y el crecimiento del municipio bordea este sector; el presente estudio otorgará herramientas fundamentales para la planeación del territorio y para la mitigación de algunos procesos asociados a los materiales existentes, a la torrencialidad de la Quebrada San Pedro y a la posibilidad de inundación del Río Herradura.



Figura 1-3 Esquema del municipio de Abriaquí y la zona de estudio

1.3 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO

1.3.1 Objetivo general

El estudio de zonificación de amenazas y riesgos de origen natural y antrópico del área urbana del municipio de Abriaquí 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 Abriaquí, 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 geológica, geomorfológica y geotécnica como criterio a la hora de realizar el análisis de amenaza por procesos de remoción en masa.

- 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 Abriaquí, 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 (1:2000), 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 de los cauces y orillas del Río Abriaquí. Además de los levantamientos topográficos se contempla el estudio y simulación de fenómenos de inundaciones, avenidas torrenciales e inestabilidad de laderas.

- *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 área de estudio 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, 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 considera 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. Las fuentes de esta información secundaria incluyen IGAC, Ingeominas, Catastro, DANE, SISBEN, entre otros.

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 u otros procesos considerados 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

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

Al inicio de esta actividad 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 la corriente de agua considerada. 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

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

2 DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL

2.1 INTRODUCCIÓN	2-1
2.2 DESCRIPCIÓN Y CAUSAS DEL PROBLEMA	2-1
2.3 REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN BASE	2-3
2.3.1 Generación de Cartografía Base	2-3
2.3.2 Caracterización física	2-4
2.4 MODELOS Y METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS	2-6
2.4.1 Evaluación de la Amenaza por inundación	2-6
2.4.2 Evaluación de la Amenaza por Avenidas Torrenciales	2-7
2.4.3 Evaluación de la Amenaza por inestabilidad de las márgenes y fenómenos de remoción en masa	2-7
2.4.4 Análisis de Vulnerabilidad	2-7
2.4.5 Riesgo frente a la ocurrencia de los eventos amenazantes	2-8
2.5 PLAN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO	2-9
2.5.1 Restricción del uso del suelo	2-10
2.5.2 Reubicación de familias	2-10
2.5.3 Obras de protección y control	2-10
2.5.4 Definición de zonas de aislamiento	2-10
2.5.5 Información pública	2-11
2.5.6 Plan de gestión con el municipio para la incorporación de los resultados a los POT	2-11
2.6 MARCO METODOLÓGICO	2-11
2.6.1 Análisis detallado de la amenaza	2-12
2.6.2 Análisis detallado de la vulnerabilidad	2-14
2.6.3 Análisis detallado del riesgo	2-15

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Diagrama de flujo para la evaluación del riesgo	2-16
--	------

2 DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL

2.1 INTRODUCCIÓN

Se presenta a continuación la conceptualización del estudio y la problemática de riesgo socio natural por inundación, avenidas torrenciales y fenómenos de remoción en masa, a partir de la valoración respectiva de la amenaza y la vulnerabilidad asociada a cada evento sobre los drenajes y laderas vecinas que delimitan el área urbana del Municipio de Abriaquí.

2.2 DESCRIPCIÓN Y CAUSAS DEL PROBLEMA

El Municipio de Abriaquí está situado en la vertiente del río La Herradura, hacia la parte Occidental del Departamento de Antioquia. Se asentó en límites del valle del río el cual se caracteriza por ser un valle ancho en la parte media, valle intermedio, con gran cantidad de meandros e islas. El municipio en su parte urbana posee una topografía continua con pendiente media en buena parte de su área, aunque en la zona norte del casco urbano el relieve posee mayores pendientes por la existencia de depósitos de origen aluvial.

El desarrollo urbano del Municipio se ha consolidado en cercanías al río La Herradura y sus quebradas afluentes. Esta conformación sumada a la condición fisiográfica de la zona urbana del Municipio, zonas de bajas y medias pendientes, configuran las condiciones de riesgo a que está expuesta la comunidad, especialmente por avenidas torrenciales de la Quebrada San Pedro, inestabilidad de las márgenes por cambios del Río Herradura y fenómenos de Remoción en masa.

El río Herradura presenta un patrón de tipo meándrico el cual favorece la presencia de fenómenos de socavación lateral y de variación del cauce del río, los cuales se presentan en los sitios en que en las márgenes del río se encuentran depósitos aluviales no consolidados; desde el puente peatonal sobre el Río Herradura que conduce a veredas vecinas se aprecia la existencia de muros en gaviones que han sido construidos como obras de protección y que en algunos casos no han sido suficientes. Los fenómenos de socavación lateral además se ven favorecidos por la generación de un estrechamiento del cauce en cercanías a la zona urbana, con lo cual se aumentan localmente las velocidades de flujo y por tanto la capacidad de arrastre de la corriente.

La quebrada San Pedro es una corriente de carácter torrencial, la cual está delimitada por vegetación adyacente. Sin embargo, los puentes sobre su lineamiento se han visto afectados por procesos de socavación, generados a partir de las altas velocidades que tiene la quebrada en época invernal. Además, existen procesos de remoción en masa que se han visto acelerados por esta condición.

El POT del Municipio de Abriaquí (2010) identifica las amenazas a que está expuesto el Municipio, las cuales en resumen son definidas de la siguiente manera:

Morfodinámicas.

En la zona urbana y suburbana del Municipio los procesos son: Deslizamientos, socavación, reptación, erosión laminar, y erosión en surcos.

- **Deslizamientos:** En el área de estudio son causados por los siguientes factores: Altas pendientes, deforestación, el estado geomecánico de las rocas (Intensa fracturación y meteorización) y la presencia de agua. Se observan abundantes cicatrices de antiguos deslizamientos y algunos activos. Este fenómeno es generalizado y aporta sedimentos a la cuenca de la quebrada La Herradura y sus afluentes.
- **Socavación:** Se presenta socavación vertical y lateral. El socavamiento vertical lo presentan todas las quebradas afluentes del río La Herradura, éste fenómeno disminuye la amenaza por inundación de la quebrada San Pedro en el casco urbano del Municipio. El socavamiento lateral más intenso lo tienen la quebrada San Pedro sobre la carretera que conduce a Monos y al frente del cementerio, y el río La Herradura sobre la carretera que conduce a Corcovado.
- **Reptación:** Este fenómeno afecta el casco urbano, es muy intenso en las laderas aledañas y en el sector del cementerio.
- **Erosión Laminar:** Es generalizada en toda la zona, en algunos sitios de la cuenca de la quebrada San Pedro este proceso es avanzado.
- **Erosión en Surcos:** Este proceso se localiza en los deslizamientos activos y en algunos cultivos limpios.

Amenazas Geológicas Identificadas

En el municipio de Abriaquí las amenazas naturales son: Avenidas torrenciales, deslizamientos, socavamientos, movimientos lentos del terreno, fenómenos atmosféricos y sismos.

- **Avenidas Torrenciales:** Se presentan en forma de crecientes del río Herradura y sus quebradas afluentes San Pedro, Santa Ana y Cején entre otras.
- **Deslizamientos:** Puede presentarse en las cuencas aledañas al casco urbano, y en la vertiente ubicada al costado NE del municipio.
- **Socavamiento:** Existe en algunos tramos del río La Herradura y la quebrada San Pedro.
- **Movimientos Lentos del Terreno:** Se dan cerca al cementerio.
- **Fenómenos Atmosféricos:** Tormentas, aguaceros y vendavales pueden afectar a la población.

- **Sismos:** Abriaquí se encuentra en una zona de riesgo sísmico alto, lo cual aumenta la probabilidad de ocurrencia de sismos fuertes con epicentro en esta zona ó cerca de ella.

Análisis de Estabilidad Relativa del Terreno.

Rendón en 1994, propuso la siguiente zonificación de Abriaquí: Zonas inestables ó inundables (ZI), zonas relativamente inestables (ZRI) y zonas estables (ZE), esto bajo los criterios de pendiente, naturaleza del suelo y subsuelo, y procesos geomorfológicos.

De este estudio se concluyo que como Zona Estable (ZE), en Abriaquí el casco urbano es la única zona estable.

De acuerdo con la problemática de riesgo del área urbana de Abriaquí, 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. Así los estudios contemplan metodológicamente los siguientes aspectos que se consideran básicos y estratégicos dentro del desarrollo de los estudios.

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 1:1000 definida en la formulación del estudio.

- 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 consulto en Planeación municipal. Una vez verificada la calidad de la información y el tiempo en el cual fue realizada, se genera un mapa base. Lo importante es contar con las escalas adecuadas para los análisis de amenaza y vulnerabilidad.

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 levanto a escala 1:1000, 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 Rio Herradura desde su entrada al casco urbano hasta la salida y la Quebrada San Pedro, 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 morfodinámico a lo largo del cauce y de las laderas adyacentes.

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, y capacidad de infiltración de los suelos.

El sistema de drenaje de un valle o una vertiente se constituye en un factor primordial en la generación de procesos morfodinámicos y 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, inestabilidad de las márgenes y fenómenos de remoción en masa que se pueden presentar en el área de estudio.

2.3.2.3 Caracterización hidráulica

La caracterización hidráulica del cauce se efectuará partiendo de la determinación de los caudales de crecientes, de acuerdo al 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 del cauce del Río Herradura y de la Quebrada San Pedro.

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 de las diferentes zonas del cauce del río. El trabajo de campo se complementará con un programa de ensayos de laboratorio (propiedades índice 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 análisis de estabilidad de las márgenes como para la proyección de obras de mitigación y/o control de 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 1:1000, 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 represente 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

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.

2.4.2 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 Quebrada San Pedro y en la cuenca del Río Herradura.

2.4.3 Evaluación de la Amenaza por inestabilidad de las márgenes y fenómenos de remoción en masa

Se aplicará una metodología cuantitativa de análisis y cálculo de reconocida validez, con una representación gráfica a una escala 1:1000, 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 Herradura y quebrada San Pedro y de las laderas adyacentes. La distribución espacial del evento amenazante se realizara en función de la tipología de evento, la morfometría de la margen o ladera 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.

2.4.4 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
Personas

Daños estructurales
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: 1:1000.

2.4.5 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 1:1000, 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

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

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 REDUCCIÓN 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 Abriaquí 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 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 Herradura.

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 diseñaran 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 Herradura y Quebrada San Pedro.

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 Abriaquí.

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 Abriaquí, 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 diagnostico 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.

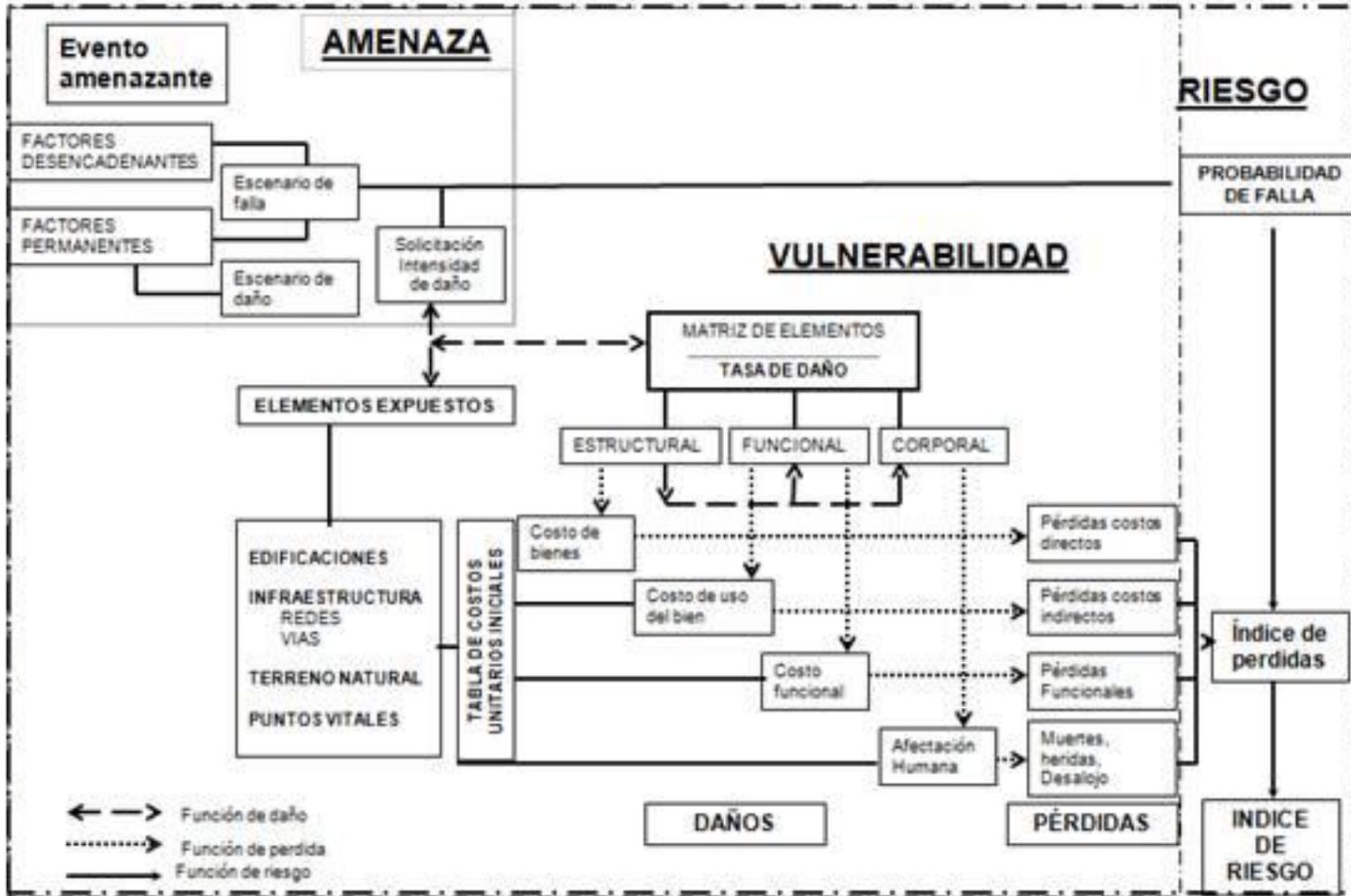


Figura 2-1 Diagrama de flujo para la evaluación del riesgo

CONTENIDO

3	ESTUDIOS BÁSICOS	3-1
3.1	INTRODUCCIÓN	3-1
3.2	REVISIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE	3-1
3.2.1	Información de referencia.....	3-1
3.2.1.1	Información general.....	3-1
3.2.1.2	Municipio de Abriaquí	3-1
3.3	CARTOGRAFÍA BASE.....	3-2
3.3.1	Introducción	3-2
3.3.2	Localización cartográfica del área	3-3
3.3.3	Cartografía existente.....	3-3
3.3.3.1	Cartografía POT	3-3
3.3.3.2	Cartografía DANE.....	3-3
3.3.3.3	Cartografía IGAC.....	3-3
3.3.3.4	Cartografía e Información Catastral	3-3
3.3.4	Levantamiento topográfico	3-4
3.3.4.1	Georreferenciación	3-4
3.3.4.2	Levantamientos topográficos	3-8
3.3.4.3	Generación Mapa Topográfico	3-9
3.3.5	Restitución fotogramétrica.....	3-9
3.3.5.1	Generalidades	3-9
3.3.5.2	Descripción de las fases de trabajo y los resultados obtenidos de las mismas	3-10
3.3.6	Información predial a nivel de manzanas	3-12
3.3.7	Generación de mapa base	3-13
3.4	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	3-14
3.4.1	Contexto Geológico Regional y Local.....	3-14
3.4.2	Geología Estructural.....	3-15
3.4.3	Contexto Geológico Local	3-16
3.4.4	Contexto Geomorfológico Regional.....	3-20
3.4.5	Geomorfología Local.....	3-21
3.4.6	Procesos morfodinámicos:	3-23
3.4.7	Inventario de procesos actuales.....	3-28
3.4.7.1	Quebrada San Pedro – Sector Cementerio.	3-28
3.4.7.2	Rio Herradura.....	3-29
3.4.7.3	Otros procesos	3-30
3.5	HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA	3-31
3.5.1	Recopilación y análisis de la información existente	3-32
3.5.1.1	Cartografía	3-32
3.5.1.2	Hidrometeorología.....	3-32
3.5.1.3	Fuentes secundarias	3-33
3.5.2	Caracterización, Hidrología e Hidráulica.....	3-33
3.5.2.1	Climatología.....	3-33
3.5.2.2	Hidrología	3-38

3.6	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	3-48
3.6.1	Investigación del subsuelo	3-49
3.6.1.1	Exploración con sondeos y trincheras	3-49
3.6.1.2	Ensayos In Situ.....	3-50
3.6.1.3	Ensayos de laboratorio	3-50
3.6.2	Caracterización geomecánica	3-51
3.6.3	Zonificación geotécnica.....	3-55
3.7	COBERTURA DEL SUELO.....	3-61
3.7.1	Objetivos	3-62
3.7.2	Metodología	3-62
3.7.3	Resultados	3-62
3.8	FACTOR ANTRÓPICO	3-66
3.8.1	Urbanismo y catastro	3-66
3.8.2	Vías.....	3-66
3.8.3	de aguas de escorrentía y alcantarillado	3-69

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1	GPS TOPCON HIper +	3-7
Figura 3-2	Navegador Garmin GPSMAP60Cx.....	3-8
Figura 3-3	Mapa geológico regional del municipio de Abriaquí (Tomado de Mapa geológico de Antioquia, Ingeominas 1999).....	3-15
Figura 3-4	Valores Anuales de Precipitación	3-34
Figura 3-5	Análisis de frecuencia Precipitación Total Anual (mm) – Estación Abriaquí	3-35
Figura 3-6	Análisis de frecuencia Precipitación Máxima en 24 Horas (mm) – Estación Abriaquí .	3-36
Figura 3-7	Curva de Precipitación - Duración - Frecuencia.....	3-40
Figura 3-8	Hidrograma de la Creciente de 2 años de recurrencia Río Herradura Arriba Q. Monos .	3-42
Figura 3-9	Hidrograma de Creciente de Recurrencia diez Años Río Herradura	3-43
Figura 3-10	Hidrograma de Creciente de Cincuenta Años de Recurrencia Río Herradura.....	3-43
Figura 3-11	Hidrograma de Creciente de Cien Años de Recurrencia Río Herradura	3-43
Figura 3-12	Hidrograma de la Creciente de 2 años de recurrencia Río Herradura Arriba Q. Monos - Modelo Hydraflow	3-44
Figura 3-13	Hidrograma de Creciente de Recurrencia diez Años Río Herradura - Modelo Hydraflow	3-44
Figura 3-14	Hidrograma de Creciente de Cincuenta Años de Recurrencia Río Herradura - Modelo Hydraflow	3-45
Figura 3-15	Hidrograma de Creciente de Cien Años de Recurrencia Río Herradura - Modelo Hydraflow	3-45
Figura 3-16	Hidrograma de Creciente de Recurrencia Dos Años Q. Monos	3-47
Figura 3-17	Hidrograma de Creciente de Recurrencia Diez Años Q. Monos	3-47
Figura 3-18	Hidrograma de Creciente de Recurrencia Cincuenta Años Q. Monos	3-48
Figura 3-19	Creciente de Cien Años de Recurrencia Q. Monos.....	3-48
Figura 3-20	Zonificación Geotécnica – Zona 1.	3-56
Figura 3-21	Zonificación Geotécnica – Zona 2.	3-57
Figura 3-22	Zonificación Geotécnica – Zona 3.	3-57
Figura 3-23	Zonificación Geotécnica – Zona 4.	3-58
Figura 3-24	Zonificación Geotécnica – Zona 5 costado occidental.	3-59

Figura 3-25 Zonificación Geotécnica – Zona 5 costado oriental.....	3-59
Figura 3-26 Zonificación Geotécnica – Zona 6.	3-60
Figura 3-27 Zonificación Geotécnica – Zona 7.	3-61

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Coordenadas geodésicas wgs-84 (época 1995.4)	3-5
Tabla 3-2 Coordenadas planas cartesianas	3-5
Tabla 3-3 Elipsoide world geodetic system 1.984.....	3-5
Tabla 3-4 Coordenadas Geodésicas Wgs-84.....	3-6
Tabla 3-5 Coordenadas planas cartesianas magna	3-6
Tabla 3-6 Coordenadas Gauss-Kruger Magna-Sirgas origen oeste.....	3-7
Tabla 3-7 Productos entregados.....	3-12
Tabla 3-8 Manzanas dentro de la franja de estudio según código DANE	3-12
Tabla 3-9 Codificación de Trabajo	3-13
Tabla 3-10 Características principales de las estaciones hidrometeorológicas seleccionadas	3-32
Tabla 3-11 Precipitación Total Mensual (mm)	3-34
Tabla 3-12 Análisis de Frecuencia de Precipitación Total Anual - Estación Abriaquí	3-35
Tabla 3-13 Análisis de Frecuencia de Precipitación Máxima en 24 Horas- Estación Abriaquí	3-36
Tabla 3-14 Valores Medios Mensuales Multianuales de Temperatura °C - Abriaquí	3-37
Tabla 3-15 Humedad Relativa Media Multianual % - Abriaquí	3-37
Tabla 3-16 Valores Medios Mensuales Multianuales de Evapotranspiración (mm) - Abriaquí	3-38
Tabla 3-17 Exploración del subsuelo	3-49
Tabla 3-18 Limo arcilloso café	3-51
Tabla 3-19 Arcilla limosa café	3-52
Tabla 3-20 Gravas en matriz limosa	3-52
Tabla 3-21 Gravas en matriz arcillosa	3-53
Tabla 3-22 Limo arenoso de color café.....	3-54
Tabla 3-23 Fragmentos de roca en matriz limosa.....	3-54
Tabla 3-24 Descripción de la unidades de cobertura y efectos asociados al medio físico.....	3-63
Tabla 3-25 Listado detallado de especies presentes en bosque natural intervenido	3-64
Tabla 3-26 listado de especies propias de la unidad rastrojo alto	3-65
Tabla 3-27 Listado de especies herbáceas propias de rastrojos bajos y pastos naturales.....	3-66
Tabla 3-28 Vías Urbanas Pavimentadas	3-67
Tabla 3-29 Descripción de las Vías Urbanas	3-67
Tabla 3-30 Estado Red Vial Municipal	3-68
Tabla 3-31 Cobertura Alcantarillado.....	3-69

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 Abriaquí

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

- Planes de ordenamiento territorial municipio de Abriaquí. Alcaldía municipal de Abriaquí Actual y anterior, 2000 y 2010.
- Mapa de amenaza POT. Alcaldía municipal de Abriaquí, 2010.

- Mapa zona urbana municipio de Abriaquí sectores, secciones, manzanas y vías. DANE, 1993.
- Plancha topográfica 129-II-D, Escala 1:25000. IGAC, 1988.
- Fotografías aéreas 36, 37 Escala 1:28900. Vuelo C-2091. IGAC, 1983
- Fotografías aéreas 106, 107 Escala 1:11500. Vuelo C-2774. IGAC, 2004.
- Fotografías aéreas, Rollo 220 Fotos 180-185, escala 1:5000. Aeroestudios, 2005
- Fotografías aéreas formato digital, Rollo 220 Fotos 180-185, escala 1:5000. Aeroestudios, 2005.
- Plano catastral municipio de Abriaquí. Alcaldía municipal de Abriaquí, 2005
- Estudio de diseño de obras para la construcción de una canal de encauzamiento del Rio la Herradura – Informe hidrológico, climatológico, geológico.
- Fotografías aéreas Rio la herradura: Estudio de diseño de obras para la construcción de una canal de encauzamiento del Rio la Herradura.
- Identificación de zonas de riesgo por fenómenos naturales en la cabecera municipal de Abriaquí. Albeiro de Jesús Rendón Rivera, Secretaria de Desarrollo de comunidad - sección Fopreve, 1994. 1 Texto, 3 Planos.
- Análisis de la problemática de sedimentos del Rio La Herradura. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín Facultad de Minas – 2007.
- Plano de zonas económicas, zonas físicas, vías y loteo : Planeación municipal municipio de Abriaquí.
- Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas, valores máximos mensuales de precipitación, Estación 1111002: ABRIAQUI - IDEAM.
- Estadísticas municipales SISBEN – hogares. Oficina del SISBEN Municipio de Abriaquí.

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 Abriaquí con una porción de área hectáreas.

N 1225800 m E 1111500 m y N 1224900 m E 1112500 m, formando un cuadrado que enmarca el municipio

Altimétricamente se tiene una cota media de 1940 msnm en el punto oriental y una cota inferior de 1910 msnm hacia el occidente. La cabecera municipal presenta una altura promedio de 1920 msnm para la cabecera municipal.

3.3.3 Cartografía existente

Para el estudio se consultó la cartografía existente en el DANE y del POT del Municipio, cuyas planchas se describen a continuación.

3.3.3.1 Cartografía POT

Esta cartografía corresponde al mapa de amenaza relativa del municipio a escala 1:5000. Esta cartografía presenta las zonas catalogadas como amenaza alta, media y baja enmarcada en la distribución espacial de la zona urbana del municipio.

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 Abriaquí, 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 129-II-D (1988), que contienen curvas de nivel cada 50m, principales ríos y quebradas, además de la ubicación de Abriaquí y veredas cercanas, la escala de las planchas es 1:25000.

3.3.3.4 Cartografía e Información Catastral

La cartografía catastral consultada al municipio corresponde a la actualización realizada en el año 2005 a partir de sobrevuelos aéreos y permite visualizar la distribución espacial de las manzanas, vías y edificaciones especiales. Adicionalmente se consultó el listado de predios del municipio en orden de cédula catastral de la Dirección de Sistemas de Información y Catastro del Departamento de Antioquia.

3.3.4 Levantamiento topográfico

3.3.4.1 Georreferenciación

3.3.4.1.1 Objetivo

Posicionamiento de 6 (seis) puntos principales de primer orden “3 bases de salida, 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, al intermedio y al final del municipio 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 EU tomando como base la Estación permanente del Instituto Geográfico Agustín Codazzi más cercana al municipio de ABRIAQUI que en este caso es el Vértice MEDE en el municipio de Medellín (Antioquia) a 72 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: El trabajo se desarrollo con tres (3) antenas de GPS Topcon Hiper +, 2 de doble frecuencia L1/L2 y una de frecuencia sencilla L1 en estático, para el traslado de coordenadas magna a la red Geodésica Nacional se dejo una antena doble permanente en el punto GPS-1 durante 5 horas y 50 minutos frente al hospital con una buena recepción de satélites que siempre oscilo de 10 a más, la recepción fue buena oscilando de 9 satélites a más garantizando la precisión de nuestro punto de origen a 1.9 cm en precisión horizontal y 3.6 cm en precisión vertical con respecto a las coordenadas magna-sirgas de Colombia. Desde nuestro GPS-1 en tiempos simultáneos y con la otra antena doble se ubicaron el GPS-2 el GPS-3 y el GPS-5 también con buena recepción de satélites y garantizando la precisión a nivel horizontal y vertical por debajo de 1.0 cm. Para ubicar nuestras señales de azimut se utilizo la antena sencilla con un rastreo

simultáneo de 1.0 horas a más ubicando los puntos GPS-4 y GPS-6 cuya precisión también esta por debajo de 1.0 cm.

Para calcular las coordenadas de nuestros puntos en el sistema magna-sirgas se partió de los datos que presenta el IGAC actualizados semana a semana en su página oficial www.sirgas.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 3.0 de origen Oeste y la Ondulación Geoidal con el programa Geocol 2004, y se pidió la certificación de la altura Geométrica de la estación permanente de Medellín obteniendo los valores actualizados de:

Antena	Coordenadas Geocéntricas	Coordenadas Gauss	Alturas
MEDE	X= 1579608.4544 Y=-6142783.8430 Z= 684352.3777	06°11'57.85666" -75°34'44.09971"	Elipsoidal: 1553.430 Geométrica: 1528.637 Ondulación: 26.64

Con estos valores, los archivos rinex de la base MEDE y los rinex de cada punto hacemos el post-proceso entre MEDE y nuestros GPS base denominado GPS-1, a partir de GPS-1 se hace el post-proceso con nuestras bases GPS-2, GPS-3 y GPS-5 y a partir de estos el post-proceso a nuestras señales de azimut GPS-4 y GPS-6 con el programa original del equipo de GPS Topcon Tools, obteniendo las bases de GPS de amarre.

b) *Parámetros Geodésicos y de Transformación:*

Tabla 3-1 Coordenadas geodésicas wgs-84 (época 1995.4)

COORDENADAS GEODÉSICAS WGS-84 (época 1995.4)			
LATITUD (N)	LONGITUD (W)	ALTURA ELIPSOIDAL	ALTURA (msnm)
03°48'44.63635"	76°46'47.20890"	296.494	275.80

Tabla 3-2 Coordenadas planas cartesianas

COORDENADAS PLANAS CARTESIANAS	
NORTE	ESTE
913332.746 m	1033070.188 m

c) *Procesamiento de la información:* Los parámetros de referencia del elipsoide WGS-84, utilizado por el sistema GPS al elipsoide Internacional, se muestran en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3 Elipsoide world geodetic system 1.984

ELIPSOIDE WORLD GEODETIC SYSTEM 1.984 Unidad=metro			
DATUM	A	1 / f	b
WGS / 84	6'378.137.00	298.257223563	6'356.752.3142

Tabla 3-6 Coordenadas Gauss-Krueger Magna-Sirgas origen oeste
COORDENADAS GAUSS-KRUGGER MAGNA-SIRGAS ORIGEN OESTE

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA ORTOMETRICA (msnm)
GPS-1	1225228.591	1111899.920	1911.070
GPS-2	1225271.579	1111884.624	1904.476
GPS-3	1225196.472	1112285.299	1919.918
GPS-4	1225213.971	1112226.083	1909.919
GPS-5	1225538.764	1112211.510	1939.292
GPS-6	1225596.376	1112239.953	1949.732

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

3.3.4.1.3 Equipos Utilizados

- a) GPS TOPCON HIPER+: Tres equipos de GPS 2 de Doble Frecuencia L1/L2 y uno de una frecuencia L1 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 flan ground plane.



Figura 3-1 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 3-2 Navegador Garmin GPSMAP60Cx

3.3.4.2 Levantamientos topográficos

3.3.4.2.1 Objetivo

Determinar la magnitud y forma real (planimétrica y altimétrica) del río y la quebrada donde convergen las áreas servidas que algunas veces representa riesgos en cuanto a derrumbes causados por la inestabilidad del terreno y constantes lluvias.

3.3.4.2.2 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) En algunas zonas del río y la quebrada dada su relativa poca profundidad (no más de 1.5m) el levantamiento se realizó con Estación Electrónica Total.
- c) Datos técnicos:

Localización del Proyecto: Municipio de Abriaquí – Antioquia (Colombia)

Frentes de Trabajo y longitud:

- Sobre el río la herradura 1100 m
- Sobre la quebrada san Pedro 940 m

Características Topográficas: El río y la quebrada se hallan en terrenos planos, con una pendiente del 1 al 5 %, la fuerza del agua para la época de toma es suave, sin

embargo algunos derrumbes debido a la inestabilidad del terreno causada por la erosión y las lluvias dificultaron un poco la toma de datos.

3.3.4.2.3 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.

3.3.4.3 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:

- a) Post proceso de la información recolectada por los GPS.
- b) Cálculo y procesamiento de datos.
- c) Dibujo del levantamiento en sistema CAD.
- d) Modelo digital del terreno
- e) Informe

3.3.5 Restitución fotogramétrica

3.3.5.1 Generalidades

Teniendo en cuenta las extensas áreas de los municipios y la geoforma de los mismos, se estableció la necesidad de realizar restitución fotogramétrica de fotografías aéreas existentes. Esta herramienta permite abarcar en forma completa las cabeceras municipales, los drenajes de interés y especialmente las laderas aledañas.

Para la ejecución de esta restitución se requirió la adquisición de fotografías aéreas en forma digital y en escala cercana o menor a los 10.000, de tal manera que de la restitución se obtenga el nivel de detalle requerido (curva de nivel mínimo cada 2 metros). Las fotografías escogidas para tal fin fueron:

- Fotografías aéreas escala 1:5000, las cuales fueron adquiridas la empresa Autoestudios S.A

La restitución fotogramétrica se realizó con las características que se presentan a continuación; así mismo se explica cómo los resultados de la restitución se vinculan a los mapas base:

- Restitución a partir de fotografías aéreas escala 1:5000; el resultado es un plano escala 1:1000 con curvas de nivel cada metro. El resultado complementa la topografía realizada. La extensión en la cual se realizó el trabajo fue de 72,47 Ha.

Es importante resaltar que el cubrimiento que otorga esta herramienta es amplio, especialmente para la zona exterior al casco urbano y que es de nuestro interés para los análisis de estabilidad.

3.3.5.2 Descripción de las fases de trabajo y los resultados obtenidos de las mismas

Georeferenciación:

El proceso de georeferenciación se realizó mediante técnicas de aerotriangulación, método por el cual las fotos son ajustadas entre sí, permitiendo la visualización tridimensional de las mismas en software especializado. Así mismo en el proceso de aerotriangulación se utilizan un conjunto de puntos de fotocontrol que permite saber las coordenadas horizontales y la altura de cada uno de los puntos en el terreno en el sistema de referencia espacial utilizado, que para el caso del presente estudio fue el siguiente:

Origen MAGNA-SIRGAS Oeste:

- Esferoide: GRS 1980
- Datum: SIRGAS
- Factor de Escala del Meridiano Central: 1.0
- Longitud de Origen: 77° 4' 39,285" Oeste
- Latitud De Origen: 4 ° 35' 46,3215" Norte
- Falso Este: 1.000.000
- Falso Norte: 1.000.000

Los resultados de la aerotriangulación fueron evaluados teniendo en cuenta el error medio cuadrático, que indica el error promedio en posición horizontal y vertical que se puede llegar a presentar, así mismo se revisó en los modelos estereoscópicos el ajuste o coincidencia de los puntos de fotocontrol con los mismos puntos dentro del modelo y finalmente se revisó la consistencia del modelo desde un punto de vista cualitativo.

Para el municipio de Abriaquí se registró un error medio cuadrático de 0,43 m, los puntos de control estuvieron dentro de una distancia tanto vertical como horizontal inferior a los 50cm, el modelo se consideró consistente al no identificar problemas de paralaje ni distorsiones en las fotografías. Los insumos utilizados fueron seis puntos de control extraídos de cartografía producida a partir de levantamiento topográfico en campo, tres fotografías aéreas pancromáticas (tabla 1), de las cuales no se dispuso con datos de la calibración de la cámara exceptuando la distancia focal que fue de 152,439 mm, a pesar de esto los resultados fueron satisfactorios.

Restitución fotogramétrica

Éste trabajo se realizó de manera manual con el uso software de dibujo asistido, los intervalos en las curvas de nivel se definieron de acuerdo a las escalas de trabajo propuestas y los elementos restituidos para las diferentes zonas fueron las curvas de nivel, ríos y vías. Un aspecto importante en relación al pos-procesamiento de los datos es el de edición topológica, en el cual se asegura algunos aspectos como conectividad entre elementos, ausencia de superposición de elementos cuando no existe tal condición etc, este procedimiento permite por ejemplo la conectividad entre ríos o entre vías, sin embargo dentro del trabajo realizado se advirtió la ausencia de conectividad entre ríos por ejemplo, debido a su canalización subterránea en las zonas urbanas, por ejemplo, o en as vías debido a interrupciones por movimientos en masa, entre otros motivos

Ortorectificación

La ortorectificación es el proceso más riguroso que se puede llevar a cabo para georeferenciar una imagen aérea, debido a que se eliminan errores que por otras técnicas de georeferenciación no son tenidos en cuenta, como los errores inherentes a la imagen en relación con el sensor o cámara fotográfica en éste caso, y los errores o desplazamientos en posición asociados al relieve los cuales generan inexactitudes posicionales muy importantes en zonas montañosas, como es el caso de la tres zonas trabajadas.

Teniendo en cuenta lo explicado, al haber hecho un proceso de ortorectificación la exactitud posicional de los elementos visibles en las fotografías coinciden dentro de un error similar al del error medio cuadrático de la aerotriangulación con sus verdaderas posiciones en el terreno. Otro aspecto importante es la unión o mosaiqueado de las fotografías, el cual es más o menos dificultoso dependiendo de las diferencias radiométricos (tonalidades) de las fotografías aéreas, en éste sentido no se presentaron inconvenientes insuperables, lo cual permite ver en las diferentes zonas de estudio la unión de diferentes fotografías como si se tratase de una sola. La resolución espacial de los diferentes ortofotomosaicos (unión de fotografías ortorectificadas), de cada zonas fue de 20 cm.

Modelos digitales de terreno

Se generaron a partir de las curvas de nivel mediante interpolación bilinear, la resolución espacial estuvo de acuerdo a la escala de trabajo de manera que para Abriaquí fue de 1

metro. Dentro de la propuesta inicial se plantearon como productos la restitución fotogramétrica digital de curvas de nivel, ríos y vías, modelos digitales de terreno, ortofotomosaicos e informe final, la descripción de tales archivos se presenta en la tabla 7.

Tabla 3-7 Productos entregados.

PRODUCTO	DIRECTORIO	ARCHIVO	DESCRIPCIÓN
Restitución Fotogramétrica Digital formato GIS	CD/ABRIAQUI/Restitucion/SHAPEFILE	Area_Abriaqui.shp Curvas_Abriaqui.shp Ríos_Abriaqui.shp Vías_Abriaqui.shp	Polígono del área trabajada Curvas de Nivel 1m Ríos Vías
Restitución Fotogramétrica Digital Formato CAD	CD/ABRIAQUI/Restitucion/DWG	Area_Abriaqui.DWG Curvas_Abriaqui.DWG Ríos_Abriaqui.DWG Vías_Abriaqui.DWG	Polígono del área trabajada Curvas de Nivel 1m Ríos Vías
Modelo Digital de terreno formato IMG	CD/ABRIAQUI/MDT/IMG	Abriqui_MDT.img	Modelo digital de terreno IMG resolución espacial de 1m.
Modelo Digital de terreno formato TIF	CD/ABRIAQUI/MDT/TIF	Abriqui_MDT.tif	Modelo digital de terreno TIF resolución espacial de 1m.
Ortofotomosaico Formato IMG	CD/ABRIAQUI/Ortofotomosaico/IMG	ab_ortofotomosaico.img	Ortofotomosaico IMG resolución espacial de 0,2 m.
Ortofotomosaico Formato TIF	CD/ABRIAQUI/Ortofotomosaico/TIF	ab_ortofotomosaico.tif	Ortofotomosaico IMG resolución espacial de 0,2 m.

3.3.6 Información predial a nivel de manzanas

Teniendo en cuenta que el total del casco Urbano del municipio de Abriaquí se considera como franja estudio, se realiza un inventario de manzanas de diversas fuentes.

En primera medida, según el mapa DANE se encuentran 15 manzanas como se describe en la Tabla 3-7. Esta información esta discriminadas por sectores y secciones Urbanas, según Código DANE.

Tabla 3-8 Manzanas dentro de la franja de estudio según código DANE

Código DANE								
Departamento	Municipio	Clase	Sector Rural	Sección Rural	Centro Poblado	Sector Urbano	Sección Urbana	Manzana
05	004	199	000	00	000	0001	01	01
05	004	199	000	00	000	0001	01	02
05	004	199	000	00	000	0001	01	03
05	004	199	000	00	000	0001	01	04
05	004	199	000	00	000	0001	01	05
05	004	199	000	00	000	0001	01	06
05	004	199	000	00	000	0001	01	07
05	004	199	000	00	000	0001	01	08
05	004	199	000	00	000	0001	01	09
05	004	199	000	00	000	0001	01	10
05	004	199	000	00	000	0001	01	11
05	004	199	000	00	000	0001	01	14
05	004	199	000	00	000	0001	01	17
05	004	199	000	00	000	0001	01	18
05	004	199	000	00	000	0001	01	22

Por otro lado, se tomo la información catastral la cual considera 4 sectores en el municipio y sobre la cual se consideran 20 manzanas en total. La Tabla 3-8 presenta la numeración de las manzanas catastrales.

Ya que la información catastral tanto en distribución espacial como en numeración es más reciente, se toma como base de trabajo para los posteriores análisis de vulnerabilidad. Para trabajar con códigos resumidos, se le asigno un código de trabajo que consta de la letra A + los tres últimos dígitos de código catastral.

Tabla 3-9 Codificación de Trabajo

Código catastral	Código de trabajo
0101	A101
0102	A102
0103	A103
0201	A201
0202	A202
0203	A203
0204	A204
0205	A205
0206	A206
0207	A207
0208	A208
0209	A209
0210	A210
0301	A301
0302	A302
0303	A303
0401	A401
0402	A402
0403	A403
0404	A404

3.3.7 Generación de mapa base

A partir de los resultados de la georeferenciación, levantamiento topográfico, restitución fotogramétrica y cartografía predial y social, se genero el mapa base para los estudios de zonificación.

El mapa base del municipio de Abriaquí contiene:

- Curvas de nivel obtenidas a partir de restitución fotogramétrica, cada metro.
- Cauces obtenidos a partir del levantamiento topográfico.
- Polígonos de manzanas obtenidas del levantamiento topográfico.
- Vías urbanas y de acceso, obtenidas del levantamiento topográfico.
- Construcciones, obtenidas del mapa catastral.
- Numeración de manzanas, según mapa catastral.

El plano No 1 muestra el mapa base.

3.4 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Los aspectos geológicos regionales se tomaron de información publicada o inédita de Ingeominas y se complementaron en el marco local con observaciones de campo realizadas específicamente para este trabajo y la interpretación de las siguientes aerofotografías:

Vuelo	Año	Escala	Aerofotografías
Aeroestudios F-01U	2005	1:5.000	180 – 185
IGAC		1:10.000	106 - 107

3.4.1 Contexto Geológico Regional y Local

Al nivel de Geología Regional, el municipio de Abriaquí se localiza en el núcleo de la Cordillera Occidental, conformado por rocas ígneas y sedimentarias depositadas en un fondo marino, las cuales en el norte de Colombia se han considerado como Grupo Cañasgordas, que incluye según Álvarez y González, (1978), un nivel volcánico (Formación Barroso), que no aflora cerca a la cabecera municipal y un nivel sedimentario (Formación Penderisco). La edad del Grupo Cañasgordas, de acuerdo con todos los trabajos llevados a cabo hasta la fecha se considera del Cretáceo Tardío (aproximadamente entre 70 y 80 millones de años).

- **Formación Penderisco**

Se compone de rocas sedimentarias depositadas en un ambiente marino profundo, sobre los basaltos de la Formación Barroso. Por su composición ha sido subdividida en los Miembros Urrao y Nutibara, el primero, de carácter arenoso a limo-arcilloso y el segundo que contiene chert, con intercalaciones de limolitas, rocas piroclásticas básicas y calizas silíceas, el cual no aflora en la zona de este estudio. Por el fuerte plegamiento y fallamiento no se conoce el espesor de la formación ni los contactos entre los miembros.

El Miembro Urrao (Ksu), está compuesto de arcillolitas, limolitas y areniscas, dispuestas en estratos plano – paralelos, delgados, en general de menos de 20 cm., intercaladas localmente con capas lenticulares de conglomerados, depositadas en un fondo marino profundo por corrientes de turbidez, que se alternan en una sucesión monótona. Por sus condiciones de formación, antigüedad y evolución, se encuentran en la actualidad formando un macizo rocoso plegado y fallado que conforma el sistema montañoso principal del área.

- **Aluviones Cuaternarios (Qal).**

En la cartografía geológica Regional de Ingeominas disponible a escala 1:100.000, se destaca un cuerpo alargado de depósitos aluviales de edad cuaternaria que bordean el río Herradura, que no se diferencian entre sí por razón de escala y se describen como

acumulaciones de gravas, arenas y arcillas no consolidadas, dispuestas en estratos irregulares, lenticulares, resultado de procesos aluviales originados por éste cauce.

3.4.2 Geología Estructural.

Regionalmente las sedimentitas del miembro Urrao se encuentran con un intenso plegamiento, producto de su transformación desde el piso oceánico hasta la formación y emplazamiento de la Cordillera Occidental a su posición actual; la tendencia regional en la estratificación de las capas sedimentarias es aproximadamente Norte – Sur, con inclinaciones generalmente fuertes, del orden de 50° o más. Además del plegamiento, en cercanías a la cabecera municipal de Abriaquí, se han delineado en la Cartografía Geológica oficial del INGEOMINAS, fallas importantes en la tectónica del noroccidente colombiano como lo son las de San Ruperto y Encarnación, con orientación N-S, además de tres pequeñas fallas locales trazadas cerca a la cabecera municipal, una de ellas denominada Falla Abriaquí, que sigue parcialmente el cauce de la quebrada Monos, pero que no fue posible verificar en el trabajo de campo en inmediaciones de la cabecera municipal, por lo que se asume que está cubierta por el abanico y en consecuencia, parcialmente fosilizada. Ambas fallas N-S, de acuerdo con estudios posteriores, han mostrado actividad neotectónica, lo que en principio confirma la amenaza sísmica local a la que puede estar expuesto el municipio.

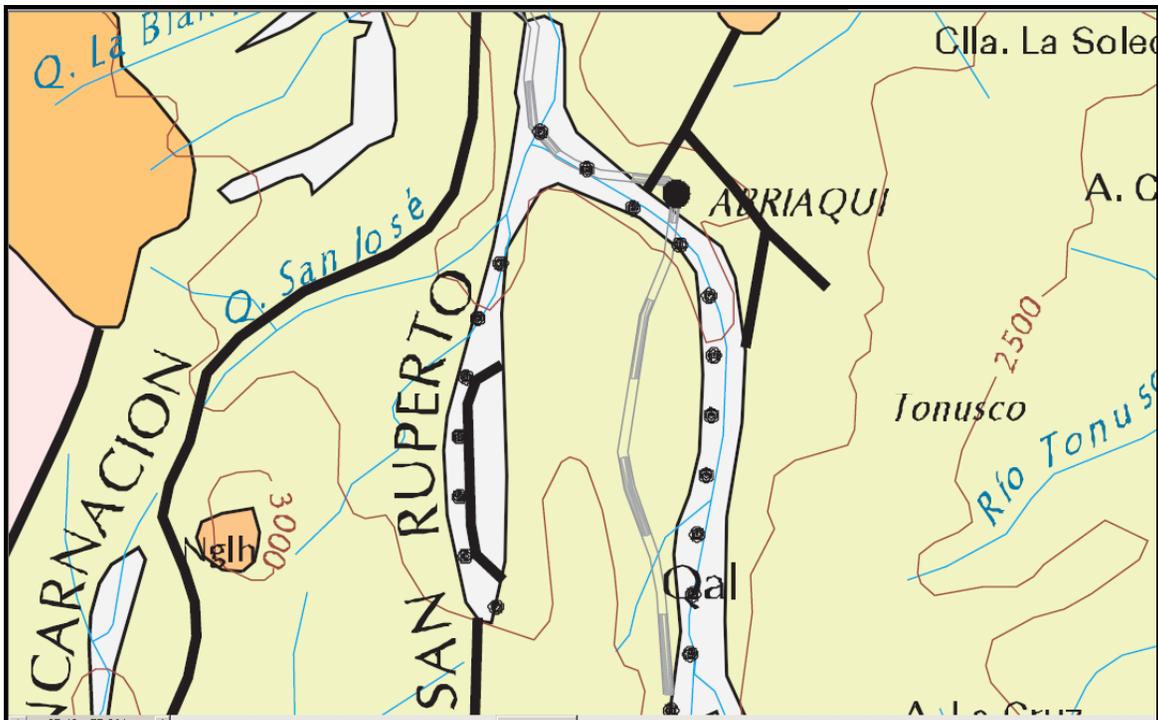


Figura 3-3 Mapa geológico regional del municipio de Abriaquí (Tomado de Mapa geológico de Antioquia, Ingeominas 1999).

3.4.3 Contexto Geológico Local

Localmente, la mayor parte de la cabecera municipal se encuentra localizada sobre un abanico aluvial relativamente antiguo y estable, mientras que otros pequeños sectores se localizan sobre terrazas relativamente altas del río Herradura o sobre depósitos de flujos de escombros depositados a manera de abanicos en el cambio de la pendiente de algunos cauces menores. Todos estos depósitos son maduros y estables, de origen aluvial y se encuentran compuestos de gravas gruesas, arenas y limos no litificados, con una incisión importante, de más de 8 m., lo que indica un bajo potencial de amenaza por inundación. Existen además algunas terrazas aluviales bajas, de depositación aluvial reciente que no sobrepasan una altura de 2.0 metros por encima del nivel de aguas medias, que han sido depositadas recientemente como resultado de crecientes importantes del río Herradura.

Rodeando los depósitos ya descritos se encuentran vertientes montañosas compuestas en su totalidad de sedimentos limoarcillosos pertenecientes al Grupo Cañasgordas, Formación Penderisco, miembro Urrao, descompuestas superficialmente a suelos limo-arenosos a limo-arcillosos.

- **Sedimentitas del miembro Urrao (KSu)**

Alrededor de la cabecera municipal se localiza una serie de vertientes montañosas con pendientes moderadas a fuertes, compuestas por una sucesión monótona de limolitas, areniscas y arcillolitas de color gris, dispuestas en estratos plano paralelos delgados, donde ocasionalmente los estratos de areniscas alcanzan espesores mayores a 50 cm. La roca muestra a veces estratificación interna fina a escala de milímetros debida a cambios en el tamaño de grano (textura), por pequeñas intercalaciones de material más fino.

Estructuralmente, la roca original muestra deformaciones fuertes, con plegamientos de tipo chevron (ángulos estrechos), tal como se puede apreciar en un afloramiento del borde de la carretera que conduce a Frontino, a menos de 1 Km. del parque principal de la población (Fotografía 3-1). Las direcciones de los planos de estratificación mostradas en los afloramientos cercanos a la población muestran una tendencia N-S, con variaciones al E y W (ver mapa geológico), con inclinaciones desde verticales a fuertes, ninguna menor de 70°.

Este macizo rocoso deformado y plegado muestra alto fracturamiento, en general ortogonal a los planos de estratificación, convirtiendo la roca original en una masa fragmentada, donde es difícil obtener muestras mayores a los 20 cm. de diámetro. Adicional a lo anterior, los procesos de descomposición superficial desarrollados sobre la roca han formado suelos residuales (**Dsr** en el mapa geomorfológico), con perfiles de meteorización que varían entre menos de un metro como en el caso de algunos cortes de la vía a Cañasgordas, hasta 4 m. como en el caso de el sitio con inestable en la salida hacia Frontino.



Fotografía 3-1 Afloramiento de areniscas, limolitas y arcillolitas del miembro Urrao con plegamiento intenso.

Los anteriores procesos geológicos inducen al paisaje a una susceptibilidad particular a que los movimientos en masa locales sean de dimensiones relativamente pequeñas, menos de 20 x20 m., o que se desarrolle una forma menos agresiva de evolución del paisaje como lo son las cárcavas, tal como se discute en el capítulo de Geomorfología.

- **Abanico Aluvial de Abriaquí (Qaa1)**

La mayor parte del desarrollo urbano de la cabecera municipal del municipio de Abriaquí se encuentra localizada sobre una planicie ligeramente inclinada que corresponde a un abanico aluvial de unos 300 m. de ancho por 500 de longitud, depositado por la quebrada Monos. El depósito se encuentra incisado tanto por la quebrada como por el río Herradura en más de 12 m, conformando un valle estrecho limitado por un escarpe que muestra pendientes fuertes a moderadas, desde casi verticales, hasta un poco menos del 50%. Se prolonga aguas arriba por la quebrada monos como una terraza estrecha, de unos 100 m de ancho por más de 300 de longitud, por fuera de la base topográfica disponible para este trabajo, lo que se constituye en una zona de urbanización futura de la población.

Litológicamente el depósito se compone de bloques, cantos y guijarros de roca, angulares a subredondeados, en su mayor proporción de areniscas y limolitas, con un componente subordinado de arcillolitas, en general frescos a ligeramente meteorizados, en especial los de menor tamaño. La textura es caótica, con una matriz color pardo–ocre, areno – limosa, descompuesta parcialmente a arcillas, cohesiva, que conforma un poco menos del 50% de la masa total del depósito. El mejor afloramiento se encuentra en la vía de acceso al Cementerio, donde es posible diferenciar al menos tres pulsos de depositación sin desarrollo de suelos entre sí, lo que indica que se depositaron muy cercanos en el tiempo (Fotografía 3-2), su estructura y textura denotan un ambiente de generación por avenidas torrenciales sucesivas.



Fotografía 3-2 Aspecto general del depósito que forma el abanico de Abriaquí

El perfil típico del suelo muestra un horizonte A de unos 15 cm. de espesor, el cual cubre un B de 25 a 30 cm., maduro, con estructuras de pedos de 4 a 5 mm. de diámetro, lo que indica una madurez importante; por debajo de éste, se localiza un horizonte de suelo de tipo C-V (de acuerdo a Dearman), que alcanza casi 30 cm de espesor y cubre el depósito ya descrito. Las anteriores condiciones del perfil más superficial del suelo indican una probable edad para el depósito del orden de un centenar de miles de años.

- **Depósitos aluvio - coluviales (Qaa2)**

En inmediaciones de la cabecera municipal se destacan tres depósitos que conforman abanicos depositados por los cauces que se encuentran en sus ápices, el mayor de ellos se localiza al occidente de la población y sobre él se localiza el colegio La Milagrosa (Fotografía 3-3); otro se encuentra en la salida de la población hacia la parte alta del río Herradura y el último incluido en el mapa se encuentra al occidente de la población sobre la margen izquierda del río. Cabe mencionar que existen más de éstos depósitos desarrollados en los quiebres de pendiente de los cauces de orden 2 que confluyen al río Herradura, tanto aguas arriba como abajo de la población, algunos de ellos más recientes pero de tamaño menor.

El depósito correspondiente, se compone de bloques, clastos y guijarros que flotan en una matriz compacta de arenas y limos. Los bloques y clastos se encuentran meteorizados superficialmente, en tanto que los guijarros están parcialmente descompuestos y algunos integrados a la matriz. Esta última, cohesiva y firme, de color marrón, alcanza a conformar más del 60% de la masa total. Superficialmente se alcanzan a apreciar bloques decimétricos a métricos, exhumados por procesos erosivos superficiales muy posteriores a su depositación. El horizonte A del suelo, color pardo oscuro, alcanza a tener unos 15 a 20 cm de espesor y posee alta cantidad de materia orgánica; el B, con pedos de 3 a 4 mm de diámetro muestra alta madurez en su desarrollo. Por debajo de los anteriores se

encuentra un horizonte C-V, de unos 30 a 40 cm. de espesor, que dadas las similitudes con el Abanico de Abriaquí, parece indicar una edad similar.

Los abanicos parecen tener edades similares, semejante a la de la formación del abanico principal de Abriaquí, lo que podría indicar un período de humedad extrema que haya producido en la zona una aceleración de los procesos de degradación, pero su origen parece deberse más a un producto de carcavamiento en la parte alta de las microcuencas respectiva, dada su pendiente de depositación, que puede alcanzar más de 12°.



Fotografía 3-3 Cono aluvial del colegio La Milagrosa, se observan bloques superficiales exhumados y el perfil superior de suelo

- **Depósitos aluviales antiguos (Qaa2).**

Sobre ambas márgenes de la quebrada Monos y al interior del Abanico de Abriaquí, se encuentra una planicie estrecha que la bordea con un nivel de 6 a 8 metros por encima del cauce principal. El mejor afloramiento se encuentra sobre el puente de la salida de la población hacia Frontino, el depósito se compone de bloques, cantos y guijarros que flotan en un 50% de matriz areno-limosa compacta, todo de características muy similares al abanico mayor. La diferencia principal la constituye el perfil superior de suelo que en este caso muestra un horizonte A de 15 a 20 cm. de espesor, con un B de 20 cm. maduro, con pedos de 4 a 5 mm. de diámetro, los cuales cubren un suelo tipo V de Dearman de 20 a 25 cm de espesor, indicando así una edad menor que el abanico principal, pero aún del orden de centenares de miles de años.

- **Depósitos aluviales recientes (Qa1)**

En las márgenes inmediatas de la quebrada Monos y el río Herradura se encuentra un pequeño sistema de terrazas aluviales con alturas desde 50 cm. hasta 1.8 m de altura sobre el nivel de los cauces que sobresale por su disposición plana, completamente paralela al cauce actual, los niveles más bajos pueden constituir hasta tres subniveles que demarcan sucesivos planos de inundación reciente (Fotografía 3-4), la que es evidenciada por la conservación de sus clastos y matriz, además de la carencia de un horizonte B. El horizonte A está pobremente desarrollado y a lo sumo alcanza 3 a 4 cm en los niveles más altos, lo que revela que su edades deben ser tal vez de unos pocos miles de años las superiores y menos de 100 la inferior.

Se componen de bloques, clastos y guijarros redondeados a subangulares, en contacto tangencial entre sí, con sus intersticios llenos con matriz arenolimososa suelta, mostrando un conjunto sin ninguna cohesión. Se aprecian bloques métricos de roca dispersos sobre la superficie únicamente en el tramo donde el río atraviesa el abanico de Abriaquí, lo que indica que ellos no son producto de un régimen torrencial, sino resultantes del lavado de éste depósito (Fotografía 3-5).



Fotografía 3-4 Depósitos aluviales recientes en el río Herradura, se observan tres subniveles bajos de depositación

3.4.4 Contexto Geomorfológico Regional

Los alrededores inmediatos de la cabecera municipal de Abriaquí están definidos por dos unidades geomorfológicas muy contrastantes entre sí, unas montañas denudacionales alta y los valles aluviales del río herradura y la quebrada Monos. No se dispone de un mapa geomorfológico regional, pero se asimila a la nomenclatura de zonas vecinas tales como los municipios de Cañasgordas y Frontino que si la tienen.

- **Montañas denudacionales (Dsr).**

El núcleo geográfico de la cordillera Occidental, donde se localiza Abriaquí, se compone de un sistema montañoso desarrollado sobre rocas sedimentarias de edad cretácica que presenta un conjunto de montañas desde bajas hasta altas, en este caso intermedias, con alturas entre valle y topes desde 600 hasta 1200 m. Los filos principales se orientan NE hasta NW, siguiendo probablemente el control estructural de las sedimentitas que lo conforman. Estos filos presentan lomos estrechos, subredondeados y rectos, pero de perfil irregular, a veces escalonado, revelando así pulsos de levantamiento tectónico. Los filos secundarios presentan una disposición diagonal a los principales y también muestran topes estrechos pero redondeados y longitudinalmente casi rectos (Fotografía 3-5).



Fotografía 3-5 Montañas denudacionales con filo principal (izquierda) y filo secundario recto (derecha). Valle plano y estrecho del río Herradura.

- **Valles aluviales**

Los fondos de los valles menores son estrechos, con vertientes rectas en forma de V abierta y fondos con unos pocos sectores de depositación aluvial, en tanto que los valles de ríos mayores presentan planicies relativamente estrechas, con un máximo hasta de 200 m de amplitud, con varios niveles de terrazas que evidencias episodios sucesivos de levantamiento e incisión por los cauces.

3.4.5 Geomorfología Local

La cabecera municipal de Abriaquí se enmarca dentro de un pequeño valle aluvial formado por la confluencia del río Herradura y la Quebrada Monos, donde el elemento principal está definido por un cono aluvial de esta última quebrada y por otros elementos menores como terrazas aluviales de ambos cauces. Los anteriores elementos se encuentran rodeados por las Montañas Denudacionales definidas en el numeral anterior.

- **Montañas Denudacionales (Dsr)**

A esta unidad se le designa en el mapa como Suelos Residuales de Sedimentitas, para conservar una nomenclatura de las unidades superficiales en la zona de estudio. Las montañas adyacentes a Abriaquí presentan alturas de 800 a 1000 m. de desnivel entre cimas y valles, con pendientes moderadas a fuertes, en general menores de 100%, con filos principales y secundarios de topes estrechos y redondeados. Las vertientes son relativamente rectas y los valles tienen forma de V abierta con fondo estrecho. El basamento rocoso consiste en todos los casos de rocas sedimentarias de origen marino y composición detrítica arenosa arcillosa pertenecientes al Miembro Urrao del Grupo Cañasgordas, que como resultado de los procesos tectónicos y de descomposición en la superficie forman perfiles de meteorización que alcanzan hasta 10 m de espesor (Fotografía 3-6). Cerca a la cabecera municipal se midió el siguiente perfil de meteorización y suelos, donde se sigue para la descripción del horizonte C, la clasificación de Dearman (1991).

Horizonte	Profundidad (m.)	Descripción
A	0.0 a 0.30	Horizonte orgánico color pardo oscuro, con raíces vivas, limoarenoso.
B	0.30 a 0.60	Limoarcilloso, color pardo rojizo a pardo amarillo, con estructuras de <i>peds</i> de 3 a 4 mm Ø, cuando seco, forma grietas de desecación (Expansivo).
C-VI	0.60 a 0.90	Suelo limoarcilloso, color pardo rojizo, sin estructura original pero con algunos cantos de la roca original parcialmente meteorizados, menos del 10%.
C-V	0.9 a 3.5	Suelo limoarenoso, pardo rojizo, meteorizado, se distingue algo de la textura original de la roca, Con 30 a 40% de fragmentos semimeteorizados de roca hasta 20 cm Ø.
C-IV	3.5 a 4.5	Suelo con matriz limoarenosa, pardo rojizo, con más de 50% de fragmentos de roca semimeteorizados.
C-III	4.5 a 5.5	Suelo color pardo rojizo, matriz limoarenosa, con más de 60% de fragmentos de roca semimeteorizados.
C-II	5.5 a 7.5	Roca descompuesta casi totalmente con superficies de fracturas oxidadas.
C-I	>7.5	Roca Fresca



Fotografía 3-6 Sitio donde se levantó el perfil de meteorización de la unidad de suelos residuales de sedimentitas, vía Abriaquí – Frontino, Km. 1

Cabe anotar que en el anterior perfil se midieron resistencia del suelo a la matriz de los diferentes horizontes con penetrómetro de mano, dando como valores promedio desde 2.7 Kg/cm² en el horizonte C-VI, 3.5 en el C-V, hasta 4.5 Kg/cm² en los horizontes C-IV y C-III.

3.4.6 Procesos morfodinámicos:

En las montañas denudacionales se presentan básicamente dos procesos denudacionales de degradación con actividad reciente, que de acuerdo con las cicatrices presentes en la zona, también han sido los modeladores del paisaje en el pasado, los movimientos en masa y las cárcavas.

Los movimientos en masa activos en las inmediaciones de la cabecera municipal no presentan tamaños muy considerables y aunque la mayor parte de los que se pudieron delimitar en las aerofotografías no se pueden localizar con precisión en el mapa base, ellos presentan tamaños similares, del orden de 10 a 20 m de diámetro mayor, lo que considerando un espesor máximo de 10 m que es a lo máximo que se encuentra la roca fresca, indican volúmenes menores a 5.000 m³, lo que indica que si ellos ocurren, no generarían una afectación muy amplia.

Los movimientos en masa se presentan en estas vertientes en pendientes fuertes, mayores de 46° (Fotografía 3-7), de acuerdo con lo medido para 3 movimientos en masa activos en el campo, todos ellos acompañados de uso para pastoreo, lo que puede tomarse como un indicador de amenaza alta por movimientos en masa y que parte de su mitigación pueda ser limitar el uso a otra actividad más compatible con las pendientes.

A partir del casco urbano y en dirección aguas arriba de la microcuenca de la quebrada Monos y sus afluentes, se pueden observar en las aerofotografías una gran cantidad de

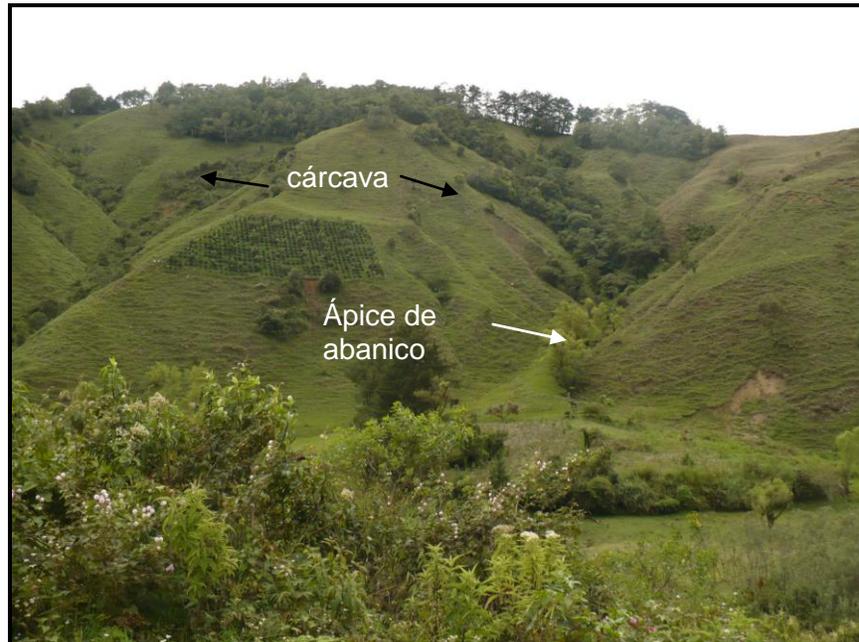
cicatrices de movimientos en masa, con textura subreciente, de centenares de años o menos, las cicatrices son de tamaño relativamente pequeño, de menos de 20 m. de diámetro, que muestran además una trayectoria erosionada hasta el fondo de los cauces. Este fenómeno se interpreta como un enjambre de movimientos en masa generados por un evento de lluvias extremo que afectó de manera grave las vertientes de la microcuenca. No se consiguió una referencia histórica para este evento, posiblemente porque no haya producido víctimas, pero tal vez investigando con viejos habitantes de la población se pueda tener un mejor registro del fenómeno.

Se descarta que este fenómeno haya tenido causas sísmicas en vista de que las vertientes de la margen izquierda del río Herradura carecen de este tipo de cicatrices.



Fotografía 3-7 Movimiento en masa activo sobre vertientes con suelos residuales de sedimentitas.

Más frecuentes que los anteriores, las cárcavas han sido el factor modelador de mayor impacto en épocas recientes y subrecientes, de acuerdo con lo que se puede observar en las aerofotografías, ellas han operado desde decenas hasta cientos de años atrás, contribuyendo con el crecimiento de los ápices de pequeños abanicos que bordean el río Herradura, tal como se observa en la Fotografía 3-8.



Fotografía 3-8 Ápice de abanico con acumulación reciente de material producido por cárcava

La forma más eficiente de mitigación de este fenómeno es la reforestación con especies de porte bajo en las rondas de las cañadas, actividad que requiere una evaluación de factibilidad socio-económica previa para poder ser llevada a cabo, pues los procesos de reforestación no son muy viables en zonas con tradición de uso en ganadería extensiva.

- **Abanicos de cauces menores (A2)**

Dentro del área contenida en la base topográfica se encuentran tres abanicos de depositación aluvio-coluvial, ya descritos en el numeral de geología local. Se destacan por su forma semitriangular y por su pendiente de 12 a 16°, además del desarrollo interno de microdrenaje lo cual es indicador de edad madura. Por las características del depósito, se les signa una edad tentativa de unos pocos de centenares de miles de años. En inmediaciones del colegio La Milagrosa se levantó el siguiente perfil representativo:

Profundidad (cm.)	Descripción
0 a 20	Horizonte A, alto contenido de materia orgánica, negro, limoso, permeable, con abundantes raíces vivas, maduro.
20 a 35	Horizonte B, maduro, con peds de 3 a 4mm Ø, color pardo –naranja, arcillo-limoso con guijarros, plástico, con grietas de desecación milimétricas transicional a C.
35 a 75	Horizonte C-VI. Limo-arcilloso, color pardo claro a ocre rojizo, casi homogéneo, con 20 – 25% de guijarros de roca, con cubierta de óxidos, angulares y meteorizados, fragmentos menores y matriz integrados.

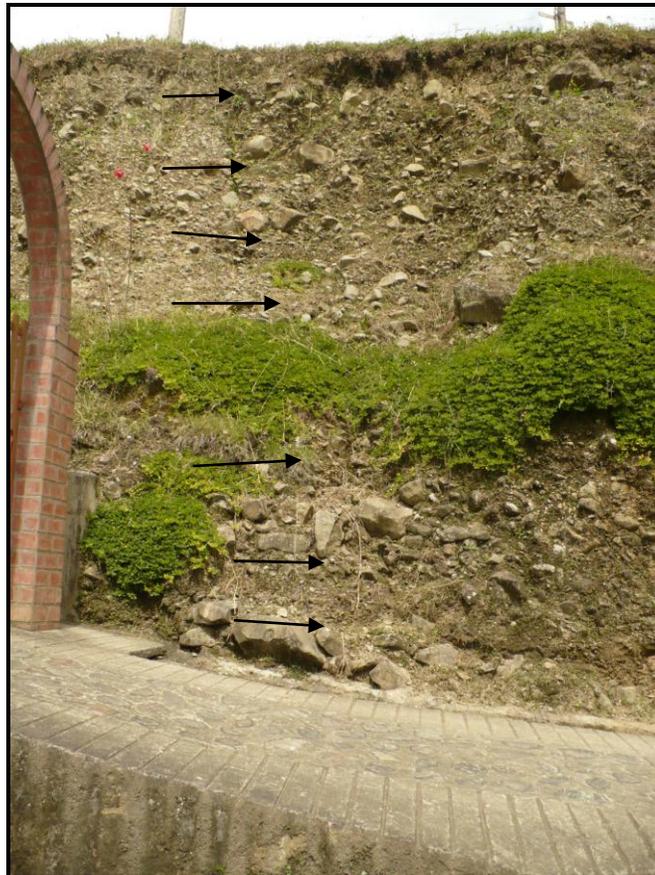
75 a 225 Depósito de flujo de escombros con más de 65% bloques, clastos y guijarros de areniscas, angulares, oxidados superficialmente y con meteorización parcial. Matriz limo-arcillosa compacta.

- **Abanico de Abriaquí (A1)**

Es la unidad más importante desde el punto de vista de desarrollo urbano, el cono de deyección original se encuentra con una incisión de unos 12 m. sobre el cauce normal de la quebrada Monos, formando una línea de escarpe con pendientes desde 30° hasta verticales que limita el sector urbanizable. Su origen está ligado a avenidas torrenciales sucesivas generadas en la parte alta de ésta o sus afluentes, la planicie principal tiene 6° de pendiente en la dirección de la quebrada y en su interior no parece tener mayor incisión gracias a su alta permeabilidad. El ápice se prolonga por fuera del área urbanizada actual, más de 400 aguas arriba por la quebrada Monos, formando una terraza estrecha potencialmente urbanizable en el futuro. El perfil de meteorización y suelos es similar a la unidad anterior y en consecuencia, su edad se asume semejante, es decir, pocos centenares de miles de años. La mejor exposición del depósito se encuentra en la vía de acceso al Cementerio (Fotografía 3-9), donde se levantó la siguiente columna:

Profundidad (cm.)	Descripción
0 a 20	Horizonte A, alto contenido de materia orgánica, pardo oscuro, limoarenoso con guijarros semimeteorizados de areniscas, permeable, con abundantes raíces vivas, maduro.
20 a 45	Horizonte B, maduro, con peds de 3 a 4mm Ø, color pardo-gris, arcillo-limoso, plástico, con grietas de desecación milimétricas, más de 20% de clastos frescos.
45 a 55	Horizonte C-VI. Limo-arcilloso, color pardo claro a ocre rojizo, casi homogéneo, con 20 – 25% de guijarros de roca, con cubierta de óxidos, angulares y meteorizados, fragmentos menores integrados a la matriz.
55 a 105	Depósito de flujo de escombros con más de 60% bloques decimétricos y clastos de areniscas, angulares, oxidados superficialmente. Matriz limo-arenosa compacta. Erosivo sobre el nivel inferior.
105 a 145	Depósito de flujo de escombros con más de 60% bloques decimétricos y clastos de limolitas, angulares, oxidados superficialmente. Matriz limo-arenosa compacta, gradación inversa. Separado del inferior por diferencia en tamaño de los bloques.
145 a 230	Depósito de flujo de escombros con más de 60% bloques decimétricos y clastos de limolitas, angulares, oxidados superficialmente y con meteorización parcial. Matriz limo-arcillosa compacta. Separado del inferior por diferencia de tamaño de los bloques.
230 a 290	Depósito de flujo de escombros con más de 60% bloques decimétricos y clastos de limolitas, angulares, oxidados superficialmente. Matriz limo-

- 290 a 315 arenosa compacta, gradación inversa. Separado del inferior por diferencia en tamaño de los bloques.
Depósito de flujo de escombros con más de 60% bloques decimétricos y clastos de limolitas, angulares, oxidados superficialmente y con meteorización parcial. Matriz limo-arcillosa compacta, gradación inversa. Separado del inferior por diferencia de tamaño de los bloques.



Fotografía 3-9 Afloramiento del depósito del Abanico de Abriaquí, las flechas separan pulsos de avenidas torrenciales individuales

- **Terrazas antiguas no inundables (T2)**

Unos tres metros por debajo de la superficie del abanico de Abriaquí, se presenta un nivel plano que conforma una estrecha terraza que ha sido parcialmente urbanizada y en partes intervenida con cortes y llenos como en el caso del Coliseo Cubierto. La superficie parece haberse formado más por erosión del abanico principal que por depositación propia, dadas las características idénticas del depósito y de los suelos que la cubren. Por esta razón se omite la descripción de su perfil. Al igual que el abanico principal, fue socavada por la quebrada para formar un escarpe de más de 5 m de altura sobre el nivel del cauce.

- **Terrazas subrecientes ocasionalmente inundables (T1)**

Esta unidad se restringe a las márgenes del río herradura donde se pueden notar varios niveles bajos y ella forma un nivel superior, con 1.2 a 1.8 m sobre el nivel del cauce, su límite con las inferiores está redondeado, lo que implica una edad mayor a los cientos de años, o tal vez unos pocos miles porque tiene 2 a 3 cm de horizonte A, pero este puede tener aporte coluvial. Aparentemente las mayores crecientes del río no la han inundado en este lapso de tiempo, o si lo han hecho, no han dejado un registro importante. Este nivel se puede asimilar a la creciente con período de recurrencia de 500 años.

- **Terrazas recientes inundables (T0)**

En el nivel más bajo, limitante con el cauce tanto de la quebrada Monos como del río Herradura, se desarrollan varios subniveles de terrazas, con alturas de menos de un metro por encima del cauce, que definen los niveles de inundación más frecuentes, el más bajo de ellos parece corresponder a períodos anuales, mientras que el más alto, de aproximadamente 1 m de altura, corresponde a inundaciones con recurrencia del orden de 100 años. Las alturas dadas son variables, en vista de que el cauce sufre estrechamientos, en especial el del río cuando cruza el abanico.

3.4.7 Inventario de procesos actuales

Durante las visitas de campo efectuadas a la zona de estudio se llevó a cabo la identificación de fenómenos de remoción relacionados con deslizamientos y procesos de socavación lateral por incidencia de la corriente del Río Herradura y de la Quebrada San Pedro. En esta sección se presenta un resumen de los procesos observados en forma general, los cuales se describen con detalle en el capítulo 5.

3.4.7.1 Quebrada San Pedro – Sector Cementerio.

Los procesos observados en la parte norte del municipio y en cercanías a la quebrada están asociados a la mala disposición de aguas de la zona del cementerio y en la parte alta del talud, las cuales se han dispuesto directamente sin estructuras especiales que conduzcan estas aguas al río. Esto generó puntos de erosión, los cuales fueron creciendo con la exposición del talud a la lluvia, viento y demás agentes ambientales, hasta convertirse en deslizamientos que llegaron hasta el río. Una vez la corriente lluvia hizo contacto con el deslizamiento, la velocidad del agua hondo el proceso hasta generar un deslizamiento que afectó la banca de la vía y la estabilidad de toda la margen (Fotografía 3-10).



Fotografía 3-10 Proceso de remoción en masa, zona del cementerio

En forma similar a este proceso se encontraron puntos con similares características a lo largo de la quebrada, todos de pequeñas dimensiones y en estado de comienzo y con erosión incipiente.

3.4.7.2 Rio Herradura

Se observan procesos de socavación lateral en la margen derecha del Rio, los cuales están asociados a la dinámica del cauce en su zona de inundación. Se han realizado obras de contención para proteger los taludes cercanos a las manzanas, algunos sin éxito. En la Fotografía 3-11 se puede observar la socavación que produce el rio, la cual se ve aumentada por el estrechamiento del rio en esta zona.



Fotografía 3-11 Socavación lateral producida por el Río Herradura

Este tipo de proceso se observa en 500 metros de recorrido del Río. Hasta el momento no se han presentado daños en estructuras o personas, pero la contención de esta margen se hace necesaria.

3.4.7.3 Otros procesos

En las laderas aledañas a la nueva urbanización del sector oriental se observan procesos potenciales de remoción en masa, los cuales son producidos por la deforestación y la explotación agrícola y ganadera en zona de alta pendiente (Fotografía 3-12). Estos procesos pueden ser detonados por la saturación del material, por lo cual se requiere de un buen manejo de aguas de la parte alta de la ladera.



Fotografía 3-12 Procesos potenciales en alta pendiente – sector oriental

3.5 HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

El municipio de Abriaquí se localiza al noroccidente del Departamento de Antioquia. El casco urbano del municipio se enmarca por los cauces del río Herradura y de la quebrada Monos o San Pedro, cuyas cuencas se caracterizan por mostrar una red de drenaje de alta densidad. Los cursos de agua que la conforman tienen cauces de alta pendiente y flujo de alta torrencialidad y turbulencia, esta última originada en la gran cantidad de bloques y cantos rodados de diámetro superior a los cincuenta (50) centímetros. Las anteriores características generan en algunos sectores del río Herradura y de la quebrada Monos procesos de ataque a las orillas y al mismo lecho, en el cual son frecuentes, igualmente, los depósitos de materiales, gravas y cantos de cierta magnitud, que conforman islotes y barras, los cuales en una u otra forma inciden en la desviación de las líneas de flujo hacia los barrancos que las conforman.

De la visita de reconocimiento al área del municipio realizada por los Especialistas se obtuvieron conclusiones de interés con respecto a las características de los cursos de agua que circundan el casco urbano, de la configuración de sus cauces y orillares y la correlación de éstas con los posibles procesos de erosión y de inundación o desbordamiento.

Adicionalmente fue posible determinar por observación directa, las características topográficas del área y su relación con la génesis de los procesos de escorrentía, factor de gran importancia en el proceso de caracterización de su clima y en el de determinación de los caudales de los cursos naturales de agua que interesan para los fines de este estudio.

En los párrafos siguientes, se consignan los resultados de los análisis adelantados con miras a la caracterización del clima del área y a la determinación de los caudales del río Herradura y de la quebrada Monos, así como la descripción de las metodologías empleadas en cada caso.

3.5.1 Recopilación y análisis de la información existente

3.5.1.1 Cartografía

En el Instituto Geográfico Agustín Codazzi se obtuvieron planchas a escala 1:100000 y 1:25000, que cubren las áreas de las cuencas vertientes que drenan hacia el río Herradura. Sobre la cartografía se delimitaron las cuencas vertientes de las corrientes principales que son afluentes al río Herradura y a la población de Abriaquí. La información cartográfica se complementó con visitas de campo (diagnóstico) y con levantamientos topográficos del río Herradura a su paso por la población de Abriaquí, detallando los sitios más bajos (susceptibilidad alta a inundación).

3.5.1.2 Hidrometeorología

En el marco de este municipio se cuenta con información pluviométrica de la estación Abriaquí, de coordenadas 6° 38' N y 76° 04' W, ubicada a 1920 msnm. La serie de información sobre totales mensuales de precipitación corresponde al período 1975 – 2009. Adicionalmente, para efectos de determinación de la precipitación media mensual y anual en el área, se recurrió a las series de datos de las estaciones Fuemia y Cañas Gordas, éstas últimas con períodos de observación durante los años 1977 a 2009 y 1974 a 2009, respectivamente.

Para efectos de estudio del régimen de precipitación se seleccionó el período 1975-2009, para lo cual se homogeneizaron las series de los valores medios multianuales a este período, mediante la definición de la proporcionalidad entre los valores de las series cortas y largas.

Dada la carencia de información sobre los elementos constitutivos del clima, se recurrió a su caracterización a partir de la información de las estaciones de Cañas Gordas y Musinga. Ver Anexo C-1.

Tabla 3-10 Características principales de las estaciones hidrometeorológicas seleccionadas

Nombre	Tipo de estación	Latitud	Longitud	Elevación	Municipio
Musinga	CO	6° 47`	76° 11`	1330 msnm	Frontino
Palmar	CP	7° 07`	75° 40`	580 msnm	Ituango
Sta Rita	PG	7° 19`	75° 37`	1916 msnm	Ituango

Fuente: IDEAM

La red de estaciones hidroclimatológicas en la zona de estudio tiene un cubrimiento escaso, razón por la cual se localizan tres estaciones hidrometeorológicas en los municipios cercanos a la zona de estudio, debido a lo anterior, la información secundaria de la zona será de gran importancia para la descripción del régimen espacial y temporal de la precipitación y el cálculo de los parámetros de diseño de las estructuras hidráulicas.

3.5.1.3 Fuentes secundarias

La información hidrológica se complementa con dos estudios el primero llamado “Análisis de la Problemática de sedimentos en el Río La Herradura” elaborado por la Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín, publicado por EPM – Empresas Públicas de Medellín mediante contrato No. 29990427738 de Marzo del 2007. En este informe se presenta una evaluación de las condiciones que propician la producción, transporte y depositación de sedimentación, Mapeo de unidades geomorfológicas, Estudio de la Morfodinámica del río la Herradura con la identificación de los principales procesos erosivos, estudio de los tipos de suelo y cobertura vegetal en el cauce y las márgenes del río, estudio de la dinámica fluvial y el aporte de sólidos al río y las medidas propuestas para el manejo de sedimentos en la cuenca.

Un segundo estudio considerado es el denominado “Estudio de diseño de obras para la construcción de un canal de encauzamiento del río la Herradura, que garantice el manejo y control de los sedimentos depositados en su cauce”, desarrollado por el Consorcio DICON, conformado por las compañías DISMAN Ingeniería Ltda. Y Consultoría de Proyectos Ltda. En el cual se presentan un estudio de la Geomorfología y Dinámica fluvial del Río, Consideraciones Geomorfológicas para la ubicación de las presas, Estudios Hidrológicos, caracterización geotécnica del cauce, Estudio Hidráulico y Planteamiento de Alternativas de diseño.

3.5.2 Caracterización, Hidrología e Hidráulica

3.5.2.1 Climatología

El municipio de Abriaquí se localiza en la parte superior de la cuenca del río Sucio, cuyos principales afluentes en esta parte de la cuenca son los ríos La Herradura y Cañas Gordas. Desde el punto de vista de su morfología y topografía, las cuencas de estos dos cursos de agua son similares, razón por la cual, habida cuenta de la poca densidad de la red de observación de los elementos que lo conforman, se recurrió a caracterizar el clima del área con base en la información acopiada en las estaciones de observación de, Musinga, Cañas Gordas, Fuemia y Abriaquí, las dos primeras estaciones climatológicas y pluviométricas la tercera y cuarta.

Precipitación media

La precipitación media mensual multianual obtenida como el promedio de las series de las estaciones Fuemia, Abriaquí y Cañas Gordas, correspondientes al período 1975-2009 es de 2279 mm. Su variación dentro del año es de forma bimodal, a lo largo de éste se presentan dos períodos lluviosos con dos relativamente secos intercalados. El primer

período seco corresponde a los meses de diciembre a marzo, en el cual tiene ocurrencia el 21,1 % de la precipitación total del año. A continuación es característico un período húmedo durante los meses de abril y mayo, en el cual ocurre el 22,3 % del total anual. El segundo período seco corresponde a los meses de junio, julio y agosto, en el que se observa el 22,3 % de la precipitación del año. Finalmente, durante los meses de septiembre, octubre y noviembre, es característico un período lluvioso, en el cual tiene ocurrencia el 34,3 % del total. La distribución anual de la precipitación en el área del municipio de Abriaquí se muestra en las siguiente Figura 3-4.

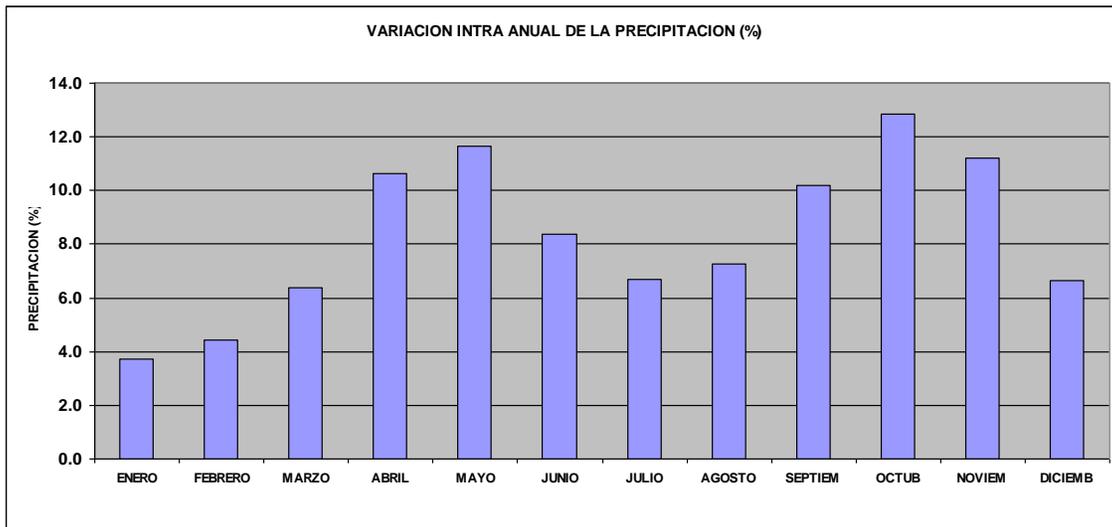


Figura 3-4 Valores Anuales de Precipitación

Los valores medios mensuales obtenidos para el área se observan en la Tabla No 3-10.

Tabla 3-11 Precipitación Total Mensual (mm)

ESTACION	ENERO	FEBR	MAR	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SEPT	OCTUB	NOVI	DIC	TOTAL ANUAL
Fuemia 75-08	86,0	103,9	150,2	240,1	267,9	193,4	152,1	171,2	235,8	293,4	265,3	152,0	2311
Abriaquí 75-08	86,2	104,1	148,1	243,4	259,1	178,7	153,0	154,0	212,9	272,2	222,0	155,0	2189
Cañas G. 75-08	82,3	94,7	136,6	242,8	268,9	199,5	153,4	171,5	249,5	312,8	278,7	147,1	2338
PROMEDIO	84,8	100,9	145,0	242,1	265,3	190,5	152,9	165,6	232,7	292,8	255,3	151,4	2279

Precipitación máxima

La precipitación máxima se analizó desde varios puntos de vista.: En primer término, se determinó el valor máximo anual de la serie de los totales anuales. El mayor valor corresponde al año 2007, con un total de 2850 mm, 1,32 veces mayor que la media multianual obtenida para la estación Abriaquí, y que tiene una recurrencia cercana a los veinticinco (25) años.

Por otra parte, se analizó la variación inter anual de la precipitación total anual. Los resultados de este análisis llevado a cabo mediante el ajuste de la serie a distribuciones

de frecuencia, cuyos resultados se muestran en la Tabla No 3-11 y en la Figura No 3-5, indican que la precipitación anual de recurrencia de cien (100) años, 3136 mm es 1,43 veces mayor que la media multianual. Así mismo, se observa que la precipitación anual de recurrencia de veinticinco (25) años, 2900 mm es el 132,5% de la media multianual.

Tabla 3-12 Análisis de Frecuencia de Precipitación Total Anual - Estación Abriaquí

PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (%)	PERIODO DE DE RETORNO AÑOS	PRECIPITACION MAXIMA (mm)	DESVIACION ESTÁNDAR
0,995	200	3237,5	190,9647
0,99	100	3135,6	175,0065
0,98	50	3024,1	157,8754
0,96	25	2900,2	139,3446
0,9	10	2708,3	112,338
0,8	5	2528,3	90,3114
0,667	3	2360,6	75,2529
0,5	2	2184,3	69,102

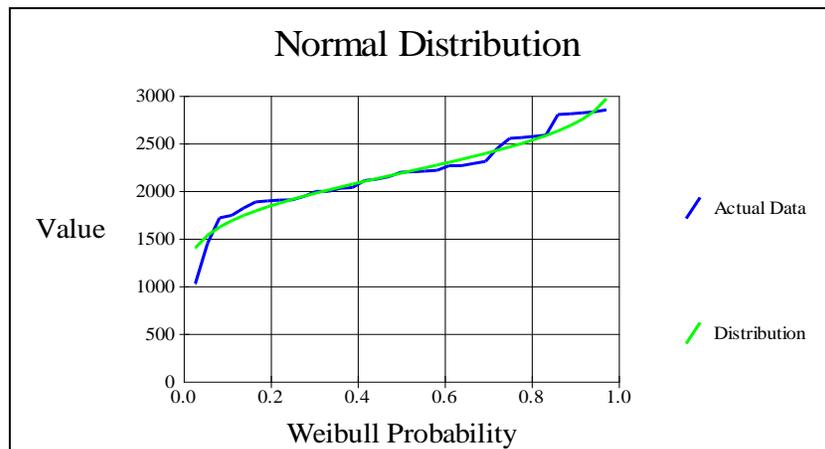


Figura 3-5 Análisis de frecuencia Precipitación Total Anual (mm) – Estación Abriaquí

Finalmente, se adelantó el análisis estadístico de la serie de los valores máximos de precipitación en 24 horas, de importancia en la tarea de determinación de los caudales de los cursos de agua de interés, como se verá más adelante.

El máximo valor de precipitación en 24 horas se presentó en el mes de diciembre de 1987, con un total de 117 mm, valor superior al correspondiente al de recurrencia de cien (100) años, según se aprecia en la Tabla No 3-12, en la cual se presentan los resultados del análisis de frecuencia de la serie y en la Figura No 3-6 que muestra la distribución de los valores máximos anuales.

Tabla 3-13 Análisis de Frecuencia de Precipitación Máxima en 24 Horas- Estación Abriaquí

PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (%)	PERIODO DE RETORNO AÑOS	PRECIPITACION MAXIMA (mm)	DESVIACION ESTÁNDAR
0,995	200	121,7	20,9
0,99	100	112,1	16,1
0,98	50	102,8	12,1
0,96	25	93,6	8,8
0,9	10	81,6	5,5
0,8	5	72,2	3,8
0,667	3	64,8	3,1
0,5	2	58,2	2,6

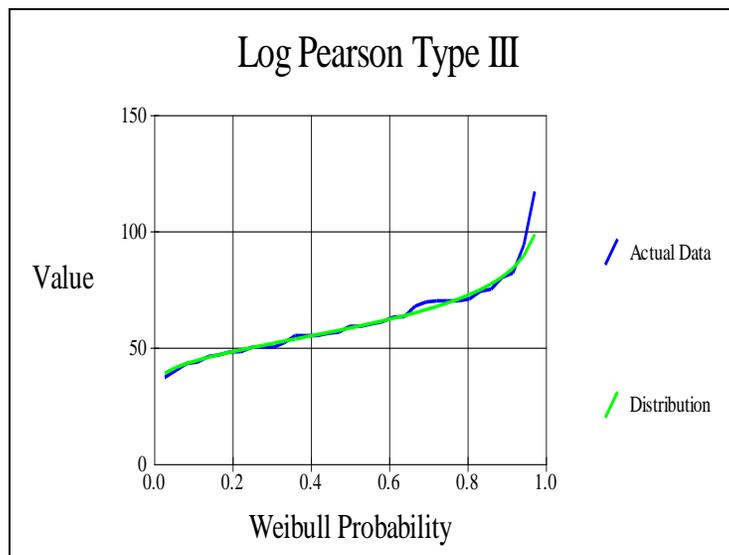


Figura 3-6 Análisis de frecuencia Precipitación Máxima en 24 Horas (mm) – Estación Abriaquí

Temperatura Media del Aire

La determinación de la temperatura media del aire en el área del municipio de Abriaquí se realizó a partir de la información suministrada por las series de datos de las estaciones climatológicas de Musinga y Cañas Gordas, las cuales, como se estableció antes, se localizan en la cuenca superior del río Sucio. Desafortunadamente la red de observación no cuenta con una densidad tal que, además de obtener información sobre la temperatura del centro poblado, permita la definición del régimen en el área y su distribución espacial y altitudinal.

La temperatura media del área tiene muy pocas variaciones a lo largo del año. La temperatura media es de 20,8° C y el mes más cálido es marzo, en el cual se alcanza en promedio multianual los 21,0 °C. Los más fríos son octubre y noviembre, con 20,5 °C.

En la Tabla 3-13 se aprecian los valores medios mensuales multianuales de temperatura

Tabla 3-14 Valores Medios Mensuales Multianuales de Temperatura °C - Abriaquí

ESTACION	ENER	FEBR	MARZ	ABR	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SEPT	OCT	NOVI	DIC	MEDIA
Cañas Gordas	21,5	21,6	21,8	21,6	21,6	21,7	21,7	21,7	21,5	21,2	21,2	21,4	21,6
Musinga	19,8	19,9	20,1	20,0	20,0	19,9	20,0	20,0	19,9	19,8	19,8	19,8	19,9
PROM 74-09	20,7	20,8	21,0	20,8	20,8	20,8	20,8	20,9	20,7	20,5	20,5	20,6	20,8

Humedad Relativa

La Humedad Relativa es casi constante durante el año sus valores son relativamente altos, superiores al 70 %. Los meses de mayor humedad son los de mayo y noviembre con 74 %. Los más secos febrero y marzo con 71 %. Los valores medios multianuales se observan en la Tabla No 3-14.

Tabla 3-15 Humedad Relativa Media Multianual % - Abriaquí

ESTACION	ENERO	FEBR	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO	SEP	OCTUB	NOVI	DIC	MEDIA ANUAL
CAÑ GORDAS	85	84	84	85	86	85	84	84	85	86	87	86	85
MUSINGA	86	86	86	87	88	88	87	87	88	88	88	87	87
PROM 74-09	86	85	85	86	87	87	86	86	86	87	87	86	86
Hn %	72	71	71	73	74	73	72	72	73	73	74	73	73

Evapotranspiración

El proceso de evaporación de agua desde el suelo y desde superficies de agua libres, así como el proceso de transpiración por la vegetación, en función de varias variables climatológicas entre las cuales ocupa un lugar importante se encuentra la energía solar, la cual para el cálculo de este proceso, se expresa en horas de sol en el día o en energía radiada. Desafortunadamente se tropieza de nuevo con la falta de información sobre algunos de estos elementos climatológicos y se debe recurrir a su determinación a partir de fórmulas desarrolladas para ser utilizadas cuando sólo se dispone de cierta información.

En este caso, se utilizó la información sobre temperatura media del aire y humedad relativa obtenida en las estaciones de Cañas Gordas y Musinga. Para efectos de cálculo en función de estos dos elementos se empleó la fórmula desarrollada por Hargreaves para Colombia, la cual se expresa así:

$$E_p = 13,4 * d * T * (1,0 - 0,01 H_n)$$

En la cual E_p es la evapotranspiración potencial, d es el coeficiente de duración del día T la temperatura media del aire y H_n la humedad relativa al medio día.

Puesto que no siempre se obtiene información sobre este último elemento, es posible calcularlo a partir de la expresión

$$H_n = 1 + 0,4 H + 0,005 H^2$$

En la que H es la humedad relativa media del día

Los resultados obtenidos se aprecian en la Tabla No 3-15.

Tabla 3-16 Valores Medios Mensuales Multianuales de Evapotranspiración (mm) - Abriaquí

ESTACION	ENER	FEBR	MARZ	ABR	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SEPT	OCT	NOVI	DIC	MEDIA
Hn %	72	71	71	73	74	73	72	72	73	73	74	73	73
d	0,98	0,9	1,01	1,01	1,05	1,02	1,05	1,04	0,99	1,01	0,95	0,98	
T Cº	20,7	20,8	21,0	20,8	20,8	20,8	20,8	20,9	20,7	20,5	20,5	20,6	20,8
ETP	76,3	72,6	83,0	77,3	77,5	76,3	81,2	80,8	74,1	74,3	68,3	73,2	915,0

De los resultados de los análisis realizados se puede establecer que, el área del municipio se caracteriza por presentar valores medios mensuales y anuales de precipitación que pueden considerarse altos, comparados con la media a nivel nacional. Por otra parte, la variación de la precipitación dentro del año, de tipo bimodal, muestra dos períodos de alta pluviosidad, en los cuales ocurre el 56,6 % de la precipitación anual. Estos dos períodos en conjunto, representan casi el 42 % del año.

A lo largo del año, es frecuente la ocurrencia de precipitaciones en 24 horas que superan los 35 mm. En este aspecto de la precipitación máxima, se observan en la serie valores significativamente altos, entre los cuales se destacan el correspondiente a diciembre de 1988, en el cual ocurrieron 117 mm y los de enero de 2004 y diciembre de 2006, con 82 y 94 mm, respectivamente. Los valores antes citados corresponden a precipitaciones de recurrencia superior a diez (10) años, los dos últimos y a 100 años el primero de los citados.

La humedad relativa del aire, aunque casi constante, es superior en todos los meses al 84 %. La temperatura media, tiene poca variación en el año, y en promedio, es de 21 ° C

La evapotranspiración calculada como se citó antes, es del orden de los 900 mm anuales, valor bastante inferior al de la precipitación total anual.

3.5.2.2 Hidrología

Los análisis adelantados en el campo de la Hidrología se encaminaron a la determinación de los caudales del río Herradura y de su afluente la quebrada Monos, la cual desemboca en él inmediatamente aguas abajo del casco urbano de la población de Abriaquí.

Son estos los dos cursos de agua que pueden tener influencia directa sobre posibles amenazas no sólo por efecto de inundación debida a sus desbordamientos durante el

paso de crecientes de cierta magnitud, sino por los procesos erosivos en las márgenes y de socavación en el lecho de los mismos.

Con el propósito de definir la amenaza por inundación, se han tomado como parámetros de medición los caudales correspondientes a las recurrencia de dos (2), diez (10), cincuenta (50) y cien (100) años, de manera que la magnitud de la amenaza se enmarque como muy alta, alta, media y baja, para cada uno de estos caudales, respectivamente.

El río Herradura nace en el Alto El Junco, al sur de la población de Abriaquí, a una elevación de 3350 msnm. Desde esta elevación desciende en dirección norte, a cuyo paso recibe la contribución del caudal de numerosos afluentes de los cuales los más numerosos y de mayor caudal son los que drenan las estribaciones occidentales de la cordillera occidental en el noroccidente del Departamento de Antioquia. Como se mencionó antes, la quebrada Monos es de singular importancia dada su localización con respecto al casco urbano de la población de Abriaquí y los procesos erosivos que se evidencian en sus orillas.

La cuenca del río Herradura es de forma alargada, tiene un área hasta aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Monos de 69,2 Km². La longitud de su cauce hasta la población de Abriaquí, localizada a la elevación de 1920 msnm es de quince (15) kilómetros y tiene una pendiente de 9,5 %. Esta característica y la presencia de caudales de avenida, le confieren un régimen de torrente, caracterizado por la turbulencia causada por la gran cantidad de cantos y bloques que transporta y deposita en su lecho, muchos de los cuales tienen diámetros superiores a un (1,0) metro.

Información Disponible

Para los análisis propuestos no se dispone de información sobre los caudales del río ni de la quebrada Monos. Esta circunstancia condujo a que los mismos se determinaran mediante la aplicación de métodos hidrológicos indirectos, basados en la información de precipitación máxima en 24 horas medida en la estación de Abriaquí.

Precipitación de diseño

La información básica la constituyó la serie de precipitación máxima mensual en 24 horas de la estación pluviométrica de Abriaquí. A esta serie se le sometió a análisis de frecuencia mediante su ajuste a distribuciones teóricas. La distribución de mejor ajuste resultó ser la Log-Pearson III, mostrada en la Figura 3-6.

Con base en los valores obtenidos para períodos de recurrencia de dos, diez, cincuenta y cien años, mediante el empleo de la metodología de Bell, se determinaron las curvas Precipitación-Duración-Frecuencia, mostradas en la Figura No 3-7, con el propósito de definir la forma como se distribuye el aguacero de diseño en el tiempo, hasta alcanzar la duración igual a la del tiempo de concentración de la cuenca.

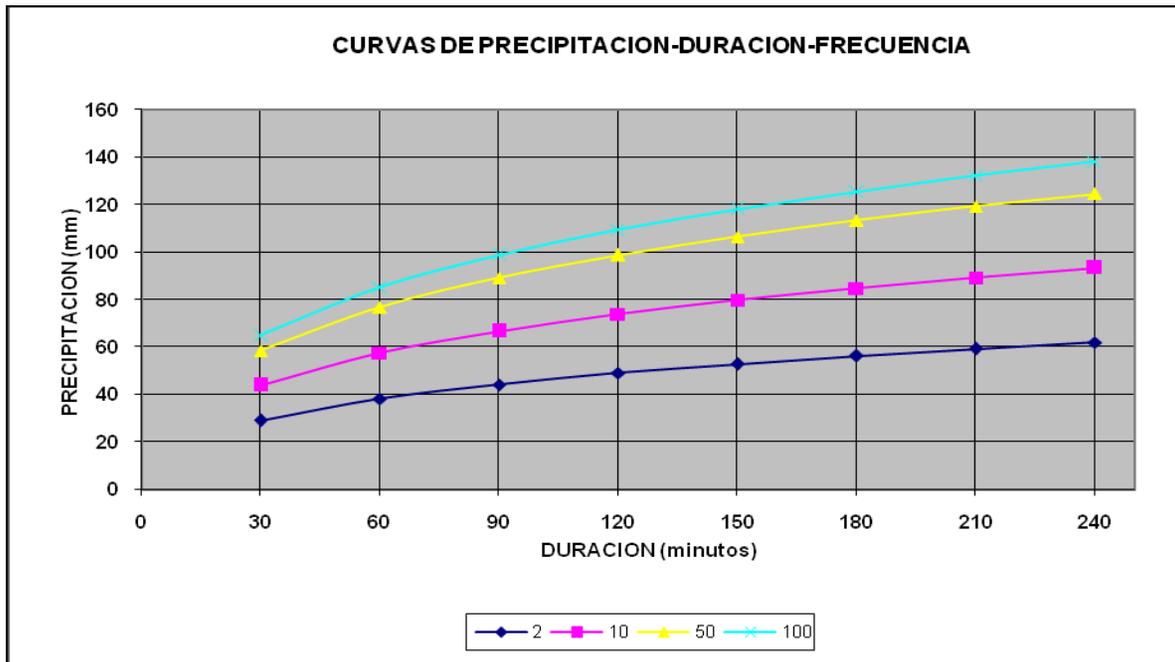


Figura 3-7 Curva de Precipitación - Duración - Frecuencia

Dada la no homogeneidad en la distribución temporal del aguacero, se seleccionaron incrementos de tiempo de 30 minutos, para los cuales se determinó el incremento de precipitación. Por otra parte, dada la extensión de la cuenca, no se consideró del caso aplicar correcciones por efectos de la distribución territorial del aguacero. Se supuso una distribución uniforme.

Los valores de precipitación máxima en 24 horas para las recurrencias indicadas fueron los siguientes:

T_r AÑOS	P_{max} (mm)
2	61,8
10	93.1
50	124.5
100	138,0

Precipitación Efectiva

Tan sólo una parte de la precipitación da origen al proceso de escorrentía. Esta parte la denominamos precipitación efectiva y su determinación se lleva a cabo mediante varias metodologías. Una de ellas, la del umbral de precipitación, o la cantidad de precipitación ocurrida en una cuenca, a partir de la cual tiene ocurrencia la escorrentía, se empleó en el presente estudio.

El valor del umbral, al igual que el coeficiente de escorrentía, es función de varias características de la cuenca, entre las que se encuentran la pendiente, tipo de suelo, en relación con su capacidad de infiltración, estado antecedente de humedad del suelo al ocurrir el aguacero de diseño, el cubrimiento del suelo con vegetación y el tipo de ésta. Para efectos de nuestro análisis, este umbral es variable de acuerdo con la recurrencia del aguacero.

Para la recurrencia de dos años tomamos el valor de P_0 igual a 14 mm, para 10 años, el valor adoptado fue de 18 mm y para 50 y 100 años 20 mm. La expresión mediante la cual se calculó la precipitación efectiva para cada caso es de la forma

$$P_e = (\sum P - P_0)^2 / (\sum P + 4P_0)$$

Los valores de precipitación efectiva obtenidos para incrementos de tiempo de treinta minutos, fueron el insumo al Hidrograma Unitario Triangular definido para la cuenca, a partir del cual se obtuvieron los valores de los caudales máximos para los diferentes períodos de recurrencia seleccionados para definir el grado de amenaza por inundación o por desbordamiento.

3.5.2.2.1 Características de la Cuenca

La cuenca del río Herradura, hasta aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Monos tiene una extensión de 69,2 kilómetros cuadrados, conformada por laderas empinadas de alta pendiente, en la cual se aprecia una red de drenaje natural de gran densidad. Las laderas montañosas que enmarcan la cuenca se caracterizan en su mayor parte, por mostrar un cubrimiento con bosque denso, pasto y arbustos La pendiente del cauce que se origina a una altitud de 3350 msnm, es de 9,5 %. El curso principal de agua tiene una longitud de 15 kilómetros.

La determinación del tiempo de concentración de la cuenca se adelantó mediante el empleo de la fórmula del Corps of Engineers de los Estados Unidos:

$$T_c = 0,3 * (L / (S^{1/4}))^{0,76}$$

En la cual T_c es el tiempo de concentración en horas, L la longitud del cauce y S su pendiente

3.5.2.2.2 Calculo de Caudales

Río Herradura

La determinación de los caudales para las frecuencias o períodos de retorno antes citadas se adelantó mediante el empleo del Hidrograma Unitario Triangular y utilizando, a manera de comprobación de resultados, el modelo Hydraflow, desarrollado por la Universidad de La Florida.

Los parámetros que definen el Hidrograma Unitario son:

$$T_p = D/2 + 0,35 * T_c$$

$$T_b = T_c + D$$

$$Q_p = A * P / 1.8 * T_b$$

En las fórmulas anteriores T_p es el tiempo en el hidrograma en el cual se alcanza el máximo caudal; D es la duración del incremento de precipitación; T_c es el tiempo de concentración de la cuenca T_b el tiempo base del hidrograma y Q el caudal máximo generado por un milímetro de precipitación.

Los hidrogramas resultantes se presentan en las Figuras Nos 3-8 a 3-11. En las Figuras 3-12 a 3-15 los hidrogramas obtenidos mediante el modelo Hydraflow.

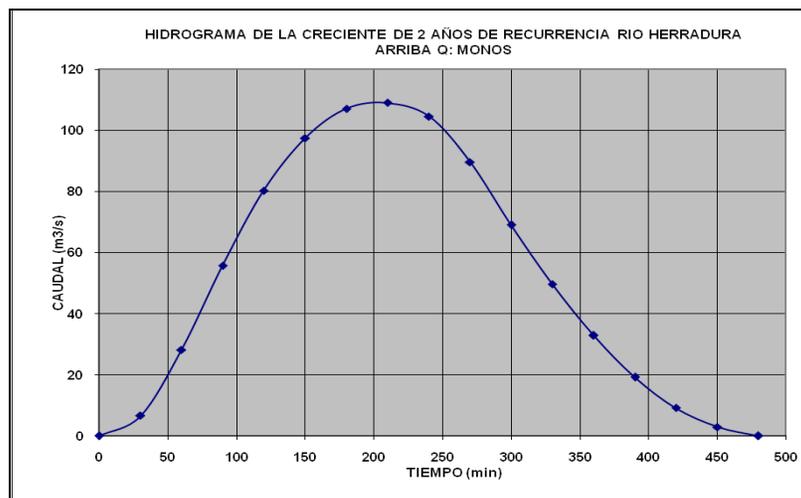


Figura 3-8 Hidrograma de la Crecida de 2 años de recurrencia Río Herradura Arriba Q. Monos

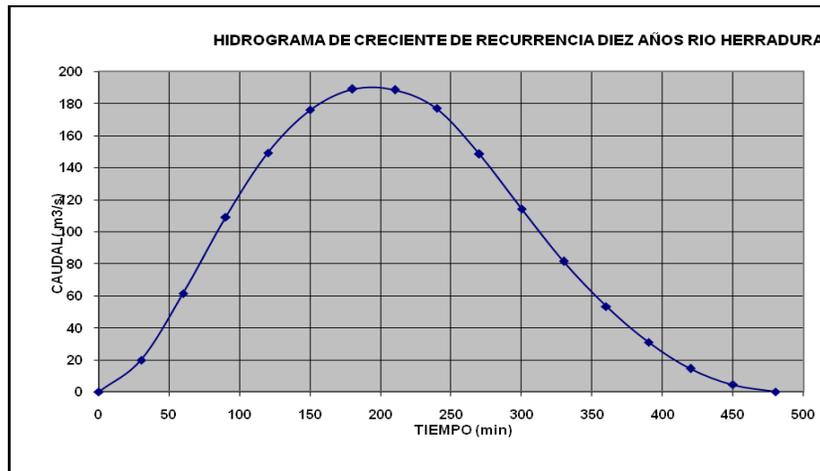


Figura 3-9 Hidrograma de Creciente de Recurrencia diez Años Río Herradura

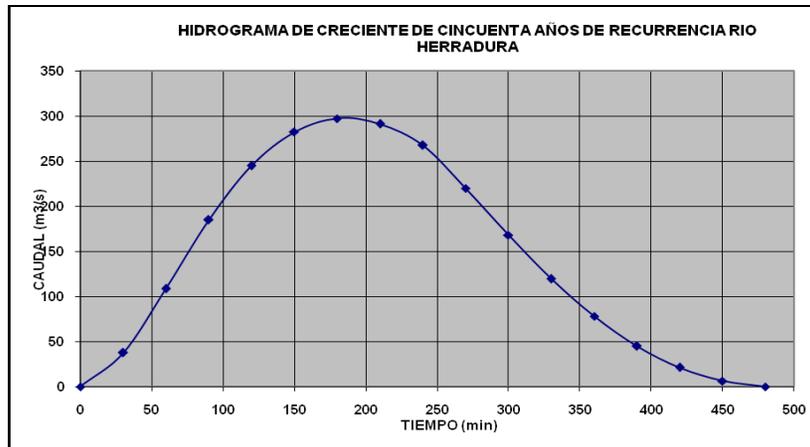


Figura 3-10 Hidrograma de Creciente de Cincuenta Años de Recurrencia Río Herradura

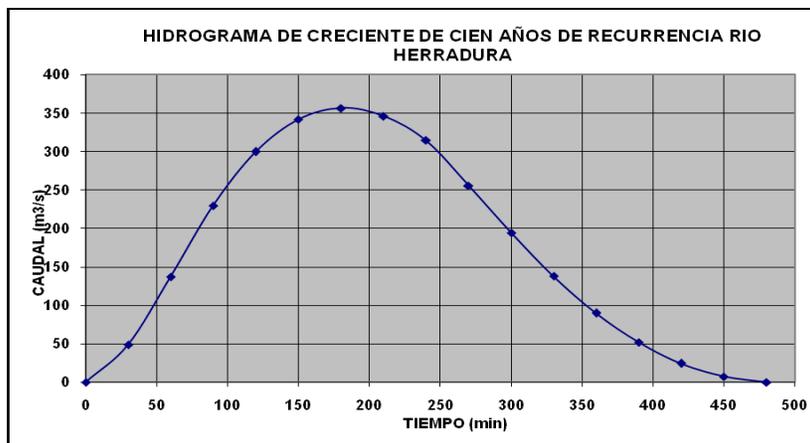


Figura 3-11 Hidrograma de Creciente de Cien Años de Recurrencia Río Herradura

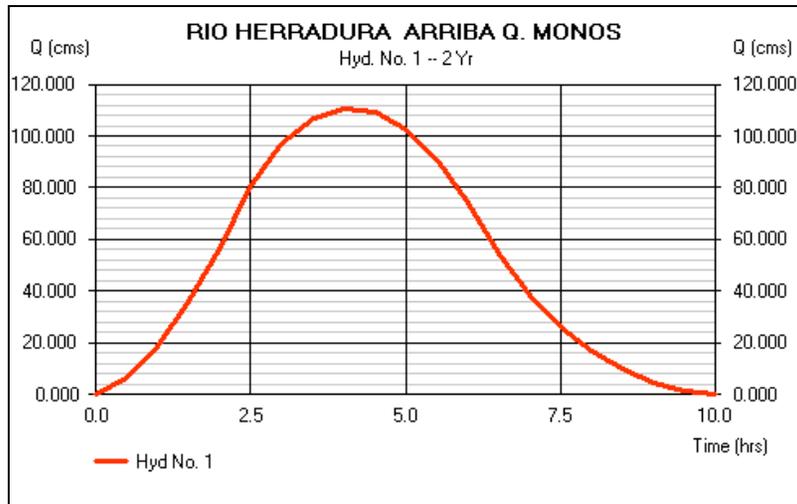


Figura 3-12 Hidrograma de la Creciente de 2 años de recurrencia Río Herradura Arriba Q. Monos - Modelo Hydraflow

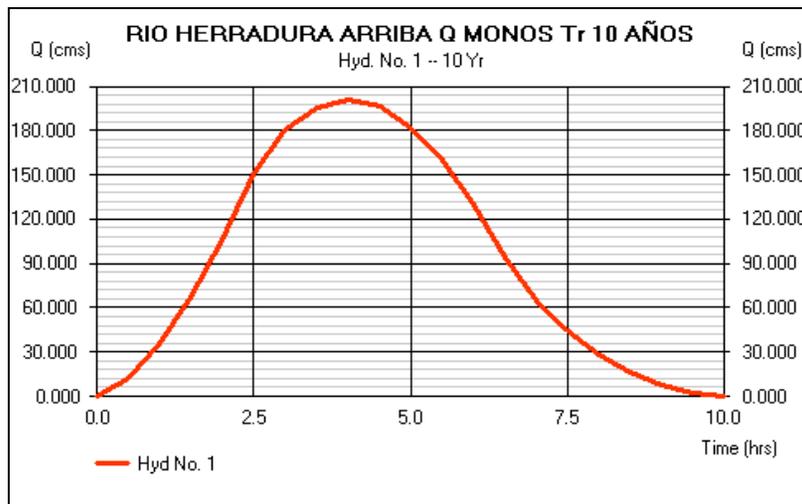


Figura 3-13 Hidrograma de Creciente de Recurrencia diez Años Río Herradura - Modelo Hydraflow

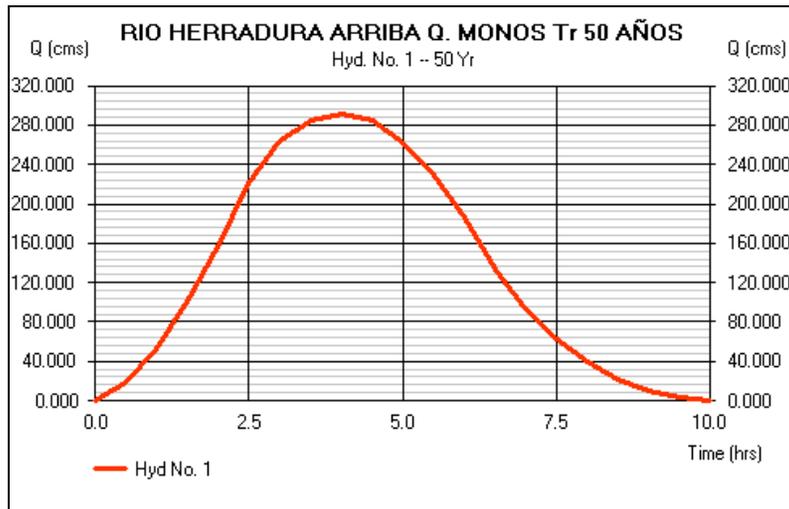


Figura 3-14 Hidrograma de Creciente de Cincuenta Años de Recurrencia Río Herradura - Modelo Hydraflow

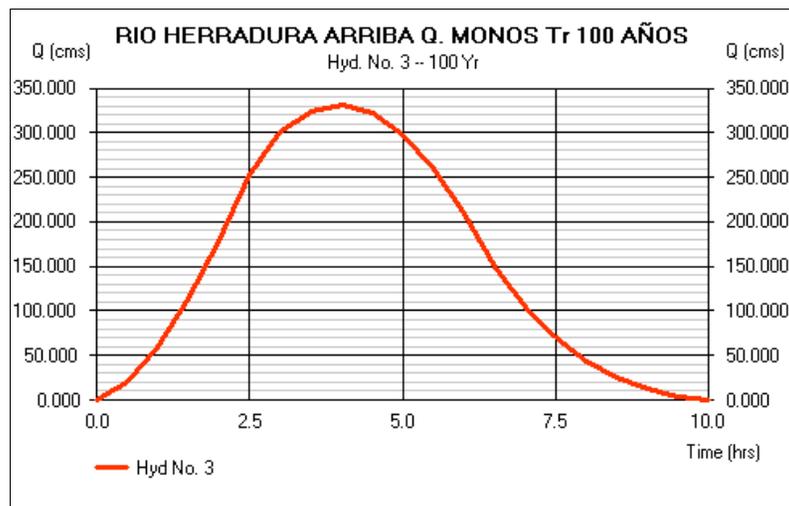


Figura 3-15 Hidrograma de Creciente de Cien Años de Recurrencia Río Herradura - Modelo Hydraflow

Del análisis de los resultados obtenidos para el caudal máximo por uno y otro método, se puede concluir que los valores de los caudales son similares, tal como se aprecia en la siguiente Tabla

T_r AÑOS	Q_{max} (m ³ /s) HIDROG. U	Q_{max} m ³ /s Hydraflow
2	109	112
10	189	194
50	297	288
100	357	331

Los hidrogramas de las crecientes desarrollados por uno y otros métodos se presentan en las Figuras 3-5 a 3-12. Para utilización en los análisis hidráulicos se adoptarán los valores de caudal obtenidos mediante el empleo del Hidrograma Unitario Triangular.

Quebrada Monos ó San Pedro

La quebrada Monos nace en el Páramo de Tonusco a 3000 msnm; su área de drenaje tiene una extensión de 25,2 Km. ² y su curso principal tiene una longitud de 8,0 Km. Desemboca en el río Herradura inmediatamente aguas abajo del marco de la población de Abriaquí. Se caracteriza por su pendiente alta, 13,5 %, y flujo turbulento a su paso por el pueblo. En su lecho es común la presencia de cantos rodados y bloque de diámetros superiores a 0,50 m que conforman islas de magnitud significativa.

Puesto que no existe información sobre el régimen de sus caudales, fue necesario recurrir igualmente que en el río Herradura, a su determinación a partir de la información de precipitación máxima en 24 horas registrada en la estación Abriaquí.

Las características de la cuenca son similares a las del río Herradura, por lo cual se tomaron los mismos valores del umbral de precipitación para los tiempos de recurrencia analizados.

El tiempo de concentración obtenido de la aplicación de la metodología del Corps of Engineers de los Estados Unidos es de 120 minutos. Para este tiempo la precipitación máxima obtenida de las curvas Precipitación-Duración frecuencia fueron:

T_r Años	P_{max} (mm)
2	49
10	74
50	99
100	109

Los parámetros del Hidrograma Unitario Triangular, obtenidos con base en el tiempo de concentración y en la duración del aguacero de diseño fueron los siguientes

$$T_p = 57 \text{ minutos}$$

$$T_b = 135 \text{ minutos}$$

$$Q_p = 6,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

De la aplicación de los incrementos de lluvia efectiva para treinta minutos al Hidrograma Unitario, se obtuvieron los hidrogramas de creciente para dos, diez, cincuenta y cien años de retorno. Estos se aprecian en las Figuras 3-16 a 3-19. Los caudales máximos obtenidos son los siguientes:

T_r AÑOS	Q_{max} (m ³ /s) HIDROG. U
2	43.9
10	83.9
50	135.5
100	267.0

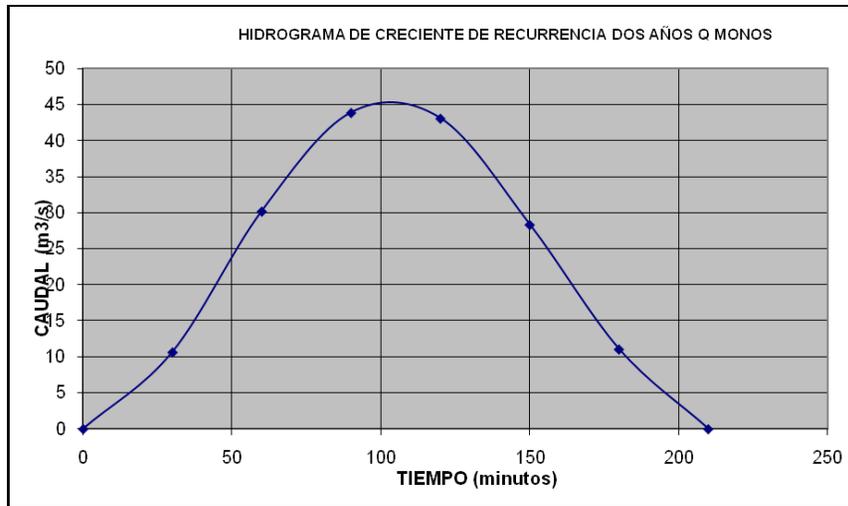


Figura 3-16 Hidrograma de Creciente de Recurrencia Dos Años Q. Monos

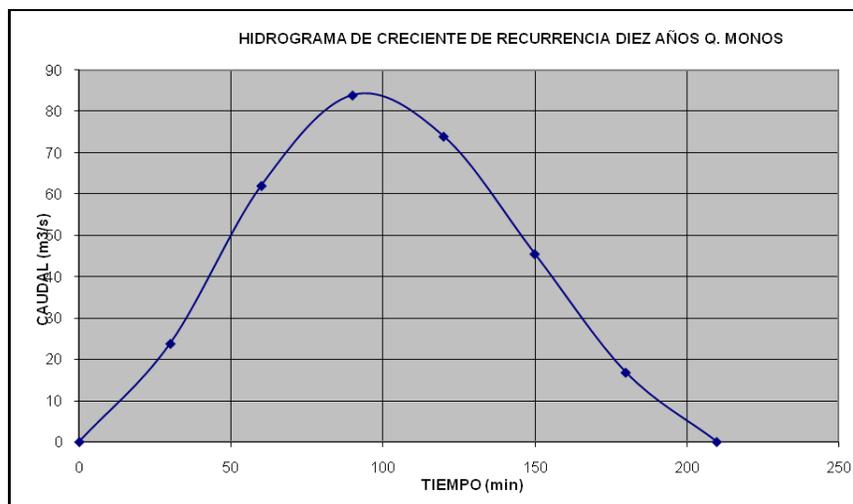


Figura 3-17 Hidrograma de Creciente de Recurrencia Diez Años Q. Monos

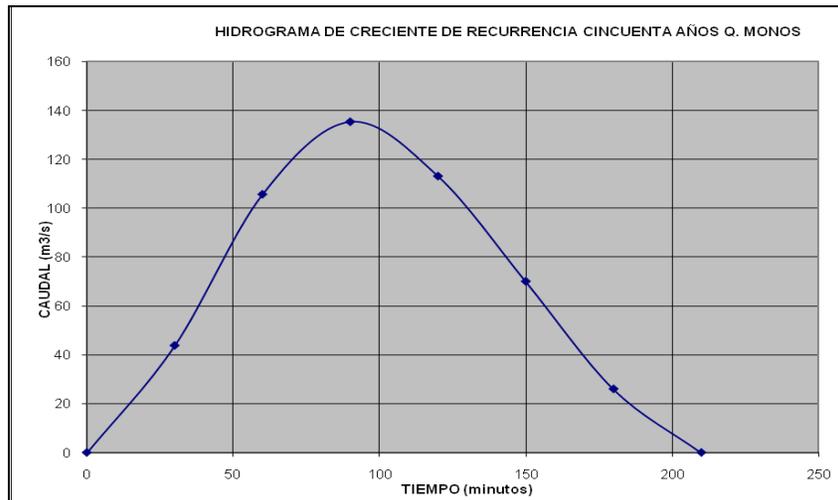


Figura 3-18 Hidrograma de Creciente de Recurrencia Cincuenta Años Q. Monos

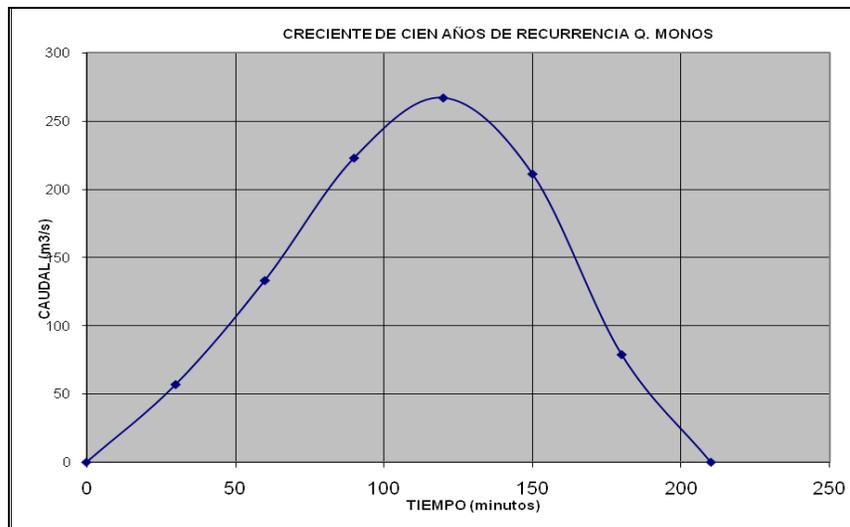


Figura 3-19 Creciente de Cien Años de Recurrencia Q. Monos

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 apiques 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 Investigación del subsuelo

Teniendo en cuenta las características geológicas del sitio y las unidades geomorfológicas identificadas, se proyectó la ejecución de la exploración del subsuelo y los ensayos de laboratorio necesarios para la caracterización geomecánica de los materiales. La exploración se efectuó por medio de sondeos y trincheras como se explica a continuación.

Adicionalmente, se realizaron pruebas de laboratorio para clasificación y obtener parámetros de resistencia que permitan conocer el comportamiento de los materiales existentes.

3.6.1.1 Exploración con sondeos y trincheras

La exploración del subsuelo consistió en la ejecución de 10 perforaciones (sondeos) y 7 trincheras, distribuidos convenientemente en el área de estudio, los cuales se ejecutaron 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.

Las profundidades de los sondeos y trincheras se presentan en la Tabla 3-16.

Tabla 3-17 Exploración del subsuelo

Punto ejecutado	Profundidad	Ubicación
Sondeo 1	5,25 m	Costado Norte de la vía que conduce al municipio de Frontino, frente al Instituto Educativo la Milagrosa.
Sondeo 2	2,15 m	Costado Nor-Oriental de la cancha de futbol del municipio de Abriaquí.
Sondeo 3	1,70 m	En el parque Juanes, frente al Instituto Educativo la Milagrosa, sede primaria.
Sondeo 4	2,00 m	Costado Sur del comando de policía, antes del río la Herradura.
Sondeo 5	1,25 m	Costado Oriental del comando de policía.
Sondeo 6	5,00 m	Costado Sur-Oriental de la urbanización Nueva Visión.
Sondeo 7	5,00 m	Costado Nor-Oriental de la urbanización los Mandarinos.
Sondeo 8	4,65 m	Dos cuadras al Oriente de la casa de la cultura sobre la cil 13 Policarpa.
Sondeo 9	5,00 m	Costado Oriental de la plaza de ferias.
Sondeo 10	2,85 m	Costado Sur-Occidental de la urbanización el Porvenir.
Trincheras 1	2,50 m	Costado Sur-Oriental de la cra 14.
Trincheras 2	3,00 m	Costado Norte del coliseo municipal.
Trincheras 3	3,20 m	Costado Sur, al final de la cra 11 Caldas.
Trincheras 4	2,00 m	Al Norte de la casa cural, entre la queb. San Pedro y la cra 13 la Variante.
Trincheras 5	3,00 m	Costado Sur-Occidental del cementerio municipal.
Trincheras 6	3,00 m	Costado Nor-Occidental de la urbanización las Orquídeas.
Trincheras 7	3,00 m	Costado Oriental de la cra 9 Girardot, en cercanía con el río la Herradura.

Mediante una detenida inspección de trincheras se caracterizaron los materiales que afloran en los taludes. El sondeo se llevo a cabo con equipo manual e igualmente se obtuvieron muestras de los materiales en tubo Shelby para algunas profundidades y en forma remoldeada para las muestras más sueltas.

En cada uno de los registros de exploración de campo se generó un registro continuo del perfil estratigráfico (Ver Anexo D) y se obtuvieron muestras representativas de los materiales encontrados para adelantar pruebas de clasificación y de resistencia, y en lo posible identificar las zonas o materiales débiles sobre las cuales se desarrollan los fenómenos más importantes.

3.6.1.2 Ensayos In Situ

Teniendo en cuenta la heterogeneidad de los materiales que conforman el área de estudio y como complemento de la exploración de campo, se realizaron ensayos in situ de penetración estándar o SPT los cuales permiten conocer el perfil del número de golpes y complementar la caracterización geomecánica de los materiales de los diferentes estratos superficiales.

Una vez establecidos los valores N de campo, obtenidos del ensayo SPT, se realizaron las respectivas correcciones por confinamiento, longitud de varillaje y nivel de agua, de tal forma que se pudieran normalizar dichos valores a un determinado nivel de energía.

Utilizando el método de estimación de parámetros efectivos de resistencia con SPT establecido por González (1997), fueron estimados los parámetros geomecánicos de resistencia para cada material encontrado a lo largo del perfil de la exploración. En la tabla 1 (Anexo D) – parámetros geomecánicos, se presenta la evaluación de parámetros en función del SPT y en las figura 2 (Anexo D) se muestran las envolventes de resistencia de los diferentes materiales superficiales.

3.6.1.3 Ensayos de laboratorio

Observando la variación del perfil del subsuelo en cada sitio de exploración, se definieron los puntos y niveles de muestreo de manera que se logró una representación de todos los materiales encontrados. Se tomaron muestras alteradas en bolsa, se recuperaron muestras del ensayo de penetración estándar y se tomaron algunas muestras de tubo Shelby.

Las muestras obtenidas se identificaron visualmente y con base en la estratigrafía se llevó a cabo un programa de ensayos de laboratorio, el cual consistió en la ejecución de pruebas para clasificación (límites de consistencia, granulometrías y lavado sobre tamiz No 200), determinación del contenido de humedad natural, peso unitario, compresión inconfiada. En la tabla 2 – Anexo D, se presenta el resumen general de resultados y en el Anexo D los Resultados de los ensayos de Laboratorio individuales.

3.6.2 Caracterización geomecánica

Basados en toda la información recolectada y producida hasta este punto del estudio, como es la definición del modelo geológico imperante en el área y los resultados de laboratorio, se realizó la clasificación de los materiales y se evaluaron los parámetros geomecánicos que gobiernan su comportamiento ingenieril.

Limo arcilloso de color café con presencia de gravas

Estos suelos residuales de características limo arcillosas son producto de la meteorización de las vertientes montañosas que rodean el casco urbano del municipio de Abriaquí. En algunas de las perforaciones realizadas estos materiales fueron encontrados de forma relativamente superficial, en espesores que varían entre los 1,50 y los 2,60 m, o en su defecto, en columnas estratigráficas homogéneas y continuas en profundidades de hasta 5,00 m.

En la tabla relacionada a continuación se presentan los principales parámetros geomecánicos asociados al material mencionado.

Tabla 3-18 Limo arcilloso café

	Propiedad	Rango	Unidad
LL	Límite líquido	33,6 - 43,7	%
LP	Límite plástico	21,5 - 27,6	%
IP	Índice de plasticidad	12,1 - 16,0	%
F	Contenido de finos	29,8 - 30,7	%
A	Contenido de arenas	41,3 - 51,5	%
G	Contenido de gravas	18,7 - 28,0	%
w	Humedad natural	12,4 - 34,1	%
γ	Peso unitario	1,77 - 2,07	ton/m ³
Qu	Resistencia a la compresión inconfina	8,1	ton/m ²
c	Cohesión	4,0	ton/m ²
ϕ	Ángulo de fricción	29,3	grados
N	Valor promedio del ensayo SPT	12	golpes/pie
	Clasificación de suelos - USC	CL / ML	

FUENTE: Elaboración propia.

Arcilla limosa color café

Estos suelos también son producto de la meteorización del sistema montañoso que rodea el municipio de Abriaquí. Dentro de la exploración se evidenció la inclusión de algunas vetas de color rojo entremezcladas con el material principal, así como una categorización de consistencia media durante las pruebas de SPT.

En profundidad, estos materiales fueron encontrados en algunas perforaciones a partir de los 0,60 m, alcanzando de forma promedio valores cercanos a los 5,00 m.

Las características principales de este material se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 3-19 Arcilla limosa café

	Propiedad	Rango	Unidad
LL	Limite liquido	37,8 - 40,4	%
LP	Limite plástico	26,4 - 27,2	%
IP	Índice de plasticidad	10,3 - 14,0	%
w	Humedad natural	12,3 - 45,7	%
γ	Peso unitario	1,68 - 2,01	ton/m3
Qu	Resistencia a la compresión inconfiada	3,56	ton/m2
c	Cohesión	1,78	ton/m2
φ	Angulo de fricción	27,1	grados
N	Valor promedio del ensayo SPT	9	golpes/pie
	Clasificación de suelos - USC	ML	

FUENTE: Elaboración propia.

Gravas y fragmentos de roca en matriz limosa

Este material tiene su origen en la depositación fluvio torrencial del río la Herradura, el cual formó durante épocas antiguas diferentes terrazas aluviales sobre las cuales se localiza el municipio de Abriaquí.

La génesis de estos materiales es fundamentalmente gravas gruesas, embebidas dentro de una matriz arenosa y/o limosa (como es el caso del material descrito), con un grado de litificación relativamente bajo.

En las perforaciones realizadas así como en las trincheras excavadas, se encontraron perfiles estratigráficos continuos de este material, con espesores aproximados de estrato cercanos a los 2,50 m. A continuación se presentan los parámetros geomecánicos obtenidos para este suelo.

Tabla 3-20 Gravas en matriz limosa

	Propiedad	Rango	Unidad
LL	Limite liquido	32,8	%
LP	Limite plástico	22,7	%
IP	Índice de plasticidad	10,1	%
F	Contenido de finos	5,4 - 42,2	%
A	Contenido de arenas	16,6 - 37,7	%
G	Contenido de gravas	20,2 - 70,8	%
w	Humedad natural	7,3 - 19,5	%
γ	Peso unitario	1,80	ton/m3
φ	Angulo de fricción	29,3	grados
N	Valor promedio del ensayo SPT	15 a Rechazo	golpes/pie
	Clasificación de suelos - USC	CL - ML	

FUENTE: Elaboración propia.

Gravas y fragmentos de roca en matriz arcillosa

Este material presenta características similares al descrito en el numeral anterior, con la diferencia que en este caso la matriz encargada de dar soporte al depósito fluviotorrential es de textura arcillosa.

Estos depósitos aunque son maduros y estables, debido a su tiempo de formación, no se encuentran debidamente litificados.

Durante los trabajos de exploración del subsuelo este material fue encontrado bajo un estrato de material limo arcilloso de color café, con presencia de la capa a partir de los 1,50 m, alcanzando profundidades que oscilaron en promedio hasta los 3,00 m.

A continuación se presentan los parámetros geomecánicos asociados al material.

Tabla 3-21 Gravas en matriz arcillosa

	Propiedad	Rango	Unidad
LL	Limite liquido	40,6	%
LP	Limite plástico	26,1	%
IP	Índice de plasticidad	14,5	%
w	Humedad natural	28,9 - 35,5	%
γ	Peso unitario	1,84 - 2,11	ton/m ³
φ	Angulo de fricción	29,3	grados
N	Valor promedio del ensayo SPT	8 a Rechazo	golpes/pie
	Clasificación de suelos - USC	CL - ML	

FUENTE: Elaboración propia.

Limo arenoso de color café con presencia de gravas

Este limo arenoso pertenece a un suelo residual producto de la meteorización del sistema montañosos que rodea el casco urbano del municipio de Abriaquí. Estos sedimentos fundamentalmente limosos ó arcillosos forman parte del miembro Urrao, común en el contexto regional de la zona de estudio.

La información del trabajo de campo permite ubicar este material al costado oriental del municipio, encontrándose de forma relativamente superficial hasta los 5,0 m de profundidad, según datos obtenidos en la exploración del subsuelo llevada a cabo.

Los parámetros geomecánicos de este material se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 3-22 Limo arenoso de color café

	Propiedad	Rango	Unidad
LL	Limite liquido	34,3	%
LP	Limite plástico	23,6	%
IP	Indice de plasticidad	10,7	%
F	Contenido de finos	21,3	%
A	Contenido de arenas	53,5	%
G	Contenido de gravas	25,2	%
w	Humedad natural	8,5 - 25,2	%
γ	Peso unitario	1,75	ton/m3
φ	Angulo de fricción	25,3	grados
N	Valor promedio del ensayo SPT	8	golpes/pie
	Clasificación de suelos - USC	CL - ML	

FUENTE: Elaboración propia.

Fragmentos de roca en matriz limosa

Estos suelos forman parte del abanico aluvial que permitió la formación de terrazas sobre las cuales se emplaza el municipio de Abriaquí. Su constitución principal generalmente se asocia a gravas gruesas entre mezcladas con matriz areno limosa.

En el área de estudio, estos materiales se encontraron al costado sur del municipio (en inmediaciones con el río la Herradura) en capas o estratos de 3,0 m de espesor, muy duros y resistentes al proceso de perforación realizado en campo; esto debido al alto contenido de fragmentos de roca presentes en su interior.

Las características básicas de éste se relacionan en el siguiente cuadro.

Tabla 3-23 Fragmentos de roca en matriz limosa

	Propiedad	Rango	Unidad
LL	Limite liquido	NL	%
LP	Limite plástico	NP	%
IP	Indice de plasticidad	NP	%
F	Contenido de finos	11,4	%
A	Contenido de arenas	16,5	%
G	Contenido de gravas	72,1	%
w	Humedad natural	8,2 - 28,5	%
γ	Peso unitario	1,83	ton/m3
φ	Angulo de fricción	32,8	grados
N	Valor promedio del ensayo SPT	20 a Rechazo	golpes/pie

FUENTE: Elaboración propia.

3.6.3 Zonificación geotécnica

Una vez establecidos los criterios geomorfológicos y antrópicos que condicionan la evolución de las laderas en el área de estudio, se establece una zonificación geomorfológico – geotécnica que permite determinar zonas con comportamientos geotécnicos similares, con topologías y dinámicas de movimientos característicos de cada zona.

Para la zonificación se tuvo en cuenta la ocupación actual del área estudiada estableciendo dentro de ella siete (7) zonas, así:

- | | |
|--------|--|
| Zona 1 | Zona de montaña ubicada al costado nororiental (NE) del municipio. |
| Zona 2 | Zona de montaña ubicada a los costados oriental y occidental (E-W) del municipio. |
| Zona 3 | Zona de depositación aluvial ubicada al costado sur oriental (SE) del municipio. |
| Zona 4 | Zona de depositación aluvial ubicada al costado noroccidental (NW) del municipio. |
| Zona 5 | Zona de depositación coluvial ubicada a los costados oriental y occidental (E-W) del municipio. |
| Zona 6 | Zona de depositación aluvial disectada por el río la herradura, ubicada al costado sur (S) del municipio. |
| Zona 7 | Zona de depositación aluvial disectada por la quebrada San Pedro, ubicada en la parte central del municipio. |

A continuación se presentan las características más importantes de cada zona.

Zona 1 Zona de montaña ubicada al costado nororiental (NE) del municipio.

Esta zona se localiza al costado nororiental del casco urbano y se caracteriza por la presencia de materiales limo arcillosos de color café con presencia de gravas, producto de la meteorización del sistema montañoso del miembro Urrao presente en los alrededores del municipio de Abriaquí. Durante la exploración de campo se encontró en profundidad un espesor aproximado de 5,00 m para este material de origen residual.

En la figura 3-20 se presenta una localización general de la zona descrita con base en un criterio de comportamiento geotécnico.



Figura 3-20 Zonificación Geotécnica – Zona 1.

FUENTE: Elaboración propia.

El área delimitada se caracteriza por su alta pendiente, así como por su cobertura vegetal en proceso de deforestación. Esta zona se encuentra actualmente en proceso de intervención antrópica, especialmente cultivos. Adyacente al piedemonte de la zona 1 se encuentra emplazado el municipio de Abriaquí sobre una terraza de origen torrencial.

Zona 2 Zona de montaña ubicada a los costados oriental y occidental (E-W) del municipio.

Esta delimitación geotécnica incluye la presencia de suelos residuales de características arcillo limosas de color café, localizados sobre las laderas de montaña que rodean el casco urbano del municipio, en dirección preferente oriente – occidente (ver figura 3-21).

Estos suelos presentaron espesores que variaron en profundidad entre los 2,40 y los 4,00 m; encontrándose generalmente sobre suelos residuales suprayacentes de características más limosas, con capas superficiales que oscilaron entre los 0.60 a 2,40 m.

En esta zona se observan rastros y/o cicatrices de algunos fenómenos de remoción en masa antiguos, que aún hoy reflejan algún grado de desplazamiento; principalmente asociados a flujos de tierra y deslizamientos.

En la parte inferior de esta zonificación se encuentra la terraza aluvial sobre la cual se localiza el casco urbano del municipio de Abriaquí.

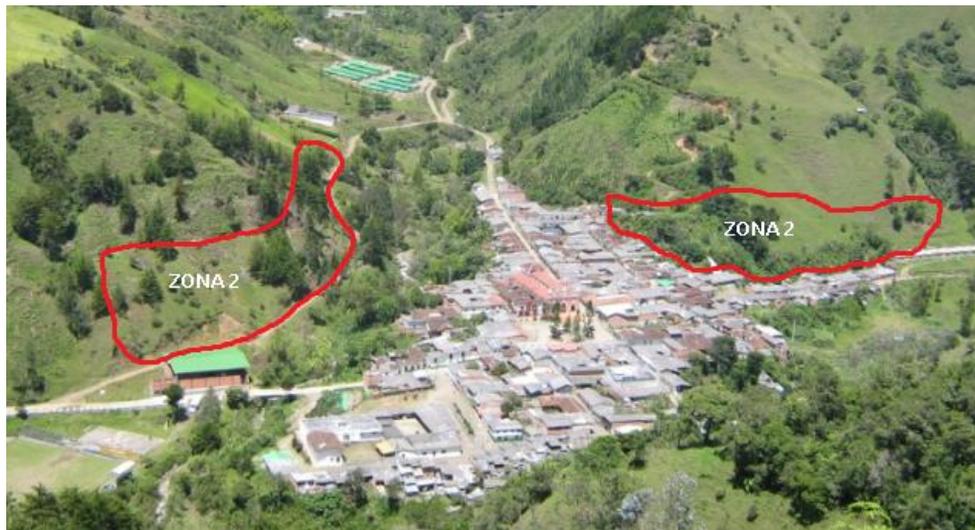


Figura 3-21 Zonificación Geotécnica – Zona 2.
FUENTE: Elaboración propia.

Zona 3 Zona de depositación aluvial ubicada al costado sur oriental (SE) del municipio.

La zona 3 corresponde a una acumulación de materiales que fueron depositados por el río la Herradura y que están siendo disectados por el mismo afluente; de tal forma que los materiales existentes principalmente son gravas y fragmentos de roca embebidos en una matriz limosa. En la figura 3-22 se ilustra la zona geotécnica mencionada.



Figura 3-22 Zonificación Geotécnica – Zona 3.
FUENTE: Elaboración propia.

El material descrito dentro de la zona 3 se encontró con un espesor de capa cercano a los 1,50 m; aunque sobre éste se ubicada un estrato de 0,50 a 1,00 m de material limo arcilloso de color café, producto de algún proceso de meteorización y transporte de las laderas de montaña contiguas.

Esta zona es de morfometría plana y sobre ella se sitúan algunos pequeños viveros, sin presencia de construcciones de vivienda masivas.

Zona 4 Zona de depositación aluvial ubicada al costado noroccidental (NW) del municipio.

El material de esta zona está compuesto por gravas y fragmentos de roca entremezclados en una matriz arcillosa, producto de una antigua depositación de materiales provenientes de la quebrada San Pedro; la cual se ha encargado de hacer una disección del material de la terraza aluvial justo al oriente de la zona demarcada en la figura 3-23.

Su localización se sitúa al costado noroccidental (NW) del casco urbano del municipio de Abriaquí, y su morfometría cambia de un área relativamente plana a una zona de pendiente media a alta, debido al contacto entre éste depósito aluvial y el macizo montañoso adyacente que rodea el municipio.



Figura 3-23 Zonificación Geotécnica – Zona 4.

FUENTE: Elaboración propia.

Aunque de forma general la estratigrafía permite identificar que este depósito posee un espesor de 3,00 m; hacia el costado norte de la zona 4, este material se encuentra bajo una capa de material limo arenoso de 1,00 a 1,50 m, que ha sido transportado por la meteorización del macizo montañoso circundante perteneciente al grupo Urrao.

Zona 5 Zona de depositación coluvial ubicada a los costados oriental y occidental (E-W) del municipio.

La zona 5 se encuentra dividida en dos sectores distribuidos espacialmente al oriente y al occidente del casco urbano del municipio de Abriaquí, tal como se observa en la figuras 3-24 y 3-25 presentadas a continuación.



Figura 3-24 Zonificación Geotécnica – Zona 5 costado occidental.
FUENTE: Elaboración propia.



Figura 3-25 Zonificación Geotécnica – Zona 5 costado oriental.
FUENTE: Elaboración propia.

En cada una de las zonas demarcadas se encontró un material conformado por un limo arenoso de color café con presencia de gravas con un espesor que oscila entre los 1,50 a 5,00 m, asociado a suelos residuales formados por el sistema montañoso que rodea el casco urbano del municipio.

Estas zonas tienen la característica de albergar unos pequeños depósitos de material de origen coluvial producto de procesos gravitacionales actuantes sobre las laderas circundantes. En cada una de ellas se encuentran estructuras educativas y de vivienda que fueron construidas por los pobladores del municipio.

Zona 6 Zona de depositación aluvial disectada por el río la Herradura, ubicada al costado sur (S) del municipio.

La zona 6 está compuesta por materiales de origen torrencial, gravas y fragmentos de roca inmersos en una matriz limosa, los cuales fueron depositados presuntamente por la quebrada San Pedro, y que actualmente están siendo disectados por el cauce del río la Herradura; razón por la cual la zona delimitada presenta un leve basculamiento en dirección suroriental (SE) asociado al flujo del río mencionado (ver figura 3-26).



Figura 3-26 Zonificación Geotécnica – Zona 6.
FUENTE: Elaboración propia.

Sobre esta zona se encuentra concentrada casi la mitad de toda la infraestructura urbana del municipio de Abriaquí. El espesor promedio de esta capa es de 2,00 m de profundidad según lo encontrado en las perforaciones de campo realizadas; las cuales no pudieron explorar en mayor profundidad el subsuelo debido al rechazo que presentó el equipo durante las pruebas de penetración.

Zona 7 Zona de depositación torrencial disectada por la quebrada San Pedro, ubicada en la parte central del municipio.

En la zona 7 los materiales presentes son producto de la depositación torrencial de la quebrada San Pedro, los cuales son gravas y fragmentos de roca envueltos en una matriz limosa que están siendo disectados por el mismo afluente (ver figura 3-27).



Figura 3-27 Zonificación Geotécnica – Zona 7.
FUENTE: Elaboración propia.

Esta zona presenta un basculamiento ligero en dirección noroccidental (NW), debido a la disección que sobre esta terraza está realizando la quebrada San Pedro. El depósito posee un espesor mayor a 3,00 m, el cual corresponde a la profundidad de exploración realizada en campo, y sobre éste se emplaza la mitad de la infraestructura urbana del municipio de Abriaquí.

La zona 7, al igual que la zona 6, presenta una morfometría relativamente plana, y se encuentra confinado por el sistema montañoso del grupo Urrao, predominante en el sector de estudio.

3.7 COBERTURA DEL SUELO

Con el fin de evaluar las condiciones de cobertura y su relación con los procesos que puedan afectar las laderas adyacentes al municipio, se adelantó la identificación y estudio de la cobertura vegetal. A continuación se describen las actividades.

3.7.1 Objetivos

- Identificar problemáticas asociadas al tipo de cobertura actual en el marco del proyecto Zonificación de amenazas y riesgos de origen natural y antrópico.
- Determinar diferentes tipologías de cobertura vegetal en áreas adyacentes al casco urbano del municipio de Abriaquí.

3.7.2 Metodología

Para la identificación de la cobertura vegetal en los alrededores del casco urbano, se efectuaron una serie de actividades que incluyen:

- Revisión de la información de cobertura y uso contenida en el POT del municipio.
- Interpretación de coberturas sobre Fotografías Aéreas, lo cual permite observar las unidades de vegetación.
- Verificación de las unidades con observación directa en el sitio. Trabajo de campo.

Una vez realizadas estas actividades se determinaron las unidades identificadas en sitio y las características de cada una de ellas.

3.7.3 Resultados

En el cuadro siguiente se detallan las diferentes unidades identificadas, una breve descripción y las implicaciones de las unidades referidas sobre el componente físico.

El plano 8 muestra los resultados de cobertura del municipio.

Tabla 3-24 Descripción de la unidades de cobertura y efectos asociados al medio físico.

No	COD	NOMBRE	DESCRIPCION	EFFECTOS ASOCIADOS AL MEDIO FÍSICO
1	BNI	Bosque natural intervenido	Manchas boscosas caracterizadas por presencia de vegetación multiestrato donde las especies predominantes son Cedrella odorata (Cedro)	Alta regulación hídrica, alta protección del suelo, retención de partículas de suelo.
2	PN	Pastos naturales	Áreas desprovistas de vegetación de porte arbustivo y arbóreo, generalmente asociadas a altas pendientes donde crecen especies rastreras nativas	Poca retención de partículas de suelo, bajo efecto esponja (Regulación hídrica),
3	PMA	Pastos muy arbolados	Áreas intervenidas donde existe una cobertura baja dominada por especies rastreras nativas de la Región, donde el uso del suelo ha permitido el desarrollo de especies nativas inicialmente y arbóreas posteriormente.	Media regulación hídrica y protección del suelo. Por la distribución de los árboles la retención de partículas de suelo puede considerarse media alta
4	PLA	Pastos ligeramente arbolados	Áreas altamente intervenidas donde prevalecen herbáceas nativas y se han desarrollado especies de porte arbóreo	Baja regulación hídrica, potencian procesos erosivos dadas las altas pendientes
5	C	Cultivos	Pequeñas áreas dedicadas a cultivos de pan coger, ubicadas en zonas de mediana pendiente.	Suelos potencialmente susceptibles a procesos erosivos por prácticas culturales inadecuadas, como sembrar en dirección de la pendiente.
6	RB	Rastrojos bajos	Áreas donde se ha desarrollado vegetación de porte más alto que los pastos y herbáceas nativas, correspondiente a estados sucesionales más avanzados.	Mejor retención de partículas de suelo que áreas con pastos naturales. Con condiciones de buena humedad y pendiente no tan fuerte, su alto desarrollo contribuye a mejorar las condiciones de regulación hídrica del suelo y retención de suelo.
7	RA	Rastrojos altos	Vegetación caracterizada por presencia de especies que no han alcanzado su máximo desarrollo y que se encuentran en un estado sucesional intermedio. Se destaca la heterogeneidad de estas pequeñas manchas, comparadas por tamaño con las zonas de Bosque natural, representativamente más grandes.	Alta regulación hídrica, alta protección del suelo, retención de partículas de suelo. Tienen la gran ventaja de no aportar una gran carga a las zonas con alta pendiente, aún cuando su sistema radicular medianamente desarrollado contribuye en igual medida con la retención de suelo, especialmente en zonas de alta pendiente.

A continuación se detallan las especies presentes en las unidades identificadas. Esta información fue extractada del POT del municipio y contrastada con las observaciones de campo.

Tabla 3-25 Listado detallado de especies presentes en bosque natural intervenido

Nombre vulgar	Nombre científico	FAMILIA
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	MELIACEAE
Laurel amarillo	<i>Ocotea veraguensis</i>	LAURACEAE
Cedro colorado	<i>Cedrela montana</i>	MELIACEAE
Drago	<i>Croton funckianus</i>	EUPHORBIACEAE
Guamo	<i>Inga sp.</i>	MIMOSACEAE
Pino patula	<i>Pinus patula</i>	PINACEAE
Guadua	<i>Guadua angustifolia</i>	GRAMINEAE
Ateno	<i>Enterolobium ciclocarpum</i>	MIMOSACEAE
Pisquin	<i>Albizzia carbonaria</i>	MIMOSACEAE
Chiriguaco	<i>Clethra fagifolia</i>	CLETHRACEAE
Tortolillo	<i>Miconia sp.</i>	MELASTOMATACEAE
Guayacan	<i>Tabeuia serratifolia</i>	BIGNONIACEAE
Eucalipto	<i>Eucaliptus sp.</i>	MYRTACEAE
Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	SALICACEAE
Sauce de playa	<i>Tessaria integrifolia</i>	POLYPODIACEAE
Cañabrava	<i>Gynereum sagittatum</i>	GRAMINEAE
Roble	<i>Quercus humboldtii</i>	FAGACEAE
Cedro negro	<i>Juglans neotropica</i>	JUGLANDACEAE
Chaqui	<i>Podocarpus sp.</i>	PODOCARPACEAE
Olivo de cera	<i>Myrica pubescens</i>	MYRICACEAE
Comino cresp	<i>Aniba perutilis</i>	LAURACEAE
Chachafruto	<i>Erithrina edulis</i>	FABACEAE
Qiebrabarrigo	<i>Trichantera gigantea</i>	ACANTHACEAE
Fique	<i>Fourcraea macrophylla</i>	AMARYLLIDACEAE
Cipres	<i>Cupressus lusitanica</i>	CUPRESACEAE
Yolombo	<i>Panopsis yolombo</i>	PROTEACEAE
Guacamayo	<i>Croton cupreatus</i>	EUPHORBIACEAE
Nogal	<i>Cordia alliodora</i>	BORAGINACEAE
Caracoli	<i>Anacardium excelsum</i>	ANACARDIACEAE
Higuerón	<i>Ficus sp.</i>	MORACEAE
Guayabito	<i>Psidium guianense</i>	MYRTACEAE
Candelo	<i>Hyeronima antioquiensis</i>	EUPHORBIACEAE
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	STERCULIACEAE
Caucho	<i>Ficus mutisii</i>	MORACEAE
	<i>Machaerium goudoti</i>	FABACEAE
Aguacatillo	<i>Persea caerulea</i>	LAURACEAE
Carnefiambre	<i>Roupala obovata</i>	PROTEACEAE
Caucho	<i>Ficus americana</i>	MORACEAE
Noro	<i>Byrsonima cumingana</i>	MALPIGHIACEAE
Caimito	<i>Chrysophyllum cainito</i>	SAPOTACEAE
Cordoncillo	<i>Piper auriticum</i>	PIPERACEAE
Chagualo	<i>Clusia sp.</i>	CLUSIACEAE
Yarumo blanco	<i>Cecropia teleincana</i>	CECROPIACEAE
Cañafistula	<i>Cassia grandis</i>	CAESALPINACEAE

Fuente: EOT Municipio de Abriaquí

Tabla 3-26 listado de especies propias de la unidad rastrojo alto

Familia	Nombre Científico	Nombre Común
Mimosaceae	Albizzia carbonaria	Pisquín
	Calliandra sp	Carbonero
	Inga spectabilis	Guamo
	Inga sp.	Guamo
Caesalpinaceae	Caesalpinia pulcherima	Clavellino
Cyantheaceae	Trichipteris frigida	Sarro
Cupressaceae	Cupressus lusitanica	Ciprés
Rutaceae	Citrus sinensis	Naranja
Moraceae	Ficus insipida	Higuerón
	Ficus sp	Guibán
	Ficus spp	Sueldo
Cecropiaceae	Cecropia sp.	Yarumo
Boraginaceae	Cordia alliodora	Nogal
Fabaceae	Gliricidia sepium	Matarratón
	Erythrina edulis	Chachafruto
Melastomataceae	Miconia theaezans	Nigüito
	Miconia caudata	Caimo - lanzo
	Clidemia hirta	Mortifio
	Tibouchina lepidota	Siete cueros
	Bellucia grossularioides	Pomo
Lauraceae	Persea caerulea	Aguacatillo
		Laurel
Piperaceae	Piper sp	Cordoncillo
	Piper aduncum	Cordoncillo
Actinidaceae	Saurauia ursina	Dulumoco
Anacardiaceae	Toxicodendron striata	Manzanillo
Clethraceae	Clethra fagifolia	Chiriguaco
Acanthaceae	Trichanthera gigantea	Quiebrabarrigo
Euphorbiaceae	Alchornea sp.	Escobo
	Euphorbia cotinifolia	Liberal
	Croton magdalenensis	Guacamayo - drago
Bombacaceae	Ochroma lagopus	Balso
Myrsinaceae	Rapanea guianensis	Espadero
Bignonaceae	Tabebuia sp.	Guayacán
	Spatodea campanulata	Tulipán americano
Clusiaceae	Vismia sp1	Carate
	Vismia sp2	Apel
	Calophyllum sp	Barcino
Papaveraceae	Bocconia frutescens	Trompeto
Proteaceae	Panopsis yolombo	Yolombo
Verbenaceae	Lippia schlimii	Gallinazo
Fagaceae	Quercus sp.	Roble
Solanaceae	Solanum quitoense	Lulo
Rubiaceae	Coffea arabica	Café
Podocarpaceae	Podocarpus sp.	Chaquiro

Fuente: EOT Municipio de Abriaquí

Tabla 3-27 Listado de especies herbáceas propias de rastrojos bajos y pastos naturales

Familia	Nombre Científico	Nombre Común
Mimosaceae	Mimosa pudica	Dormidera
	Mimosa albida	Zarza
Fabaceae	Stylosanthes guianensis	Estilosantes
Rubiaceae	Borreria laevis	Botoncillo
Gramínea	Andropogon bicornis	Cola de zorro
	Bambusa guadua	Guadua
	Gynerium sagittatum	Cañabrava
	Papalum sp	Grama común
Lythracea	Cuphea sp.	
Balsaminaceae	Impatiens balsamina	Besitos
Caryophyllaceae	Drymaria cordata	Golondrina
Compositae	Tessaria integrifolia	Sauce playero
	Erechtites valerianaefolia	Valeriana
	Bidens cynapiifolia	Amor seco, cadillo
	Spilanthus americana	Botón de oro
	Sonchus oleraceus	
	Galinsoga ciliata	Yuyo
Polypodiaceae	Pteridium aquilinum	Helecho marranero
Commelinaceae	Commelina sp.	Commelina
	Tripogandra cumanensis	Suelda
Umbelliferae	Hydrocotyle umbellata	Sombbrero
Labietae	Marsypianthes chamaedrys	Orégano silvestre
	Hyptis capitata	
Poaceae	Brachiaria decumbens	Braquiaria
	Hyparrhemia rufa	Uribe

Fuente: EOT Municipio de Abriaquí

3.8 FACTOR ANTRÓPICO

3.8.1 Urbanismo y catastro

El municipio en su parte urbana se ha dividido en 4 sectores: Nueva visión Corcovado al oriente, sector centro de mayor extensión, sector el diamante en la zona sur occidental y Barrio Unidad deportiva al occidente del casco urbano.

Los procesos de asentamiento urbanos presentan buena disposición y el cubrimiento de redes de servicios públicos ha sido facilitado por la planeación del municipio. El crecimiento y desarrollo del municipio se ha visto favorecido por la cercanía con proyectos hidroeléctricos, lo que impulsa el desarrollo organizado de la región.

3.8.2 Vías

En el sector urbano del municipio de Abriaquí, se logran identificar 443 metros que pertenecen a las vías de clasificación secundaria que comunican a los diferentes sectores

urbanos y 1312 metros de vías terciarias, de las cuales más del 50% de las vías se encuentran pavimentadas y/o adoquinadas:

Tabla 3-28 Vías Urbanas Pavimentadas

Sector Urbano	Long. Vías Secundarias Mts	Long Vías Servicios Mts	Longitud Total Mts	Long. Vías Pavimentadas / Adoquinadas	%
Salida al Colegio	87		87	52	60
Barrio el Diamante		147	147	87	60
Salida al Cementerio	146		146	82	56
Salida a Tonusco		158	158	158	100
Salida a Corcovado	80		80		0
Sector Central	130	1007	1137	907	80
TOTAL	443	1312	1755	1286	73

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial, Municipio Abriaquí, 2010.
(0-60% Bajo) (60-80% Medio) (80-100% Alto)

Tabla 3-29 Descripción de las Vías Urbanas

Tramo	Longitud m	Sección m	Jerarquía Vial	Superficie Rodadura	Estado	Sectores que Comunica
Calle 9	147	6.50	Residencial	Pavimento	R	Diamante
Calle 10	217	4.00	Colectora	Pavimento y Afirmado	R	Vía de acceso principal, plaza
Calle 11	387	5.00	Residencial	Pavimento	R	Plaza principal, Corcovado
Calle 12	104	3.00	Residencial	Pavimento	R	Residencial
Calle 13	108	4.00	Residencial	Pavimento	R	Salida a la cabecera municipal, El Tambo
Carrera 8	30	4.00	Residencial	Pavimento	M	Calle 11
Carrera 9	174	6.00	Residencial	Pavimento	R	Salida a El Tambo
Carrera 10	346	6.00	Colectora	Pavimento	R	Plaza principal, sector salud, sector cultura
Carrera 11	164	4.00	Peatonal	Pavimento	R	Plaza principal, sector administrativo
Carrera 12	78	11.5	Residencial	Pavimento	B	El Diamante, Calle 10

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial, Municipio Abriaquí, 2010.

En general, las condiciones físicas de las vías urbanas se encuentran deterioradas, pero no se cuenta con un tráfico vehicular que genere conflictos dentro de las mismas.



Fotografía 3-13 Estado de las vías – Ingreso a la Cr 10

La red vial municipal se encuentra en su totalidad en afirmado, generando malas condiciones de acceso al municipio de Abriaquí en épocas de invierno, a continuación se relacionan el estado de estas vías y los municipios que conecta:

Tabla 3-30 Estado Red Vial Municipal

Tramo	Longitud km	Sección m	Jerarquía	Superficie de Rodadura	Estado	Cobertura Poblacional	Veredas Beneficiadas
Abriaquí Frontino	30	5	Secundaria	Afirmado	R	622	Juntas, Potreros, Quimula, Nancuí, La Antigua
Abriaquí Cañasgordas	20	6	Secundaria	Afirmado	B	110	El Edén, Los Monos, Insor
Abriaquí Corcovado	11	5	Terciaria	Afirmado	M	220	Corcovado

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial, Municipio Abriaquí, 2010.



Manejo Fotografía 3-14 Estado de las Vías – Vía a Cañasgordas

3.8.3 de aguas de escorrentía y alcantarillado

Por las condiciones topográficas de la zona urbana del municipio de Abriaquí, no se presentan problemas de niveles, para la conexión al sistema de alcantarillado tradicional, la infraestructura física se encuentra conformada por una red de evacuación la cual se encuentra en general en buen estado, actualmente la disposición de sólidos solubles y aguas servidas de la cabecera municipal, se hace en forma directa y sin ningún tratamiento a la quebrada San Pedro y el Rio Herradura en varios puntos de descarga.

Tal como lo muestra el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio solamente el 86% de la población del municipio cuenta con el servicio de alcantarillado con una cobertura por sectores distribuido de la siguiente manera:

Tabla 3-31 Cobertura Alcantarillado

Sector Urbano	No. Vivienda	No. Habitantes	Viviendas con Alcantarillado	% Cobertura
Salida al Colegio	6	33	5	80
B. El Diamante	28	138	25	91
Salida al Cementerio	4	28	3	75
Salida a Tonusco	9	47	8	86
Salida a Corcovado	22	120	16	74
Sector Central	146	674	127	87
TOTAL	215	1040	184	86

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial, Municipio Abriaquí, 2010.

CONTENIDO

4	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA URBANA.....	4-1
4.1	INTRODUCCIÓN	4-1
4.2	CARACTERIZACIÓN SOCIAL DE LA POBLACIÓN	4-1
4.2.1	POBLACIÓN	4-2
4.2.2	HOGARES.	4-3
4.2.3	EQUIPAMIENTOS URBANOS E INFRAESTRUCTURA ESPECIAL.....	4-4
4.3	CARACTERIZACIÓN DE LAS EDIFICACIONES.....	4-7
4.4	CARACTERIZACIÓN DE LAS REDES DE SERVICIOS PÚBLICOS.	4-12
4.5	OBRAS EXISTENTES	4-13

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 4 - 1	Institución Educativa La Milagrosa sede bachillerato.....	4-4
Fotografía 4 - 2	Institución Educativa La Milagrosa sede primaria (antes Escuela Antonio Roldan Betancur).....	4-5
Fotografía 4 - 3	Hogar Ensueños y Ternuras.....	4-5
Fotografía 4 - 4	E.S.E. Hospital Nuevo Horizonte	4-6
Fotografía 4 - 5	Iglesia Parroquial Santa Cruz de Abriaquí.	4-6
Fotografía 4 - 6	Centro de promoción para la Salud mediante la Actividad Física.....	4-7
Fotografía 4 - 7	Viviendas del Municipio de Abriaquí.	4-8
Fotografía 4 - 8	Viviendas en Tapia Pisada, Adobe.	4-9
Fotografía 4 - 9	Viviendas en Mampostería.	4-9
Fotografía 4 - 10	Viviendas con muros Prefabricados.....	4-10
Fotografía 4 - 11	Viviendas del barrio El Porvenir.....	4-10
Fotografía 4 - 12	Placa de entrepiso aligerada con bloque.	4-11
Fotografía 4 - 13	Disposición final de aguas lluvia y servidas en el Municipio de Abriaquí.	4-13

GRÁFICAS

Gráfica 4 - 1	Densidad poblacional del Municipio de Abriaquí.....	4-2
Gráfica 4 - 2	Distribución poblacional por grupo de edad. Municipio de Abriaquí 2011. .	4-2
Gráfica 4 - 3	Materiales predominantes en los muros de las viviendas	4-8
Gráfica 4 - 4	Materiales predominantes en los pisos de las viviendas.....	4-11

TABLAS

Tabla 4 - 1	Datos de las Instituciones Educativas y Hogares de Bienestar del Municipio de Abriaquí.	4-4
-------------	--	-----

4 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA URBANA

4.1 INTRODUCCIÓN

La Cabecera Municipal o Área Urbana del Municipio de Abriaquí posee una extensión de 30 hectáreas (0,3 Km²), donde se emplazan aproximadamente 240 predios en unas 30 manzanas (según CATASTRO 20 manzanas, porque no se contemplan las de barrios recientes como El Porvenir), y en las cuales hay una población aproximada de 850 habitantes. La zona Urbana consolidada se sitúa entre las cotas de 1890 y 1940 msnm con una temperatura promedio de 18°C.

A continuación se describen de manera muy breve las características de la población y de los elementos que conforman la infraestructura existente ubicada dentro de la zona de estudio.

4.2 CARACTERIZACIÓN SOCIAL DE LA POBLACIÓN

Las variables socioeconómicas del municipio y de la población que vive en el área de influencia directa de alguna amenaza derivada de un fenómeno natural en el área urbana, constituye un factor importante en la evaluación de la vulnerabilidad¹ de la sociedad, la cual permite establecer, sobre el contexto socio – económico, la capacidad de respuesta de una sociedad amenazada². 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, ya que no cuentan con los recursos necesarios para hacerle frente a la calamidad sufrida y, por tanto, su capacidad de respuesta puede llegar a ser nula, caso contrario, a los hogares que de cierta forma cuenten con recursos necesarios para afrontar los daños e ir recuperándose de manera progresiva, mientras suplen sus necesidades básicas.

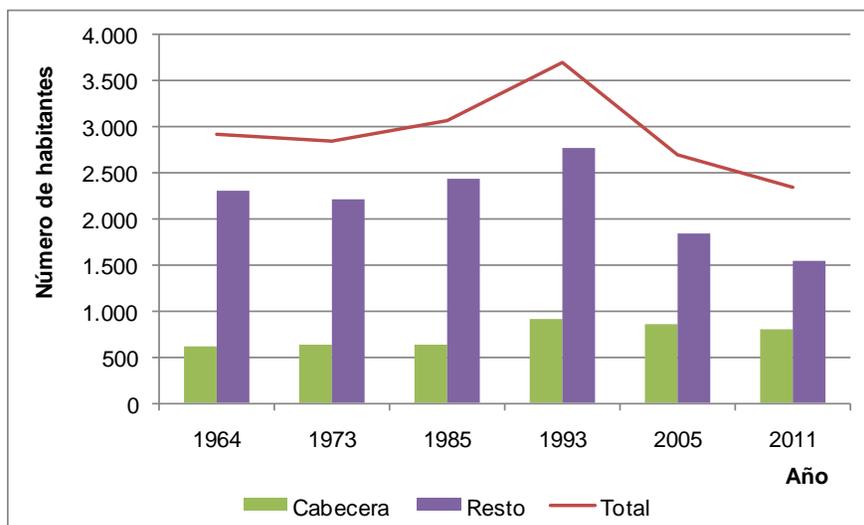
Por esta razón, a continuación se describen las principales variables socio-económicas del municipio que han sido tomadas del Censo realizado por el DANE en el año 2005 y de las proyecciones de población hechas por la misma entidad.

¹ 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.

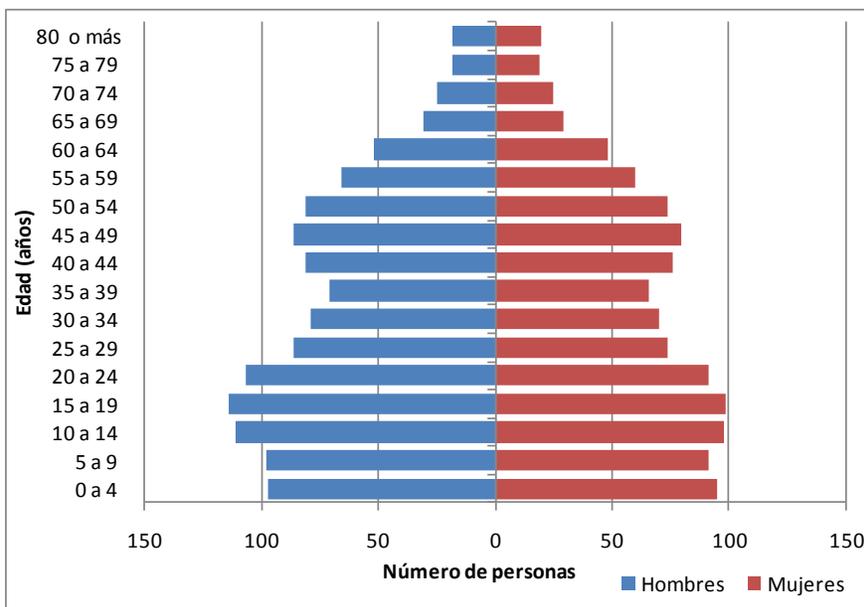
² La vulnerabilidad es compleja, multicausal y está compuesta por varias dimensiones analíticas, pues confluyen aspectos de los individuos u hogares y características económicas, políticas, culturales y ambientales de la sociedad. BUSSO G. 2002. La vulnerabilidad sociodemográfica en Nicaragua: Un desafío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

4.2.1 POBLACIÓN

El Municipio de Abriaquí tuvo un proceso continuo de urbanización entre 1964 y 1993, sin embargo, en el periodo comprendido entre 1993 y 2005 se presentó una disminución de la población urbana del 6.5%, ya que para 1993 la población urbana era de 918 habitantes y en el 2005 pasó a ser de 858 habitantes. Según las proyecciones efectuadas por el DANE en el 2011 la población total del municipio es de 2.336 personas, de ellas, el 34.2% (800) ocupan el casco urbano y el 65.8% (1.536) viven en el área rural. Ver Gráfica 4 – 1.



Gráfica 4 - 1 Densidad poblacional del Municipio de Abriaquí.
Fuente: Censos DANE, proyecciones DANE. Elaboración propia



Gráfica 4 - 2 Distribución poblacional por grupo de edad. Municipio de Abriaquí 2011.
Fuente: Información DANE. Elaboración propia.

Al examinar la estructura poblacional, según la proyección del DANE para el 2011, es posible decir que 8.2% de la población tiene edades entre 0 y 4 años, 26.2% de los habitantes municipales está entre los 5 y 19 años de edad, la población entre 20 y 64 años de edad representa 57.7% y 7.9% de la población es mayor de 64 años. Además, existe una distribución porcentual muy similar entre hombres y mujeres, con una representación de 52.3% y 47.7% de cada género respectivamente, comportamiento que se mantiene en todos los rangos de edad estudiados. Ver Grafica 4 - 2.

En el 2011, la razón de dependencia del municipio de Abriaquí³ es de 50, es decir que por cada 100 personas en edad de trabajar, hay 50 personas que se encuentran en una edad de dependencia económica.

La pirámide de edades presentada indica que a edades mayores de 80 años son más mujeres que hombres y que se trata de una población progresiva, es decir que tiene una población con elevados índices de natalidad, con predominio de los grupos en edades jóvenes.

4.2.2 HOGARES.

Con relación a la información de sobre déficit de vivienda, en la cabecera municipal para el año 2005, 15 (7.5%) hogares tenían déficit de vivienda de los cuales 3 eran por déficit cuantitativo, mientras 12 eran por déficit cualitativo. Indicando con ello un déficit habitacional cualitativo y cuantitativo bajo.

Por otra parte, según la base de datos del SISBEN⁴, a Julio de 2010, 70 personas que viven en el área urbana del municipio se encontraban inscritas en los niveles 1,2 y 3⁵, 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 8.6% de la población urbana del municipio se considera con un elevado nivel de vulnerabilidad, valor que puede verse incrementado con el hecho que el NBI de la cabecera municipal es de 11.5⁶.

³ Estimado como “la razón de personas en edades en las que “dependen” (generalmente personas menores de 15 y mayores de 64 años de edad) de personas en edades “económicamente productivas” (entre 15 y 64 años de edad) en una población”. Tomado de: Arthur Haupt y Thomas T. Kane. 2003. Guía Rápida De Población Del Population Reference Bureau. 4ª edición. Washington, DC. Pág. 11.

⁴ El Sisbén es el Sistema de Identificación de Potenciales beneficiarios de Programas Sociales. <http://www.sisben.gov.co/>

⁵ Sin embargo, la información que fue reportada en esta misma página web el 1 marzo de 2010 indica que los registros válidos, que corresponde al número de personas, era de 568 en la cabecera municipal.

⁶ El “Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas” (INBI) corresponde a un método directo para la medición de la pobreza, que diferencia de manera dicotómica entre los hogares con al menos una necesidad insatisfecha y los que no presentan carencias críticas, e indica cuántos hogares tienen al menos una necesidad insatisfecha y se consideran, en consecuencia, pobres. Tomado de: Juan Carlos Feres, Xavier Mancero. 2001. El método de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) y sus aplicaciones en América Latina. CEPAL.

De otra parte, el número total de hogares ubicados en la Cabecera Municipal era 258, con un número de personas por hogar de 3.3⁷.

4.2.3 EQUIPAMIENTOS URBANOS E INFRAESTRUCTURA ESPECIAL

Dentro de los Equipamientos Urbanos⁸ se encuentran:

- 2 (dos) instituciones educativas:
 - Institución Educativa La Milagrosa sede bachillerato que tiene un área aproximada de 0.4 hectáreas donde se ubican los salones de clase y un coliseo cubierto, adjunto a la institución está la cancha de fútbol municipal, otro coliseo cubierto y una piscina pública.



Fotografía 4 - 1 Institución Educativa La Milagrosa sede bachillerato.

Tabla 4 - 1 Datos de las Instituciones Educativas y Hogares de Bienestar del Municipio de Abriaquí.

Descripción	Nombre	Código Ubicación	No Alumnos	No Directivos	No Profesores	No Personas otros servicios	Jornada
Jardín	Hogar Familiar Ensueños y Ternuras	201-05	12	2			12:00 m a 4:00 pm
Jardín	Hogar de Bienestar Las Abejitas	210-12	13	2			8:00 am a 4:00 pm
Colegio	Institucion Educativa Milagrosa - Primaria	302-02	96	1	5	3	7:30 am a 1:30 pm
Colegio	Institucion Educativa Milagrosa - Bachillerato	401-01	145		14		7:30 am a 2:00 pm

⁷ El promedio de personas por hogar en el país, según el Censo de 2005, era de 3.9.

⁸ Conjunto de edificaciones y espacios, predominantemente de uso público, en los que se realizan actividades complementarias a las de habitación y trabajo, o bien, en las que se proporcionan a la población servicios de bienestar social y de apoyo a las actividades económicas. Glosario de Términos sobre Asentamientos Humanos, México, 1978

- y la Institución Educativa La Milagrosa sede primaria (antes Escuela Antonio Roldan Betancur) que tiene un área de 915 m² y se encuentra al lado del parque Juanes y al Hospital. Ver Fotografía 4 - 2.
- Varios Jardines u Hogares Infantiles del ICBF como lo son el Hogar Bienestar Las Abejitas y Hogar Ensueños y Ternuras ver fotografía 4 - 3.



Fotografía 4 - 2 Institución Educativa La Milagrosa sede primaria (antes Escuela Antonio Roldan Betancur)



Fotografía 4 - 3 Hogar Ensueños y Ternuras.

- E.S.E. Hospital Nuevo Horizonte. – Manzana 302-02 Junto a la Inst. Educativa La Milagrosa – Primaria. El personal se distribuye de la siguiente forma: 2 directivos, 2 médicos, 3 enfermeras, 2 auxiliares y 1 persona de mantenimiento. La jornada es de Lunes a Viernes de 7:00 am a 12:00 m y de 2:00 pm a 5:00 pm; y los sábados de 7:00 am a 1:00 pm.



Fotografía 4 - 4 E.S.E. Hospital Nuevo Horizonte

- Casa de la cultura José María Palacio, ubicada en la Carrera Bolívar No 12-66 Manzana 209-08, la cual cuenta con un horario de atención de 8:00 am a 6:00 pm. y es atendido por 3 personas que permanecen de manera constante, y en promedio permanecen 15 personas flotantes al día.



Fotografía 4 - 5 Iglesia Parroquial Santa Cruz de Abriaquí.

- El Parque Juanes y el Parque Principal donde se encuentra ubicada La Iglesia Parroquial Santa Cruz de Abriaquí.
- Centro de promoción para la Salud mediante la Actividad Física – Abriaquí.
Permanecen alrededor de 15 a 20 personas por día en los horarios de 8:00 am a 12:00 m y de 2:00 pm a 8:00 pm.



Fotografía 4 - 6. Centro de promoción para la Salud mediante la Actividad Física

4.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS EDIFICACIONES.

En un 87.3% de los casos, las edificaciones son empleadas únicamente como sitio de residencia, en tanto que en un 12.3% es empleada como unidad económica y una vivienda fue clasificada como un lugar especial de alojamiento.

Además, 75% (186) de las unidades de vivienda son casas, 16.9% (42) son apartamentos y existe un 8.1% (20) de los lugares de residencia que corresponde a tipo cuarto.

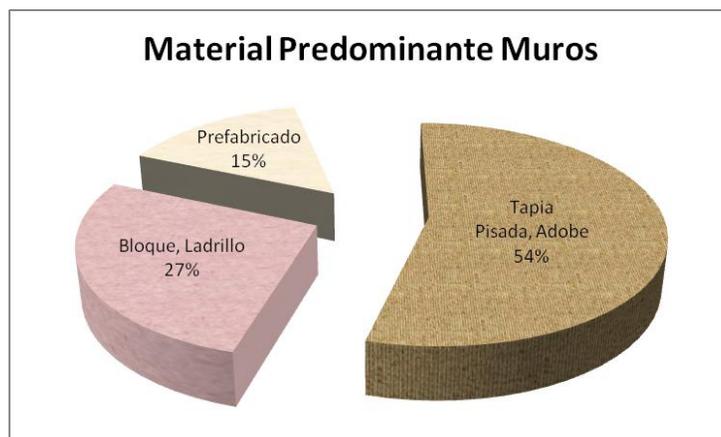
Muchas de las edificaciones son estructuras construidas sin intervención de profesionales en el diseño y construcción de las mismas, esto debido a la antigüedad de estas o a la necesidad de tenencia de una vivienda sin contar con los recursos necesarios para un proyecto de urbanización, en otras palabras, en general las construcciones fueron ejecutadas por los mismos habitantes, sin ningún tipo de estudios o seguimiento especializado, por tanto no cuentan con una adecuada planeación, poseen un proceso constructivo deficiente y carecen de normas sismoresistentes. Ver Fotografía 4 -7.

Por otra parte las viviendas fueron emplazadas directamente sobre el terreno, el cual es regularmente plano, donde predomina el relleno sobre el corte. Otro grupo de viviendas se cimentó sobre vigas de amarre o concreto ciclópeo.



Fotografía 4 - 7 Viviendas del Municipio de Abriaquí.

Los materiales de construcción que predominan en los muros o paredes son la Tapia pisada o adobe con un porcentaje superior al 50%, estos predios se encuentran ubicados en su mayoría en el centro histórico del Municipio y son estructuras antiguas; En segundo lugar, aproximadamente el 27% de las viviendas tiene muros en mampostería (bloque o ladrillo) y son estructuras más recientes; Finalmente, barrios como el Porvenir u otras pocas viviendas en la periferia tienen muros prefabricados, que correspondería a un 15% de las viviendas del casco urbano. Ver Grafica 4-3. El porcentaje restante que corresponde casi al 5%, los muros son de otro material como madera, bahareque o de recuperación.



Gráfica 4 - 3. Materiales predominantes en los muros de las viviendas
Fuente: Encuesta SISBEN 2009 y actualización propia. Elaboración: Propia



Fotografía 4 - 8 Viviendas en Tapia Pisada, Adobe.



Fotografía 4 - 9 Viviendas en Mampostería.

La mayoría de estas unidades residenciales son de 1 piso, y cuentan con una estructura de techo en madera o en algunos casos metálica, con una cubierta en teja de barro o de asbesto cemento.

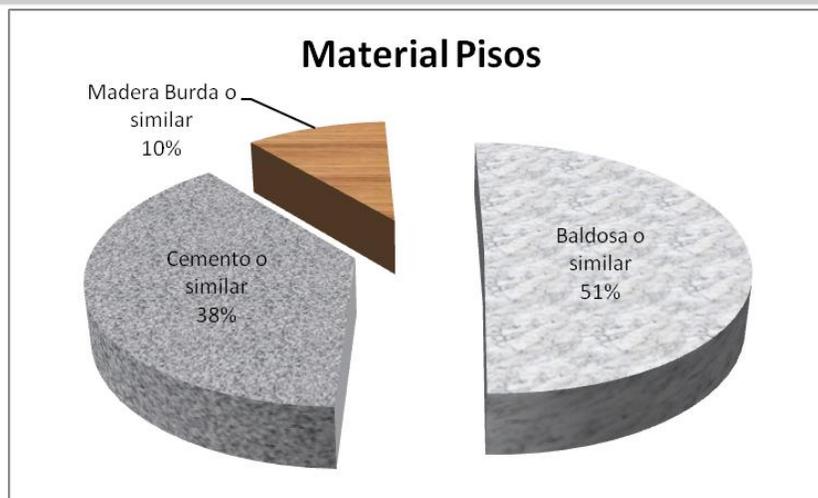


Fotografía 4 - 10 Viviendas con muros Prefabricados.



Fotografía 4 - 11 Viviendas del barrio El Porvenir.

Los materiales predominantes en los pisos son baldosa, tableta, cemento, gravilla y/o madera, a continuación se muestra un grafico porcentual de los diferentes materiales que componen los pisos de las unidades residenciales.



Gráfica 4 - 4 Materiales predominantes en los pisos de las viviendas
Fuente: Encuesta SISBEN 2009. Elaboración: Propia

Cabe mencionar que algunas de las viviendas que tienen terraza o más de un piso utilizan como placa de entrepiso, una estructura aligerada con bloque como se muestra en la siguiente fotografía:



Fotografía 4 - 12 Placa de entrepiso aligerada con bloque.

4.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS REDES DE SERVICIOS PÚBLICOS.

La cobertura de servicios públicos, especialmente de agua potable y saneamiento básico⁹, inciden directamente en la salud de la población y por tanto en su vulnerabilidad. A menor cobertura de estos servicios o 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 la cobertura de los servicios de acueducto, alcantarillado y energía eléctrica en el área urbana son cercanas al 100%. Esto se debe en gran parte a la jurisdicción, junto con los municipios de Frontino y Cañasgordas, de las hidroeléctricas de La Vuelta y La Herradura. El municipio de Abriaquí ha progresado rápidamente en los últimos años.

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 dos años se ha mantenido en el rango correspondiente a un agua apta para consumo humano cuyo consumo no representa un riesgo para la salud¹⁰.

Los elementos que corresponden a las redes de servicios públicos son los tramos de las redes de acueducto, alcantarillado y energía eléctrica que pueden estar compuestos por tuberías, pozos, cables, postes y/o transformadores, y por lo observado en el municipio, algunos de los tramos que sobrepasaban su vida útil, fueron reemplazados por nuevos elementos, y hablando con la comunidad, ellos no poseen mayor queja en la prestación de servicios, los cuales son prestados por Empresas Publicas de Medellín (EPM). Por otro lado el servicio de telefonía fija e internet es prestada por EDATEL.

El único servicio del cual carecen es el de gas domiciliario, por lo cual en la mayoría de las unidades residenciales utilizan como fuente de combustible para la preparación de alimentos las pipetas de gas propano o leña. Por otra parte algunos barrios periféricos cuentan con un sistema de acueducto veredal o independiente (captan el agua directamente de un cuerpo de agua y la almacenan para su distribución), y no del municipio.

Cabe mencionar el inconveniente que se deriva de la prestación del servicio de alcantarillado, porque las aguas servidas son arrojadas directamente a las fuentes de agua, sin ningún tipo de tratamiento o control, por lo cual pueden modificar física y ambientalmente el entorno. Ver Fotografía 4-13

⁹ 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.

¹⁰ Resolución 2115 de 2007. Artículo 15. <http://www.ins.gov.co/?idcategoria=6110>. Consultada 13 Febrero 2011



Fotografía 4 - 13 Disposición final de aguas lluvia y servidas en el Municipio de Abriaquí.

4.5 OBRAS EXISTENTES

El levantamiento de obras existentes en el municipio de Abriaquí contemplo obras de arte como lo son Puentes, Box Coulvert, Muros de contención, cunetas, entres otros. Los Box Coulvert inventariados son en total 9, muchos de los cuales están en mal estado estructural y la mayoría necesitan mantenimiento porque se encuentran obstruidos parcial o totalmente.

Los Puentes tanto vehiculares como peatonales se encuentran en buen estado estructural, sin embargo se recomienda hacerles mantenimiento; Los muros en gavión inventariados en total son 7, y estos por lo general se encuentran en buen estado, los muros en concreto inventariados son 3, de los cuales 2 se encuentran estructuralmente y funcionalmente en un regular estado. La descripción de las obras se encuentra en las fichas "*FICHA TÉCNICA DE REGISTRO INVENTARIO ESTADO DE OBRAS*" y su ubicación se plasma en el plano correspondiente.

CONTENIDO

6	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.....	6-1
6.1	INTRODUCCIÓN.....	6-1
6.2	IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS	6-1
6.3	CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS.....	6-1
6.4	IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS GENERADORES DE DAÑO	6-3
6.5	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	6-5
6.5.1	Vulnerabilidad por torrencialidad.....	6-5
6.5.2	Vulnerabilidad por inundación.....	6-5
6.5.3	Vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa	6-5
6.5.4	Vulnerabilidad de la sociedad	6-8
6.5.5	Vulnerabilidad institucional	6-14

LISTA DE FIGURAS

Figura 6-1.	Solicitaciones por deslizamientos.....	6-4
Figura 6-2.	Distribución porcentual de las categorías de vulnerabilidad social en el área de estudio.	6-13

LISTA DE TABLAS

Tabla 6-1	Intensidad de daño en edificaciones (Índice de Daño). Tomada de JAM, 2005	6-6
Tabla 6-2	Matriz de intensidades de daños para viviendas. Leone, 1996.....	6-6
Tabla 6-3	Categorización niveles de vulnerabilidad.....	6-7
Tabla 6-4.	Factores de vulnerabilidad de la valoración de vulnerabilidad social.	6-9
Tabla 6-5.	Fragilidad social y factor de resiliencia por manzana	6-10
Tabla 6-6.	Clasificación de la fragilidad social por vivienda.....	6-11
Tabla 6-7.	Fragilidad social y factor de resiliencia por familia	6-11
Tabla 6-8.	Clasificación de la fragilidad social por familia entrevistada.....	6-12
Tabla 6-9.	Vulnerabilidad social de las manzanas del área de estudio en el Municipio de Abriaquí.	6-13

6 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

6.1 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 Herradura y Quebrada San Pedro, y sobre las laderas con evidencias de Fenómenos de remoción en masa. Es así como a partir del inventario de manzanas, la zonificación por los eventos de inundación, fenómenos de remoción 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 zonas afectadas por fenómenos de remoción en masa y torrencialidad, 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 solicitación impuesta por la corriente de agua y por los procesos de inestabilidad.

6.2 IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS

La identificación de los elementos expuestos para los eventos de torrencialidad, inundación y fenómenos de remoción en masa 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 y catastral 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 torrencialidad, inundación y fenómenos de remoción en masa de acuerdo con los alcances del presente estudio.

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.

6.3 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.

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.

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, en las márgenes del cauce principal o en la ladera.

Muestreo de Viviendas: Con base en la anterior identificación de tipología de viviendas se adelantó 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 utilizó 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 siguiente página 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.

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. Muy pocas viviendas se encuentran construidas con algún sistema estructural, predomina muros confinados.

6.4 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

Procesos de daño por deslizamiento: Para este evento y teniendo en cuenta la localización geográfica de las construcciones, media ladera y pie de los taludes, y los mecanismos de falla de los taludes que conforman la zona montañosa y de alta pendiente, las acciones sobre las estructuras de las viviendas son:

- Desplazamiento vertical por pérdida de soporte en la base o cimientos.
- Desplazamiento lateral
- Empujes

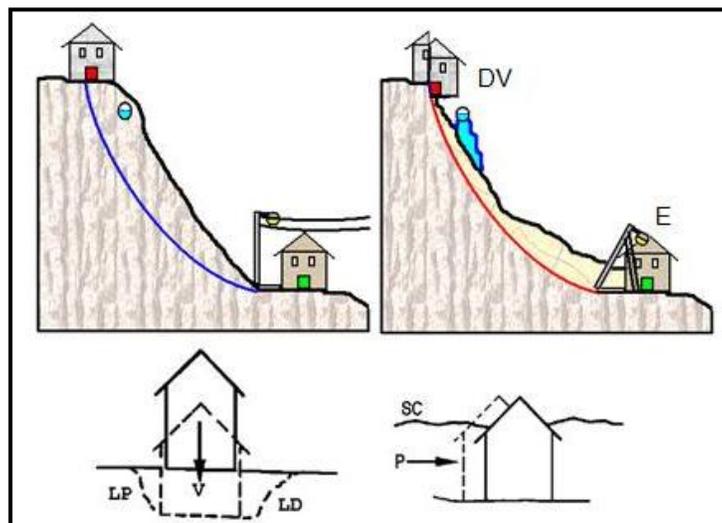


Figura 6-1. Solicitaciones por deslizamientos

Los desplazamientos verticales son experimentados por los elementos localizados sobre la corona de las áreas inestables y su posible área de retroceso; los desplazamientos laterales y empujes son experimentados por los elementos localizados en el trayecto del material desprendido. 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.

6.5 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

6.5.1 Vulnerabilidad por torrencialidad

Para la evaluación de vulnerabilidad se tuvo en cuenta el criterio geomorfológico de los cauces y la posición de las viviendas respecto a los mismos.

Dada la geometría hidráulica de los cauces que transitan por el Municipio de Abriaquí, los cuales se caracterizan por ser profundos, poseer una estructura encañonada en forma de “V” y desarrollarse en una zona alta pendiente, se puede concluir que estos son de comportamiento torrencial, pero considerando que las viviendas se encuentran alejadas de estos cauces no se presenta ningún tipo de amenaza. La amenaza se presenta sobre algunos establos cercanos a los cauces y en el puente vehicular localizado en la calle 10 con Carrera 12A.

6.5.2 Vulnerabilidad por inundación

Para la evaluación de vulnerabilidad se tuvo en cuenta el criterio geomorfológico de los cauces, la posición de las viviendas respecto a los mismos y la normatividad vigente respecto a zonas de protección de cauces.

Como se puede observar en el mapa de amenaza por inundación (Ab_13_Am_Inundación) al evaluar la condición de los cauces que transitan por el perímetro urbano del Municipio de Abriaquí, para un periodo de retorno de 100 años, se concluye que no existe ningún tipo de amenaza para esta condición en las viviendas ubicadas en las cercanías al Río Herradura y a la Quebrada San Pedro, y la única zona que se ve afectada es el vivero del Barrio Nueva Visión Corcovado, localizado en la Manzana A101 y algunos establos cercanos a la Quebrada San Pedro.

La vulnerabilidad por inundación viene dada para las viviendas que se encuentran localizadas en zonas de ronda, la cual abarca 30.0 metros a cada lado del río la Herradura y 15.0 metros a cada lado de la Quebrada San Pedro, afectando la Manzana A401 donde se localiza la institución Educativa La Milagrosa del Barrio Unidad Deportiva y las Manzanas A301, A202, A201, A403 y A101 localizadas en los barrios Centro y Nueva Visión Corcovado. Aunque cabe aclarar que la vulnerabilidad en estas viviendas es bajo ya que estas se encuentran construidas en mampostería.

6.5.3 Vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa

Tasa de daño

Tasa de daño estructural – Edificaciones.

Con el fin de caracterizar los daños físicos de los elementos expuestos en función de los FRM amenazantes y de establecer las tasas de daño ajustadas a su entorno, las tasas de daño estructural para las edificaciones que se toman como base son las propuestas la Tabla de Clasificación de daños MADVT 2005.

Tabla 6-1 Intensidad de daño en edificaciones (Índice de Daño). Tomada de JAM, 2005

INTENSIDAD DE DAÑO	MODOS DE DAÑO	INDICE DE DAÑO (%)
I	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada	0,01 – 0,1
II	Fisuración de muros. Reparaciones no urgentes	0,2 – 0,3
III	Deformaciones importantes, fisuras en elementos estructurales	0,4 – 0,6
IV	Fracturación de la estructura, evacuación inmediata	0,7 – 0,8
V	Derrumbe parcial o total de la estructura	0,9 – 1,0

Nota. El porcentaje o índice de daño queda asociado a la tasa de daño.

Matrices de daño

Las matrices de daño se definen a los cuadros de correspondencia en términos de tasa de daño (índice de daño), entre los diferentes tipos de FRM representados por un tipo de solicitud dado con su respectivo nivel de intensidad y las diferentes categorías de elementos expuestos.

Matriz de daño estructural

Esta matriz es representativa de la interacción física de los FRM y los bienes que están expuestos. Los FRM están representados por las solicitudes y los valores de los criterios de intensidad, y los elementos expuestos quedan definidos según el área de afectación del FRM.

En el caso de las edificaciones, la matriz de daño permite adelantar la asignación de los índices o intensidades de daño correspondientes en función de la tipología de las viviendas y el tipo de solicitud. La tipología de las viviendas representa la capacidad de asimilación de la estructura a solicitudes impuestas por el fenómeno amenazante. La Tabla 2 presenta un ejemplo de estas matrices.

La no asignación de daños o no solicitud, se le define a los predios o viviendas de la zona en estudio que no se encuentran expuestos a eventos generadores de daño.

Tabla 6-2 Matriz de intensidades de daños para viviendas. Leone, 1996

SOLICITACIÓN	TIPOLOGÍA					
	A	B	C	D	E	F
Desplazamiento Vertical	V	V	V	V	V	V
Empujes	II	III	III	IV	V	I
Impactos	III	IV	V	V	V	I
Hundimiento – Desplazamiento vertical	V	V	V	V	V	V
No Solicitud	0	0	0	0	0	0

Nota: Intensidad de daño asociado según la Tabla 1.

Valoración de la vulnerabilidad

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 a la probabilidad de ocurrencia del evento y de acuerdo a su localización en el área de afectación

Para las **edificaciones** la valoración de la vulnerabilidad se adelanta en función de la tasa de daño definida anteriormente, teniendo en cuenta que las solicitaciones pueden llegar a afectar parcialmente el predio, por tanto se involucra el concepto de área de afectación. En el anexo G – Vulnerabilidad, la tabla muestra la información tabulada para el cálculo de la vulnerabilidad, desde la condición estructural de la vivienda, la amenaza asociada y el tipo de solicitación al cual está sometido el elemento y la valoración de la vulnerabilidad.

La vulnerabilidad se expresa por lo menos de acuerdo con una escala cualitativa, así: vulnerabilidad alta, media y baja, de la cual se genera el mapa de zonificación por vulnerabilidad en la escala de trabajo adoptada. Como escala de valores de la vulnerabilidad se propone usar la siguiente, la cual permite una base de comparación entre una zona y otra del municipio:

Tabla 6-3 Categorización niveles de vulnerabilidad.

NIVELES	VULNERABILIDAD
B Bajo	$0.0 \leq B < 0.3$
M Medio	$0.3 \leq M < 0.6$
A Alto	$0.6 \leq A < 1.0$

Los resultados de la cualificación de la vulnerabilidad se presentan en el Anexo G, relacionando la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social definida para cada manzana. La representación de estos resultados sobre la base cartográfica se muestra en el Plano 17 Vulnerabilidad por FRM empleando el criterio semáforo, esto es:

Tono rojo	Nivel de vulnerabilidad alto
Tono amarillo	Nivel de vulnerabilidad medio
Tono verde	Nivel de vulnerabilidad bajo

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede establecer que la vulnerabilidad física por los eventos relacionados con eventos de remoción en masa se encuentra en las categorías alta para los elementos expuestos y baja para los no expuestos, 4 manzanas que se encuentran junto a las laderas presentan una vulnerabilidad física alta por exposición inmediata y 2 por inestabilidad de márgenes; 2 manzanas se encuentran parcialmente en vulnerabilidad media, y la vulnerabilidad física baja se concentra en el centro del casco municipal y algunas manzanas ubicadas en la parte alta.

6.5.4 Vulnerabilidad de la sociedad

Adicional a la vulnerabilidad física de las viviendas ante una amenaza 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 amenazada¹. Ante la ocurrencia de un evento 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 humano², 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 **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, en general³.

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

¹ 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. BUSSO G. 2002. La vulnerabilidad sociodemográfica en Nicaragua: Un desafío para el crecimiento económico y la reducción de la pobreza. Naciones Unidas. CEPAL. CELADE.

² 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.

³ LAVELL, 2003

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.

a. Valoración de la vulnerabilidad social.

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 un evento potencialmente dañino.

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 6-4.

Tabla 6-4. Factores de vulnerabilidad de la valoración de vulnerabilidad social.

Factor de vulnerabilidad	Criterio
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.
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 6-5 a los factores definidos.

Tabla 6-5. Fragilidad social y factor de resiliencia por manzana

Factor de vulnerabilidad	Rangos /Valoración para ponderación		
	≤ 15	16 -70	>70
Número de personas por manzana	0	1	2
Proporción de niños y adultos mayores	< 0.5	0.5 – 0.7	> 0.7
	0	1	2
Proporción de personas con discapacidad	< 0.06	0.07 – 0.17	> 0.17
	0	1	2
Nivel de escolaridad	Alto	Medio	Bajo
	0	1	2
Relación hombres/mujeres	≥ 1	< 1	
	0	1	
Presencia de lugares especiales de alojamiento - LEA	NO	SI	
	0	1	
Proporción de viviendas “tipo cuarto”	≤ 2	3 – 4	> 4
	0	1	2

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 12 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 6 – 9.

Tabla 6-6. Clasificación de la fragilidad social por vivienda

FRAGILIDAD SOCIAL	CALIFICACIÓN
Baja	< 2
Media	3 – 4
Alta	5 – 6
Muy alta	> 6

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 empleó el *FORMULARIO PARA LA EVOLUCIÓN DE CARACTERÍSTICAS SOCIALES* y *FORMULARIO PARA EL LEVANTAMIENTO GENERAL DE LAS EDIFICACIONES*, que recoge no solo aspectos de las viviendas sino familiares.

Teniendo en cuenta que, según Núñez y Espinosa (2005)⁴, 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.

Además se tomó como factor que aumenta la vulnerabilidad el relacionado con la existencia de más de una familia por vivienda, por reflejar el hacinamiento y la dependencia económica.

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 6-7.

Tabla 6-7. Fragilidad social y factor de resiliencia por familia

Variables	Rangos /Valoración para ponderación			
Estrato	1 y 2	3	4 y 5	6
	3	2	1	0
No. Personas/ vivienda	Más de 8	7 a 8	4 a 6	De 1 a 3
	3	2	1	0
Acceso	Sin acceso	Peatonal	Vial	
	2	1	0	
Ingresos (en SMMLV)	Menor a 1	Entre 1 y 2	Entre 2 y 4	Más de 4
	3	2	1	0

⁴ 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)

Escolaridad Jefe de Familia	Ninguna	Primaria	Secundaria	Técnica o Universitaria
	3	2	1	0
Propiedad sobre la vivienda	Arrendada	Propia		
	1	0		
Proporción personas que trabajan en la familia	Menor a $\frac{1}{4}$	Igual o mayor a $\frac{1}{4}$		
	1	0		
Número de núcleos familiares en la vivienda	Más de dos	Dos	Uno	
	2	1	0	
Género Jefe de Familia	Mujer	Hombre		
	1	0		
Ocupación Jefe de Familia	Desempleado	Pensionados; E. Domésticas, T. Independiente	Empleado	
	2	1	0	
Edad Jefe de Familia (años)	Menor de 25	Mayor de 25		
	1	0		
Proporción niños por adulto en la familia	$\geq \frac{1}{2}$	Menor a $\frac{1}{2}$		
	1	0		
Discapacitados en la vivienda	Si	No		
	1	0		

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 6-8.

Tabla 6-8. Clasificación de la fragilidad social por familia entrevistada

FRAGILIDAD SOCIAL	CALIFICACIÓN
Baja	< 6
Media	6 – 9
Alta	10 – 14
Muy alta	> 14

El resultado final de la calificación de la fragilidad social a nivel de manzana y de familia para el Municipio de Abriaquí se aprecia en la Tabla 6-9. 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 20 manzanas ubicadas en el área de estudio de este municipio se obtuvo una distribución de la vulnerabilidad social predominantemente “Media” y “Alta” como puede apreciarse en la Figura 6-2. 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.

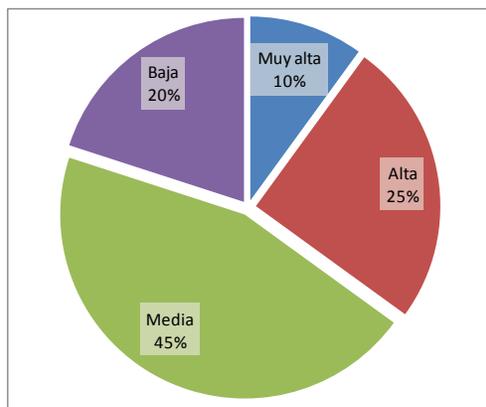


Figura 6-2. Distribución porcentual de las categorías de vulnerabilidad social en el área de estudio.

Tabla 6-9. Vulnerabilidad social de las manzanas del área de estudio en el Municipio de Abriaquí.

Uso Unidad Censal	Código JAM	Calificación de la Vulnerabilidad social a nivel de manzana	Calificación de la vulnerabilidad social encuestas	OBSERVACIÓN
AREA # 0500419900000000000010101	A210	MEDIA		
AREA # 0500419900000000000010102	A209	BAJA		
AREA # 0500419900000000000010103	A103	ALTA	ALTA	Urbanización nueva vision - los mandarinos
AREA # 0500419900000000000010104	A102	MEDIA		
AREA # 0500419900000000000010105	A206	ALTA		
AREA # 0500419900000000000010106	A207	MEDIA		Iglesia
AREA # 0500419900000000000010107	A208	MUY ALTA		Alcaldía
AREA # 0500419900000000000010107	A 402			coliseo y otros
AREA # 0500419900000000000010107	A404			capilla, cementerio y otros
AREA # 0500419900000000000010108	A203	MUY ALTA		
AREA # 0500419900000000000010109	A204			plaza
AREA # 0500419900000000000010110	A205	BAJA		
AREA # 0500419900000000000010111	A101	ALTA		vivero, nuevo barrio
AREA # 0500419900000000000010111	A201			
AREA # 0500419900000000000010114	A202	ALTA		policia, inder
AREA # 0500419900000000000010114	A301			
AREA # 0500419900000000000010117	A401	ALTA	ALTA	cancha futbol + piscina + inst.edu la milagrosa + coliseo
AREA # 0500419900000000000010118	A302	BAJA		hospital + escuela antonio roldan betancurt + parque juanes
AREA # 0500419900000000000010122	A303	MEDIA		
SIN CÓDIGO DANE	A403		MEDIA	
SIN CÓDIGO DANE	A505		BAJA	Urbanización el Porvenir
SIN CÓDIGO DANE	A504		MEDIA	Urbanización el Porvenir
SIN CÓDIGO DANE	A503		MEDIA	Urbanización el Porvenir
SIN CÓDIGO DANE	A502		MEDIA	Urbanización el Porvenir
SIN CÓDIGO DANE	A501		MEDIA	Urbanización el Porvenir

6.5.5 Vulnerabilidad institucional

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 revisó el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del Municipio con el fin de conocer el alcance de la incorporación del componente de amenazas y riesgos y llevaron a cabo entrevistas con el Secretario de Gobierno, ya que el municipio no cuenta con la presencia de la Cruz Roja, Defensa Civil y el cuerpo de Bomberos está iniciando su conformación.

Además de lo anterior se adelantó una evaluación del conocimiento de la gestión del riesgo y su aplicación por parte de los directivos en los equipamientos colectivos a saber: centros educativos (dos hogares y un colegio), el hospital, la casa de la cultura, un centro de promoción de la salud, la alcaldía y la estación de policía.

Se puede decir que en el EOT fueron identificadas las amenazas naturales que pueden causar daños tanto en el área urbana como rural, además que han sido plasmadas las estrategias que permitirán implementar las medidas preventivas con respecto a las áreas expuestas a cada uno de los eventos amenazantes identificados. Sin embargo la inversión planteada refleja la baja asignación de recursos que éstas presentan y por tanto se evidencia la dificultad de adelantar en el corto plazo las estrategias establecidas.

Además, de la identificación de las amenazas en el EOT, se cuenta con el estudio “Actualización de la información de diagnóstico esquema de ordenamiento territorial del municipio de Abriaquí temas: geología, minería y gestión del riesgo” elaborado en el 2010 por el Geólogo Jorge Alberto Giraldo Botero para CORPOURABÁ. En el cual son identificadas las amenazas y se establecen unas medidas para la Gestión del Riesgo.

A partir de la entrevista realizada al Secretario de Gobierno conoció que no existe un Comité Local de Prevención y Atención de Desastres - CLOPAD constituido en el municipio, aunque se prevé su conformación, no se cuenta con un presupuesto destinado al tema de prevención y atención de desastres y no se cuenta con una estadística de las emergencias ocurridas en el municipio.

Con relación a la incorporación de actividades de prevención de desastres en los equipamientos colectivos, es posible decir que en las instituciones educativas y el centro de promoción en salud, no existe un plan de emergencias, no se han realizado simulacros de evacuación, no existe un plan de capacitación para la preparación ante una emergencia, no se cuenta con un sistema de alarma, no hay una demarcación de las

rutas de evacuación, sólo la sección de bachillerato de la Institución Educativa La Milagrosa cuenta con extintores.

El Hospital Horizonte si cuenta con un plan de emergencias, hace tres años realizaron un simulacro de evacuación, reciben capacitación del tema en el marco del plan de capacitación propio del hospital, no se encuentran demarcadas las rutas de evacuación, no tienen un sistema de alarma, cuentan con ambulancia, camillas, extintores y linternas como equipos de atención, no participan en el CLOPAD, ni realizan campañas de capacitación en materia de prevención y atención de desastres.

Se destaca el interés del director de la Casa de la Cultura en impulsar el tema de la prevención y atención de desastres del municipio que está impulsando la conformación del CLOPAD y que ha dotado este espacio con botiquín, linternas, manguera de bomberos, equipos de atención de emergencias, camillas, extintores.

La Estación de Policía, por su parte, cuenta con un plan de emergencias, realiza un simulacro de evacuación cada tres meses, cuenta con un sistema de alarmas, recibe capacitación para la atención de emergencias antrópicas únicamente, cuenta con una demarcación de rutas de evacuación y con extintores, botiquín y linternas.

Esta evaluación refleja que no se ha realizado un esfuerzo institucional por adelantar campañas dirigidas a disminuir la vulnerabilidad social ante una amenaza y que no se han realizado las actividades que permitan implementar un programa permanente de prevención, preparación, mitigación de desastres, así como mejorar el grado de conocimiento que del tema tienen los directivos de los equipamientos indispensables.

Además se hace indispensable mejorar la disponibilidad de equipos de alarma, comunicación, así como rutas de evacuación, herramientas y extintores que permitan atender de forma oportuna la ocurrencia de un evento. La disponibilidad de recursos monetarios para los bomberos, los programas de gestión del riesgo son indispensables para mejorar la resiliencia del municipio en general.

CONTENIDO

7	VALORACIÓN DEL RIESGO	7-1
7.1	RIESGO POR TORRENCIALIDAD	7-1
7.2	RIESGO POR INUNDACIÓN.....	7-1
7.3	RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA E INESTABILIDAD DE MARGENES.....	7-1
7.3.1	Valoración del riesgo	7-1
7.3.2	Evaluación del riesgo	7-2
7.3.3	Zonificación del riesgo.....	7-3
7.4	MITIGABILIDAD DEL RIESGO	7-3
7.4.1	Torrencialidad	7-4
7.4.2	Inundación	7-4
7.4.3	Fenómenos de remoción en masa.....	7-4

7 VALORACIÓN DEL RIESGO

Una vez definida la amenaza por torrencialidad, 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 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.

7.1 RIESGO POR TORRENCIALIDAD

En el municipio de Abriaquí no existe riesgo por eventos torrenciales, puesto que aunque se puede llegar a presentar un evento por la configuración misma de los cauces, estos no tendrían ningún efecto sobre el área urbana del municipio. Se pueden llegar a presentar riesgo sobre los establos cercanos a los cauces y el puente vehicular localizado en la calle 10 con Carrera 12A.

7.2 RIESGO POR INUNDACIÓN

En el municipio de Abriaquí se encuentran en riesgo bajo las manzanas A401, A301, A202, A201 y A101 localizadas en los barrios Centro, Nueva Visión Corcovado y Unidad Deportiva, localizadas en las zonas de ronda del Río la Herradura. En las manzanas anteriormente descritas se deberá considerar la reubicación de los predios que se encuentren más cercanos a el Río Herradura y la Quebrada San Pedro.

7.3 RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA E INESTABILIDAD DE MARGENES

7.3.1 Valoración del riesgo

Con el fin de determinar los niveles de riesgo a las cuales se ven expuestas las manzanas del casco urbano en la ocurrencia de un fenómeno de remoción en masa, se uso el cálculo y calificación del riesgo usando la metodología para FRM a nivel de detalle.

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 procesos de remoción en masa que se presenten en el sitio estudiado, 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.

La evaluación de riesgo será presentada como una zonificación sobre una base cartografía escala en la misma escala que la utilizada para los mapas de amenaza y vulnerabilidad.

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 perdida potencial (Tasa de daño x Costo de daño).

Para la representación cartográfica del riesgo y caracterizar los elementos o áreas con niveles de riesgo alto, medio o bajo, se introduce el concepto de índice de riesgo, definido como el porcentaje de daño esperado,

$$IR = \text{Costo probable de daño} / \text{Costo del elemento}$$

El costo del elemento fue determinado por las características físicas de las viviendas.

Así la categorización de los niveles de riesgo se puede adelantar según la Tabla 38, la cual se estableció en otros estudios de riesgo por fenómenos de remoción en masa de características similares a escala 1:2.000, y que sirve como línea de referencia para la gestión de riesgos de los municipios del país.

Tabla 38. Categorización niveles de riesgo

NIVELES	ÍNDICE DE RIESGO
B Bajo	$B < 0.10$
M Medio	$0.10 \leq M < 0.30$
A Alto	$A \geq 0,30$

Adaptada de UPES / INGEOCIM, 1998

La tabulación del grado de riesgo para cada manzana se presenta en el **anexo G**.

7.3.2 Evaluación del riesgo

Ahora, si conceptualmente definimos la Vulnerabilidad como

V = Exposición / (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

Para el caso del municipio de Abriaquí, como el evento detonador de la inestabilidad es el sismo y por tanto el control de la amenaza se hace difícil, se debe actuar directamente reduciendo o evitando la exposición de los elementos al fenómeno.

Además y para verificar los niveles de riesgo, se uso el criterio semáforo que cruza los niveles de amenaza y riesgo como se muestra en la matriz de riesgo.

Tabla 7-1. Matriz de Riesgo corporal por Inundación.

Amenaza	Vulnerabilidad		
	Alta	Media	Baja
Alta	Alta	Alta	Media
Media	Alta	Media	Baja
Baja	Media	Baja	Baja

Para el caso de la inestabilidad de márgenes, el riesgo se minimiza en la medida en que se reduzca la amenaza, buscando la estabilidad de la margen o la disminución del avance de los procesos. Las medidas en estos sectores están enfocadas a la disminución del impacto de la corriente (protección) y mejorar las condiciones de estabilidad de las laderas.

7.3.3 Zonificación del riesgo

En términos de zonificación, la amenaza alta corresponde al color rojo, amenaza media al color amarillo y amenaza baja al color verde, con resultados como se muestran a continuación.

Tono Rojo - Niveles de riesgo alto (A): El nivel de afectación de la edificación es alto, las viviendas en estas zonas estarán sometidas a desplazamiento vertical con pérdida de soporte o a desplazamiento lateral de la masa desplazada con destrucción de la estructura. De acuerdo con los resultados de los análisis realizados las manzanas del casco urbano situadas en zona de riesgo alto son las ubicadas en la ladera oriental (Urbanización los mandarinos, urbanización nueva visión, manzanas 103, y 210).

Tono amarillo - Niveles de riesgo medio (M): Nivel de afectación de la edificación es medio, y está asociado a sectores donde existe impacto o desplazamiento horizontal producido por la masa involucrada en el deslizamiento, sin destrucción total. Se encuentra en este grado la manzana 403 (coliseo) por inestabilidad de la ladera contigua. Por inestabilidad de márgenes, las manzanas 208 a y b.

Tono verde - Niveles de riesgo bajo (B): Nivel de afectación de las viviendas es bajo. Se encuentran zonas con riesgo bajo en el centro poblacional y la parte alta.

7.4 MITIGABILIDAD DEL RIESGO

Una vez evaluado el riesgo y las características del mismo, es necesario evaluar el nivel de riesgo aceptable, el cual se puede definir de acuerdo a lo expresado por Mora (1990), en:

Riesgo evitable (RE): aquel cuyos orígenes se pueden evitar y cuyas consecuencias se pueden anular con obras o acciones técnica y económicamente factibles.

Riesgo controlable (Mitigable) (RC): cuando el fenómeno amenazante puede predecirse pero sus consecuencias solo pueden atenuarse o mitigarse, pues no se pueden manejar completamente ni técnica ni económicamente.

Riesgo incontrolable (No mitigable) (RI): aquellos en los cuales la capacidad de predicción y evaluación es incompleta y la ciencia y tecnología no están capacitadas para proveer soluciones técnica o económicamente viables.

Esta clasificación se realiza a nivel de manzanas, evaluando las condiciones de la amenaza y la vulnerabilidad por cada tipo de evento.

7.4.1 Torrencialidad

Debido a la ausencia de exposición de las viviendas frente a un evento torrencial, las viviendas se encuentra en riesgo nulo; esto indica que las viviendas están en riesgo evitable.

7.4.2 Inundación

En el municipio de Abriaquí se encuentran en riesgo bajo las manzanas A401, A301, A202, A201 y A101 localizadas en los barrios Centro, Nueva Visión Corcovado y Unidad Deportiva, localizadas en las zonas de ronda del Río la Herradura. Debido a que por normatividad y protección estas viviendas no debería estar ubicadas en esta zona, se considera que se encuentran en riesgo No Mitigable y se requiere de su reubicación; sin embargo, es necesario aclarar que estas decisiones no tiene carácter únicamente y por tanto se deja a consideración de las autoridades pertinentes las acciones a ejecutar en esta área.

7.4.3 Fenómenos de remoción en masa

De acuerdo a los resultados obtenidos en la zonificación del riesgo se definen dos sectores en amenaza alta por fenómenos de remoción en masa dentro del municipio de Abriaquí: las Urbanizaciones los Mandarinos y Nueva Visión, manzanas 103 y 210. Estas manzanas se encuentran amenazadas por la masa removida en un deslizamiento detonado principalmente por el sismo, evento que no puede ser controlado en ninguna medida. Esto indica que estas edificaciones tienen un nivel de riesgo No mitigable y se hace necesaria su reubicación.

Para las viviendas expuestas a inestabilidad de márgenes y que se encuentran en riesgo medio - alto, en la medida en que se ejecuten obras de mitigación y control que impidan el avance de la inestabilidad se disminuye el nivel de amenaza. Estas viviendas se encuentran en riesgo Mitigable.

CONTENIDO

8	PLAN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO	8-1
8.1	INTRODUCCIÓN.....	8-1
8.2	ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES.....	8-1
8.3	PLAN GENERAL DE ACCIÓN	8-2
8.3.1	<i>Plan de mejoramiento integral.....</i>	<i>8-2</i>
8.3.2	<i>Medidas de Mitigación - No Estructurales.....</i>	<i>8-3</i>
8.3.3	<i>Medidas de Mitigación – Estructurales</i>	<i>8-5</i>
8.4	NIVEL DE RESPONSABILIDAD.....	8-6

LISTA DE TABLAS

Tabla 8-1.	Matriz de responsabilidades	8-7
------------	-----------------------------------	-----

8 PLAN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO

8.1 INTRODUCCIÓN

A partir de los resultados obtenidos de la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por torrencialidad, inundación y fenómenos de remoción en masa en la zona urbana del municipio de Abriaquí, 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 y fenómenos de remoción en masa. 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.

8.2 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 el avance y recorrido natural de los cauces en forma meándrica, trayecto que por su forma facilita la aparición de inestabilidad de márgenes y es acelerada por la intervención del hombre sobre el medio físico, consecuencia directa del avance urbanístico de la zona.

Las laderas aledañas también generan amenaza sobre el sector urbano, teniendo en cuenta que las pendientes altas de este sector y el mal uso del suelo de los mismos, generan grandes probabilidades de la aparición de flujos de tierras que por su masa desplazada afecten las viviendas.

En este municipio el desarrollo urbano se ha dado sobre el abanico de morfometría plana formado por un evento torrencial de la quebrada San Pedro, el cual es considerado estable y ha sido incisado por las corrientes, formando márgenes de 5 o más metros de altura, por lo que el total de las viviendas e infraestructura se encuentra en zona de amenaza baja por torrencialidad. Esta condición se da a pesar de que el mismo municipio está asentado sobre un depósito torrencial, pero por su antigüedad y datación se considera poco probable la ocurrencia de un fenómeno similar.

8.3 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 las zonas situados en los sectores afectados en un evento con un periodo de retorno de 100 años y la restricción sobre la ronda hidráulica de los cauces, la reconfiguración de los sectores afectados por la inestabilidad de márgenes, además del planteamiento del mejoramiento del entorno urbano y ambiental del área en estudio. Lo anterior aplica para las zonas no urbanizadas, los establos y demás elementos que se encuentren dentro de las zonas delimitadas. En forma complementaria y teniendo en cuenta que varias de las obras de mitigación existentes presentan socavación en la base, se plantea la protección de las mismas.

El escenario básico frente a fenómenos de remoción en masa considera la necesidad de eliminar la exposición de algunos predios que se encuentran en la línea de avance de una posible masa desplazada. Para estos predios se requiere su reubicación mientras que para los de menor alcance no se prevén medidas. Para disminuir el grado de amenaza de estos fenómenos, se plantea la restricción de usos del suelo y la revegetalización de las laderas, disminuyendo la exposición del suelo a los agentes ambientales.

En el caso de las amenazas por inundación se propone la reubicación de algunas viviendas que se encuentran localizadas en la zona de ronda hidráulica del Río la Herradura y la Quebrada San Pedro, esto con el fin de recurrar las zonas verdes de los cauces.

Se plantean 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.

8.3.1 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, por medio de acciones masivas, integrales y plenamente coordinadas.

El plan de mejoramiento integral comprende la ejecución de obras de mitigación y control del riesgo, que corresponden a las medidas planteadas en el presente informe para el manejo de las amenazas por inundación, inestabilidad de márgenes y fenómenos de remoción en masa. Se consideran obras que se deben ejecutar a corto plazo. Adicionalmente se debe realizar la conformación de zonas de aislamiento y protección a las que puede darse un uso de tipo recreativo. Para el caso de los eventos de avenidas torrenciales se debe establecer un sistema de alarma y planes de contingencia para informar a la comunidad sobre las acciones que se debe tomar en caso de que ocurra uno de estos fenómenos.

8.3.2 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 fenómenos de remoción en masa activos y potenciales 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 geomorfológica o ambiental. La restricción de uso del suelo aplica para la terraza baja del Río Herradura, las laderas del sector oriental y Nor oriental y la ladera superior al coliseo.

Las medidas no estructurales planteadas buscan que el uso del suelo para vivienda en las manzanas referidas sea limitado en beneficio de la estabilidad física y ambiental de las laderas y en general 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.

Congelación Desarrollo Urbanístico (Restricción de construcción de vivienda nueva o ampliación de la existente): Esta restricción hace referencia a la prohibición de la construcción de vivienda nueva y ampliación de las existentes en zonas de Ronda Hidráulica y zonas identificadas de Vulnerabilidad baja expuestas a un evento amenazante (Inundación o inestabilidad de las márgenes), sin impedir los usos presentes en las edificaciones actuales, lo que permite el emplazamiento de estas viviendas y así evitar la reubicación de algunos predios. El ejemplo más claro de congelamiento de desarrollo urbanístico es la Urbanización Las Orquídeas.

A estas zonas se debe realizar un seguimiento periódico, especialmente cuando ocurran eventos que por su magnitud puedan causar daño. En dicha situación se establecerá por

la oficina de planeación, una vez evaluadas las condiciones después del evento, la necesidad de proteger o reubicar las viviendas en estos sectores.

Reubicación de Viviendas: Las viviendas que se deben reubicar corresponden a las ubicadas cerca de la ladera nororiental, en especial la urbanización Nueva Visión y a algunos establos ubicados en las terrazas inundables. La reubicación de familias se hace para evitar afectaciones debidas a fenómenos de remoción en masa y para consolidar la zona de protección del río (ronda) y el manejo urbano de la zona. Las manzanas se han identificado con la codificación e información catastral del municipio de que se dispone.

Adecuación Paisajística del Área: Esta actividad debe involucrar las zonas de restricción por riesgo por inundación e inestabilidad de márgenes, y las áreas de protección del sistema ecológico del municipio, contemplando tanto el adecuado manejo de las aguas de escorrentía como a la recuperación de la cobertura vegetal y control de los procesos erosivos presentes en las márgenes del Río Herradura y la quebrada san Pedro.

Delimitación de la Ronda y Zona de Protección y Manejo Ambiental del Río Herradura y Quebrada San Pedro: Es indispensable que conjuntamente con la conformación de la zona de manejo y protección ambiental, se delimite geográficamente la ronda del Río Herradura y la quebrada san Pedro en ambas márgenes en cumplimiento de las normas de protección y preservación de cauces establecidas en la normatividad y en el POT de Abriaquí, 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 Periodo de retorno (Tr) 100 años más una franja de treinta metros en el caso del Río Herradura y de 15 metros para la quebrada San Pedro; con esto algunas manzanas de la zona de estudio quedarían dentro de la zona de ronda así demarcada.

En el plano 24 se presentan las acciones de gestión del riesgo propuestas dentro de las que se incluye la definición de la ronda hidráulica para las corrientes consideradas en el estudio. El sector delimitado por la ronda corresponde a una zona de aislamiento y protección que debe restringirse o congelarse para la construcción de viviendas, según la condición de vulnerabilidad y exposición frente a la amenaza de los predios. Dentro de las manzanas que se encuentran parcialmente en esta zona están la 101, 201, 202, 301 y 403. Considerando los predios están ocupados, que se requiere de su cambio de uso y que esto puede generar amplias repercusiones sociales, se debe definir por parte de Corpourabá y las autoridades locales los niveles de riesgo admisible para saber cuáles de estos se deben reubicar.

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 apropiar los conceptos de:

1. El nivel de riesgo a que están expuestos en los sectores de urbanismo consolidado.

2. Identificación de agentes contribuyentes a los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales, fenómenos de remoción en masa 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. Se debe incluir el seguimiento y monitoreo a los cauces de las quebradas que presentan comportamiento torrencial respecto a la ocurrencia de obstrucciones o taponamientos que puedan desencadenar en la ocurrencia de avenidas torrenciales.
5. Implementación de sistemas de alarma y planes de contingencia para que la población conozca las acciones a seguir en caso de que se presenten eventos de inundaciones o avenidas torrenciales.

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.

8.3.3 Medidas de Mitigación – Estructurales

Este tipo de medidas pretende mejorar las condiciones de seguridad en los sectores más vulnerables ante eventos de inundaciones, fenómenos de remoción en masa e inestabilidad de márgenes. En general se trata de disminuir en forma directa el riesgo modificando las características de los eventos amenazantes o las características de los elementos expuestos; en este caso el mejoramiento de las condiciones de seguridad se busca lograr controlando las afectaciones a la zona urbana por el avance de la inestabilidad de márgenes y fenómenos de socavación por creciente de la Quebrada San Pedro y del Río Herradura.

A continuación se comenta y describe el tipo de obras en cada tipo de acción, de acuerdo con lo presentado en los planos, 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 de las márgenes contra la acción del agua y que ocasionan deslizamientos y afectaciones a las obras de protección existentes, así como al control de ascensos del nivel de agua durante las crecientes dentro de un concepto de tratamiento integral.

En forma general, se requiere de la construcción de cunetas en la vía perimetral al municipio, la cual permita recoger las aguas del talud superior y así evitar procesos de inestabilidad en la parte baja de la ladera. En el sector del cementerio se requiere en forma adicional, la construcción de una zanja de coronación que recoja las aguas de la parte plana superior y evite la disposición de las mismas sobre el talud afectado actualmente por desprendimiento de material.

Para proteger y reconfigurar las zonas afectadas por inestabilidad de márgenes, se plantea la construcción de muros de gaviones o en concreto, los cuales permitirán la reconfiguración del talud y de la vía. Esta acción será complementada con la revegetalización de la zona recuperada y alrededores y la construcción de cortacorrientes

en fajinas con ramas, de tal manera que exista una protección de las obras frente a la acción de agentes ambientales.

Para la protección de las zonas afectadas por procesos de socavación lateral, en los sectores en que se han construido muros de gaviones, concreto o en los puentes, se plantea la construcción de enrocados en la pata con terminación en forma cilíndrica y confinamiento final con pilotes de madera. Estas protecciones evitarán la embestida directa del agua, disipando la energía ejercida por las altas velocidades del flujo.

Para los sectores con inestabilidad de márgenes incipiente o en sus comienzos, se plantea la construcción de trinchos en madera que recuperen pequeñas zonas y a su vez permitan la reconformación del terreno y la revegetalización.

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.

Para la mitigación de los efectos de eventos de avenidas torrenciales se debe llevar a cabo la revegetalización de las laderas de las cuencas de las corrientes que presenten tendencia a la ocurrencia de estos eventos, y la implementación de obras transversales en las partes medias y altas de las cuencas. El dimensionamiento y espaciado de estas obras deben obedecer a diseños específicos no considerados en el alcance del presente estudio en vista de que se trata de zonas que se encuentran en la parte rural del municipio.

8.4 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 8-1.

En la Tabla 8-1 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 8-1. Matriz de responsabilidades

Plan general de acciones	Tipo de acción	RESPONSABLES							
		Alcaldía municipal – Secretarías				Corpourabá	Dapard	Empresas de Acueducto y Alcantarillado	Juntas de Acción Comunal
		Gobierno	Planeación	Desarrollo Comunitario	Obras Públicas				
OBRAS DE MITIGACION – NO ESTRUCTURALES									
Plan de Mejoramiento integral (*)	P, E	1	1	1	1	1	1	1	2
1- Regulación del Uso del Suelo	P, Rec, R	1	1	1		1	2	1	2
2- Reubicación de Viviendas	P, E, Ad	1	1	1			1		2
3- Adecuación Paisajística del Área.	P, D, C, R	1	1	1	1	2	3		2
4- Delimitación de la Ronda y Zona de Protección y Manejo Ambiental del Río Sucio y la Quebrada La Desmontadora	P, D, E		1	2		1	2	2	2
5- Información Pública	TS, R			1		2	2		2
6- Monitoreo y seguimiento de las cuencas de las quebradas torrenciales	P, E, R	1		1	1	1	1		2
7 – Planes de contingencia	O, E, R, TS	1	1	1		1	1		2
OBRAS DE MITIGACION – ESTRUCTURALES									
Diseño y construcción de obras de mitigación y control									
Muro en Gaviones	D, C		1		1	1	1		3
Realce en Trinchos	D, C		1		1	1	1		
Enrocado de protección en los puentes y Muro en Gaviones nuevos y existentes	D, C		1		1	1	1		3
Construcción de muro en concreto reforzado para recuperación de banca.	D, C		1		1	1	1		3
Recuperación de cobertura con especies arbustivas, arboreas y tratamiento de cobertura con fajinas.	D, C		1		1	1	1		3

TIPO DE ACCIÓN

- 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 - Mantenimiento

CONTENIDO

9 ARTICULACIÓN DE LOS MAPAS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO CON LOS POT DEL MUNICIPIO	9-1
9.1 INTRODUCCIÓN.....	9-1
9.2 DIAGNÓSTICO DEL POT FRENTE A LA GESTIÓN DE RIESGOS	9-1
9.2.1 <i>Prevención y atención de desastres</i>	<i>9-1</i>
9.2.2 <i>Áreas de conservación y protección de los recursos naturales.....</i>	<i>9-2</i>
9.2.3 <i>Planes parciales y Unidades de Actuación Urbanística.....</i>	<i>9-3</i>
9.2.4 <i>Ronda hidráulica.....</i>	<i>9-4</i>
9.2.5 <i>Zonificación de áreas expuestas a amenazas y riesgos</i>	<i>9-5</i>
9.3 REQUERIMIENTOS DE LA LEY 388/97 EN MATERIA DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGOS DE ORIGEN NATURAL	9-6
9.1 PLAN DE ARTICULACIÓN DE LOS MAPAS DE AMENAZA Y RIESGO CON EL POT	9-7
9.4 MAPAS PROPUESTOS EN EL PRESENTE ESTUDIO	9-9

9 ARTICULACIÓN DE LOS MAPAS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO CON LOS POT DEL MUNICIPIO

9.1 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 2009 el cual debe ser ajustado en el tema de riesgo a partir de los resultados del presente estudio.

9.2 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 Abriaquí, con algunas observaciones que complementan los planes parciales y estrategias establecidas. 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.

9.2.1 Prevención y atención de desastres

En el Plan de Ordenamiento Territorial se plantean las siguientes acciones:

- Implementar acciones preventivas con respecto a las fuentes hídricas que delimitan la cabecera urbana.
- Realizar monitoreo de los cauces del río y la quebrada principalmente en épocas de invierno.
- Hacer el inventario municipal de sitios sujetos a derrumbes y deslizamientos o que de otra forma presentan condiciones insalubres para la vivienda.

- Reubicación de los asentamientos en zonas de riesgo y la expedición de una normativa con las acciones necesarias para que los inmuebles desalojados no vuelvan a ser ocupados para vivienda.
- La prevención de desastres por fenómenos de deslizamiento es un imperativo en todo el territorio, dada la conjugación de variables biofísicas en intensidades críticas que sucede en el territorio. Es así como debe condicionarse todo tipo de inversión económica en obras de infraestructura, siendo necesario conocer las circunstancias reales del territorio en sus aspectos geográficos de clima, geología y cobertura, ya que limitan y condicionan los aspectos constructivos. Debe desarrollarse todo un plan de prevención y atención de desastres específico, con responsabilidades concretas, un plan de trabajo preestablecido que contemple un monitoreo permanente, es recomendable vincular el sector educativo (profesores y alumnos), dado el conocimiento preciso que poseen del territorio.
- El organismo de planeación municipal tendrá el deber de prevenir los desastres mediante la expedición de una normativa en los planes de contingencia de orientación para la atención inmediata de emergencias

9.2.2 Áreas de conservación y protección de los recursos naturales

Este ítem busca proponer acciones para la conservación y protección de los recursos naturales en el centro urbano de Abriaquí es dar planteamientos para el cuidado las fuentes hídricas y de algunas áreas cuyas características geomorfológicas exigen de un tratamiento y uso especial.

Las acciones propuestas por el municipio son:

- Implementar procesos de sensibilidad ambiental
- Promover los grupos ecológicos existentes en el Municipio.
- Desarrollar prácticas ambientales.
- Protección de los taludes de las cuencas del río Herradura y quebrada San Pedro con vegetación apropiada con el fin de evitar deslizamientos.
- Protección de las fuentes de agua para evitar represamientos de cauce por desechos sólidos y posibles inundaciones.

Se reestructurará también el actual proyecto de canalización de la quebrada San Pedro, este debe ser evaluado y dirigido hacia una mejor alternativa en lo técnico, en lo ambiental y en, lo económico. Se propenderá por una intervención sobre las fuentes urbanas con obras de mitigación de fácil implementación y por la reforestación protectora que además de estabilizar los taludes, sirva al embellecimiento paisajístico del territorio urbano.

9.2.3 Planes parciales y Unidades de Actuación Urbanística.

Los Planes Parciales pretenden complementar y profundizar sobre los temas estratégicos dentro del Plan de Ordenamiento que ameritan un tratamiento cuidadoso y específico, para el caso específico de la zona Urbana del municipio de Abriaquí serán necesario Planes específicos para los siguientes aspectos:

- **Infraestructura en vías y Transporte.**

- Creación y conformación de senderos peatonales como espacios públicos: Adecuación de la calle 12 (Sector Central) entre carrera 9 y cra 8, calle 11 entre cra 9 y quebrada San Pedro, cra 8 entre calles 8 y 9 y el sendero peatonal en la ribera del Río Herradura (Sectores Central y barrio el Diamante)
- Mejoramiento Vías Urbanas. Pavimentación de los tramos de las vías de los sectores de la salida al cementerio, salida al colegio, salida a Corcovado y sector central
- Organización del sistema de Transporte interurbano: Adecuación y señalización de Zonas de Parqueo (Sector Central)
- Fortalecimiento de los Ingresos de Capital del Municipio: Implementación del sistema de valorización para asumir los costos de pavimentación y mantenimiento de las vías urbanas.
- Determinar un derrotero a Largo Plazo en cuanto al Desarrollo y Evolución de la trama vial: Formulación Plan vial Municipal
- Construcción de nuevas vías: Construcción carrera 13 para unir calles 10 y 9, ampliación de la calle 10 y dotación y mejoramiento de aceras para la continuidad de la circulación peatonal.

- **Redes de Servicios Públicos.**

A continuación se relacionan las estrategias:

- Garantizar Agua Potable para toda la población urbana, realizando la conexión del sistema de acueducto del 100% de la población y construir la planta de tratamiento de agua potable.
- Fortalecer la administración municipal en cuanto al manejo de los servicios públicos, conformando la oficina de servicios públicos según la Ley 142 de 1994.
- Ampliar las redes de alcantarillado, logrando una cobertura urbana del servicio de en un 100% e implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Mejoramiento de las condiciones ambientales con respecto a la disposición final de las basuras e implementar un programa de reciclaje de basuras.
- Lograr el 100% de cobertura en el servicio de energía.

- **Equipamientos Colectivos.**

- Mejoramiento de la prestación del servicio en Salud, reubicando y construyendo la planta física para la ESE e implementar los programas extramurales de salud.
- Remodelación Casa de la Cultura y construcción de una estación de suministro de gasolina.

- **Espacios Públicos.**

- Incrementar el índice de los Espacios Públicos, recreativos y deportivos en las zonas de mayor déficit.
- Considerar las áreas de riesgo no habitable o no Urbanizable como susceptibles de incorporar a la red de espacios públicos o verdes del municipio, mediante la construcción del sendero ecológico sobre la quebrada San Pedro y el Río Herradura, y la construcción del teatro al aire libre en el sector el Diamante.

- **Conjuntos Urbanos, históricos y culturales.**

- Protección de edificaciones que representen patrimonio histórico.

- **Estrategias de mediano Plazo para programas de vivienda de Interés Social.**

La estrategia es la Consolidación de los sectores urbanos mediante:

- Programas de Mejoramiento y Entorno: Lograr un mejoramiento integral en el ámbito físico y de las condiciones sanitarias de cada una de las viviendas en situación precaria.
- Programas de Vivienda Nueva: En el sector central hacia la salida a corcovado hay posibilidades de desarrollar programas de vivienda nueva.
- Mitigación del riesgo en zonas ya urbanizadas: Estas acciones irán encaminadas principalmente hacia el sector de la salida al cementerio, sector central y barrio el porvenir que limitan con la quebrada San Pedro, así mismo las zonas del barrio el Porvenir y la salida al colegio que limitan con el río Herradura.

9.2.4 Ronda hidráulica

Como se plantea en el diagnóstico del POT, la zona urbana del Municipio presenta principalmente zonas de riesgo por inundación debido a su localización con respecto al Río Herradura y la quebrada San Pedro, sin embargo no es necesario reubicar viviendas sino implementar acciones para mitigar las condiciones de riesgo, las cuales deberán estar enmarcadas dentro de las siguientes estrategias:

- Ejercer mecanismos de control con respecto a las áreas de retiro al Río Herradura y a la quebrada San Pedro.

- Prohibir el asentamiento de nuevas viviendas en la ribera del río Herradura y de la Quebrada San Pedro, congelar el desarrollo urbanístico para evitar nuevas construcciones de viviendas o ampliación de las ya existentes, y llevar un control periódico de dichas zonas, sobretodo en la ocurrencia de un fenómeno que exponga la población o estructura.

Con el fin de cumplir con este objetivo, se deberán dejar retiros mínimos de 15 m a lado y lado del cauce de estas fuentes hídricas.

A pesar del emplazamiento de la zona urbana con respecto a dos fuentes hídricas (Quebrada San Pedro y el río Herradura), esta no presenta zonas críticas de localización de viviendas con respecto al río y la quebrada, por lo tanto los programas de reubicación pasan a un segundo plano, al igual que los programas de vivienda nueva ya que la demanda con respecto a esta es mínima, tal y como se plantea en el diagnóstico.

9.2.5 Zonificación de áreas expuestas a amenazas y riesgos

La zonificación de áreas expuestas a amenazas y riesgos, se dará con el objeto de establecer tratamientos y de implementar controles o acciones para el desarrollo de las diferentes actividades urbanas. Estas tendrán un manejo especial por parte de las autoridades de planeación y serán objeto de intervenciones a corto plazo.

Este aspecto se considera prioritario para la zona urbana del municipio por su localización y características con respecto a la quebrada y al río que lo atraviesan, por medio de este plan se harán análisis detallados de cada uno de los sectores en zonas de alto riesgo identificadas en el diagnóstico con el fin de determinar acciones específicas para cada caso.

Las estrategias contempladas, en general buscan ejercer mecanismos de control con respecto a las áreas de retiro al Río Herradura y a la quebrada San Pedro. Para lo cual se llevara a cabo los siguientes proyectos:

- Prohibir el asentamiento de nuevas viviendas en la ribera del río Herradura y de la Quebrada San Pedro
- Incorporar las zonas de riesgo no recuperables a la red de espacios públicos o verdes del municipio

Estas zonas de riesgo no recuperables susceptibles a inundaciones o a deslizamientos, no deben tener ningún tipo de uso diferente a conservación o reforestación, por lo tanto no se autoriza la construcción de desarrollos urbanísticos. Hay sectores de la zona urbana que se encuentran muy consolidados y que son difíciles de reubicar como es el caso del barrio el Diamante que se encuentran en la ribera del río, en estos casos se implementarán acciones de manejo y recuperación de las zonas de riesgo, incorporando el concepto de preservación.

- Mitigar la amenaza en las zonas de riesgo recuperables.

Otras acciones fundamentales para evitar posibles desastres y puede ser desarrollado por el Comité Local de Emergencias, con programas además de concientización de la comunidad frente al cuidado de las cuencas y el manejo de las basuras, son:

- Implementar acciones preventivas con respecto a las fuentes hídricas que delimitan la cabecera urbana, realizando el monitoreo de los cauces del río y la quebrada principalmente en épocas de invierno.
- Descontaminar las aguas de la quebrada San Pedro y el río Herradura mediante la construcción de colectores de aguas residuales.

Sobre la quebrada se encuentra un punto de descarga del alcantarillado, el cual es susceptible de recoger mediante un colector que vaya paralelo al cauce de la quebrada y lleve las aguas negras hasta el río inicialmente.

Este proyecto es importante para complementar el proyecto de recuperación de la ribera de la quebrada como espacio público y puede ejecutarse a corto plazo.

9.3 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”.

9.1 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 adelantarse para la adecuada incorporación de la prevención y reducción del riesgo, en primer lugar se debe identificar en el ciclo del POT, la etapa en la cual se encuentra el municipio.

En el POT del municipio se hace 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, torrencialidad y fenómenos de remoción en masa en la zona urbana del municipio de Abriaquí es lo que se ha llevado a cabo en desarrollo del presente estudio.

Teniendo en cuenta que la etapa de diagnóstico ha sido consolidada considerando la posible 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. 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.

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 la 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.

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.

9.4 MAPAS PROPUESTOS EN EL PRESENTE ESTUDIO

En este informe se presentan los siguientes mapas:

- Amenaza por inundación
- Amenaza por torrencialidad
- Amenaza por fenómenos de remoción en masa e inestabilidad de márgenes
- Riesgo por inundación
- Riesgo físico por torrencialidad
- Riesgo por fenómenos de remoción en masa
- Mitigabilidad del riesgo

Se espera que estos mapas sean incorporados al POT del municipio con el fin de reemplazar los existentes. Adicionalmente resulta necesario que se definan las zonas de ronda del Rio La Herradura y Quebrada San Pedro que muestran un comportamiento torrencial y de inundacion con el fin de que se establezcan las correspondientes zonas de retiro y protección y se restrinja al uso de dichas áreas para la construcción de viviendas (Mitigabilidad del riesgo).

CONTENIDO

10	DISEÑO DE OBRAS DE MITIGACIÓN Y CONTROL.....	10-1
10.1	INTRODUCCIÓN.....	10-1
10.2	ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES	10-1
10.2.1	Consideraciones técnicas	10-1
10.2.2	Consideraciones ambientales.....	10-2
10.2.3	Consideraciones Urbanísticas	10-2
10.3	DISEÑO DE OBRAS.....	10-2
10.3.1	Obras para el control de inestabilidad de márgenes	10-3
10.3.2	Medidas complementarias para garantizar la estabilidad de laderas	10-4
10.3.3	Medidas recomendadas para el control de avenidas torrenciales	10-5
10.4	CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO	10-5

LISTA DE TABLAS

Tabla 10-1.	Cantidades de obra y presupuesto	10-5
-------------	--	------

10 DISEÑO DE OBRAS DE MITIGACIÓN Y CONTROL

10.1 INTRODUCCIÓN

A partir del planteamiento general de obras presentado en el capítulo 8, 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 en cercanías a las laderas y los sectores afectados por socavación e 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 Herradura y Quebrada San Pedro 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 reubicación de viviendas indicadas y se haga efectiva la restricción al uso del suelo en los sectores donde la afectación es mayor.

10.2 ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES

10.2.1 Consideraciones técnicas

En el municipio de Abriaquí se observan puntos con inestabilidad de márgenes, especialmente en los meandros de la quebrada y del río, los cuales han ocasionado pérdida de material y actualmente ponen en riesgo las edificaciones contiguas. Para mitigar los efectos de los ascensos de niveles de agua y procesos de socavación lateral e inestabilidad de márgenes del Río Herradura y la Quebrada San Pedro se han construido en varios sectores obras como muros en gaviones y muros en concreto reforzado, algunos de los cuales presentan socavación en los cimientos o exposición directa y requieren de una adecuada protección.

Otro factor que puede poner en riesgo las viviendas es los fenómenos de remoción en masa, los cuales son flujos de tierras y deslizamientos de material residual proveniente de la meteorización de las areniscas y limolitas del miembro Urrao. La pendiente de las laderas y la disposición del material residual sobre ellas, unido a posibles eventos de agua y sismo críticos crean escenarios de inestabilidad de las laderas aledañas al casco urbano. Debido a la magnitud de estos eventos que involucran grandes masas de material es inútil la implementación de medidas de mitigación y resulta favorable la reubicación de familias, minimizando el riesgo.

Los eventos relacionados con inundaciones no afectarían directamente a la comunidad, ya que no existen viviendas en esta zona, con excepción de algunos viveros o establos. Sin embargo, se requiere de la delimitación de zonas de ronda, lo cual si incluye el cambio de uso de algunas viviendas.

En lo que se refiere a las avenidas torrenciales, dada la magnitud de los fenómenos ocurridos en el pasado y los altos niveles de daños que se pueden generar, no resulta para el caso del Río Herradura y la Quebrada San Pedro muy útil la implementación de obras de mitigación; resulta más aplicable el establecimiento de zonas de aislamiento y protección en los que se establezcan restricciones al uso del suelo para vivienda, y que se lleve a cabo la recuperación de la cobertura vegetal en las laderas, tanto en las márgenes contiguas al sector urbano como en las partes altas de la cuenca, además de hacer un seguimiento permanente a la aparición de posibles obstrucciones a lo largo del cauce.

10.2.2 Consideraciones ambientales

El deterioro ambiental del Río Herradura y la Quebrada San Pedro en su paso por la zona urbana se observa en algunos sectores por el retiro de la vegetación de ronda que ocasiona inestabilidad de márgenes, además de la contaminación por vertimientos de aguas servidas en algunos puntos. También se observa que en las laderas aledañas al municipio se presenta falta de cobertura vegetal, lo cual las expone a la generación de procesos erosivos y saturación de los materiales, con la posterior ocurrencia de deslizamientos que pueden afectar las viviendas circundantes. Por lo tanto se recomienda delimitar adecuadamente la zona de ronda del río y las quebradas que pasan por el casco urbano, y en dichas zonas restaurar la cobertura vegetal para favorecer su estabilidad, considerando además que los bosques se constituyen en una barrera natural para los procesos urbanísticos irregulares; esta recomendación también aplica para las laderas con posible inestabilidad.

10.2.3 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 se ha mantenido con las mismas características a través del tiempo, lo cual ha facilitado la organización y prestación de los servicios públicos. La red de movilidad tiene una adecuada disposición y no se presentan conflictos de movilidad.

10.3 DISEÑO DE OBRAS

En esta sección se presentan los resultados de los diseños detallados de las obras planteadas en el Capítulo 8 y que deben ser implementadas en las laderas circundantes al municipio y en el área correspondiente a las márgenes del Río Herradura y Quebrada San Pedro 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 al avance de la

inestabilidad de las márgenes del río, ante la ocurrencia de procesos de erosión lateral y fenómenos de remoción en masa. Los planos de localización y diseño de obras se presentan en el Anexo de este informe.

10.3.1 Obras para el control de inestabilidad de márgenes

Inestabilidad incipiente o en comienzos

- *Realce en trinchos de madera:* Construcción de trinchos en madera paralelos a la margen derecha de la quebrada San Pedro o al trazada de la vía variante, en los sectores D y E. Se ha previsto la construcción de algunos metros lineales de trinchos de madera de 1 m de ancho y 1 m de altura libre y un metro de empotramiento como mínimo. 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 las márgenes de la quebrada. 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 en su parte interna 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:

- *Enrocado de protección para muros de contención y estribo de puentes:* Para la protección de los muros en concreto reforzado y gaviones existentes en las márgenes del Río Herradura y la Quebrada San Pedro se plantea la construcción de estas obras. Los muros referidos actualmente muestran inicios de socavación en la cimentación por lo que se propone la colocación de un enrocado con fragmentos de diámetro promedio 0.35m y terminado en forma de cilindro, el cual se ve confinado lateralmente por una serie de pilotes empotrados. En las aletas de acceso al puente vehicular se han producido procesos de socavación lateral que han afectado al estribo del puente, por lo cual se requiere de la construcción del enrocado de protección.
- *Protección con enrocado:* Se plantea una protección con enrocado de diámetro promedio 0.35 m en la margen derecha del río Herradura y en la Quebrada San Pedro en los sectores en que se va a implementar gaviones de reconfiguración del terreno. Estos enrocados presentan una conformación similar a los usados para protección de las obras existentes.
- *Perfilado y relleno, muro en gaviones:* En la margen derecha del Río Herradura y en ambas márgenes de la quebrada San Pedro, especialmente en los meandros más pronunciados, se requiere de la recuperación del terreno usando muros de gaviones, los cuales requieren de un perfilado y corte previos y con la posterior colocación de relleno de material de sitio, de manera que permita realizar un revegetalización superior. El perfilado propuesto se realizara con una pendiente 1H:2V; el material obtenido en el corte se debe disponer como relleno detrás de los muros en gaviones, con lo cual se le da a esta terraza una pendiente más suave que la hace más estable.

Para evitar la ocurrencia de procesos de erosión laminar o concentrada que afecten la superficie reconformada, se proyecta la revegetalización con semillas.

- *Muro de concreto reforzado:* en el sector inferior al cementerio se requiere de la recuperación de la vía y del talud, para lo cual se propone la construcción de un muro de concreto reforzado de 2.3 metros de altura con bordillo de 0.3 metros y 30 metros de longitud aproximadamente. El muro estará apoyado sobre caisson de 4 metros de longitud, el cual garantizará la estabilidad general de la obra al cortar las posibles superficies de falla bajo la vía y en el talud inferior.
- *Cortacorrientes con fajinas de ramas:* Para disminuir la erosión superficial en los taludes reconformados y disipar la energía de la escorrentía superficial, se propone la construcción de cortacorrientes ubicados cada 1.0 a 1.5 metros a lo largo del talud, usando estacas de madera y ramas trenzadas de largo variable.

10.3.2 Medidas complementarias para garantizar la estabilidad de laderas

- *Remoción y reconformación del terreno:* Para favorecer la estabilidad de las laderas que presentan signos de inestabilidad, se requiere de la reconformación del talud con remoción o colocación de material en forma técnica, buscando el retiro de los suelos deslizados o el relleno del talud, logrando una pendiente homogénea y una superficie con condiciones estables.
- *Zanjas de coronación, cunetas y descoles:* Para garantizar la estabilidad de los taludes y en especial el sector del cementerio, es necesario disminuir a su mínima expresión la cantidad de agua de escorrentía y de infiltración en el talud, la cual genera procesos de remoción en masa. Esta disminución de agua se logra con la recolección y transporte de las aguas lluvias desde la parte superior del talud, usando zanjas de coronación en el talud superior de la vía, construyendo cunetas de recolección y traslados de las aguas a nivel de la vía; las aguas finalmente se trasladarán hasta las alcantarillas existentes.

Las dimensiones y ubicación de estas obras propuestas se presentan en las fichas de manejo y en los planos de diseño. En estas también se presentan los detalles de construcción básicos.

- *Revegetalización y zonas de protección:* los procesos de remoción en masa se han visto iniciados por la exposición de las laderas a los agentes ambientales, hecho que se ha generado por el retiro de la vegetación nativa y el estableciendo de zonas para usos agrícolas y ganaderos (Pastos naturales y/o cultivos). Estas zonas se convierten en puntos potenciales de inestabilidad y requieren de un tratamiento de revegetalización que permita la conformación inicial de la ladera. En forma adicional, algunos sectores donde se observa el uso indiscriminado del suelo y el comienzo de fenómenos de remoción en masa, se requiere de su delimitación restrictiva y su revegetalización prioritaria.

En el plano de localización de obras en planta se presenta la distribución de las obras propuestas en este estudio y en los planos 22 y 23 se presentan los respectivos detalles.

Para cada sector se establecieron las cantidades de obra y los costos directos respectivos.

10.3.3 Medidas recomendadas para el control de avenidas torrenciales

Teniendo en cuenta que las obras planteadas anteriormente se ubican dentro de la zona urbana, existen otras medidas recomendables para el tratamiento de los cauces y las cuencas de las quebradas torrenciales que pasan por el casco urbano del municipio.

Respecto al tratamiento de las laderas de las cuencas de estas quebradas se plantea su revegetalización, mientras que en los cauces se propone que se haga un seguimiento permanente para verificar la existencia de obstrucciones que puedan generar eventos como los ocurridos en el pasado y que han tenido graves efectos en la zona urbana. Otra medida para la protección de las partes altas de los cauces de estas quebradas corresponde a la construcción de obras transversales, las que deben obedecer a un diseño específico que se encuentra por fuera del alcance del presente estudio.

10.4 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

En la Tabla 10-1 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.

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

Tabla 10-1. Cantidades de obra y presupuesto

ÍTEM	ACTIVIDAD	UN	CANT	Vr. UNITARIO	VR. TOTAL
1	PRELIMINARES				
1,1	DESMONTE Y LIMPIEZA EN ZONA NO BOScosa (INCLUYE HERRAMIENTA MENOR, MANO DE OBRA Y MANEJO DE DESPERDICIOS)	M2	2,765.5	\$ 3,377	\$ 9,338,104
1,2	DESCAPOTE A MANO (INCLUYE MANO DE OBRA Y MANEJO DE DESPERDICIOS e=0,20 m)	M2	107.1	\$ 13,133	\$ 1,406,580
1,3	REMOCIÓN Y CONFORMACIÓN DEL TERRENO	M2	2,765.5	\$ 10,533	\$ 29,129,962
1,4	DESMONTE DE ESTRUCTURA TIPO GAVIÓN	M3	60.0	\$ 68,000	\$ 4,080,000
					\$ 39,874,646
2	RELLENOS				
2,1	EXCAVACIÓN VARIAS EN MATERIAL COMÚN - A MÁQUINA	M3	2,655.8	\$ 12,400	\$ 32,932,416
2,2	RELLENO PARA ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN CON MATERIAL DEL SITIO	M3	5,410.4	\$ 37,100	\$ 200,726,582
SUB TOTAL					\$ 233,658,998
3	OBRAS HIDRÁULICAS				

3,1	CONSTRUCCIÓN DE ZANJAS DE CORONACIÓN	ML	81.0	\$ 55,875	\$ 4,525,895
3,2	CONSTRUCCIÓN DE CUNETAS VIALES	ML	464.5	\$ 121,463	\$ 56,419,564
3,3	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TANQUES DE 5000 LITROS	UN	7.0	\$ 2,446,749	\$ 17,127,243
3,4	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MANGUERA RURAL DE 4"	ML	615.0	\$ 16,831	\$ 10,350,881
SUB TOTAL					\$ 88,423,582
4	OBRAS DE PROTECCIÓN POR FRM				
4,1	GAVIONES	M3	1,985.0	\$ 107,150	\$ 212,692,750
4,2	REALCE EN TRINCHOS DE MADERA	ML	48.7	\$ 85,200	\$ 4,149,240
4,3	ENROCADO D _{prom} = 0.20 m	M3	350.0	\$ 27,600	\$ 9,660,000
4,4	CILINDRO EN ENROCADO D=0.60m	M3	107.5	\$ 103,250	\$ 11,099,375
4,5	PILOTES HINCADOS EN MADERA INMUNIZADA L=3,0 m	UN	200.0	\$ 16,333	\$ 3,266,667
4,6	MURO EN CONCRETO REFORZADO 3000 PSI	ML	30.0	\$ 2,421,500	\$ 72,645,000
SUB TOTAL					\$ 313,513,032
5	OBRAS DE TRATAMIENTO DE COBERTURA				
5,1	REVEGETALIZACIÓN	M2	107.1	\$ 7,280	\$ 779,688
5,2	TRATAMIENTO DE COBERTURA CON FAJINAS	M2	2,765.5	\$ 3,350	\$ 9,264,425
5,3	ARBORIZACIÓN CON ESPECIES NATIVAS	UN	922.0	\$ 15,650	\$ 14,429,300
SUB TOTAL					\$ 10,044,113
6	OBRAS COMPLEMENTARIAS				
6,1	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE BOX COULVERT	GL	1.0	\$ 320,050	\$ 320,050
SUB TOTAL					\$ 320,050
VALOR COSTO DIRECTO					\$ 685,834,421
A. ADMINISTRACIÓN				24.00%	\$ 164,600,261
I. IMPREVISTOS				3.00%	\$ 20,575,033
U. UTILIDAD				5.00%	\$ 34,291,721
IVA				16.00%	\$ 5,486,675
VALOR COSTO INDIRECTO					\$ 224,953,690
VALOR COSTO TOTAL					\$ 910,788,111

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El municipio de Abriaquí se encuentra ubicado sobre un abanico de origen aluviotorrencial producto de un evento de la Quebrada San Pedro, el cual genera una geoforma plana ubicada entre laderas de alta pendiente e incisada por la misma quebrada San Pedro y el Río Herradura. La conformación del municipio sumada a la condición fisiográfica de su zona urbana con viviendas colindantes a laderas de altas pendientes, configuran las condiciones de riesgo a que está expuesta la comunidad, especialmente por avenidas torrenciales, fenómenos de remoción en masa, inestabilidad de las márgenes e inundaciones.
- El Río Herradura y Quebrada San Pedro presentan un patrón tipo meándrico y valle en V, con puntos de curvas pronunciados donde se presentan inestabilidad de márgenes, afectando depósitos aluviales no consolidados. Los fenómenos de socavación lateral además se ven favorecidos por la generación de un estrechamiento del cauce en el paso del Río Herradura por la zona urbana, con lo cual se aumentan localmente las velocidades de flujo y por tanto la capacidad de arrastre de la corriente. Las amenazas por inundación estarían dadas por la ocurrencia de crecientes en el río Herradura y Quebrada San Pedro y afecta las llanuras aluviales.
- Cuando una cuenca ha tenido avenidas torrenciales, se establece que las probabilidades de que ellas ocurran en el futuro son altas, y solamente depende de su intervalo de recurrencia en el tiempo. Los fenómenos que se presentaron hace centenares de miles o decenas de miles de años no tienen posibilidad de repetirse en los sitios donde ocurrieron porque su nivel se encuentra muy por encima de lo posible de alcanzar por una avenida torrencial que se presente en la actualidad, luego su amenaza no se debe considerar. Los fenómenos que se presentaron en los últimos miles de años, representan una *Amenaza baja*, mientras que en los sitios donde se presentaron hace de centenares de años se deben agrupar como de *Amenaza Intermedia* donde se presentaron hace decenas, deben corresponder a *Amenaza Alta*.
- De la génesis de los depósitos se puede concluir que la quebrada y el Río circundante al sector urbano son torrenciales y que sus avenidas se han producido por bloqueos de cauces y no por eventos individuales de lluvias fuertes, lo que los hace predecibles en la medida que sus cuencas tengan una vigilancia periódica adecuada, pues los movimientos en masa son fácilmente visibles y tardan horas o días en bajar como flujos.
- Los resultados de modelación hidráulica de la quebrada San Pedro y el Río La Herradura indican que no se presentan desbordamientos por fuera de la terraza de inundación definida en cada uno de los cauces y que no hay viviendas que pueden ser afectadas por las aguas.
- Respecto a la precisión de los resultados obtenidos en la modelación hidráulica, ésta 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 100 años, que permite inferir que los resultados obtenidos son coherentes con la realidad.

- Los procesos de inestabilidad de márgenes identificados se caracterizan por ser aislados, de magnitud variable y su ocurrencia se debe a factores como la falta de cobertura vegetal que han sufrido los márgenes, la alta pendiente y composición de los depósitos involucrados. El detonante de los procesos de inestabilidad de los márgenes corresponde a la erosión lateral del cauce sobre los márgenes que actúa en la base de los taludes en las partes exteriores de las curvas del cauce y los fenómenos de socavación lateral además se ven favorecidos por la generación de un estrechamiento del cauce antes del paso del Río y la Quebrada por la zona urbana, con lo cual se aumentan localmente las velocidades de flujo y por tanto la capacidad de arrastre de la corriente.
- Los fenómenos de remoción en masa que se presentan en las laderas aledañas al municipio, son eventos que involucran grandes cantidades de masa desplazada y son detonados por factores como el agua y el sismo. Frente a estos eventos es casi imposible actuar sobre la amenaza y resulta más efectivo actuar sobre los elementos expuestos a ellos. Algunas acciones antrópicas como el mal uso del suelo, la disposición de aguas directamente sobre el talud y la urbanización, empeoran las condiciones de inestabilidad del talud, razón por la cual se recomienda la restricción de uso y ocupación como la medida a corto plazo más importante a realizar.
- Dentro de la caracterización de las viviendas y la población se encontró que las edificaciones en su mayoría son de uso residencial, donde cada unidad es habitada por una familia, y el número de personas promedio es 3.3 por hogar. Las características físicas predominantes de las construcciones son el sistema de muros cargueros en mampostería de bloque o adobe; pisos en concreto, gravilla o baldosa; estructura de techo en madera o metálica con cubierta en teja de asbesto cemento o teja de barro; y por lo general están en buen estado.
- Este municipio tiene dos vías de importancia las cuales se encuentran en un estado aceptable, la primera hacia el Municipio de Frontino (Actualmente se encuentra en mantenimiento) y la segunda hacia el Municipio de Cañasgordas. Estas vías se ven bastante afectadas en época invernal por la estructura en afirmado que es vulnerable a la escorrentía y por posibles Fenómenos de Remoción en Masa y/o encharcamientos donde cualquier suceso o accidente detendría de manera parcial la movilidad.
- Realizado el análisis de estabilidad de laderas, de vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa se establece que las manzanas ubicadas al pie de las laderas del nororiente se encuentran en alto Riesgo, de igual manera las viviendas emplazadas cerca de los márgenes del Río la Herradura o Quebrada San Pedro.
- Para las manzanas ubicadas en el área de estudio de este municipio se obtuvo una distribución de la vulnerabilidad social predominantemente “Media” sin desconocer el porcentaje considerable de predios en vulnerabilidad Alta. Las medidas de mitigación y control buscan minimizar esta vulnerabilidad.

- El municipio No dispone de un Plan de Emergencias, ni un Comité Local de Prevención y Atención de Desastres, solo algunas autoridades de la Casa de la Cultura están propiciando espacios para la conformación de este. Las autoridades competentes no cuentan con los recursos ni los equipos necesarios para responder rápida y eficazmente el evento, lo que aumenta la vulnerabilidad y disminuye la capacidad de reacción ante el evento amenazante. El primer paso para mejorar esta situación es conocer los eventos pasados, donde se realice un registro de eventos ocurridos, el cual aun no se contempla.
- En el municipio de Abriaquí no existe riesgo por eventos torrenciales, puesto que aunque se puede llegar a presentar un evento por la configuración misma de los cauces, estos no tendrían ningún efecto sobre el área urbana del municipio.
- En el municipio se encuentran en riesgo bajo por torrencialidad la manzana A401, y en menor porcentaje de afectación (casi nulo) las manzanas A301, A202, A201 y A101 localizadas en los barrios Centro, Nueva Visión Corcovado y Unidad Deportiva, las cuales se encuentran ubicadas parcialmente en la zona de ronda del Río la Herradura. En las manzanas anteriormente descritas se deberá considerar la reubicación de los predios que se encuentren más cercanos a el Río Herradura y la Quebrada San Pedro, y se deberá congelar el desarrollo urbanístico (Patios) de algunas viviendas, según lo considere el municipio.
- Frente a los fenómenos de remoción en masa e inestabilidad de márgenes, algunas manzanas aledañas a las laderas y cauce de la quebrada San Pedro se encuentran en riesgo alto (manzanas 103 y 210, urbanización nueva visión), mientras que el coliseo, la manzana 208 b y un pequeño porcentaje de las construcción de la manzana 208 a, se encuentra en riesgo medio; el resto del municipio se encuentran en riesgo bajo. Esta situación se sustenta por la baja resiliencia al riesgo de las familias habitantes de esta zona y porque no es posible actuar sobre la amenaza, considerando que el evento detonante de los procesos es el sismo.
- Dentro de las medidas de mitigación no estructurales consideradas se encuentran la regulación del uso del suelo, el congelamiento de la construcción de nuevas edificaciones y la reubicación de las familias ubicadas en zonas de alta amenaza y/o en áreas de restricción geomorfológica o ambiental. Otras medidas de este tipo corresponden a la adecuación paisajística del área, la realización de campañas de información pública y la delimitación de la ronda y zona de protección y manejo ambiental de las cañadas, quebradas y ríos.
- Dentro de las medidas de mitigación estructurales se encuentra el diseño y construcción de obras de protección y control contra los procesos de socavación lateral que ocasionan deslizamientos y afectaciones a las obras de protección existentes, buscando principalmente la reconfiguración de las márgenes usando muros de gavión o muros en concreto. También se requiere de un tratamiento de taludes con trinchos o cortacorrientes de fajinas que permitan la revegetalización y favorezca la estabilidad de las laderas.

12 BIBLIOGRAFÍA

AEROESTUDIOS, 2005. Fotografías aéreas 180-185. Escala 1: 5000. Rollo 220.

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.

CATASTRO ABRIAQUÍ, 2005. Plano catastral municipio de Abriaquí.

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, 1993. Mapa zona urbana municipio de Abriaquí sectores, secciones, manzanas y vías.

DANE, 2005. Estadísticas urbanas municipio de Abriaquí.

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.

IDEAM. Valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas, valores máximos mensuales de precipitación, Estación 1111002: ABRIAQUI. Bogotá. Colombia.

- IGAC, 2004. Fotografías aéreas 106, 107. Escala 1:11500. Vuelo C-2774.
- IGAC, 1983. Fotografías aéreas 36, 37. Escala 1: 28900. Vuelo C – 2091.
- IGAC, 1988. Plancha topográfica 129-II-D Escala 1:25000.
- IGAC – INGEOMINAS. 2006. Estudio Integral del Andén Pacífico Colombiano, Tomo I Geología, 168 p.; Tomo II Geomorfología, 66 p. Bogotá.
- INGEOMINAS, 1995. Base de datos de desastres naturales de Colombia, 1920 - 1990. Mem. IV. Conferencia Colombiana de Geología Ambiental, Armenia.
- 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.
- PLANEACIÓN ABRIAQUÍ. Estudio de diseño de obras para la construcción de una canal de encauzamiento del Rio la Herradura – Informe hidrológico, climatológico, geológico.
- PLANEACIÓN ABRIAQUÍ. Fotografías aéreas Rio la herradura: Estudio de diseño de obras para la construcción de una canal de encauzamiento del Rio la Herradura.
- POT ABRIAQUÍ, 2000. Plan de ordenamiento territorial municipio de Abriaquí.

RENDON R. ALBEIRO, 1994. Identificación de zonas de riesgo por fenómenos naturales en la cabecera municipal de Abriaquí. 1 Texto, 3 Planos. DAPARD, Medellín, Colombia.

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 – SEDE MEDELLÍN, 2007. Análisis de la problemática de sedimentos del Rio La Herradura. Facultad de Minas, Medellín, Colombia.

VARNES, D.J. (1978). "Slopes Movement Types and Processes in: Landslides, Analysis and Control". TRB Special Report 176, Washington D.C., 1978.