UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE MECÁNICA DE FLUIDOS

IMPACTO Y PREVENCIÓN DE INUNDACIONES Y ALUDES TORRENCIALES EN EL VALLE DE CARACAS

Informe Final
(Volumen I)

Prof. José Luis López S.
Investigador Responsable
Junio 2006

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE MECÁNICA DE FLUIDOS

IMPACTO Y PREVENCIÓN DE INUNDACIONES Y ALUDES TORRENCIALES EN EL VALLE DE CARACAS

Informe Final
(Volumen II)

Prof. José Luis López S.
Investigador Responsable
Junio 2006

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE MECÁNICA DE FLUIDOS

IMPACTO Y PREVENCIÓN DE INUNDACIONES Y ALUDES TORRENCIALES EN EL VALLE DE CARACAS

Informe Final
(Volumen III)

Prof. José Luis López S.
Investigador Responsable
Junio 2006

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE MECÁNICA DE FLUIDOS

IMPACTO Y PREVENCIÓN DE INUNDACIONES Y ALUDES TORRENCIALES EN EL VALLE DE CARACAS

Informe Final
(Volumen IV: Anexos)

Prof. José Luis López S.
Investigador Responsable
Junio 2006

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....1
1.1 Problemática Existente.....1
1.2 Estudios Previos.....1
1.3 Objetivos.....2
1.4 Equipo de Trabajo.....3

2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....1
2.1 Definición del área de estudio.....1
2.2 Características generales del área.....2
2.2.1 Relieve y geología.....2
2.2.2 Clima e hidrología.....3
2.2.3 Hidrografía.....3
2.2.4 Usos del suelo.....8
2.3 Información disponible y estudios previos.....12
2.3.1 Información cartográfica.....12
2.3.2 Información hidrológica.....13
2.3.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica.....13
2.3.4 Estudios previos.....14

3. METODOLOGÍA.....1
3.1 Resumen de la metodología.....1
3.2 Avances metodológicos.....7

4. ANÁLISIS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS.....1
4.1 Introducción.....1
4.2 Recopilación y procesamiento de la información básica.....2
4.2.1 Información cartográfica.....2
4.2.2 Información pluviométrica.....2
4.2.3 Información hidrométrica.....5
4.3 Caracterización de la variación espacial y temporal de las tormentas extremas.....5
4.3.1 Análisis de profundidad-duración-frecuencia.....5
4.3.2 Análisis y definición de tormentas de diseño.....10
4.3.3 Variación espacial de la precipitación.....11
4.3.4 Procesamiento de la información hidrométrica.....12
4.4 Estimación de los hidrogramas de crecidas en la cuenca del Río Guaire.....16
4.4.1 Descripción de los modelos para la estimación de crecidas.....17
4.4.2 Aplicación a la estimación de las crecidas del Río Guaire.....19
4.5 Estimación de los hidrogramas de crecidas en las cuencas que nacen en la vertiente sur del Cerro Ávila.....26
4.5.1 Identificación de cuencas.....26
4.5.2 Estaciones de lluvia representativas de las cuencas……..……...28
4.5.3 Descripción de los modelos de estimación de crecidas……..29
4.5.4 Resultados obtenidos…….……..32

5. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS…...…….……...1
5.1 Introducción…….……...1
5.2 Metodología…….……...4
5.2.1 Aspectos particulares a las cuencas de montaña…….……...4
5.2.2. Metodología…….…….6
5.3 Recopilación y procesamiento de la información básica……..……..7
5.3.1 Cartografía…….……7
5.3.2 Información climática……...……...……..8
5.3.3 Información hidrométrica……...……..10
5.3.4 Información edafológica y granulométrica……...……..……11
5.4 Estimación de producción de sedimentos en suspensión en las cuencas pilotos…….…12
5.4.1 Formulación del modelo MUSLE…….……..12
5.4.2 Características de las subcuencas…….……13
5.4.3 Aplicación del modelo MUSLE …….....…….17
5.4.4 Resultados: producción de sedimentos en suspensión…….....18
5.5. Estimación de acarreo de sedimentos (erosión en canales) en las cuencas pilotos……..22
5.5.1 Formulación del modelo de acarreo de sedimentos…….…22
5.5.2 Características de las subcuencas consideradas……...…….…...24
5.5.3 Aplicación de los modelos Schoklistch y Meyer – Peter/ Müller…….……25
5.5.4 Resultados: producción de sedimentos por acarreo de fondo…….……26
5.6 Análisis de correlación de la producción de sedimento en suspensión y de fondo……..33
5.7 Modelo lluvia-escorrentía…….…...36
5.7.1 Formulación del modelo SCS…….37
5.7.2. Calibración del modelo lluvia-escorrentía de simulación continua……...41
5.8 Estimación de la producción ordinaria total de sedimentos en las cuencas de la vertiente sur……..…….……52
5.9 Conclusiones y Recomendaciones…….……..55
5.9.1 Conclusiones…….....……...55
5.9.2 Recomendaciones…….……...56

6. ESTUDIO DEL RIO GUAIRE……...…….……1
6.1 Características del canal…….……1
6.1.1 Características por tramo…….……..1
6.1.2 Etapas de construcción……..9
6.1.3 Capacidad de conducción…….……...10
6.2 Antecedentes de inundaciones…….……13
6.2.1 Resumen de antecedentes…….……...13
6.2.2 Crecida del Río Guaire del 8 de febrero de 2.005…….……..15
6.3 Simulación hidráulica de inundaciones por crecientes del Río Guaire…….……34
6.3.1 Metodología…….……...…….34
6.3.2 Simulaciones con modelo unidimensional……..…….35
6.3.3 Simulaciones con modelo bidimensional……..……...54
6.3.3a Tramo Las Adjuntas - Caricuao…….……56
6.3.3b Tramo Caricuao – Puente Mohedano…….…….....62
6.3.3c Tramo Puente Mohedano – Bello Monte…….....……....70
6.3.3d Tramo Bello Monte – Las Mercedes……..……...76
6.3.3e Tramo Las Mercedes – Chuao…….……..82

6.3.3f Tramo Chuao – Petare……...89
6.4 Mapas de amenaza……...96

7. ESTUDIO DE LA QUEBRADA CATUCHE……...……1
7.1 Características del área……..……..1
7.2 Red de drenaje pluvial……..……8
7.3 Simulación de inundaciones y aludes…….…….....42
7.4 Mapa de amenaza…….……....61
7.5 Agradecimientos…….……..64

8. ESTUDIO DE LA QUEBRADA ANAUCO…….....…….……1
8.1 Características del área…….……...1
8.1.1 Ubicación geográfica…….……1
8.1.2 Información disponible…….……1
8.1.3 Hidrografía…….……4
8.1.4 Usos del suelo…….……...6
8.2 Red de drenaje pluvial…….……8
8.2.1 Características de la red de drenaje…….……...8
8.2.2 Antecedentes de inundaciones y aludes…….……..58
8.2.3 Resumen de puntos críticos…….……62
8.3 Simulaciones…….……63
8.3.1 Condiciones de la simulación…….……63
8.3.2. Simulación para periodo de retorno de 10 años…….……66
8.3.4 Simulación para periodo de retorno de 500 años…….……77
8.4. Resultados…….……...79
8.5 Mapas de amenaza…….…….....83
8.6 Conclusión…….……...85

9. ESTUDIO DE LA QUEBRADA MARIPÉREZ……..……...1
9.1 Características del área …….……..1
9.2 Red de drenaje pluvial……..……...8
9.3. Simulación de inundaciones…….……16
9.4. Mapa de amenaza…….……34

10. ESTUDIO DE LA QUEBRADA CHACAITO …….....……..1
10.1 Características del área…….……1
10.2 Red de drenaje pluvial……..……7
10.3. Simulación de inundaciones y aludes…….……...24
10.4 Mapa de amenaza…….……...46

11 ESTUDIO DE QUEBRADA SECA…….……..…….....……1
11.1 Características del área…….……1
11.2 Red de drenaje pluvial……..……6
11.3 Simulación de inundaciones…….……...24
11.4 Mapa de amenaza…….……...45

12 ESTUDIO DE LA QUEBRADA SEBUCÁN……1
12.1 Características del área……1
12.2 Red de drenaje pluvial……...10
12.3 Simulación de inundaciones……...39
12.4 Mapa de amenaza……...56

13. ESTUDIO DE LA QUEBRADA AGUA DE MAÍZ……1
13.1 Características del área……1
13.2 Red de drenaje pluvial……6
13.3 Simulación de inundaciones……...39
13.4 Mapa de amenaza……...51

14. ESTUDIO DE LA QUEBRADA TÓCOME……1
14.1 Características del área……1
14.2 Red de drenaje pluvial……..4
14. 3 Simulación de inundaciones……..46
14.4 Mapas de amenaza……..61

15. ESTUDIO DE LA QUEBRADA CAURIMARE……1
15.1 Características del área……1
15.2 Red de drenaje pluvial……..8
15.3 Simulación de inundaciones……31
15.4 Mapa de amenaza……47

16. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS……1
16.1 Quebrada Honda……1
16.1.1 Ubicación geográfica……1
16.1.2 Información disponible……1
16.1.3 Hidrografía……2
16.1.4 Usos del suelo……3
16.1.5 Red de drenaje pluvial……..3
16.1.6 Antecedentes de inundaciones y aludes……6
16.1.7 Resumen de puntos críticos……6
16.2 Quebrada Canoas……..8
16.2.1 Ubicación geográfica……...8
16.2.2 Información disponible……8
16.2.3 Hidrografía……10
16.2.4 Usos del suelo……11
16.2.5 Red de drenaje pluvial……..11
16.3 Quebrada La Florida……...19
16.3.1 Ubicación geográfica……19
16.3.2 Información disponible……..19
16.3.3 Hidrografía……20
16.3.4 Usos del suelo……21
16.3.5 Red de drenaje pluvial……...22
16.3.6 Antecedentes de inundaciones y aludes……35
16.3.7 Resumen de puntos críticos……36

16.4. Quebrada Caroata……...38
16.4.1 Ubicación geográfica…….38
16.4.2 Información disponible……..38
16.4.3 Hidrografía…….39
16.4.4 Usos del suelo……40
16.4.5 Red de drenaje pluvial……...41
16.4.6 Antecedentes de inundaciones……...49
16.4.7. Resumen de puntos críticos……..56

17. ORIENTACIONES Y RECOMENDACIONES PARA MEDIDAS DE PREVENCIÓN…1
17.1 Los flujos torrenciales y sus medidas de mitigación……1
17.2 Las medidas estructurales…….2
17.3 Las medidas no-estructurales……4
17.4 Las experiencias de Vargas……...5
17.5 Análisis de propuestas existentes en el área de estudio……9
17.5.1 Propuesta de JICA……9
17.5.2 Propuesta de Martínez Consultores para las quebradas Catuche y Anauco……..11
17.5.3 Propuesta del IMF para la Quebrada El Algodonal……..……17
17.6 Orientaciones para un programa de medidas estructurales en el Valle de Caracas…...22
17.6.1 En relación a las presas de retención de sedimentos…….…22
17.6.2. En relación a las canalizaciones de las aguas pluviales (drenajes primarios).....24
17.7 Orientaciones para un programa de medidas no-estructurales en el Valle de Caracas...26
17.7.1 Medidas de reglamentación……...26
17.7.2 Sistemas de alerta temprana……...30
17.7.3 Concientización de la población y fortalecimiento institucional……...36

18. RECOMENDACIONES PARA PLANES DE CONTINGENCIA…….……..1
18.1 Conceptos generales……..1

19. CONCLUSIONES Y PRODUCTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....1
19.1 Conclusiones.....1
19.2 Productos de la Investigación.....4

20. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO I: Análisis de eventos hidrológicos extremos

ANEXO II: Estimación de la producción de sedimentos

ANEXO III: - Ponencia del Ing. Pérez Lecuna
- Comunicación del Ing. José Ferrer

ANEXO IV: Publicaciones del proyecto

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática Existente

El crecimiento vertiginoso de la ciudad de Caracas ha originado la ocupación indiscriminada de los abanicos aluviales, también llamados conos de deyección, de las quebradas que drenan el flanco sur del Parque Nacional El Ávila. Muchas urbanizaciones del norte de la ciudad están asentadas sobre ellos. La experiencia de los aludes torrenciales que ocurrieron en Diciembre de 1999 en el Estado Vargas, nos ha enseñado lo terriblemente desastroso que puede ser la ocurrencia de flujos torrenciales acompañados de inundaciones de barros, rocas y escombros en zonas altamente urbanizadas.

La similitud geomorfológica (vegetación, suelos, pendientes, y unidades geológicas) entre la vertiente norte del Macizo Ávila, que drena hacia el Estado Vargas, y la vertiente sur, sugiere la posibilidad de que puedan generarse aludes torrenciales de gran escala en las cuencas que drenan hacia el Valle de Caracas. De hecho, la presencia de grandes peñones en numerosos sitios del este de Caracas (Ejemplo, Urb. El Pedregal) corroboran la ocurrencia de eventos torrenciales extraordinarios en el pasado. Evidencias geológicas y arqueológicas demuestran también que estos fenómenos interfirieron con la ocupación humana pre-colonial del valle de Caracas entre los años 1100 y 1500 de nuestra era (Singer, 1977).

Por otra parte el Río Guaire, el cual constituye el drenaje natural del Valle de Caracas, ha producido inundaciones frecuentes en el este de la ciudad, a pesar de estar canalizado. El proyecto de canalización del Río Guaire fue realizado durante la década de los años 50, bajo unas condiciones de cobertura vegetal en la cuenca muy diferentes a las existentes actualmente. El proceso acelerado de ocupación urbana en el valle y de construcciones marginales en los cerros aledaños, así como las obstrucciones de los cauces de las quebradas por edificaciones con la consecuente reducción de las planicies inundables, han cambiado sustancialmente el grado de impermeabilización y los coeficientes de escorrentía de un sector importante de la cuenca. Igualmente, las aguas negras que descargan directamente al canal del Guaire aportan una caudal adicional al caudal de diseño de la canalización. El patrón de escurrimiento se complica aún mas por que la mayoría de las quebradas que escurren en dirección norte-sur, cuyas canalizaciones fueron diseñadas como canales abiertos hace 50 años, han sido embauladas y se han construido viviendas unifamiliares y multifamiliares sobre sus cauces.

1.2 Estudios Previos

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos naturales (MARN), a través del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB), ejecutó el año 2002 el Proyecto Ávila, donde se elaboraron mapas de amenaza (en escala 1:25.000) por inundaciones torrenciales con fines de ordenamiento del territorio. Dicho proyecto cubrió la región de Caracas y del Estado Vargas, con énfasis en las cuencas que fueron afectadas por los aludes torrenciales de 1999.

En este estudio se propone ampliar el alcance del proyecto Ávila en las cuencas de la vertiente sur del Macizo Ávila, incluyendo el tramo del Río Guaire donde estas quebradas descargan, con el propósito de que los mapas sirvan de base para el diseño de planes de contingencia, por lo que la escala de trabajo es de 1:5000.

Este estudio se complementa con un trabajo anterior realizado por el Instituto de Mecánica de Fluidos dentro del marco del Proyecto Iniciativa Científica del Milenio (ICM), el año 2004, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y el Banco Mundial. Dicho estudio se circunscribió al análisis de otros afluentes del Río Guaire: Río Valle, Quebrada Baruta, Quebrada Caricuao, Quebrada La Vega, y Quebrada Cafetal. También se incluyó allí el estudio de la creciente del 18 de Julio del 2003 en la quebrada Agua de Maíz, y la elaboración de una maqueta de la cuenca alta y media del Río Guaire en escalas 1:25.000 (horizontal) y 1:10.000 (vertical).

1.3 Objetivos

El objetivo general del estudio es la evaluación integral de la problemática de las inundaciones fluviales y torrenciales en el Valle de Caracas, y la recomendación de medidas de prevención y mitigación. El estudio se concentra en las cuencas y quebradas localizadas entre el Río Guaire y el flanco sur de la Serranía del Ávila, además del propio Río Guaire en el tramo comprendido entre El Paraíso y Petare. Los cauces analizados son los siguientes:

- Quebrada Caroata
- Quebrada Catuche
- Quebrada Anauco y sus afluentes Cotiza y Gamboa
- Quebrada Honda
- Quebrada Canoas
- Quebrada La Florida
- Quebrada Maripérez
- Quebrada Chacaito
- Quebrada Seca
- Quebrada Sebucán
- Quebrada Agua de Maíz
- Quebrada Tócome
- Quebrada Caurimare
- Río Guaire (tramo Paraíso-Petare)

Dado que en un estudio complementario (Proyecto Milenio) se analizó el tramo del Río Guaire en el tramo Las Adjuntas-El Paraíso, en este trabajo se incorporan dichos resultados a fin de darle continuidad a la presentación de los mapas de amenaza en una forma coherente e integrada.

Los objetivos específicos que persigue el estudio son:

1) Desarrollo de una metodología para la determinación de zonas de peligrosidad por ocurrencia de aludes torrenciales e inundaciones fluviales.
2) Desarrollo de modelos matemáticos para la estimación de la producción de sedimentos de cuencas torrenciales ante eventos hidrológicos extremos
3) Elaboración de mapas detallados de zonificación de amenazas torrenciales para las principales quebradas en el sector norte del Valle de Caracas.
4) Elaboración de mapas detallados de zonificación de amenazas por inundaciones del Río Guaire, en el sector comprendido entre El Paraíso y Petare.
5) Recomendación de medidas estructurales a nivel preliminar para la prevención y mitigación de los daños.
6) Elaboración de lineamientos generales para planes de contingencia para la población ubicada en las zonas afectadas.

1.4 Equipo de Trabajo

Responsable del Proyecto:
Prof. José Luis López

Coordinador Técnico:
Ing. Francois Courtel

Asesores:
Prof. Reinaldo García
Prof. Jim O´Brien

Investigadores:
Prof. María Elena Bello
Ing. Jacinto Artígas
Ing. Nemer Nemer
Ing. Giamnina Paredes
Ing. Mary Noya
Ing. María Isabel Vivas
Ing Silvia Martínez
Ing. David Montero
Ing Melany Mengual
Br. Leydi Torres

Asistentes de Computación:
Ing. Marco Tulio Bello
Ing. Alejandro Alarcón

Asistencia en Mapas y SIG:
Geóg. Amalyn Cáceres
Géog. Paula Pantano

2. CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

2.1 Definición del área de estudio

El estudio se circunscribe a las cuencas y quebradas localizadas entre el Río Guaire y el flanco sur de la Serranía del Ávila, además del propio Río Guaire en el tramo comprendido entre El Paraíso y Petare.

El área de estudio se presenta en la Figura 2.1. En ella se señalan cinco (5) sectores de estudio bien diferenciados, en lo que respecta a estudios hidrológicos e hidráulicos:

1 El Área Hidráulica Norte, la cual se refiere al área de estudio hidráulico objeto de este Proyecto.

2 El Área Hidráulica Sur, la cual se refiere al área de un estudio hidráulico complementario, financiado por el Proyecto Iniciativa Científica del Milenio (Proyecto Milenio). Este estudio complementario incluye el Río Valle, el Río Guaire entre Las Adjuntas y el Paraíso, y los afluentes del Guaire por su margen derecha entre Las Adjuntas y Petare (ver Figura 2.1)

3 Las cuencas altas del Río Guaire, del Río Valle, y de las Quebradas del Ávila, en donde se requiere realizar un estudio hidrológico de las cuencas a fin de determinar los Hidrogramas de caudales requeridos para el estudio hidráulico en los cauces aguas abajo.

Los sectores comprendidos en este estudio son entonces los denominados 1, 2, 4 y 5, en la Figura 2.1, donde se realizan los estudios hidráulicos (Sector 2), y los estudios hidrológicos (sectores 1, 4 y 5). Las subcuencas consideradas son las principales: Catuche, Anauco, Maripérez, Chacaíto, Quebrada Seca, Sebucán, Agua de Maíz, Tócome y Caurimare. Se recopiló además información básica acerca de las Quebradas Caroata, Honda, Canoas y La Florida, la cual también está reflejada en el presente informe. Todas nacen en el macizo El Ávila excepto La Florida y Caroata, la cual recibe sin embargo dos tributarios de esta zona: Agua Salud y Agua Salada.

Como se mencionó, el Río Guaire fue objeto de un estudio hidráulico en el marco del Proyecto Milenio, en cuanto a su tramo Las Adjuntas-El Paraíso. Para dar más coherencia al estudio se reflejarán también los resultados relativos a este tramo en el informe, el cual en definitiva reseñará el estudio completo, hidrológico e hidráulico, del Río Guaire.

Figura 2.1 Esquema del Área de Estudio

2.2 Características generales del área

2.2.1 Relieve y geología

La cuenca del río Guaire estudiada aquí coincide aproximadamente con lo que se llama el Valle de Caracas. Limita por el norte con la Fila El Ávila y al sur por una serie de formaciones orográficas conformada por montañas y colinas de menor altura.

El relieve del área de estudio, un valle largo y estrecho, es accidentado, presentando localmente altas pendientes. La estructura geológica está caracterizada por la presencia de anticlinales, sinclinales, numerosas fallas, diaclasas y fracturas que dan muestra de una intensa actividad tectónica.

En varios lugares del valle se ven terraplenes formados por afloramientos de sedimentos de tipo lacustre, compuestos de capas de arcilla, esquistos arcillosos y arena sin consolidar, que han sido depositados sobre la roca metamórfica. El suelo de la ciudad de Caracas está formado por rocas metamórficas y rocas ígneas metamorfoseadas (Wiese, 1959).

2.2.2 Clima e hidrología

En el Valle de Caracas la temperatura media es de aproximadamente 20,7°C, presentándose oscilaciones medias anuales cercanas a los 27°C. Los vientos principales vienen del sureste y noroeste durante todos los meses del año.

La lluvia media varía de 800 mm en el centro del valle, a 1000 mm en la parte baja de la cuenca y 1400 mm en las cabeceras. El promedio de la cuenca es de 990 mm (Wiese, 1959).

Presenta un clima de sabana, caracterizado por la presencia de un período lluvioso y otro seco. El período seco va desde Diciembre hasta Abril, y el lluvioso desde Mayo hasta finales de Noviembre. Durante el período lluvioso la zona está expuesta a tormentas de tipo convectivas que cubren un área relativamente pequeña del valle. Sin embargo, en los últimos años se han presentado lluvias de alta intensidad en el período seco, debido a la influencia de los frentes fríos provenientes del Norte.

2.2.3 Hidrografía

La cuenca del río Guaire tiene un área aproximada de 550 km^2 hasta Petare, la elevación máxima de la cuenca es de 2.750 m.s.n.m. en el Pico Naiguatá del Macizo El Ávila y el punto mas bajo del sitio de estudio es de 850 m.s.n.m. en Petare. Las vertientes de las subcuencas afluentes son muy pendientes.

El río Guaire nace propiamente en la confluencia de los ríos San Pedro y Macarao en Las Adjuntas. Discurre en dirección oeste-este a lo largo del Valle de Caracas recorriendo las zonas de Caricuao, Montalbán, El Paraíso, Ciudad Universitaria, Bello Monte, Las Mercedes, Chuao, Macaracuay, La California Sur y Petare, donde cambia abruptamente de dirección hacia el sur. En el tramo en estudio, el río se encuentra canalizado en una longitud de 27 km desde Las Adjuntas hasta el Puente Baloa en Petare.

En la Figura 2.2 se muestra el perfil longitudinal del Río Guaire desde Puente Baloa en Petare hasta Las Adjuntas y los ríos San Pedro y Macarao. Los datos fueron tomados del "Estudio Hidrológico del Río Guaire" (Ayala, 1982) y del estudio "Análisis de Mejoramiento de la Canalización del Río Guaire" (SARDIMAR, 1983). De acuerdo a esta información, la pendiente promedio del Guaire varía desde 9 m/km en el tramo Las Adjuntas-Pte La Paz, 3,8 m/km en Puente Soublette y 3,4 m/km desde Las Mercedes hasta La California Sur y de 2 m/km en Petare. (Se trata de la pendiente natural antes de la canalización).

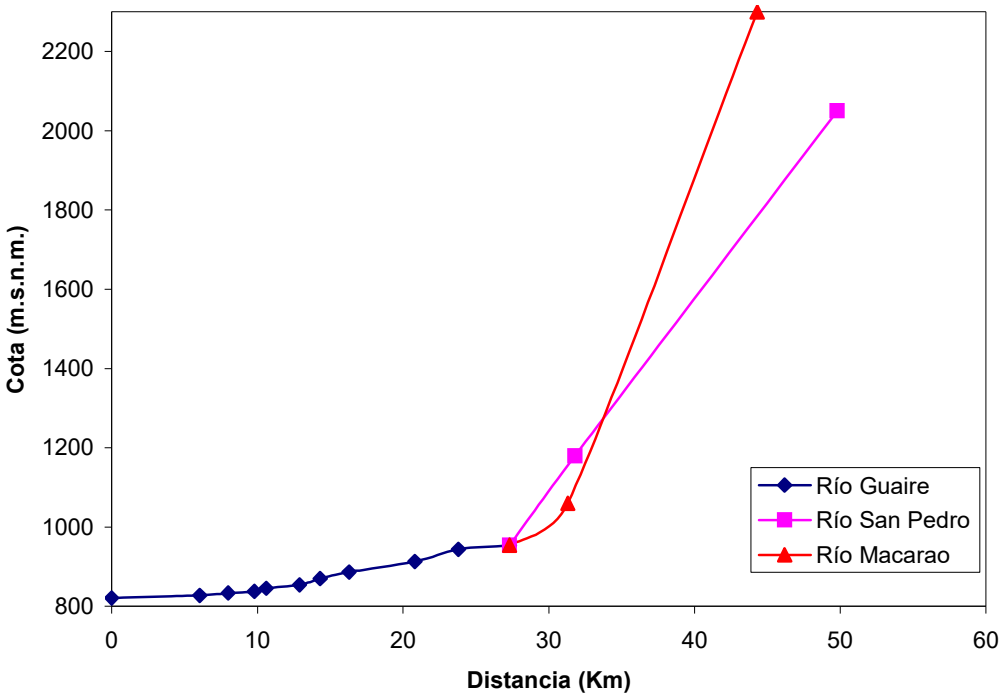


Figura 2.2. Perfil Longitudinal del Río Guaire y los ríos San Pedro y Macario.

El Río Guaire recibe el aporte de numerosas quebradas intermitentes que nacen en la vertiente sur de El Ávila, y de importantes ríos y quebradas que nacen al sur del valle. Al río confluyen por su margen derecha las quebradas Caricuao, La Vega, Río Valle y Quebrada Baruta. Por la margen izquierda confluyen las quebradas Caroata, Catuche, Anauco, Honda, Canoas, Maripérez, Chacaito, Seca, Sebucán, Agua de Maíz, Tócome, y Caurimare, las cuales tienen un alto potencial de arrastre y nacen en El Ávila a cota por encima de los 1.500 m.s.n.m., excepto las quebradas Agua de Maíz, La Florida, Honda y Maripérez. En la Figura 2.3 se muestra delimitada la cuenca del Río Guaire y en anexo final, se presenta el mapa a escala 1:25.000 del área de estudio donde se pueden observar delimitadas las subcuencas de la vertiente sur del Ávila.

Las quebradas de la vertiente sur del Ávila tienen una pendiente promedio entre 2,5 y 3,5% en el cono de deyección, excepto las quebradas Maripérez y Canoas con pendiente promedio 5% y la quebrada Caroata con pendiente de 1,6%, tal como se puede observar en la Figura 2.4. En la parte alta de las subcuencas, la pendiente de las quebradas se hace mas pronunciada, alcanzando valores entre 30% y 50%.

El Río Guaire y sus afluentes contribuyen muy poco al abastecimiento de Caracas como se explica más adelante.

OJO: FIG 2.3 MAPA CONJUNTO, TABLOIDE

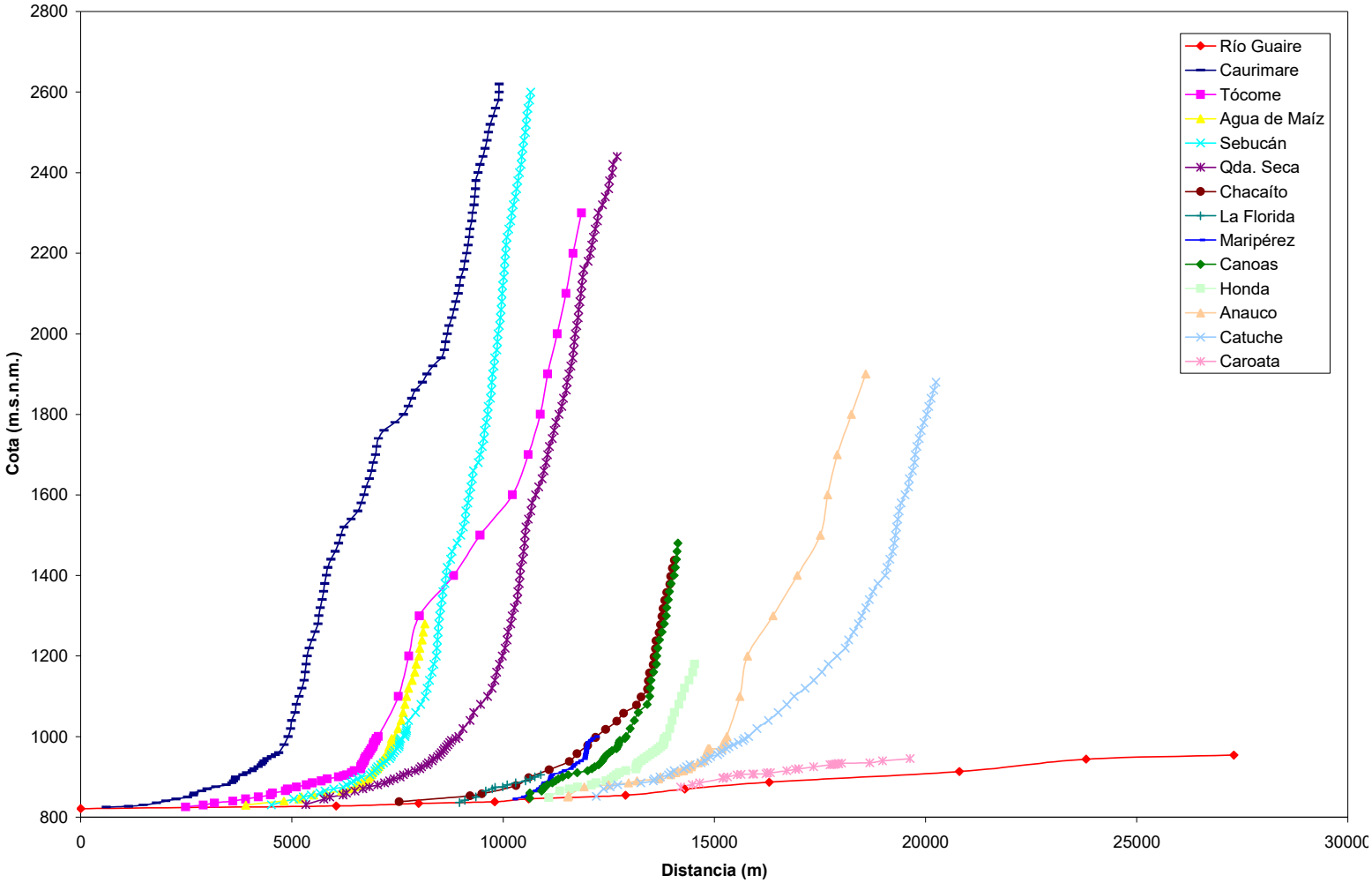


Figura 2.4 Perfil longitudinal del Río Guaire y sus afluentes de la vertiente sur del Ávila.

2.2.4 Usos del suelo

2.2.4.1 Evolución

En los primeros tiempos que siguen su fundación, la ciudad de Caracas está concentrada alrededor de la actual Plaza Bolívar, entre las quebradas Caroata y Catuche. Se extiende luego lentamente hacía el Norte, a lo largo de la carretera del Litoral y hacia el Sur, en dirección del Río Guaire. A partir de la segunda mitad del siglo XIX la construcción de puentes sobre el Río Anauco permite los primeros pasos del desarrollo hacia el este del Valle.

En 1936 todavía, la mayor parte de los terrenos ubicados al este de Sabana Grande son de uso agrícola. A partir de esta fecha la población empieza a crecer con mayor rapidez. Se urbanizan tanto el Este (Los Palos Grandes, Los Dos Caminos, Los Chorros, etc.) como el Oeste (Catia). A partir de 1950 comienza la urbanización del sureste alrededor de Baruta. Progresivamente se ocupa todo el Valle principal del Río Guaire, aguas arriba hasta Caricuao e incluso más allá de Las Adjuntas, y aguas abajo hasta pasar Petare, mientras los valles transversales más grandes del sur también se ven en gran parte urbanizados: Río Valle, Quebrada Baruta, eje Cafetal- La Guairita. Esta última área, correspondiendo a los municipios Baruta y El Hatillo es la de mayor crecimiento relativo en la actualidad.

La población pasa de 83.018 en 1891 a 263.358 en 1936, 1.336.119 en 1961 y aproximadamente 3 millones para todo el Valle en la actualidad.

Buena parte del crecimiento se debe a una ocupación no controlada. Muchas viviendas marginales están instaladas en terrenos no construibles, o difícilmente construibles, como son los terrenos de mucha pendiente o las cercanías de las quebradas. Se recordará oportunamente que la Ley Forestal de Agua y Suelos de 1965 en su artículo 17 declara como zona protectora una zona mínima de veinticinco (25) metros de ancho a ambas márgenes de cursos de agua no navegables permanentes o intermitentes. En muchos casos las viviendas del área formal tampoco respetan este retiro.

A pesar de todo, el factor topográfico ha frenado la expansión a lo largo de los cursos de agua, y el crecimiento del Área Metropolitana se efectúa ahora mayormente en las áreas periféricas fuera del Valle de Caracas: Litoral Central, Guarenas-Guatire, Valles del Tuy y Altos Mirandinos. Sin embargo, como se puede apreciar en la Figura 2.1 esta última área tiende a ocupar las cuenca altas de la quebrada Turmerito, afluente del Río Valle, y del Río San Pedro, afluente constitutivo del Río Guaire.

El detenimiento relativo del crecimiento en el Valle ha sido favorecido por la creación de varias Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), cuya finalidad ha sido preservar las laderas más frágiles, proteger algunas fuentes de agua de la capital y en regla general crear una especie de cinturón verde alrededor del área urbana. Se trata del Parque Nacional El Ávila, el Parque Nacional Macarao, la Zona Protectora del Área Metropolitana de Caracas y la Zona Protectora del Embalse La Mariposa, que constituyen lo esencial del área vegetada del área de estudio, juntos con los Parques Metropolitanos Rómulo Betancourt y Vinicio Adames.

Las características de los dos Parques Nacionales son las siguientes:

- **El Parque Nacional El Ávila** se encuentra al norte de la ciudad, en la parte central de la Cordillera de la Costa. Limita al norte con el Mar Caribe y el punto mas alto tiene cota

2.765 m.s.n.m. en el Pico Naiguatá. Cubre una superficie de 81.800 hectáreas. Fue decretado Parque Nacional el 12 de diciembre de 1958.

Esta zona, llamada Guaraira-Repano por los indígenas, posee una flora y fauna variada, a pesar de su cercanía con uno de los centros más poblados del país. La vegetación está más o menos estratificada, notándose a medida que va creciendo la altura: sabana, selva de galería o de quebrada, selva veranera o tropófila, selva de transición, selva nublada y subpáramo.

- **El Parque Nacional Macarao**, se encuentra entre el Estado Miranda y el Distrito Federal, en la parte alta de la cuenca del río Guaire. Fue decretado parque nacional el 5 de diciembre de 1973. Limita al norte con las poblaciones de El Junquito y El Jarillo, al noreste con la ciudad de Caracas y al sudeste con la población de Los Teques.

Abarca toda la cuenca de los ríos Macarao, San Pedro y El Jarillo o Laguneta, tiene un área de 15.000 hectáreas. El paisaje es típico de montaña con pendientes no muy pronunciadas. La cota mas alta es de 2.098 m.s.n.m. en el Alto de Ño León. La flora es muy variada y existen árboles cubiertos de musgo, bromelias y orquídeas. La vegetación es de bosque húmedo y bosque húmedo montañoso bajo y un área de sabana formada por talas y quemas, ocurridas previas a la instauración del parque.

En el parque se pueden encontrar numerosas especies de mamíferos, como venado matacán, zorro, mono araguato, la pereza tres dedos y cunaguaro. Se han registrado 263 especies de aves, incluyendo especies amenazadas a nivel mundial

Sin embargo los instrumentos legales que debían proteger las áreas vegetadas del Área de Estudio han resultado plenamente eficientes en el solo caso del Parque El Ávila en la zona donde la Avenida Boyacá (Cota Mil) se presenta como una barrera difícil de franquear. Este mismo Parque, en su área baja oeste (cuencas de Agua Salada, Agua salud y Catuche), así como las otras ABRAE han sido parcialmente invadidas, incluso la Zona Protectora, que después de su reforma permite construcciones de baja densidad.

Por otra parte estas áreas, en especial El Ávila en su parte baja, son sujetos todos los años a fuertes incendios que destruyen la vegetación existente.

En definitiva existe una progresiva pérdida de la cobertura vegetal en el Área de Estudio y un aumento de las superficies impermeables, con grandes consecuencias sobre el patrón de escurrimiento de las aguas de lluvia.

2.2.4.2 Infraestructura hidráulica en la cuenca

Agua potable

Para apoyar el crecimiento de Caracas, el sistema de abastecimiento de agua potable ha necesitado extender constantemente tanto sus zonas de influencia como sus fuentes de abastecimiento, hasta volverse un sistema muy complejo. Las etapas de la evolución son las siguientes:

- Hasta avanzado el siglo pasado, Caracas se abastece de los ríos Catuche y Cotiza (afluente del Río Anauco).

- En 1891 se inaugura la aducción del Río Macarao hasta el estanque de El Calvario. Es el primer uso de una fuente lejana, que pertenece todavía a la cuenca del río Guaire.

- Después de la elaboración de un Plan de Abastecimiento (1942) y de la creación del Instituto Nacional de Obras Sanitarias (1943), se incorporan dos fuentes reguladas (1949): La Mariposa (río El Valle) y Agua Fría. Caracas cuenta en total con 40 pozos y 23 fuentes superficiales, entre otras las Quebradas Chacaíto, Quintero, Pajaritos y Sebucán.

- En 1957 se incorpora como fuente el río Tuy. Debido a la altura más baja de la nueva toma, la aducción se opera por bombeo hasta el embalse y la Planta de Tratamiento de La Mariposa. Es el actual sistema " Tuy I".

- En 1966, a partir de la misma fuente, se implementa otra aducción por bombeo (Tuy II) hasta la Planta de La Guairita en el Este de Caracas.

- En 1981 entra en servicio el llamado "Tuy III", que proviene en realidad del embalse Camatagua sobre el río Guárico. Esta fuente que pasa a ser la principal fuente de la capital, forma parte de la cuenca del río Orinoco, y no del Mar Caribe como las anteriores. El agua se trata en la Planta de Caujarito antes de su envío por bombeo hacia Caracas.

- En una nueva etapa se prevé la incorporación de los ríos Cuira, Taguaza y Taguazita, todos afluentes del Tuy bajo, cuyas cabeceras están ubicadas en el Parque Guatopo. En la actualidad existe una toma sobre el río Cuira y se ha puesto a funcionar una primera etapa de una represa sobre el río Taguaza.

Todas estas fuentes están integradas en el Acueducto Metropolitano, el cual proporciona el 95% del agua del Valle de Caracas. El 5% restante proviene de fuentes locales: pozos, quebradas del Ávila y Macarao.

En definitiva, los cursos de agua del área de estudio utilizados para abastecimiento son el río Macarao y el río Valle, ambos por medio de un embalse, y algunas quebradas de El Ávila, principalmente Gamboa, Chacaíto, Tócome y Caurimare, por medio de pequeños dique-tomas que no implicaron la creación de embalses.

La presencia de dos embalses en algunas cuencas altas es importante para el actual estudio, por la amortiguación de las crecientes que producen.

- El embalse La Mariposa además de los aportes propios de la cuenca alta del río Valle recibe los aportes del resto de las fuentes exógenas a la cuenca, principalmente el Tuy I, que representan la mayor proporción del agua embalsada debido a lo reducido de la cuenca propio.

- El embalse Macarao, concebido primero para abastecimiento, está ahora destinado a ser un reservorio de emergencia para la capital mediante la construcción de una represa mucho más grande. Esta construcción, se ha detenido varias veces, una de las razones siendo el riesgo sísmico

Aguas servidas y de lluvia

La historia de la recolección de aguas de lluvia en Caracas está ligada a la de las aguas servidas. En efecto, una parte de los colectores existentes en la zona más antigua de la capital son mixtos, es decir que recogen al mismo tiempo aguas servidas y aguas de lluvia[1]. Este sistema se usó en Venezuela hasta que las normas del antiguo Instituto de Obras Sanitarias (INOS) determinaran claramente que los nuevos proyectos debían contemplar una recolección separada, salvo excepción justificada, como por ejemplo la necesidad de insertarse en un área ya equipada con colectores mixtos. (En otros países la práctica ha tenido una evolución similar). Por otra parte las fuertes pendientes existentes en muchas de las zonas de Caracas permiten hasta cierto punto usar la capacidad de conducción de calles y avenidas y prescindir de una red de colectores.

Las principales etapas de la evolución del sistema de recolección de aguas de Caracas fueron las siguientes:

- A fines del siglo pasado las primeras obras se dirigen hacia el embovedado o embaulamiento de tramos de quebradas, y la construcción de colectores mixtos locales que vierten en las mismas.

- Se empieza luego la construcción de colectores marginales a las quebradas y al propio Río Guaire a partir de 1907 , destinados a recibir los efluentes de las redes mixtas, mientras se siguen embaulando o simplemente canalizando las quebradas. Los colectores marginales incluyen aliviaderos hacia los cursos de agua.

- En 1942 se elabora un Plan General de Cloacas simultáneo con el Plan General de Acueducto, donde se prevé la continuación de los colectores marginales del río Guaire, completando los tramos existentes.

- De 1945 a 1947 se construye el tramo Los Caobos-La Carlota del Marginal Izquierdo.

- Las urbanizaciones que se construyen después de 1945 incluyen sistemas separados de cloacas y drenajes.

- En 1956 se reformula el Plan de Saneamiento del río Guaire, y se elaboran los proyectos correspondientes hasta Petare, tanto de tramos nuevos como de conexión o rehabilitación de los tramos existentes.

- En la actualidad la recolección de aguas servidas a nivel local cubre un 80% del Área Metropolitana, tanto por medio de redes mixtas como separadas. Estas vierten en principio a la infraestructura primaria y secundaria constituida por los colectores marginales al Río Guaire, al Río Valle y a las quebradas. Los colectores del Guaire están construidos en ambas márgenes desde Caricuao hasta Petare.

[1] Los términos "unitarios", "combinados" y "mixtos" son equivalentes para nombrar a este tipo de sistema. Sin embargo algunos especialistas distinguen entre colectores "unitarios " que recogen todas las aguas de lluvia y colectores "mixtos" que las recogen sólo hasta cierta cantidad, el sobrante siendo aliviado hacia un curso de agua o canal. Este último sistema se ha usado con frecuencia para colectores marginales de ríos o quebradas.

Sin embargo la existencia de colectores marginales en la mayoría de las quebradas no llega a impedir que gran parte de las aguas servidas de la capital tengan el río Guaire como receptor final. Las razones son las siguientes:

- existencia de zonas (en general marginales) sin colectores secundarios, con descarga al medio natural
- falta de conexión de colectores urbanos a los marginales del Guaire (por ejemplo los colectores marginales de la Quebrada Caroata o ciertos colectores mixtos grandes en Chacao)
- mal estado de la mayoría de los colectores marginales de las quebradas, los cuales muchas veces al ser obstruidos terminan por ser rotos a fin de descargar las aguas a la quebrada

En consecuencia la mayor parte del gasto de verano del Río Guaire está constituido por aguas servidas. En algunos de los afluentes éstas representan incluso la totalidad del gasto de verano, especialmente cuando se opera una toma de agua para abastecimiento antes del área urbana.

Una consecuencia de esta situación es que los ribereños de las quebradas presionan a los organismos públicos para proceder al embaulamiento de las mismas por razones sanitarias, y para impedir además el bote de desechos que obstaculizan el paso del agua. Este proceso se ha completado en gran parte en el área de estudio, como se verá en la descripción de las subcuencas. Esta solución relativamente eficiente en primera instancia permite en principio conducir las crecidas menores al gasto de diseño (tomado frecuentemente como el gasto de 50 años de período de retorno), pero puede afectar gravemente la zona cuando éste se ve superada, como se podrá ver claramente en los casos de Anauco y Catuche.

Una vez embauladas, las quebradas se transforman en colectores de drenajes urbanos, a veces difícil de distinguir de los colectores artificiales. Sin embargo se sigue percibiendo claramente en la actualidad que el "esqueleto" del sistema de drenaje urbano del área de estudio está constituido por las quebradas existentes antes de la urbanización.

Se debe señalar que recientemente se ha dado inicio al un programa de saneamiento integral de la cuenca del Río Guaire, cuya primer etapa contempla la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas para Los Teques y el reacondicionamiento de las redes de recolección del Oeste de Caracas.

2.3 Información disponible y estudios previos

2.3.1 Información cartográfica

La información cartográfica reunida para la elaboración del Estudio es la siguiente:

- Planos digitales "Ciudad de Caracas", formato CAD, escala 1:5.000, elaborado por Estereofoto C.A., año 2000
- Ortofotomapas de la República de Venezuela a escala 1:25.000, año 1994. Servicio autónomo de Geografía y Cartografía Nacional.

- Planos en papel a escala 1:25.000 del año 1975, Ministerio del Ambiente. Dirección de Geografía y Cartografía Nacional
- Raster a escala 1:25.000, correspondiente a la vertiente sur del Ávila y Valle de Caracas. Procedencia y fecha de elaboración desconocidas.
- Fotos aéreas varias
- Plano de Caracas, Guía de Calles y Avenidas, escala aproximada 1:15.000. Electricidad de Caracas, 1990.

Se especifican las cartas utilizadas para cada subcuenca en el capítulo correspondiente.

2.3.2 Información hidrológica

En la década de los sesenta, en el siglo pasado, Venezuela contaba con una red de pluviógrafos y pluviómetros que permitían disponer de una serie de registros confiables. Con el deterioro económico progresivo al que se ha visto sometido el país, las estaciones se fueron abandonando hasta que los desastres de origen climático, tales como la inundación del Río Guaire en 1980 y del Río Limón en 1987, la tormenta Brett en 1993, y más recientemente el fenómeno El Niño y la catástrofe ocurrida en el Estado Vargas en el mes de diciembre de 1.999, evidenciaron la necesidad de emprender un programa de modernización de las actividades hidrometeorológicas del país, visto que la información pluviométrica disponible para interpretar estos eventos era muy incompleta.. El proyecto VENEHMET se desarrolla actualmente con este objetivo y aportará insumos para la simulación de eventos extremos, e incluso su prevención, visto que con la adquisición de nuevos sensores y la instalación de una red fiable de comunicaciones, se podrá obtener datos que permitan pronósticos acertados de las condiciones hidrometeorológicas

Los datos disponibles para las simulaciones del Estudio provienen por lo tanto de series de datos de organismos competentes en la materia tales como el MARN, el antiguo INOS, la FAV y la Armada, aunque sean bastante incompletas desde el momento que empezó a desmejorar la red de medición. Estas series habían sido tratadas en su momento por Ayala (1975, 1981, 1982) y Wiese (1959)

La Figura 2.5 indica la ubicación de las estaciones de medición activas en el área de estudio hidrológico, así como las inactivas cuyos registros se pueden utilizar.

Los datos disponibles fueron procesados por el estudio hidrológico propio del Proyecto, el cual está reseñado en el capítulo 4

2.3.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica

Los organismos legalmente competentes en materia de drenaje urbano son las alcaldías de los cuatro municipios del área de estudio hidráulico: Libertador, Chacao, Sucre y Baruta y sus servicios especializados, los cuales fueron contactados para recopilar información. Se consiguió una información valiosa en los planos “Quebradas Principales del Municipio Libertador”. Alcaldía de Caracas, escala 1:5.000 y 1:10.000, año 1995

Por otra parte, aunque no tenga injerencia directa en la materia, la empresa HDROCAPITAL posee en su Centro de Información muchos planos del antiguo INOS. Esta empresa administra la red de recolección de aguas servidas de toda el área metropolitana. Parte de esta red siendo mixta, (es decir que recoge también aguas de lluvia), HIDROCAPITAL asume también de hecho parte de la

responsabilidad del servicio de drenaje urbano. Por cuenta de esta empresa fue realizado en 1992 un estudio acerca de las quebradas y colectores principales de todo el Valle de Caracas (BPP, 1992)

Otra fuente de información proviene del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales y de su antecesor el Ministerio de Obras Públicas. También se han consultado los archivos del Metro de Caracas, el cual modificó el trazado de varias quebradas con motivo de la construcción de sus líneas.

2.3.4 Estudios previos

Dos estudios previos trataron la problemática del Área Hidráulica Norte y produjeron los primeros mapas de amenaza, a escala 1.25.000. Se trata de los trabajos de P. Basabe, A. Neumann y A. Singer (2001) y del Proyecto Ávila llevado por el propio Instituto de Mecánica de Fluidos junto con el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. (IGVSB, 2002).

Por otra parte los antecedentes fueron estudiados por medio de un revisión hemerográfica tanto virtual como física, y la ayuda de varios documentos acerca del evento de 1999 tales como Grases et al., (2000), Cuerpo de Bomberos del Distrito Federal (2000) y Pacheco (2002).

2. CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO 1

2.1 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 1
2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA 2
2.2.1 Relieve y geología 2
2.2.2 Clima e hidrología 3
2.2.3 Hidrografía 3
FIGURA 2.4 PERFIL LONGITUDINAL DEL RÍO GUAIRE Y SUS AFLUENTES DE LA VERTIENTE SUR DEL ÁVILA. 7
2.2.4 Usos del suelo 8
2.2.4.1 Evolución 8
2.2.4.2 INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN LA CUENCA 9
Agua potable 9
Aguas servidas y de lluvia 11
2.3 INFORMACIÓN DISPONIBLE Y ESTUDIOS PREVIOS 12
2.3.1 Información cartográfica 12
2.3.2 Información hidrológica 13
2.3.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica 13
2.3.4 Estudios previos 14

3. METODOLOGÍA

3.1 Resumen de la metodología

La secuencia que lleva a la elaboración de mapas de amenaza es la siguiente:

a) recopilación de información básica sobre el área
b) estudio hidrológico a fin de estimar hidrogramas líquidos a partir de la precipitación de eventos extremos
c) estimación de hidrogramas sólidos para estos eventos extremos
d) simulación de eventos hidrológicos asociados a precipitaciones de 10, 100 y 500 años de período de retorno, culminando con la elaboración de mapas de profundidades y velocidades máximas del flujo para cada evento
e) elaboración de mapas de intensidades de los eventos simulados
f) elaboración de un mapa de amenaza combinado

a) Recopilación de información básica

Se recopila información cartográfica, fotográfica, hidrológica, y relativa a la infraestructura hidráulica del área en estudio.

b) Estudio hidrológico

La metodología del estudio hidrológico está descrita de manera detallada en el capítulo dedicado a este tema.

c) Estimación de la concentración de sedimentos

Se usa la metodología desarrollada por O´Brien, la cual estima directamente el flujo del alud torrencial total (agua + sedimentos) a partir del hidrograma de caudal líquido, multiplicándolo por un factor función de la concentración volumétrica de sedimentos, el Bulking Factor:

$$Qt = BF*Ql$$

donde $BF = 1 / (1-Cv)$

Qt = gasto total, incluyendo sedimentos (m3/s)
Ql = gasto líquido (m3/s)
BF = Factor de Volumen (Bulking Factor)
Cv = concentración volumétrica de sedimentos (Qs / Qt)

Mientras otros métodos permiten sólo evaluar cantidades promedias durante el evento, este método permite construir hidrogramas sólidos variables en el tiempo, apoyándose en la experiencias previas para determinar patrones y valores de referencia.

d) Simulación de flujos torrenciales asociados a precipitaciones de 10, 100 y 500 años de período de retorno

Para las simulaciones, se usa el modelo FLO-2D, el cual se basa en las ecuaciones de flujo con superficie libre en dos dimensiones horizontales y las resuelve numéricamente mediante un método de diferencias finitas. El modelo puede simular tanto flujos de tipo convencional (flujos newtonianos, de concentración volumétrica de sedimentos inferior a 20%, donde el arrastre de sedimentos se produce como carga de fondo y carga en suspensión), como aludes torrenciales, donde se toma en cuenta las características reológicas no newtonianas de los fluidos.

El modelo requiere como datos de entrada la topografía digitalizada y procesada de la zona de estudio, las características geométricas de canales (naturales o artificiales), alcantarillas, puentes, calles y edificaciones que existen en el área urbanizada, así como los hidrogramas de caudal líquido y sólido que genera la precipitación del evento.

Topografía

La topografía original proveniente de planos digitales de escala 1:5.000 se discretiza en una malla formada por elementos cuadrados (celdas) de tamaño 30 m x30 m, uniforme para toda el área de estudio. A cada elemento se le asigna una posición en la malla, una elevación y una rugosidad (*n* de Manning).

Características de las obras

- canales
- alcantarillas
- puentes
- diques

Características urbanas (edificaciones y calles)

Uno de los aspectos más interesantes del modelo es que permite sacar provecho de su bidimensionalidad en el análisis de los desbordamientos, transitando el flujo fuera del cauce a través de la trama urbana, por las parcelas y las calles existentes en el área.

- las edificaciones existentes en los distintos sectores urbanizados se toman en cuenta mediante un Factor de Reducción de Área (ARF), que reduce el área libre para el paso del flujo por la celda. Este factor se determina para cada sector homogéneo en cuanto a ocupación del suelo, en función de la densidad y del tipo de las construcciones.
- otro factor, el Factor de Reducción de Ancho (WARF) permite representar eventualmente con más detalle la permeabilidad de una celda al flujo, en ocho direcciones.

- las calles existentes en el área inundable se simulan como canales cuya altura es igual a la de los brocales y que pueden intercambiar flujo con las celdas vecinas.

Hidrogramas de caudal líquido

Los hidrogramas de caudal líquido son los resultados del estudio hidrológico efectuado por el presente estudio. (ver punto b)

Hidrogramas de caudal sólido

Los hidrogramas sólidos resultan de la metodología expuesta en el punto c)

Mapas de profundidades y velocidades máximas para cada evento

Los resultados de las simulaciones en cuanto a velocidades y profundidades máximas del flujo son proporcionados como salida del modelo, y se representan en el plano topográfico original, en base a la configuración reticulada (celdas) usada por el modelo.

e) Elaboración de mapas de intensidad de los eventos simulados

Para cada evento hidrológico, un nivel de intensidad del evento se estima luego en cada celda del área, para reflejar el efecto potencial del mismo sobre personas y edificaciones.

Estos niveles se determinan a partir de los valores de las profundidades y las velocidades máximas reportadas por la simulación, según que se trate de un flujo de agua o de un alud torrencial:

FLUJO DE AGUA

Intensidad alta	$h > 1,5$ m	ó	$v\,h > 1,5$ m^2/s
Intensidad media	$0,5$ m $< h \leq 1,5$ m	ó	$0,5$ $m^2/s < v\,h \leq 1,5$ m2/s
Intensidad baja	$0,1$ m $< h \leq 0,5$ m	y	$0,1$ $m^2/s < v\,h \leq 0,5$ m^2/s

ALUD TORRENCIAL

Intensidad alta	$h > 1$ m	ó	$v\,h > 1$ m^2/s
Intensidad media	$0{,}2 < h \leq 1$ m	y	$0{,}2$ m^2/s $< v\,h \leq 1$ m^2/s
Intensidad baja	$0{,}2 < h \leq 1$ m	y	$v\,h \leq 0{,}2$ m^2/s

Donde h = profundidad máxima
v = velocidad máxima

Cada nivel de intensidad corresponde a un nivel potencial de daños a bienes y personas (cuadro 3.1).

Intensidad	Daños a Personas		Daños a Edificaciones	
	fuera de edificaciones	dentro de edificaciones	leves	severos
Alta	si	sí	sí	sí (destrucción repentina)
Media	sí	no*	sí	no*
Baja	no*	no	sí	no

(*): salvo excepciones

Cuadro 3.1 Definición de los niveles de intensidad de un evento en función de la posibilidad de daños a bienes y personas

Los mapas de intensidad resultantes permiten delimitar las áreas involucradas en un Sistema de Alerta Temprana según el nivel de precipitación, y de manera general pueden ser utilizados para planificar las acciones de protección y auxilio a tomar en caso que ocurriera un evento similar al que se simuló.

f) Elaboración de mapas de amenaza

Los eventos simulados, asociados a lluvias de 10, 100 y 500 años de periodo de retorno, corresponden a probabilidades respectivamente alta, media y baja de ocurrencia, y se traducen en intensidades variadas, en general crecientes a medida que baja la probabilidad o frecuencia de ocurrencia del evento. El mapa de amenaza del área estudiada intenta sintetizar los peligros de daños evaluados separadamente en estos tres eventos, para convertirlos en cada lugar en un solo indicador, la amenaza combinada. Para ello se pondera la intensidad de cada evento por su probabilidad, dándole más peso al evento más probable (10 años) y menos al menos probable (500 años), obteniendo así tres niveles de amenaza (o peligrosidad), como lo ilustra la figura 3.1

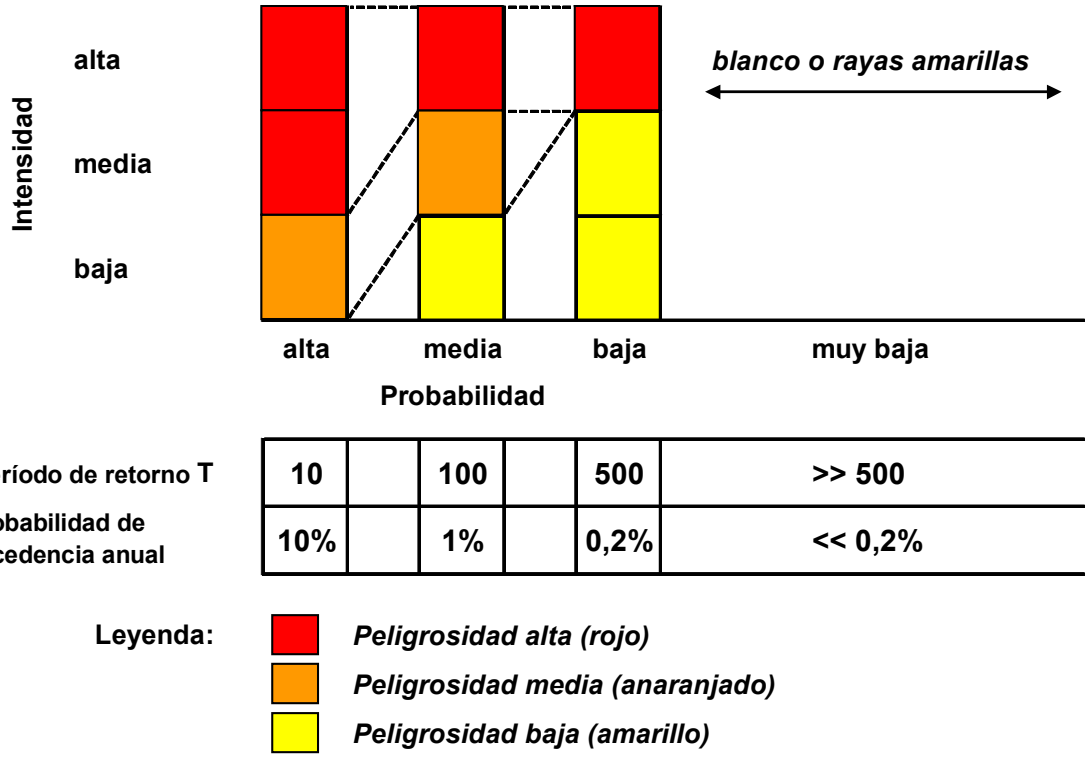


Fig. 3.1 Determinación del nivel de amenaza (peligrosidad) a partir de los niveles de intensidad y de la probabilidad del evento

El resultado es el mapa de amenaza del área, que permitirá fijar los usos del suelo en los planes de ordenación urbana, a fin de minimizar la exposición al peligro.

Se deben señalar los puntos siguientes:

- el mapa de amenaza resultante de las simulaciones es elaborado de manera automática con la configuración por celdas que se ha usado en todo el cálculo. En una etapa posterior este mapa es rectificado por el investigador para darle su forma final, independiente de la configuración reticulada de las simulaciones, en base a las siguientes orientaciones:
  - se homogeneizan las áreas
  - se linealizan los contornos de éstas
  - se procede a modificaciones menores, en función del conocimiento aportado por eventos pasados.
  - se delimita una franja de amenaza alta de aproximadamente 25 metros a todo lo largo del cauce, para tomar en cuenta el margen de error de la simulación. Notemos que esta franja corresponde también a la Zona Protectora para cursos de agua no permanentes o no navegables, definida por la Ley vigente de Suelos y Aguas en su artículo 17.
  - se realiza visitas de campo para verificar los resultados obtenidos.

- los mapas de amenaza del presente estudio se produjeron a la escala 1: 10.000, aunque la topografía utilizada haya sido de escala 1:5.000. (En un Proyecto anterior se habían elaborado mapas a la escala 1:25.000). El tamaño de las celdas usado para la simulación y los márgenes de errores existentes sobre los inputs (topografía, hidrología, sedimentos) no permite mayor precisión. Es una escala adecuada para la determinación aproximada de las áreas amenazadas. En cambio el mapa no puede ser utilizado para evaluar el grado de amenaza sobre una edificación determinada

- los mapas se han elaborado en función de la configuración actual del uso del suelo urbano y de las características existentes de las obras hidráulicas (canales, alcantarillas, puentes) y se ha apoyado en el estudio de eventos ocurridos en el pasado. Cualquier cambio en estas condiciones, incluyendo la ocurrencia de eventos adversos nuevos o un monitoreo más preciso de la cuenca, aportaría elementos para

modificaciones a los mapas. Ello significa que, en el futuro, éstos se deberán actualizar periódicamente.

3.2 Avances metodológicos

Se pueden señalar varios avances metodológicos con respecto a proyectos anteriores, en particular al Proyecto Ávila:

- se utilizó un nuevo algoritmo de interpolación topográfica para densificar el Modelo Digital de Terreno DTM, lo que se tradujo en una mayor homogeneización de las manchas de inundación y en algunos casos en su reducción.
- se efectuaron tanto simulaciones de aludes torrenciales (para los afluentes provenientes de El Ávila) como simulaciones de flujos de agua con transporte convencional de sedimentos (para el Río Guaire, y Agua de maíz, una quebrada con cuenca de montaña reducida)
- además de los hidrogramas líquidos que representan el aporte de las cuencas altas, se simuló la lluvia directa sobre las áreas estudiadas, llevando a una mejor estimación del gasto en los canales y a una representación más adecuada de los flujos en las calles.
- se hizo mayor énfasis en el flujo en las calles (representadas como canales), lo que permitió una mejor distribución del flujo de agua en el área de inundación. Se calculó además la intensidad y la amenaza en éstas, lo que aportó información adicional para la elaboración de mapas de amenaza y planes de contingencia.
- se prestó más atención a las condiciones de obstrucción de las alcantarillas y de los puentes, simulando obstrucciones parciales o totales según los casos
- los criterios de amenaza se afinaron para considerar situaciones especiales como son los límites entre rangos y los valores muy bajos de las variables.

3. METODOLOGÍA 1
3.1 Resumen de la metodología 1
3.2 Avances metodológicos 7

4. ANÁLISIS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS

4.1 Introducción

La cuenca del río Guaire hasta el Puente Baloa en Petare tiene un área aproximada de 525 km^2. Dicha cuenca comprende varias zonas urbanas ó subcuencas ubicadas en la región Metropolitana de Caracas y Los Teques. Entre las principales vertientes que conforman la cuenca del río Guaire están las cuencas de los ríos San Pedro, Macarao, El Valle, Embalse Mariposa, la quebrada Baruta (Prados del Este) y las cuencas que drenan desde el Cerro Ávila entre las que destacan las quebradas Anauco, Chacaíto, Caurimare y Tócome.

La cuenca del río Guaire hasta Los Caobos drena un área aproximada de 347 km^2. La parte urbanizada de la cuenca del río Guaire ocupa en la actualidad un área del orden de los 200 km^2, por lo que cualquier estimado de caudales de crecidas tiene que tomar en cuenta que dicha área podría variar (incrementándose) en la misma medida en que se transforman áreas rurales permeables en áreas urbanas de menor potencial de infiltración. Además del consiguiente aumento de la escorrentía superficial, en la medida en que se urbanizan estas áreas, disminuyen los tiempos de tránsito del drenaje superficial aumentando los picos de las crecidas. A pesar de la gran intervención antrópica, la cuenca del río Guaire todavía presenta zonas poco intervenidas donde se observan subcuencas como la del río Macarao y San Pedro con una densa vegetación tipo bosque tropical húmedo. La precipitación media anual de la cuenca hasta Petare es del orden de los 900 milímetros. La climatología de toda esta región se caracteriza por que tiene un solo ciclo anual (unimodal) con estación lluviosa en el año entre los meses de Junio a Octubre seguida de la correspondiente época seca.

Para alcanzar los objetivos de este trabajo se utilizaron modelos de simulación matemática de eventos de crecidas, los cuales representan la respuesta de la cuenca del río Guaire a la ocurrencia de tormentas extremas.

A continuación

- se describe el procesamiento de toda la información básica requerida para el estudio de crecidas máximas

- se procede a la calibración y aplicación de un modelo de simulación, basado en la teoría de la onda cinemática, sobre toda la cuenca del río Guaire hasta la estación hidrométrica de Los Caobos, y hasta otros sitios de interés como puente las Adjuntas, Mohedano, Los Caobos, después de la confluencia con el río Valle, Las Mercedes y Petare.

- se realiza la determinación de los hidrogramas de crecidas de tormentas aisladas que se asocian a la ocurrencia de los gastos máximos de las quebradas de la cuenca del río Guaire

4.2 Recopilación y procesamiento de la información básica

4.2.1 Información cartográfica

Se recolectó toda la información cartográfica disponible, así como los mapas de vegetación de la cuenca del río Guaire. Los planos obtenidos en Cartografía Nacional, escalas 1:25.000 y 1:100.000, corresponden a los números 6747, 6847, 6746 y 6846. Con esta información se procedió a la delimitación de las principales subcuencas que integran la cuenca del río Guaire a escalas 1:5.000, 1:25.000 y 1:100.000.

Adicionalmente, se procesó la información de vegetación y uso de la tierra contenida en los ORTOFOTOMAPAS del área Metropolitana 1:25.000 de Cartografía Nacional (1994); y en los mapas de Vegetación Actual de Venezuela, publicados por la División de Vegetación de la Dirección de Suelos, Vegetación y Fauna de la DGIIA, del MARNR (1981).

4.2.2 Información pluviométrica

Para la caracterización de la variación espacial y temporal del proceso de precipitación sobre la cuenca del río Guaire se utilizó la información de lluvia de las estaciones que aparecen en la Tabla 4.1, donde se presentan sus principales características.

En cuanto a las precipitaciones máximas, se recopilaron los datos de láminas máximas para diferentes duraciones en algunas de las estaciones de precipitación que se muestran en la Tabla 4.1, y que son utilizados para la definición de las tormentas de diseño en el estudio de crecidas. En la figura anexa se muestra la ubicación de estas estaciones con respecto a la cuenca, mientras que en el Anexo 1 se incluyen los datos correspondientes.

En la figura 4.1 se incluye un mapa de isoyetas medias anuales donde se muestra la cuenca del río Guaire con la ubicación de las estaciones de precipitación usadas en este análisis.

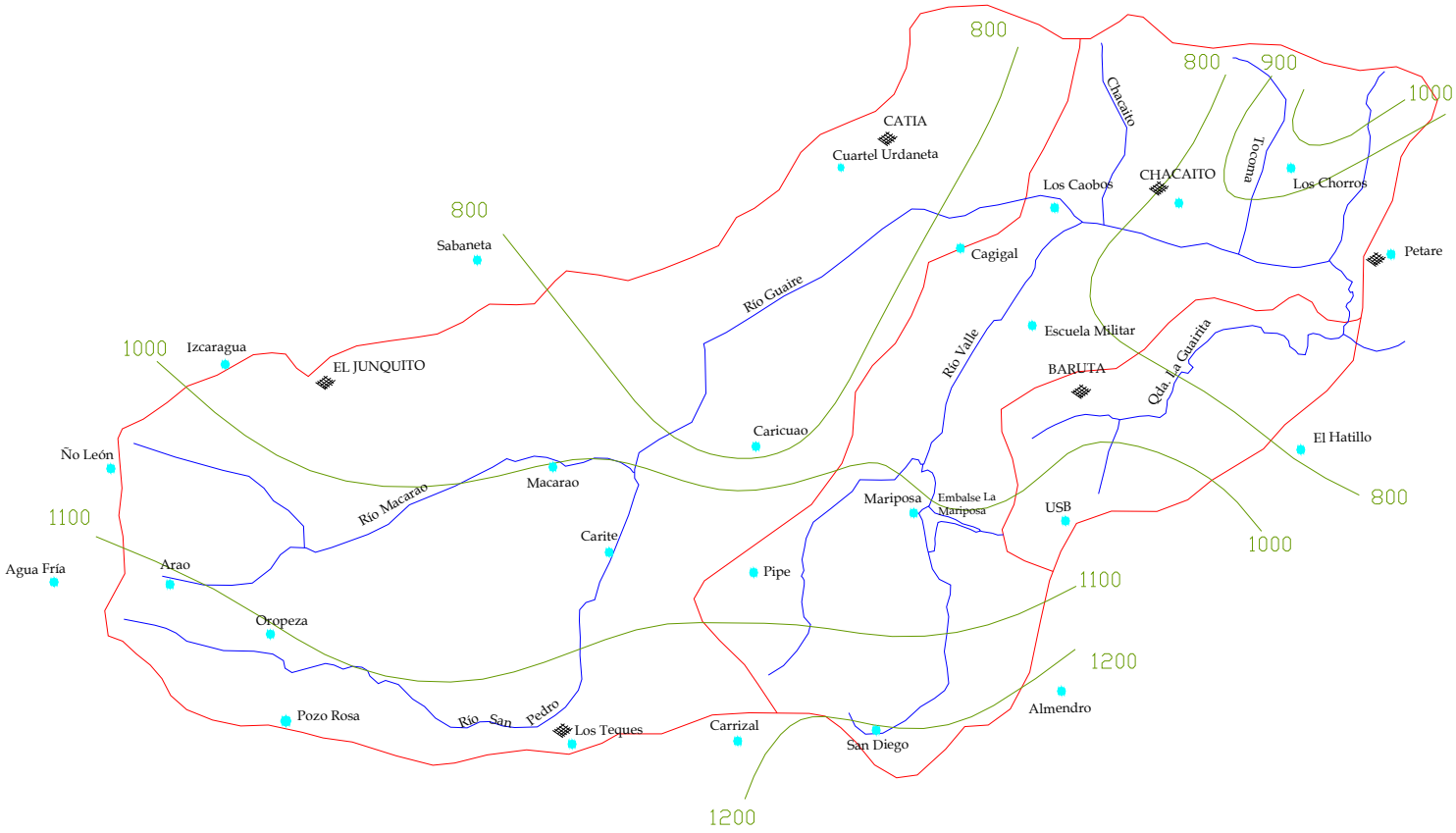


Fig 4.1 Mapa de la cuenca del Río Guaire

Serial	Estación	Altitud Msnm	Latitud ° ‘ “	Longitud ° ‘ “
5052	Baruta	1001	102610	665223
0549	Santa Epifania	140	101730	664000
1425	Alto ño Leon	2101	102624	670936
1437	Llano Cura	1240	102526	670800
1426	Macarao	1032	102600	670200
5061	Caricuao	1030	102618	665929
0568	Lecherito	1365	102442	665327
0526	Torre Sur	1060	103020	665453
0622	Teleférico	1160	103110	665310
5057	USB	1225	102400	665200
1441	Pignatelli	1240	102200	670200
0516	Izcaragua	-	103000	664138
1446	Oropeza	1268	102300	670500
1510	Fila Turgua	1107	102200	664500
0531	Cagigal	1042	111800	692800
0560	Paracotos	620	101600	665700
0571	Tumuza	200	101300	664400
0572	Charallave	400	101600	665100
0594	Mendoza	210	100741	664950
0538	Aponte	-	100800	664700
9343	Jarilllo	1767	102200	671000
1445	Pozo Rosas	1554	102100	670700
1427	Sabaneta	1640	102800	670200
0573	Carrizal	1282	102100	670000
0561	San Diego	1021	102100	665700
1436	Agua Fría	1741	102300	671000
1445	Pozo Espejos	1686	102300	670700
1448	Los Teques	1090	102100	670200
1439	Carite	1021	102400	670100
0520	La Salle	1007	10300	665000
0565	Pipe	1739	102400	665900
0626	Los Chorros	957	103000	664900
0546	Hatillo	1132	102500	664900
0624	Urb. Miranda	1040	102905	664700
0554	Petare	700	102800	664800
0550	Guairita	1044	102700	665100
0660	Cuartel Urdaneta	970	103000	665700
0563	Mariposa	980	102300	664500
0612	Círculo Militar	920	102800	665700

Tabla 4.1. Características de las estaciones pluviométricas

4.2.3 Información hidrométrica

La cuenca del río Guaire tiene un área tributaria, hasta la estación hidrométrica Los Caobos, de 347 km^2; mientras que el área hasta Petare es del orden de 525 km^2. El río tiene sus cabeceras en el la ciudad de Los Teques, en los nacientes de los ríos San Pedro y Macarao, y en la cuenca tributaria al embalse de La Mariposa.

A pesar de la importancia para Caracas del río Guaire, salvo algunos aforos esporádicos reportados a finales del siglo XIX (Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat) solo se comenzó a tener información de crecidas de dicho río a partir de 1948 (Wiese, 1959). Los sitios con las mediciones más confiables se corresponden con el Puente La Paz, Puente Soublette y Los Caobos. También el antiguo INOS reportaba mediciones en Puente Las Mercedes. En la Tabla 4.2 se incluyen las características principales de las estaciones que ha tenido el río Guaire y sus subcuencas hasta Puente Baloa, según lo publicado por Wiese (1959).

Estación	Área km^2	Latitud ° ‘ “	Longitud ° ‘ “	Período
Los Caobos	347	1030	6654	71-91
Puente Baloa	525	1029	6649	57-58
Petare	525	1029	6649	49-58
Las Mercedes	459	1029	6651	51-52,57-58
C. Universitaria	350	1030	6653	48-52,58
Puente Soublette	320	1030	6655	57-58
Puente La Paz	297	1029	6657	49-50
Carapita	282	1028	6658	48-50
Pte. La Cidra	228	1026	6700	54-58
Palo Negro	78	1026	6703	48-58
El Carite	110	1024	6701	50-58

Tabla 4.2. Características de las estaciones hidrométricas

En el plano que se muestra en la figura 4.1 se esquematiza la ubicación de la estación hidrométrica de los Caobos y de otros sitios donde se ha medido el río Guaire.

4.3 Caracterización de la variación espacial y temporal de las tormentas extremas

4.3.1 Análisis de Profundidad-Duración-Frecuencia

Utilizando la información de láminas máximas para duraciones desde 5 minutos hasta 24 horas en varias estaciones de la zona, se procedió a realizar el análisis de Profundidad-Duración-Frecuencia, ajustándole a dichos datos una distribución

probabilística de extremos Tipo I o distribución Gumbel, la cual se describe a continuación:

$$F(x) = P[X[x] = \exp[-\exp[-\alpha(x-\beta]] \quad (4.1)$$

donde, X es la variable aleatoria, lámina de lluvia en este caso, x es un valor específico de esta variable, la expresión P[X[x] significa la probabilidad de que la variable aleatoria tome valores iguales o menores que x, F(x) es la función de distribución y α y β, son los parámetros de ajuste de la distribución.

Una forma común de expresar esta distribución es mediante la utilización de la llamada Variable Reducida de Gumbel, la cual se denota por la letra **y**, y tiene la siguiente expresión:

$$y = \alpha(x-\beta) \quad (4.2)$$

lo cual permite que la ecuación 4.1, se pueda escribir según se muestra a continuación:

$$F(x) = \exp[-\exp(-y)] \quad (4.3)$$

Para realizar el ajuste de esta distribución a los datos de láminas máximas anuales de precipitación se utiliza la metodología descrita por Kite (1985), la cual considera en el proceso de estimación, el número de datos u observaciones disponibles. El proceso en cuestión es el que se describe a continuación:

Por definición, el período de retorno, **Tr**, se calcula según la siguiente ecuación:

$$Tr = 1 / (1-F(x)) \quad (4.4)$$

ecuación a partir de la cual se despeja **F(x)**, obteniéndose:

$$F(x) = (Tr-1)/Tr \quad (4.5)$$

Despejando de la ecuación (4.3), la variable **y**, y sustituyendo **F(x)** por la ecuación anterior se obtiene que:

$$y = - \ln[-\ln[(Tr-1)/Tr]] \quad (4.6)$$

Dada esta ecuación, el próximo paso es calcular los valores de la variable reducida asociados a cada una de las observaciones, **ym**, lo cual se realiza según la siguiente ecuación:

$$ym = -\ln[-\ln[(n+1-m)/(n+1)]] \quad (4.7)$$

donde, **m** representa el orden del evento después de ordenarlos de mayor a menor, por lo tanto, el subíndice **m** va de 1 a **N**, siendo **N** el número de observaciones. Con esta serie se calculan los estadísticos que representan la media, **Ym** y la desviación estándar, **Sm**,

$$Y_m = (1/N) \sum_{m=1}^{N} y_m \quad (4.8)$$

$$S_m = (1/(N-1)) \Sigma (y_m - Y_m)^2 \quad (4.9)$$

Finalmente, con estos parámetros se calcula el valor de **X**, que tiene un período de retorno **Tr**, utilizando una ecuación basada en factores de frecuencia,

$$x_{tr} = X_m + K_{tr} S_x \quad (4.10)$$

donde $\mathbf{X_m}$ y $\mathbf{S_x}$ representan la media y la desviación estándar de la serie de valores de láminas máximas de precipitación, $\mathbf{x_{tr}}$ el valor de **X** correspondiente a un período de retorno **Tr**, y $\mathbf{K_{tr}}$ representa el factor de frecuencia para el período de retorno considerado, el cual se calcula según la siguiente ecuación:

$$K_{tr} = (y_{tr} - Y_m)/ S_m \quad (4.11)$$

$$y_{tr} = -\ln[-\ln[(Tr-1)/Tr]] \quad (4.12)$$

Unos ejemplos del tipo de resultados de este análisis se incluyen en el Anexo 2 para algunas de las estaciones analizadas. A título de ejemplo, en las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3 se muestran las curvas de Intensidad- Duración – Frecuencia correspondiente a la estaciones Cagigal, Círculo Militar y La Mariposa.

Para simplificar los cálculos de las tormentas que afectan la cuenca se decidió realizar un análisis previo de las magnitudes de las lluvias máximas en cada estación de la zona. En la Tabla 4.3 se incluyen los valores promedio de las lluvias máximas de manera de escoger las estaciones representativas de cada subcuenca del río Guaire. En definitiva se seleccionaron las estaciones de Caurimare, Los Chorros, Teleférico, San

José del Ávila, Agua Fría, Ño Leon, Cagigal, Círculo Militar, La Mariposa, Los Teques y Urb. Miranda como representativas de la lluvia en toda la cuenca del Guaire hasta Petare.

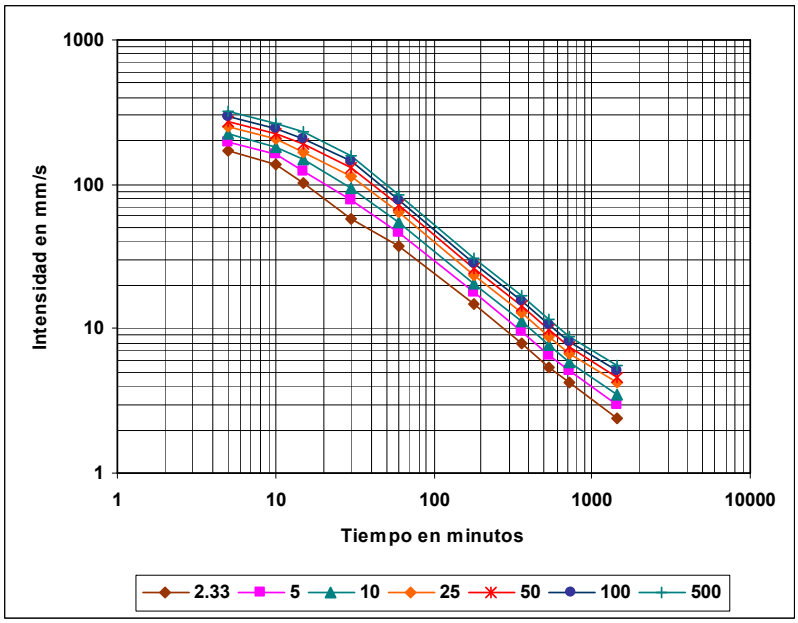


Figura 4.2 Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia. Estación Cagigal

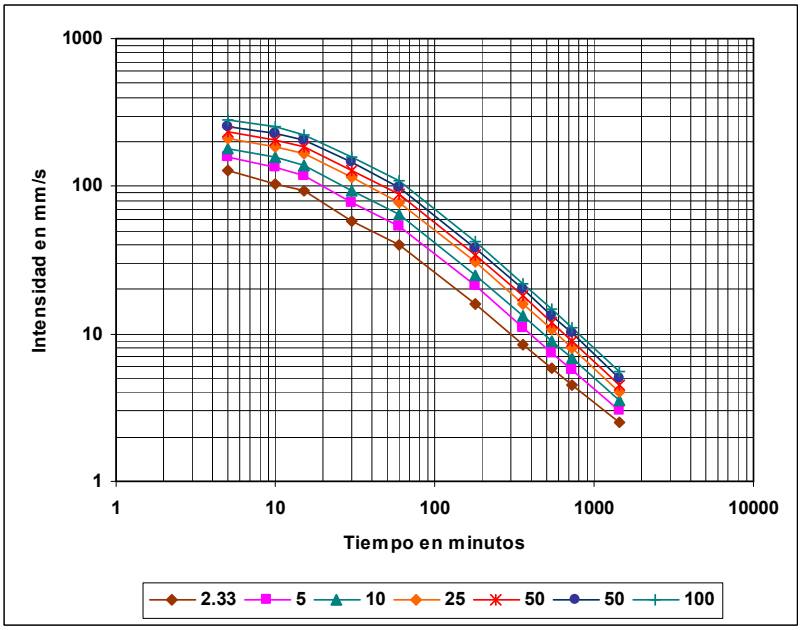


Figura 4.3 Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia. Estación Círculo Militar

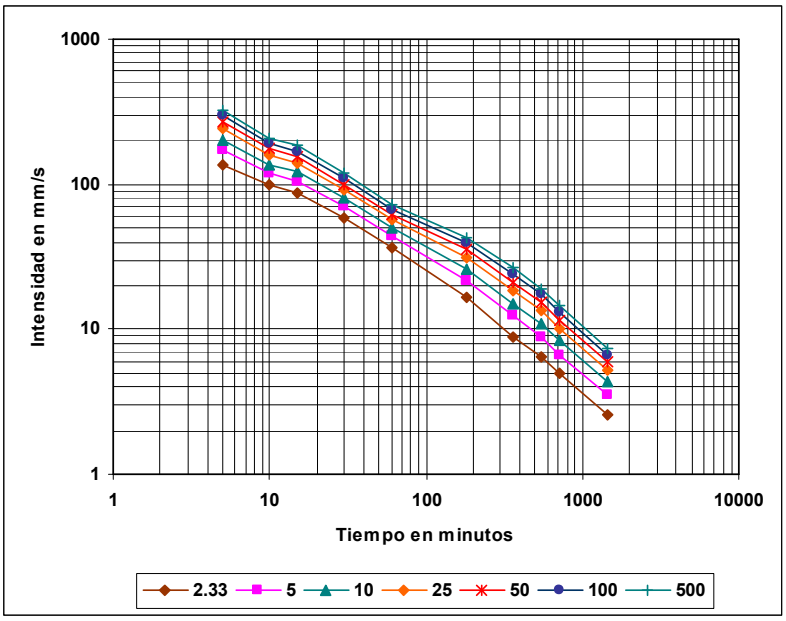


Figura 4.4 Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia. Estación La Mariposa

Estación	Duración en minutos															
	15		30		60		180		360		540		720		1440	
	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S
Santa Epifania	18	6	30	8	40	13	47	18	57	21	64	29	65	28	70	27
Santa Teresa	18	5	28	8	39	11	53	17	61	19	65	22	69	23	77	23
Alto ño Leon	16	3	24	5	31	7	44	12	43	14	45	13	46	13	52	14
Torre Sur	20	5	30	7	37	11	47	12	54	12	55	13	57	14	64	17
USB	19	3	27	5	39	11	53	18	63	24	67	26	69	26	77	30
Pignatelli	22	6	30	9	39	11	48	12	54	13	58	16	58	16	64	14
Oropeza	16	5	21	7	28	10	35	13	41	15	42	16	43	15	48	16
Fila Turgua	23	7	35	10	43	9	57	19	64	22	69	23	71	23	76	22
Cagigal	-	-	-	-	38	12	44	12	47	14	49	14	51	14	58	16
Urb Miranda	20	7	29	10	39	17	45	19	50	19	53	20	55	20	63	24
Mariposa	22	6	29	7	36	7	49	18	54	24	58	26	58	26	62	26
Paracotos	22	75	34	10	43	13	56	21	61	23	62	25	65	25	73	25
UCV	-	-	38	16	33	8	52	15	53	15	59	22	59	22	64	22
Tumuza	19	6	25	9	35	15	48	23	54	25	56	25	57	25	64	26
Mendoza	23	5	31	8	39	14	48	16	55	22	61	21	63	21	68	21
Agua Fría	18	5	23	3	32	12	44	24	45	27	53	29	54	29	62	29
Los Teques	-	-	26	7	38	11	48	10	52	13	53	14	55	15	62	16
Los Chorros	-	-	25	5	35	7	46	14	-	-	61	20	65	21	64	23

Tabla 4.3. Comparación de los estadísticos de las láminas lluvias máximas (mm). X: media, S: Desviación Estándar

4.3.2 Análisis y Definición de Tormentas de Diseño

Para cada estación representativa de la lluvia máxima de una subcuenca determinada se tomaron las láminas de lluvias máximas correspondientes a diferentes períodos de retorno y distintas duraciones, diseñándose los hietogramas para cada período de retorno en cada una de las estaciones analizadas, De acuerdo con Wiese (1959) se puede suponer que la máxima intensidad ocurre en la mitad de la lluvia. Para el cálculo de la variación de la lluvia dentro de la duración total de 24 horas se aplicó el método de los bloques alternos, (Chow et al., 1988). Estos hietogramas se incluyen en el Anexo 3. A manera ilustrativa en las Figuras 4.4, 4.5 y 4.6 se presentan los hietogramas correspondientes a la estaciones Cagigal, Círculo Militar y La Mariposa.

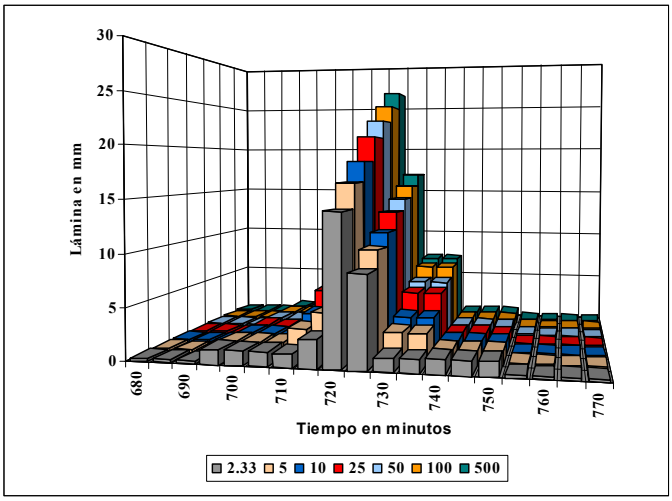


Figura 4.5.- Hietogramas. Estación Cagigal

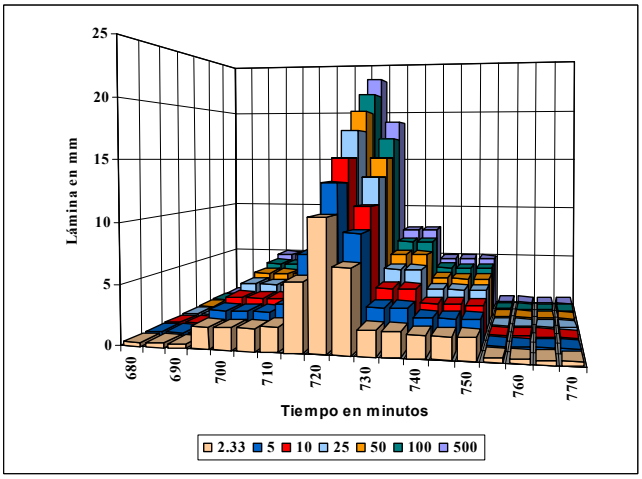


Figura 4.6.- Hietogramas. Estación Círculo Militar

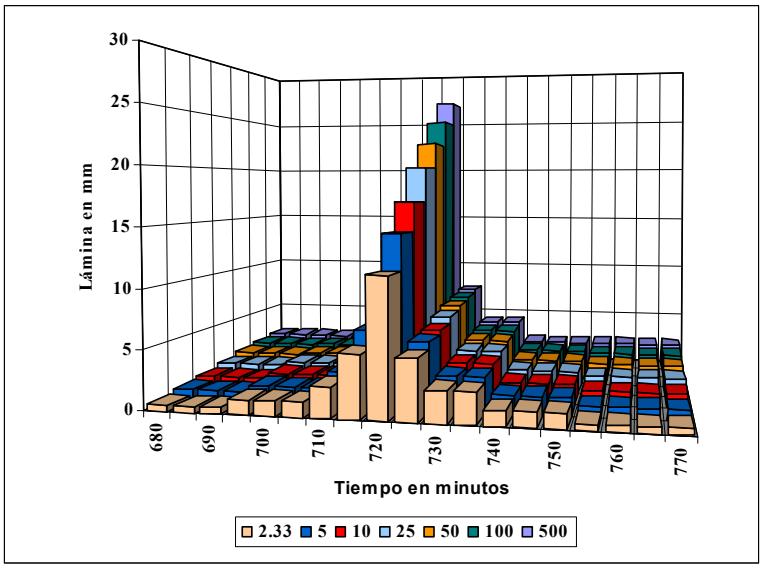


Figura 4.7.- Hietogramas. Estación La Mariposa

4.3.3 Variación Espacial de la Precipitación

Para la definición del patrón de distribución espacial de los eventos de tormentas extremas en la cuenca del río Guaire, se utilizó la información recopilada y analizada en las referencias INOS (1959), MARNR (1984) y Wiese (1959). De estas referencias se tomó la información correspondiente a tormentas extremas procesadas y que corresponden al río Guaire.

En la Figura 4.8 se presentan la variación de los coeficientes de reducción por área con el tamaño de la cuenca y la duración de la lluvia. En esta figura se grafica la información correspondiente a duraciones de lluvia que van desde treinta minutos hasta dos horas, que han sido tomadas de la referencia Wiese (1959), la cual fue derivada analizando tormentas extremas ocurridas durante los años 1949, 1951 y 1958. Adicionalmente en esta figura se incluye la información correspondiente a una tormenta extrema de cinco horas de duración ocurrida el 18/9/1980 y referenciada en MARN (1984).

De acuerdo a esta información para una cuenca con un área cercana a los 500 Km^2, es necesario aplicar un coeficiente de reducción por área del orden de 65 %.

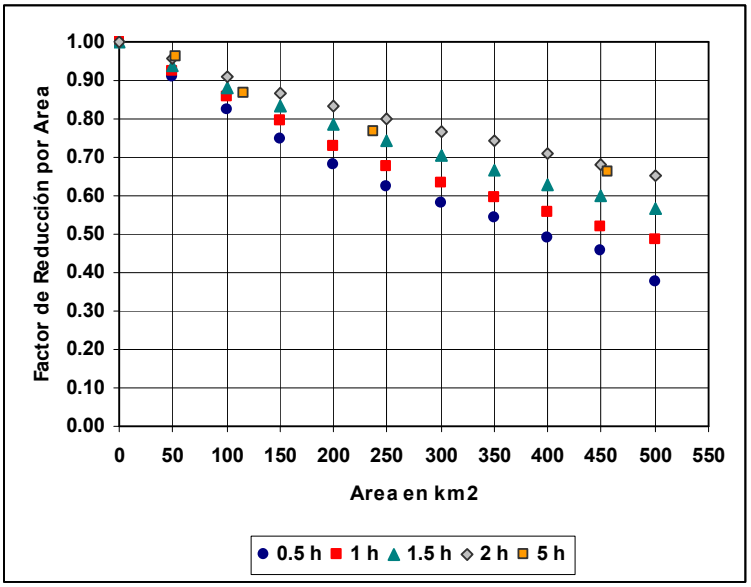


Figura 4.8.- Factor de reducción por área en la Cuenca del Río Guaire

4.3.4 Procesamiento de la información Hidrométrica

De todos los sitios de medición de la hidrometría del río Guaire, la estación con mejor información es la estación de Los Caobos. En este sitio se consiguieron hasta cinco fuentes de información con datos que se consideran confiables:

- Los datos del Anuario INOS (1972)
- La información reportada en el estudio MARNR (1977)
- Los datos del trabajo de Ayala (1982)
- La información del MARNR (1988)
- Los datos disponibles actualmente en Dirección de Hidrología del MARNR.

En la Tabla 4.4 se presenta la data descrita en cada una de estas fuentes.

Fuente	Años													
	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Ayala 1982	377	236	678	569	795	568	824	284	526	512	537	620	196	609
Marnr 1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marnr 1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marnr 1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
INOS 1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente	Años													
	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
Ayala 1982	333	708	712	668	350	510	280	742	296	70	320	291	275	249
Marnr 1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marnr 1977	-	-	-	-	-	510	280	742	296	86	320	291	188	275
Marnr 1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
INOS 1990	-	-	-	-	-		167	248	173	76	-	170	107	-

Fuente	Años													
	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Ayala 1982	283	239	408	341	254	269	275	391	339	389	463	235	-	630
Marnr 1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	148	254	-
Marnr 1977	283	270	310	467	270	270	275	391	402	389	463	-	-	-
Marnr 1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	254	317

INOS 1990	--	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.4. Datos de caudales máximos registrados y estimados en el río Guaire en Los Caobos (m3/s)

Fuente	**Años**													
	81	**82**	**83**	**84**	**85**	**86**	**87**	**88**	**89**	**90**	**91**	**92**	**93**	**94**
Ayala 1982	517	236												
Marnr 1980		-	-	-	281	223	-	-	-	-	-	-	-	-
Marnr 1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marnr 1999	271	-	124	236	248	223	277	294	277	-	238	342	-	-
INOS 1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.4. Datos de caudales máximos registrados y estimados en el río Guaire en Los Caobos (m^3/s) (cont.)

Los datos reportados en Ayala (1982), que van desde 1939 hasta 1957, fueron estimados mediante el uso de un modelo de simulación de continua del proceso lluvia - escorrentía (HYDROCOMP).

Adicionalmente, se ubicaron unos datos en publicaciones del INOS (1982) que contienen información procesada referente a mediciones del río Guaire en Puente Las Mercedes o en Puente Veracruz. Dicha información se incluye en la Tabla 4.5

Fuente	**Años**													
	61	**62**	**63**	**64**	**65**	**66**	**67**	**68**	**69**	**70**	**71**	**72**	**73**	**74**
INOS	655	168	204	207	252	204	186	772	284	-	-	-	-	-

Tabla 4.5. Datos de caudales máximos registrados y estimados en el río Guaire en Las Mercedes (m3/s)

Uno de los problemas más controversiales en el uso de datos de crecidas en zonas urbanas, lo constituye la posible no estacionalidad de dicha variable aleatoria por efectos de las continuas variaciones de las condiciones de infiltración y drenaje de la escorrentía superficial. Las series de datos usadas para validar o calibrar el modelo en la estación Los Caobos corresponden a datos previos a 1980. Se estima que para esta fecha las

condiciones de la cuenca hasta Los Caobos no variaron tanto para el período entre 1940 y 1970. Solamente el eje desde Antímano hacia Los Teques y algunos cerros del municipio Libertador sufrieron una fuerte intervención que en términos de áreas tributarias no es determinante. El proceso de urbanización de la ciudad tuvo su más alta expresión hacia el este y el Sureste, que conforman las áreas tributarias aguas abajo del río Guaire en Los Caobos.

De todas formas, en el proceso de calibración se ha tenido el cuidado de usar la información histórica de caudales máximos mas como una referencia que como valores a ser reproducidos exactamente.

Utilizando la mencionada información, con las salvedades del caso, se procedió al ajuste de distribuciones probabilísticas de eventos extremos para las series de datos anteriores. En la Figuras 4.8 y 4.9 se muestran los ajustes empíricos de una distribución LogGumbel a los datos simulados por Ayala (1988) y a los datos registrados.

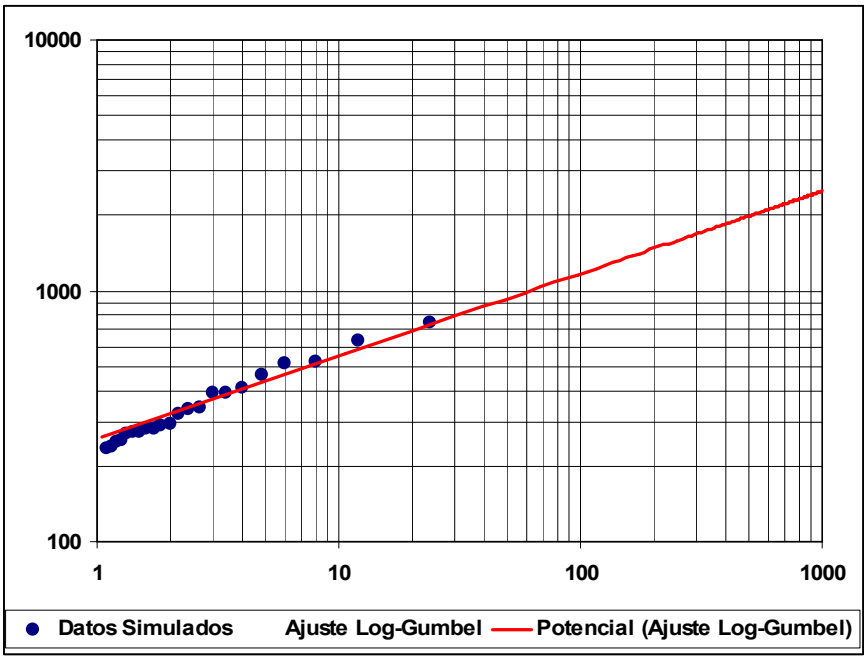


Figura 4.9. Ajuste LogGumbel a datos simulados del río Guaire en Los Caobos

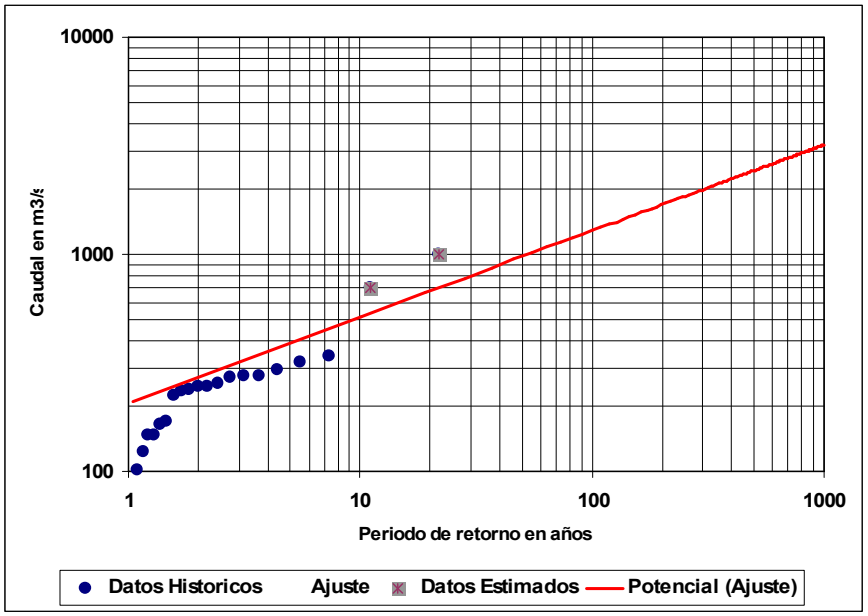


Figura 4.10. Ajuste LogGumbel a datos registrados del Guaire en Los Caobos

A partir del ajuste de la Figura 4.10 se elabora la Tabla 4.6, donde se resumen los gastos máximos asociados a diferentes períodos de retorno, del río Guaire en Los Caobos.

Distribución	Período de Retorno en años					
	Media	5	10	25	50	100
Log-Gumbel	198	329	461	678	878	1115

Tabla 4.6. Ajuste de Probabilidades de Crecidas Extremas del río Guaire en los Caobos (m3/s)

4.4 Estimación de los hidrogramas de crecidas en la cuenca del río Guaire

Una de las actividades más importantes, a ser desarrollada a través de la elaboración de este estudio, corresponde la aplicación de modelos matemáticos que permiten analizar la problemática de inundaciones, en el casco urbano de la ciudad capital, ante la ocurrencia de crecidas extremas. Este tipo de modelaje requiere, como información básica, los hidrogramas de crecidas que producen tormentas extremas, asociadas a diferentes períodos de retornos, en las cuencas naturales que bordean el casco urbano.

A continuación se realiza una descripción del modelo de crecidas instrumentado y aplicado en cada una de estas cuencas y luego se realiza una descripción de los principales resultados obtenidos.

4.4.1 Descripción de los modelos para la estimación de crecidas

Para la estimación de los hidrogramas de crecidas generados por la ocurrencia de eventos extremos se requieren de dos metodologías de análisis, la primera que permita estimar los hietogramas de lluvia efectiva (lámina de escurrimiento) a partir de los hietogramas totales, y la segunda que corresponde a la forma como van a ser transitado el escurrimiento superficial a través de las vertientes y cauces que integran la red de drenajes. De acuerdo a la experiencia que se tiene en cuencas similares se consideró conveniente adoptar como primera metodología la desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos de América conocido como el método del número de la curva (USACE, 2001). Por otra parte, dado los tamaños y características fisiográficas de las cuencas bajo estudio, se consideró conveniente el uso del método de la onda cinemática a los fines de realizar el tránsito del escurrimiento superficial a través de las vertientes y redes de drenajes.

Un resumen del procedimiento adoptado en la aplicación de este esquema de modelaje es el siguiente: Con las curvas de profundidad-duración-frecuencia y las curvas de reducción por área, de las estaciones representativas de la precipitación en las cuencas, se construyen los hietogramas de diseño (con intervalos de tiempo de cinco minutos) asociados a cada período de retorno seleccionado; luego, usando el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (U.S. Bureau of Reclamation, 1978), se determina la lluvia efectiva que va a producir escurrimiento superficial. Posteriormente, se aplica el modelo de crecidas (que incluye la estimación de los hidrogramas y tránsito a través de la red de drenajes), ajustando los valores de los parámetros estimados para cada una de las cuencas de interés, utilizando como base las características físicas de estas cuencas y experiencias en cuencas similares.

4.4.1.1 Estimación de la Lluvia Efectiva

El paso de lámina precipitada a escurrida ó lluvia efectiva se realiza utilizando el método del U.S. Soil Conservation Service (U.S. Bureau of Reclamation, 1978). El método establece:

$$Pe = (P - 0{,}2\,S)2 / (P + 0{,}8\,S) \quad \text{(en mm)} \qquad (4.13)$$

donde, S es la diferencia potencial máxima entre la lámina precipitada, P, y la lámina escurrida, Pe, en el momento en que comienza la tormenta generadora de la crecida. Esta variable se obtiene de la expresión:

$$S = (25400/NC) - 254 \quad \text{(en mm)} \qquad (4.14)$$

donde, NC corresponde al número de la curva del U.S. Soil Conservation Service, el cual es función de las características de la cuenca (tipo de suelo, topografía, vegetación, áreas

impermeables, tipos de cultivos, etc.), como puede verse en las tablas A.1 y A.3 de la referencia antes mencionada (U.S. Bureau of Reclamation, 1978).

4.4.1.2 Descripción del método de la Onda Cinemática

En este método (Schaake, 1973), se divide la cuenca en subcuencas que son representadas por dos planicies o superficies que drenan hacia un cauce o canal colector (USACE, 2001). Cada planicie tiene forma rectangular, de área igual a la de la subcuenca que representa, y una pendiente constante e igual a la pendiente promedio de la subcuenca. La longitud normal al canal de la planicie se obtiene dividiendo el área por la longitud del cauce recolector. Lo anterior significa que las diferentes planicies de una cuenca tendrán áreas, pendientes y longitudes diferentes. El número de las subcuencas que se selecciona depende básicamente del tamaño de la cuenca, de la uniformidad de sus características físicas y de la diversificación de su red de drenaje.

Una vez idealizada la cuenca, se establecen los vínculos entre todas las subcuencas, indicando cuales tramos de canales vierten sus aguas a los de otras subcuencas situadas corriente abajo.

El procedimiento de tránsito del escurrimiento superficial, a lo largo de las planicies, empleado por el método, es conocido como la onda cinemática que considera, en primer lugar, la ecuación unidimensional de la continuidad de la masa para flujo no permanente con superficie libre; es decir, una de las ecuaciones de Saint Venant (Chow, 1959). Esta ecuación puede escribirse así:

$$(\partial q / \partial x) + (\partial y / \partial t) = I \qquad (4.15)$$

donde q es el gasto por unidad de ancho ($m^3/s/m$), y la profundidad de agua (m), x la distancia medida en el sentido del movimiento (m), t el tiempo (s) e i la intensidad de la lluvia efectiva (m/s).

La segunda ecuación de Saint Venant, se obtiene de la ecuación de la cantidad de movimiento, la cual al despreciar los términos de inercia y presión (Chow, 1959), se reduce a la siguiente expresión:

$$So = Sf \qquad (4.16)$$

donde So es la pendiente de la planicie y Sf la de la línea de energía. La igualdad de pendientes equivale a decir que para cualquier instante de tiempo y en una misma sección, la ecuación anterior se cumple, pero los valores de esas pendientes se modifican de sección en sección. La ventaja de estas suposiciones radica en que para cada sección existe una relación única entre gasto y profundidad y, por lo tanto, se puede seleccionar cualquier fórmula de flujo permanente para representar esa relación, por ejemplo, la ecuación de Manning, cuya expresión para flujo bidimensional viene dada por:

$$q = (So^{1/2}\ y^{5/3}) / n \qquad (4.17)$$

donde n es el coeficiente de rugosidad de Manning. Sustituyendo el valor de q dado por la expresión anterior en la ecuación (4.15), se obtiene una ecuación diferencial representativa de la variación de la profundidad con el tiempo a lo largo de la planicie, la cual puede ser resuelta aproximadamente, utilizando un esquema de diferencias finitas.

Una vez resueltas estas ecuaciones para la planicie se procede a su solución en el cauce o canal, cambiando las variables gasto por unidad de ancho q y profundidad y, por gasto total en el cauce Q y área A, respectivamente. Adicionalmente, la intensidad efectiva de lluvia i se reemplaza por el gasto lateral q, que aportan las planicies contribuyentes al cauce, el cual resulta de la solución de las ecuaciones de Saint Venant en la planicie.

La intensidad efectiva de la lluvia se calcula aplicando el método del U. S. Soil Conservation Service antes descrito, al hietograma de precipitación total definido en la Sección 4.4.1.1.

4.4.2 Aplicación a la estimación de las crecidas del río Guaire

A continuación se presentan los resultados correspondientes a la estimación de los hidrogramas de crecidas del río Guaire hasta la estación hidrométrica de los Caobos, después de su confluencia con el río Valle y hasta puente Baloa en Petare. Para ello se procedió a la calibración del modelo de crecidas hasta la citada estación hidrométrica y luego se extendió su aplicación hasta la confluencia con el río Valle y Puente Baloa en Petare.

Como se presentó en el aparte la distribución espacial de las tormentas sobre la cuenca del río Guaire en general las mismas son poco homogéneas, comúnmente los centros de máxima precipitación están localizados en un área poco extensa observándose importantes gradientes de lluvia entre diferentes zonas de la cuenca.

Quizás la condición más desfavorable para una crecida de gran magnitud en Caracas sea la entrada desde las cabeceras de la cuenca, en el río Macarao, de una tormenta que se mueva hacia el Este. De la información de isoyetas de algunas crecidas disponibles se decidió plantearse tres escenarios de tormentas, ubicando los núcleos mas importantes en la cuenca alta hasta Caricuao, en la zona media-baja desde Los Caobos hacia Petare y el caso uniforme suponiendo una tormenta mas o menos homogeneamente distribuida sobre toda la cuenca.

Para la calibración se utilizó la información hidrométrica observada y estimada en estudios anteriores en Los Caobos, analizada anteriormente. Para ello se aplicó un modelo de simulación lluvia escorrentía ajustado con la hidrografía de la cuenca del río obtenida de planos a escalas 1:5.000 y 1:25.000. El modelo instrumentado y calibrado es similar al descrito anteriormente, el cual se basa en el método del SCS para definir los

hietogramas de lluvia efectiva y en el método de la onda cinemática para transitar estos hietogramas a través del conjunto de vertientes y cauces que integran la red de drenajes.

4.4.2.1 Calibración del modelo de crecidas hasta la estación Hidrométrica de Los Caobos.

Como fue referido en la sección sobre información básica, se dispone de información sobre gastos máximos instantáneos anuales en la estación hidrométrica del Río Guaire en Los Caobos, para varios períodos. Utilizando esta información, se procedió a calibrar el modelo de crecidas en esta cuenca considerando dos configuraciones de cuenca; a escalas 1:5.000 y 1:25.000.

Para este tipo de esquemas de modelaje se estimaron los parámetros de rugosidad y número de curva (método del SCS), de forma tal, que sus resultados se ajustaran a los obtenidos en el análisis de extremos descrito. Para la realización de esta calibración se definieron, para cada subcuenca de análisis, sus principales características en términos de áreas, longitudes, pendientes y rugosidades, tanto de laderas como de los cauces (ver Anexo 4), y como datos de precipitación se utilizaron los hietogramas calaculados anteriormente.

El resultado de esta calibración determinó que el número de la curva para esta cuenca va desde 55 en la cuenca alta de bosque hasta 90 en la parte más intervenida de la cuenca en la zona urbana. Los resultados de la calibración del modelo se muestran en la Figura 4.11. En esta última figura se grafican los gastos máximos obtenidos para cada período de retorno, comparándolos con los gastos registrados y con el ajuste teórico de la distribución de probabilidad Log-Gumbel (que fue con la que se logró el mejor ajuste).

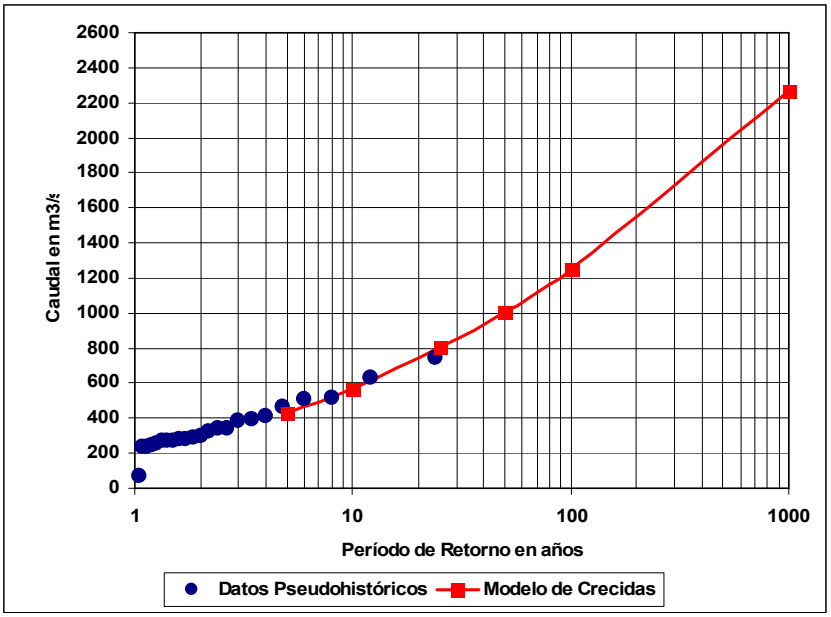


Figura 4.11. Calibración del modelo de crecidas a datos registrados del Guaire en Los Caobos

4.4.2.2 Hidrogramas de crecidas en la cuenca del río Guaire hasta los Caobos y aguas abajo de la confluencia del río Valle

Con los resultados de la calibración en Los Caobos se procedió a simular los hidrogramas de crecidas, tanto en dicho sitio como aguas abajo de la confluencia del río Guaire con el río Valle. Los aportes del río Valle fueron controlados por el transito a través del embalse de la Mariposa de las crecidas de diferentes periodos de retorno. Como se presento anteriormente, los hidrogramas transitados del embalse La Mariposa ingresaron al río Valle como aportes de dicha cuenca.

En la Figura 4.12 se presentan los hidrogramas de las crecidas para 25, 50, 100 y 500 años del río Guaire en los Caobos, mientras que en la Figura 4.13 se incluyen los mismos períodos de retorno para el caso del río Guaire aguas abajo de la confluencia con el río Valle. En los Anexos 5 y 6, se muestran estos hidrogramas en forma de tablas. Para este caso se presenta la Tabla 4.7 con los caudales máximos de cada período de retorno.

Período de Retorno en años					
5	**10**	**25**	**50**	**100**	**500**
378	530	778	1000	1263	2009

Tabla 4.7. Caudales máximos de Crecidas del río Guaire Aguas abajo de la confluencia del río Valle (m3/s)

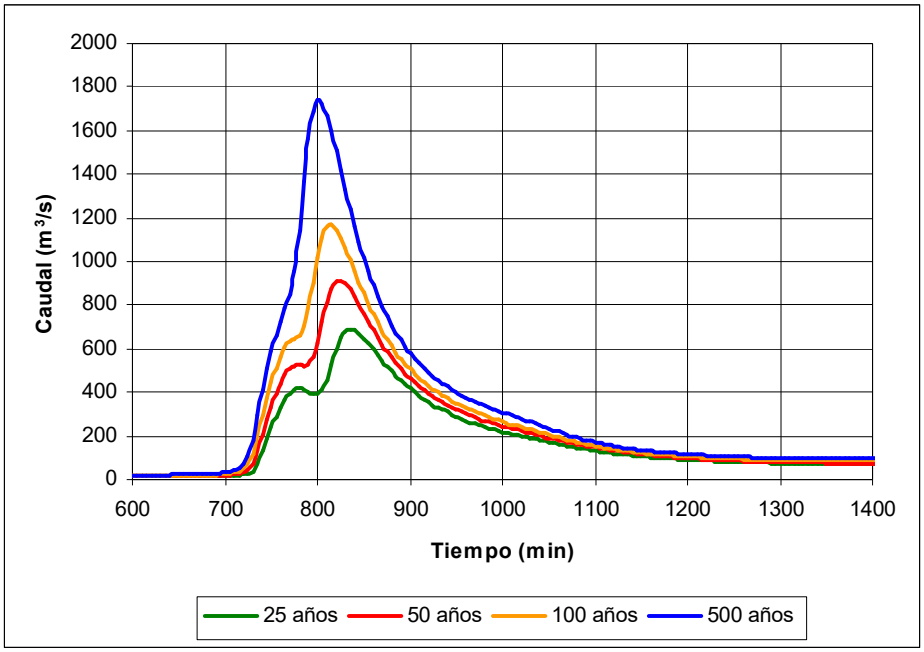


Figura 4.12. Hidrogramas de crecida del río Guaire en Los Caobos

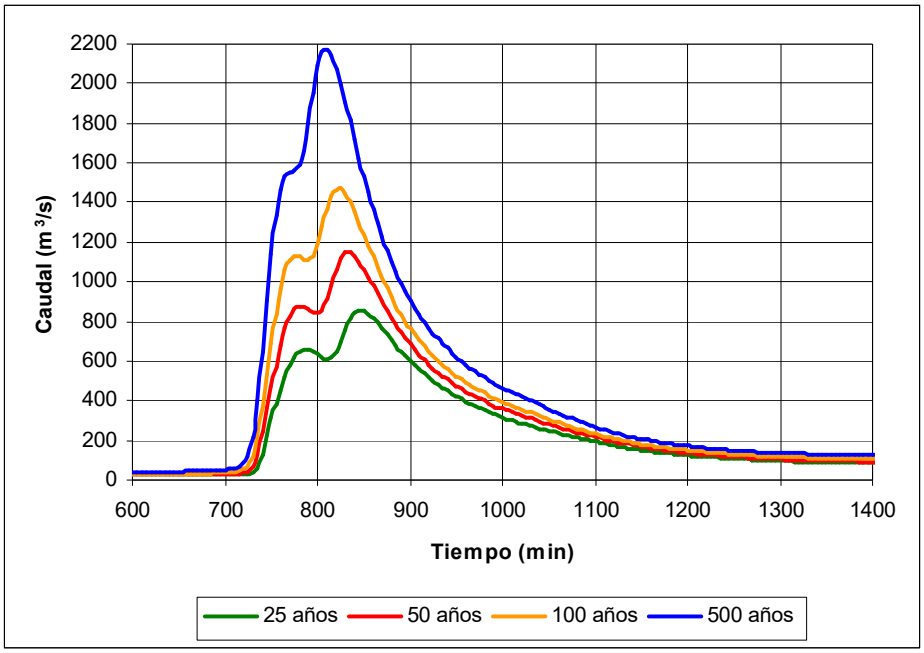


Figura 4.13. Hidrogramas de crecida del río Guaire después de la confluencia con el río Valle (Bello Monte)

4.4.2.3 Hidrogramas de crecidas en la cuenca del río Guaire en Las Adjuntas, Puente Mohedano, Bello Monte, Puente Las Mercedes y Petare

En esta sección se presenta la aplicación del modelo de crecidas, previamente calibrado hasta la estación hidrométrica de Los Caobos, hasta otros sitios de interés como Las Adjuntas, Puente Mohedano, Bello Monte, Puente Las Mercedes y Petare. Para analizar la influencia de la ubicación de los centros de máxima precipitación sobre los hidrogramas de las crecidas del Guaire en el tramo hacia Petare se simularon los tres tipos de distribución espacial de las tormentas: a) hacia las cabeceras, b) hacia el Este y c) la distribución uniforme.

Los resultados obtenidos en esta aplicación del modelo de crecidas se muestran en las Figuras 4.14, 4.15 y 4.16, donde se presentan los hidrogramas de las crecidas para 25, 50, 100 y 500 años de período de retorno correspondientes al río Guaire en Petare. En el Anexo 7, se muestran los hidrogramas del río Guaire hasta Petare en forma de tablas.

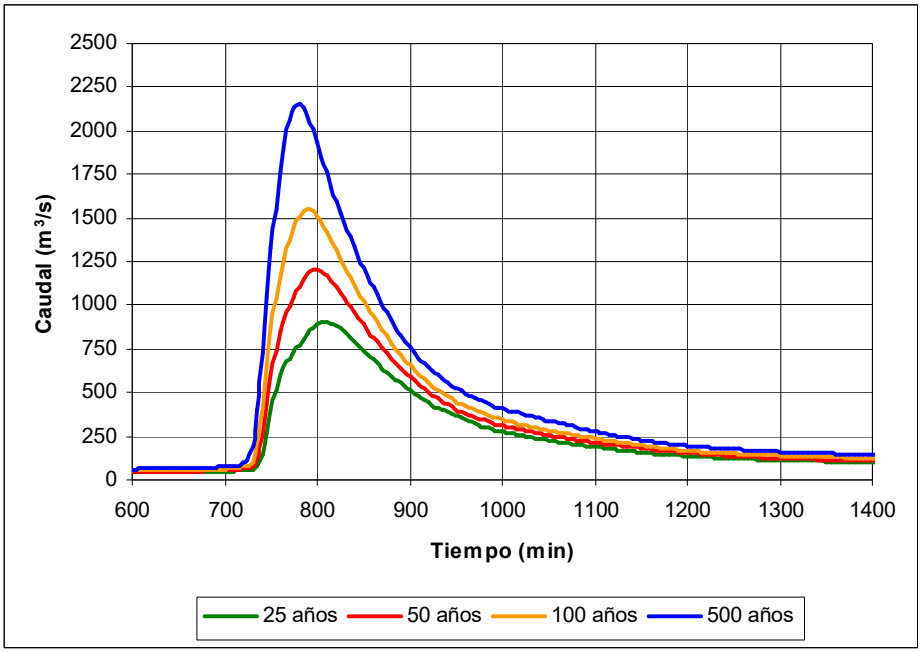


Figura 4.14.- Hidrogramas del río Guaire en Pte. Baloa para tormenta hacia el Este

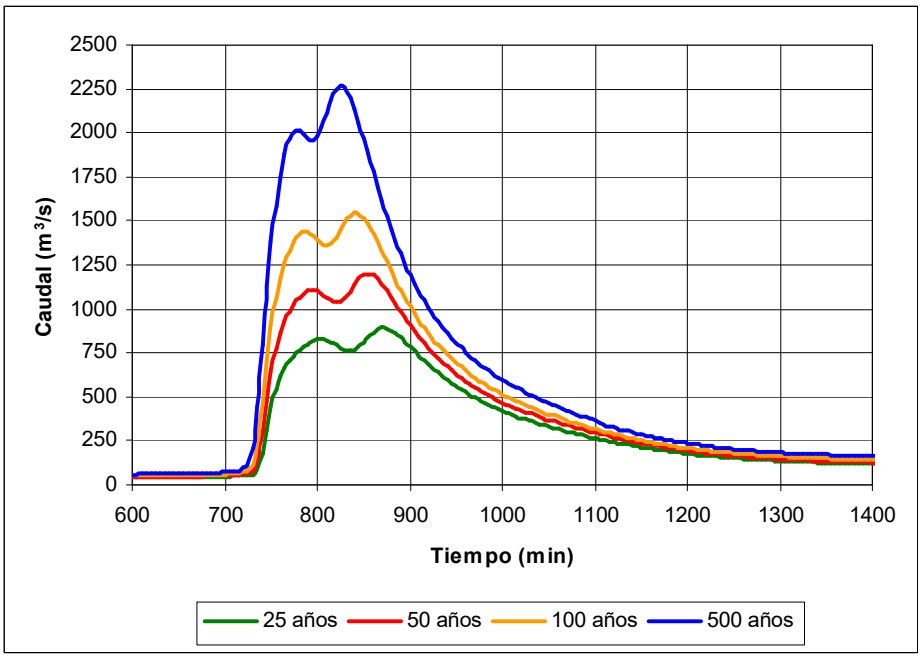


Figura 4.15. Hidrogramas del río Guaire en Pte. Baloa para tormenta uniforme

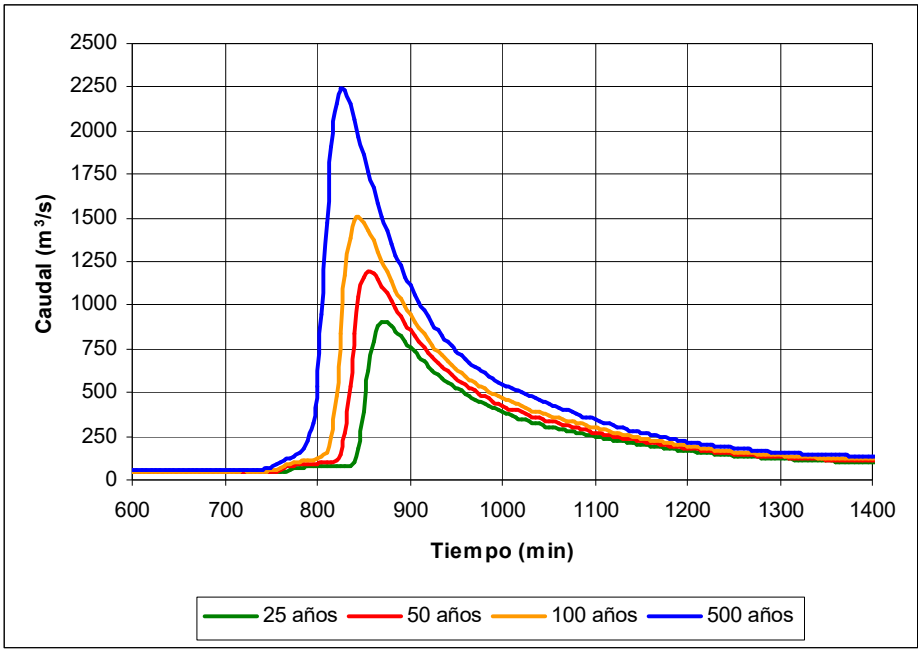


Figura 4.16. Hidrogramas del río Guaire en Pte. Baloa para tormenta hacia el Oeste

En todos estos casos de ubicación de los centros de tormentas hacia el Este, Oeste o uniformemente sobre toda la ciudad, se puede observar que los picos se mantienen en los mismos órdenes de magnitud. Las diferencias se observan a nivel de los tiempos al pico, y en el caso de la distribución uniforme donde se tienen casi dos picos posiblemente por la presencia de 2 cuencas casi paralelas como las del Valle y sureste y la del Guaire en Caricuao. A titulo de ejemplo también se incluye la gráfica de los hidrogramas de las crecidas del río Guaire en Las Adjuntas luego de la incorporación de la quebrada Caricuao.

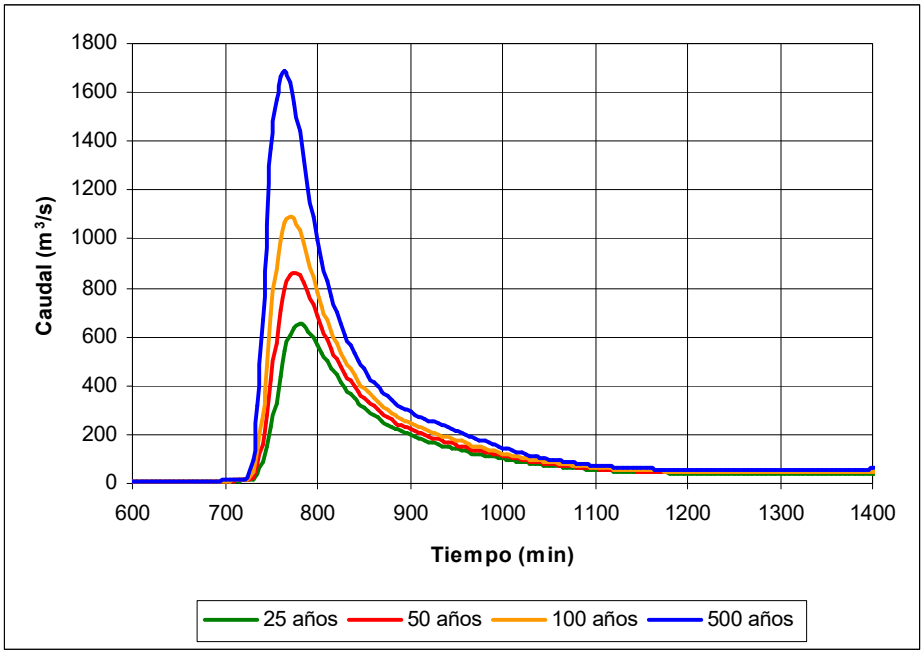


Figura 4.17. Hidrogramas de crecida del río Guaire en Las Adjuntas (Después de Caricuao)

Finalmente, en la Tabla 4.8 se incluyen los caudales máximos instantáneos de cada uno de los hidrogramas calculados en todos los sitios de interés.

Río Guaire en el sitio	5	10	25	50	100	500
Las Adjuntas + Caricuao	270	415	650	862	1094	1685
Puente Mohedano	288	435	670	883	1127	1698
Los Caobos	292	444	691	915	1166	1738
Bello Monte	346	539	858	1147	1469	2173
Chacaíto	352	548	874	1172	1507	2221
Chuao	359	556	886	1190	1529	2252
Petare	365	562	894	1200	1545	2269

Tabla 4.8. Caudales máximos de Crecidas del río Guaire (m3/s)

4.5 Estimación de los hidrogramas de crecidas en las cuencas que nacen en la vertiente Sur del Cerro Ávila

Dentro del conjunto de subcuencas que confluyen al río Guaire por su margen izquierda desde la Cordillera del Ávila se considera importante analizar las posibilidades de inundación que existen en dichas quebradas ante la ocurrencia de tormentas localizadas totalmente sobre dichas áreas. Debido a la extensión de la cuenca del Guaire es probable, como ha sido observado en numerosas oportunidades, que algunas quebradas aisladas produzcan inundaciones cuando el río Guaire aún no se ha desbordado.

En esta fase del estudio se trata de analizar las condiciones de inundación de estas quebradas en forma individual. Para estos cálculos se decidió tomar los resultados del estudio de CGR Ingeniería (2000), donde se estimaron los hidrogramas de crecidas en las cuencas más importantes hasta el cruce con la Avenida Boyacá o Cota Mil. Este trabajo se realizó utilizando un modelo de crecidas basado en la teoría de la onda cinemática. En este capítulo se complementa dicha información incorporando las cuencas pequeñas, en las cuales se utiliza un modelo de crecidas basado en el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América, a través de la aplicación del modelo HEC-HMS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Americano (USACE, 2001).

4.5.1 Identificación de Cuencas

Para identificar las numerosas cuencas que drenan a la vertiente sur del Ávila hacia la ciudad de Caracas, entre las quebradas Caroata y Caurimare, se procedió a delimitar cada una de las cuencas en los planos 1:5.000, anteriormente descritos. Se identificaron cuarenta y siete subcuencas, los cuales se presentan, en forma esquemática, en el plano que se incluye en anexo. Las cuencas han sido delimitadas hasta el cruce de las mismas con la avenida Boyaca ó Cota Mil, de forma tal, de generar los hidrogramas de crecidas, asociados a diferentes períodos de retorno, que serán el insumo de entrada o condición de borde del modelo FLO 2D que será aplicado a la zona urbana que se ubica aguas abajo de esta avenida.

En la Tabla 4.9 se presentan las características de las cuencas que drenan desde el Ávila hasta la Cota Mil, en términos de sus áreas tributarias, longitudes del cauce principal, y pendiente promedio del mismo.

Tabla 4.9 Características de las Cuencas del Parque Nacional Ávila

Subcuenca	Nombre	Area km^2	Longitud km	Pendiente m/m
1	-	0.161	0.418	0.10
2	-	0.987	2.115	0.34
3	-	0.075	0.392	0.12
4	Caurimare	6.354	5.397	0.29
5	Galindo	3.845	4.512	0.34
6	-	0.087	0.533	0.19
7	-	0.36	1.119	0.38
8	Pasaquire	1.143	2.213	0.47
9	-	0.117	0.453	0.42
10	-	0.055	0.417	0.41
11	-	0.247	1.155	0.29
12	La Julia	2.1	3.178	0.37
13	-	0.327	0.699	0.41
14	Tócome	9.448	6.602	0.24
15	Tenerías	1.403	2.401	0.47
16	Agua de Maíz	0.38	0.7	0.42
17	Sebucán	1.57	2.664	0.57
18	-	0.167	0.543	0.44
19	Pajaritos	1.374	3.03	0.53
20	-	0.112	0.467	0.45
21	-	0.27	0.973	0.50
22	Quintero	1.973	3.8	0.40
23	Seca	0.775	1.490	0.40
24	-	0.207	0.561	0.52
25	Chacaito	6.332	5.55	0.26
26	-	0.158	0.401	0.52
27	-	0.253	0.974	0.35
28	Chapellín	1.192	2.68	0.28
29	-	0.069	0.399	0.55
30	Cuño	0.598	1.90	0.42
31	-	0.235	0.727	0.40
32	-	0.057	0.303	0.50
33	Mariperez	0.696	1.69	0.37
34	-	0.092	0.281	0.25
35	Canoas	0.569	1.578	0.39
36	-	0.266	0.692	0.30
37	Gamboa	3.071	4.25	0.33
38	-	0.192	0.728	0.45
39	Beatas	0.427	1.466	0.37
40	-	0.191	0.792	0.49
41	Anauco	3.69	3.9	0.24
42	Cotiza	3.798	4.17	0.21

43	-	0.269	0.788	0.32
44	Catuche	4.499	4.087	0.22
45	-	0.091	0.359	0.56
46	-	0.082	0.368	0.60
47	-	0.478	1.197	0.37

4.5.2 Estaciones de lluvia representativas de las cuencas

Para efectos de estimar la lluvia de diseño de cada una de las cuencas analizadas se seleccionaron entre las estaciones de medición de lluvia disponibles para este trabajo, aquellas que se consideraron más representativas de la lluvia de cada sector. A cada cuenca se le asignó uno ó varios hietogramas representativos de la lluvia que ocurre en dichas zonas. En la Tabla 4.10 se especifican dichas estaciones.

Tabla 4.10 Estaciones de lluvia representativas de las cuencas

Subcuenca	Nombre	Estaciones
1	-	Caurimare
2	-	Caurimare
3	-	Caurimare
4	Caurimare	Caurimare
5	Galindo	Caurimare
6	-	Caurimare
7	-	Caurimare, Los Chorros
8	Pasaquire	Caurimare, Los Chorros
9	-	Caurimare, Los Chorros
10	-	Caurimare, Los Chorros
11	-	Los Chorros
12	La Julia	Los Chorros
13	-	Los Chorros
14	Tócome	Los Chorros
15	Tenerías	Teleférico, Los Chorros
16	Agua de Maíz	Teleférico, Los Chorros
17	Sebucán	Teleférico, Los Chorros
18	-	Los Chorros
19	Pajaritos	Teleférico, Los Chorros
20	-	Los Chorros
21	-	Teleférico, Los Chorros
22	Quintero	Teleférico, Los Chorros
23	Seca	Teleférico, Los Chorros
24	-	Los Chorros
25	Chacaito	Teleférico, Los Chorros
26	-	Los Chorros
27	-	Los Chorros
28	Chapellín	Teleférico, Los Chorros
29	-	Los Chorros
30	Cuño	Teleférico, Los Chorros

31	-	Teleférico
32	-	Teleférico
33	Maripérez	Teleférico
34	-	Teleférico
35	Canoas	Teleférico
36	-	San José del Ávila, Teleférico
37	Gamboa	San José del Ávila, Maiquetía, Teleférico
38	-	San José del Ávila, Teleférico
39	Beatas	San José del Ávila, Teleférico
40	-	San José del Ávila, Teleférico
41	Anauco	San José del Ávila, Maiquetía
42	Cotiza	San José del Ávila, Maiquetía
43	-	San José del Ávila, Teleférico
44	Catuche	San José del Ávila, Maiquetía
45	-	San José del Ávila, Teleférico
46	-	San José del Ávila, Teleférico
47	-	San José del Ávila, Teleférico

Tabla 4.10 (Continuación)

4.5.3 Descripción de los modelos de estimación de crecidas

Los hidrogramas de crecidas correspondientes a cuencas con áreas tributarias superiores a las cincuenta hectáreas fueron estimados en la referencia CGR (2001), donde se describe la instrumentación de un modelo matemático basado en la teoría de la onda cinemática, para analizar el tránsito del escurrimiento superficial a través de vertientes y red de drenajes. (Este modelo fue descrito en la sección 4.4.1 relativa al Río Guaire)

En esta sección se describe la instrumentación y aplicación del modelo HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System), el cual ha sido desarrollado por el USACE (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América) (2001). Este modelo se utiliza para la estimación de los hidrogramas de crecidas extremas en las cuencas pequeñas que se ubican aguas arriba de la Avenida Boyacá o Cota Mil.
Este programa tiene varias opciones para estimar los diferentes componentes que integran el modelo. Estos componentes son los siguientes:

- Cálculo de los hietogramas de diseño a partir de las curvas de profundidad-duración-frecuencia, y las curvas de reducción por área.
- Transformación de los hietogramas totales en hietogramas efectivos
- Estimación de la lluvia representativa en cada subcuenca
- Estimación de los hidrogramas unitarios y totales en cada subcuenca,
- Tránsito de los hidrogramas a través de la red de drenaje

Dada las características de estas cuencas se tomó la decisión de adoptar las metodologías que se listan a continuación a los fines de ejecutar cada uno de los componentes del modelo.

- El método del número de la curva del Servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos, para la transformación de los hietogramas totales en hietogramas efectivos. Este método tiene la ventaja de producir coeficientes de escorrentía que varía con la profundidad de la lluvia y, por lo tanto, con el período de retorno, lo cual determina una mejor representación del proceso físico de generación de escurrimiento superficial.

- Ponderación de las láminas de precipitación de cada estación pluviométrica y para cada subcuenca, a los fines de obtener la lluvia promedio areal.

- El método del Servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos (SCS), para la estimación de los hidrogramas unitarios en cada subcuenca, logrando la estimación de los hidrogramas totales a través de la convolución de estos hidrogramas con los hietogramas efectivos (promedios areales). Es importante destacar que en este caso se definieron los hietogramas totales para intervalos de tiempo cada cinco minutos, durante veinticuatro horas, es decir, doscientos ochenta y ocho convoluciones.

Para el tránsito de los hidrogramas de crecidas a través de la red de drenajes se adoptó el método de Muskingum, estimando sus parámetros en función de las características geométricas de las redes.
Un resumen del procedimiento adoptado en la aplicación de este modelo es el siguiente: Con las curvas de profundidad-duración-frecuencia y las curvas de reducción por área, de las estaciones representativas de la precipitación en la cuenca, se construyen los hietogramas de diseño (con intervalos de tiempo de cinco minutos) asociados a cada período de retorno seleccionado; luego, usando el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (U.S. Bureau of Reclamation, 1978), se determina la lluvia efectiva que va a producir escurrimiento superficial. Posteriormente, se aplica el modelo de crecidas (que incluye la estimación de los hidrogramas y tránsito a través de la red de drenajes), ajustando los valores de los parámetros estimados para cada una de las cuencas de interés, utilizando como base las características físicas de estas cuencas y experiencias en cuencas similares.

A continuación se describe en forma resumida la metodología utilizada del modelo de tránsito de crecidas por las laderas y la red de drenajes que integran la cuenca, basados en el método del SCS. En la estimación de los hietogramas de lluvia efectiva. En cuanto al método de estimación de la lluvia efectiva, fue descrito anteriormente en la sección 4.4.1)

Método de estimación del hidrograma unitario e hidrograma total en cada subcuenca.

El método instrumentado para la estimación de los hidrogramas de crecidas de estas cuencas es el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos descrito en la referencia McCuen (1982), el cual establece que el pico, qp, y el tiempo al

pico, tp, del hidrograma unitario correspondiente a una duración de lluvia Tr, se estiman según las ecuaciones:

$$qp = 2.08\ A / Tp \quad (3.15)$$

$$tp = D/2 + Tlag \quad (3.16)$$

$$Tlag = 0.6 * Tc \quad (3.17)$$

donde :

qp : Gasto máximo en $m^3/s/cm$ de lluvia efectiva
A : Area de la cuenca en km^2
tp : Tiempo al Pico en horas
Tlag : Tiempo de rezago en horas
Tc : Tiempo de Concentración en horas
D : Duración de los intervalos de lluvia, del hietograma efectivo, en horas

Adicionalmente, el método considera un hidrograma unitario triangular que tiene un tiempo base igual a, tb,

$$tb = 2.67 * tp \quad (3.18)$$

Una vez definido el hidrograma unitario triangular se procede a realizar la convolución del mismo con el hietograma de lluvia efectiva que debe tener intervalos de tiempo iguales a D. Dado el rango de tamaños de las cuencas, en este estudio, el intervalo de tiempo utilizado para discretizar el hietograma fue de cinco minutos (0.083 horas). El resultado de dicha convolución será el hidrograma total de la crecida el cual estará asociado al hietograma de precipitación que le dio origen.

Para la estimación del tiempo de concentración se utilizó la metodología desarrollada por Kirpich (Chow, et.al., 1994), la cual se aplica a cuencas montañosas pequeñas.

Método de tránsito de los hidrogramas a través de la red de drenajes

El método adoptado en este caso es el método de Muskingum, según el cual el caudal de salida del tramo de canal se estima en función del hidrograma de entrada y las características geométricas de dicho canal (USACE, 2001).

La ecuación base del método establece lo siguiente,

$$Q_{j+1} = C_1 * I_{j+1} + C_2 * I_j + C_3 * Q_j \quad (3.19)$$

$$C_1 = [\ \Delta t - 2\ K\ X\ ] / \Omega \quad (3.20)$$

$$C_2 = [\ \Delta t + 2\ K\ X\ ] / \Omega \quad (3.21)$$

$$C_3 = [2\ K\ (\ 1- X\ ) - \Delta t\ ] / \Omega \quad (3.22)$$

$$\Omega = [2\ K\ (\ 1- X\ ) + \Delta t\ ] \quad (3.23)$$

Donde,

I_j : Hidrograma de entrada del tramo en m^3/s, j = 1, N
Q_j : Hidrograma de salida del tramo en m^3/s, j = 1, N
Δt : Intervalo de tiempo entre las ordenadas de los hidrogramas en horas.
K : Tiempo de tránsito de la onda a través del tramo de canal, en horas.
X : parámetro que define el tipo de almacenamiento, varía entre 0.0 y 0.5

La mayoría de los cauces naturales tienen un valor de X que varían entre 0.0 y 0.3, con un promedio del orden de 0.25.

El parámetro K se puede calcular a través de la siguiente ecuación,

$$K = \Delta X / V_w \quad (3.24)$$

Donde, ΔX es la longitud del tramo de canal en metros, y V_W la celeridad de la onda de crecidas.

4.5.2 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo 8 en términos de los hidrogramas de crecidas asociados a cada una de las cuencas para períodos de retorno de 25, 50, 100 y 500 años.

Un resumen de estos resultados se muestra en la Tabla 4.11, donde además de la identificación de las cuencas y sus áreas tributarias se muestran los caudales máximos correspondientes a los hidrogramas de crecidas de 25, 50, 100 y 500 años de período de retorno.

Subcuenca	Nombre	Area km^2	Período de Retorno en años			
			25	50	100	500
1	-	0.161	6.04	7.02	8.00	11.89
2	-	0.987	17.04	20.84	24.75	35.82
3	-	0.075	2.82	3.27	3.73	5.54
4	Caurimare	6.354	48	58	75	118
5	Galindo	3.845	50	58	68	111
6	-	0.087	2.24	2.70	3.18	5.00
7	-	0.36	10.12	12.22	14.40	20.53
8	Pasaquire	1.143	22	28	34	48
9	-	0.117	3.57	4.30	5.05	7.26
10	-	0.055	1.68	2.02	2.38	3.41
11	-	0.247	7.46	8.96	10.57	13.94
12	La Julia	2.1	49	60	74	103
13	-	0.327	9.55	11.69	13.93	18.68
14	Tócome	9.448	105	139	182	284
15	Tenerías	1.403	31	37	47	66
16	Agua de Maíz	0.38	8.5	10	12	16
17	Sebucán	1.57	32	41	53	78
18	-	0.167	4.88	5.97	7.12	9.54
19	Pajaritos	1.374	27	33	42	59
20	-	0.112	3.27	4.01	4.77	6.40
21	-	0.27	7.85	9.61	11.46	15.38
22	Quintero	1.973	24.1	31.48	41.22	64.82
23	Seca	0.775	17.05	20.73	25.92	38.03
24	-	0.207	6.05	7.40	8.82	11.83
25	Chacaito	6.332	70	92	117	180
26	-	0.158	4.62	5.65	6.73	9.03
27	-	0.253	7.05	8.65	10.34	13.93

28	Chapellín	1.192	26	32	40	58
29	-	0.069	2.37	2.84	3.32	4.33
30	Cuño	0.598	15.6	19.7	24.5	35.5
31	-	0.235	7.60	9.27	10.93	14.50
32	-	0.057	1.84	2.25	2.65	3.52
33	Maripérez	0.696	23	28	34	47
34	-	0.092	2.98	3.63	4.28	5.68
35	Canoas	0.569	20	24	28	39
36	-	0.266	6.13	7.42	8.85	12.31
37	Gamboa	3.071	31.75	40.88	52.78	83.3
38	-	0.192	4.43	5.35	6.39	8.88
39	Beatas	0.427	7	9	10	15
40	-	0.191	4.40	5.33	6.35	8.84
41	Anauco	3.69	30	40	50	74
42	Cotiza	3.798	33	45	56	83
43	-	0.269	7.54	8.90	10.40	14.00
44	Catuche	4.499	34	47	59	88
45	-	0.091	2.10	2.54	3.03	4.21
46	-	0.082	1.89	2.29	2.73	3.80
47	-	0.478	10.01	12.20	14.69	20.54

Tabla 4.11 Caudales máximos en las cuencas de la vertiente sur del Ávila (m^3/s)

4.1 Introducción *1*

4.2 Recopilación y procesamiento de la información básica *2*
4.2.1 Información cartográfica 2
4.2.2 Información pluviométrica 2
4.2.3 Información hidrométrica 5

4.3 Caracterización de la variación espacial y temporal de las tormentas extremas *5*
4.3.1 Análisis de Profundidad-Duración-Frecuencia 5
4.3.2 Análisis y Definición de Tormentas de Diseño 10
4.3.3 Variación Espacial de la Precipitación 11
4.3.4 Procesamiento de la información Hidrométrica 12

4.4 Estimación de los hidrogramas de crecidas en la cuenca del río Guaire *16*
4.4.1 Descripción de los modelos para la estimación de crecidas 17
4.4.2 Aplicación a la estimación de las crecidas del río Guaire 19

4.5 Estimación de los hidrogramas de crecidas en las cuencas que nacen en la vertiente Sur del Cerro Ávila *26*
4.5.1 Identificación de Cuencas 26
4.5.2 Estaciones de lluvia representativas de las cuencas 28
4.5.3 Descripción de los modelos de estimación de crecidas 29
4.5.2 Resultados obtenidos 32

5. ESTIMACION DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS

5.1 Introducción

El objetivo del principal es la *estimación de la producción de sedimentos producidos por erosión laminar en las laderas y acarreo de fondo en canales* de las cuencas de la vertiente Sur del Parque Nacional El Ávila que descargan hacia la ciudad de Caracas.

El Parque Nacional se localiza en el tramo central de la Cordillera de la Costa, es un área montañosa con alturas hasta de 2.765 msnm (Pico Naiguatá). El estudio comprende las cuencas ubicadas entre la quebrada Catuche en la zona de La Pastora al oeste de Caracas hasta la quebrada Caurimare que drena hacia la Urbanización Terrazas del Ávila en el este de la ciudad, tal como de observa en el mapa de ubicación (Figura Nº 5.1); a su vez, el área de análisis abarca desde el parte de agua de cada una de ellas (2.765 msnm, la de mayor elevación) hasta su intercepción con la Avenida Boyacá (1.000 msnm).

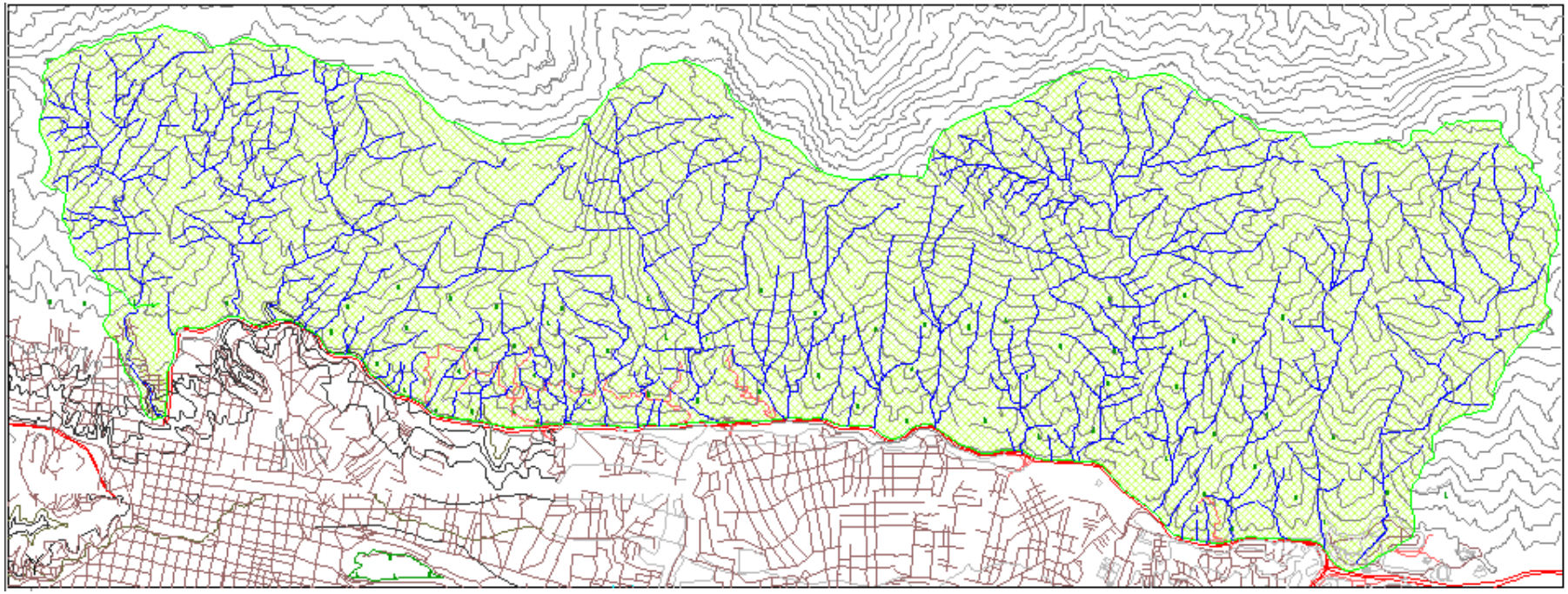
De modo que se trabajó a lo largo de 30 km al norte de la avenida Boyacá, sobre unas 19 subcuencas de montaña cuyas superficies se ubican entre los 2 y 10 km^2, que suman un total de 55 Km^2. Todas presentan una orientación Norte-Sur.

Las subcuencas, en general, presentan poca o ninguna intervención antrópica, a excepción de las cuencas Catuche, Anauco, Cotiza y Gamboa que tienen cierta intervención en su parte mas baja.

Las diferencias altitudinales y topográficas presentes determinan variaciones climáticas y de vegetación considerables. En torno al clima, la diferenciación más evidente es la temperatura, registrándose desde 27 ºC a nivel del mar, hasta 5 ºC en su máxima altitud. Por su parte, en cuanto a la vegetación, las laderas adyacentes a las quebradas de las cuencas se caracterizan por la presencia de una densa vegetación tipo bosque de galería tropical húmedo. No obstante, suele variar con la altitud y en las regiones superiores se evidencia vegetación de subpáramo arbustivo. Cabe destacar, que se observa gramíneas en las áreas aledañas a la Avenida Boyacá debido fundamentalmente a incendios forestales que constantemente amenazan en los meses de sequía.

Las cuencas de la vertiente sur presentan un ciclo de lluvias entre los meses de mayo y octubre, sin embargo, eventos extraordinarios de frentes fríos del norte pueden ocasionalmente traspasar las alturas de la divisoria del Ávila produciendo importantes crecidas hacia el Valle de Caracas entre los meses de noviembre y enero. La precipitación media anual de la zona esta cercana a los 1.000 mm.

Figura Nº 5.1
Mapa de Ubicación del Área de Estudio



5.2 Metodología

5.2.1 Aspectos particulares a las cuencas de montaña

Las cuencas de montaña tropical se caracterizan por elevadas pendientes de sus suelos, rocas y márgenes de torrentes de fácil disgregabilidad, presentar épocas de sequía y lluvia bien definidas, ésta última con presencia de precipitaciones con alta erosividad.

Tales características forjan unas particulares condiciones en la dinámica hidráulica de las cuencas de montaña, entre las que destacan:

- Escurrimientos superficiales con alta intensidad de pequeños lapsos de concentración
- Cursos superficiales de agua con pendientes pronunciadas,
- Gran diferencia entre los caudales de crecidas y estiaje, llegando a ser inexistentes éstos últimos en algunos casos.
- Producción significativa de sedimentos con un comportamiento variable y extremo unísono a los caudales.
- Gran movilidad de los sedimentos generados hacia los cursos de agua.
- Flujos de considerable capacidad de transporte de los sedimentos generados

Los sedimentos transportados por estos cursos de agua están constituidos por la erosión laminar de sus laderas, los movimientos de masa, así como también el material que la corriente levanta de su propio cauce. Estos sedimentos pueden ser clasificados de acuerdo al proceso de transporte dominante, al material de origen o a sus dimensiones.

Generalmente, la cuantificación de sedimentos se realiza considerando la clasificación asociada con los procesos de transporte[1]. Los *sólidos suspendidos* se determinan utilizando aforadores normalizados de precisión satisfactoria para estudios hidrométricos; la confiable data obtenida ha permitido establecer modelos computarizados vía regresión que estiman la producción y arrastre de estos sedimentos.

[1] Según el proceso de transporte dominante, se catalogan en sedimentos de fondo o de arrastre, sedimentos de saltación y sedimentos suspendidos.

Entre los modelos desarrollados destaca el MUSLE, el cual está diseñado para estimar fundamentalmente la erosión laminar. Este modelo se deriva del USLE, sus autores lograron incrementar la precisión predictiva del modelo original y posibilitaron además su aplicación en eventos individuales al sustituir el factor erosividad de las lluvias planteado originalmente por un factor de escorrentía De esta manera, el MUSLE puede ser empleado para estimar la producción de sedimentos durante eventos ordinarios y extraordinarios. Vale destacar que este modelo ha sido aplicado en cuencas de montaña con data histórica, obteniéndose resultados suficientemente ajustados a los valores medidos.

Por otra parte, existen considerables dificultades físicas para medir *los sedimentos de fondo*. Esta condición justifica, en muchos casos, la insuficiente aplicación de mediciones y métodos directos, todo lo cual se traduce en ausencia de data y registros sistemáticos, que a su vez limita el estudio de su comportamiento y el desarrollo de modelos para estimar producción y arrastre de sedimentos de fondo, restringiéndose a ecuaciones empíricas que representan o explican condiciones de laboratorio.

Para el caso que nos atañe, cuencas de montañas, el común de estas ecuaciones presentan el inconveniente adicional de que han sido desarrolladas para pendientes pequeñas, solamente las ecuaciones de Schoklistch y la de Meyer-Peter/Müller han sido adaptadas o modificadas para canales de montaña cuya pendiente se aproximan al 20 %.

A las dificultades expuestas, se agregan las conclusiones de estudios realizados[2] donde se advierte que la aplicación de estas ecuaciones, se debe limitar al empleo de caudales instantáneos, ya que la utilización de caudales medios, proyecta valores subestimados con respecto a los primeros.

La situación descrita ha favorecido el uso de artificios para el calculo de la producción ordinaria, es decir, diaria, mensual y anual donde estas ecuaciones se ven limitadas; en este sentido, se plantea retomando el concepto de afinidad existente entre los sedimentos analizados determinar la función de correlación entre ambos, que permita en base al

[2] J.R. Córdova, M. González, *Sediment yield estimation in small watersheds base on streamflow and suspend sediment discharge measurements*, USB. 1997

calculo diario de los sedimentos en suspensión estimar el equivalente diario a los sedimentos de fondo.

Ante esta circunstancia, se consideró que al estimar los sedimentos suspendidos y los de fondo en subcuencas piloto, para una serie de eventos individuales cuyos resultados se califican fidedignos, se puede determinar dicha función de correlación para las sub-cuencas analizadas.

La función resultante, se acoplara a un modelo diario que estime, dados los valores de sedimentos en suspensión, la cantidad transportada por acarreo de fondo con mayor confiabilidad.

5.2.2.- Metodología

El trabajo se desarrolla según la secuencia metodológica siguiente:

1. Caracterizar las cuencas en términos físico-naturales, hidrológicos e hidráulicos.
2. Procesar y ordenar de la información básica necesaria para los modelos a aplicar.
3. Estimar para tormentas de 10, 25, 50, 100 y 500 años de período de retorno en las subcuencas pilotos[3]:
    - la producción de sedimentos por erosión laminar empleando el modelo MUSLE.
    - la producción de sedimentos por acarreo de fondo en el canal aplicando los modelos Schoklistch y Meyer - Peter / Müller.
    - una correlación entre los resultados anteriores, para establecer la función de correspondencia.
4. Estimar las series de caudales diarios con la aplicación de un modelo lluvia-escorrentía de simulación continua.

[3] Subcuencas que posean la información necesaria

Esto generará y/o extenderá las series históricas de escurrimiento en las cuencas que posean estaciones hidrométricas con registros, preservando variables estadísticas que la caracterizan.

5. Estimar la producción diaria, mensual y anual de sedimentos por erosión laminar y acarreo de fondo empleando el modelo MUSLE en conjunto con las correlaciones establecidas.

5.3 Recopilación y procesamiento de la información básica

5.3.1 Cartografía

- Fotografías Aéreas

Se cuenta con Ortofotomapas de cartografía Nacional en versión digital, correspondientes al vuelo de Febrero de 1994 misión 0304184, los cuales pueden ser trabajados hasta escala 1:20.000.

Los planos obtenidos corresponden a las cartas 6847-IV-SO y 6847-IV-SE. Esto permitió elaborar los mapas de unidades de cobertura vegetal a través del procesamiento, interpretación y revisiones mediante visitas de campo, para cada una de las subcuencas estudiadas.

- Planimétrica y Altimétrica

Se dispone de la información topográfica de Cartografía Nacional, escala 1:25.000 en formato digital correspondiente a las cartas Nº 6847-IV-SO y 6847-IV-SE.

Con esta información se procedió a la delimitación de las cuencas de todas las quebradas ya indicadas. Así mismo la información altimétrica fue empleada para elaborar los modelos de elevación digital (MDE) necesarios para obtener los mapas de pendientes de las subcuencas.

5.3.2 Información Climática

Se identificaron las estaciones climáticas, en su mayoría pluviométricas, que se encuentran en el área de estudio o cercanas a la misma que tiene registros diarios, las cuales se presentan en la tabla 4.1, continuación:

Serial	Estación	Altitud msnm	Ubicación		Información
			Latitud	Longitud	
519	Hotel Humboldt	2129	10-32-	66-52-	Precip.
520	La Salle	1080	10-30-	66-50-	Precip.
526	Torre Sur	1060	10-30-	66-54-	Precip.
563	La Mariposa	980	10-24-	66-55-	Evap.
607	San José Avila	1000	10-31-	66-54-	Precip.
622	Teleférico	1165	10-32-	66-52-	Precip.
624	Urb Miranda	1000	10-31-	66-55-	Precip.
794	Andres Bello	900	10-31-	66-55-	Evap.
5021	Chacaito	1000	10-31-	66-51-	Precip.
5024	Caracas Subida Avila	1000	10-31-	66-54-	Precip.
5026	San Bernardino	930	10-31-	66-53-	Evap.
5027	Caurimare	1000	10-30-	66-50-	Precip.

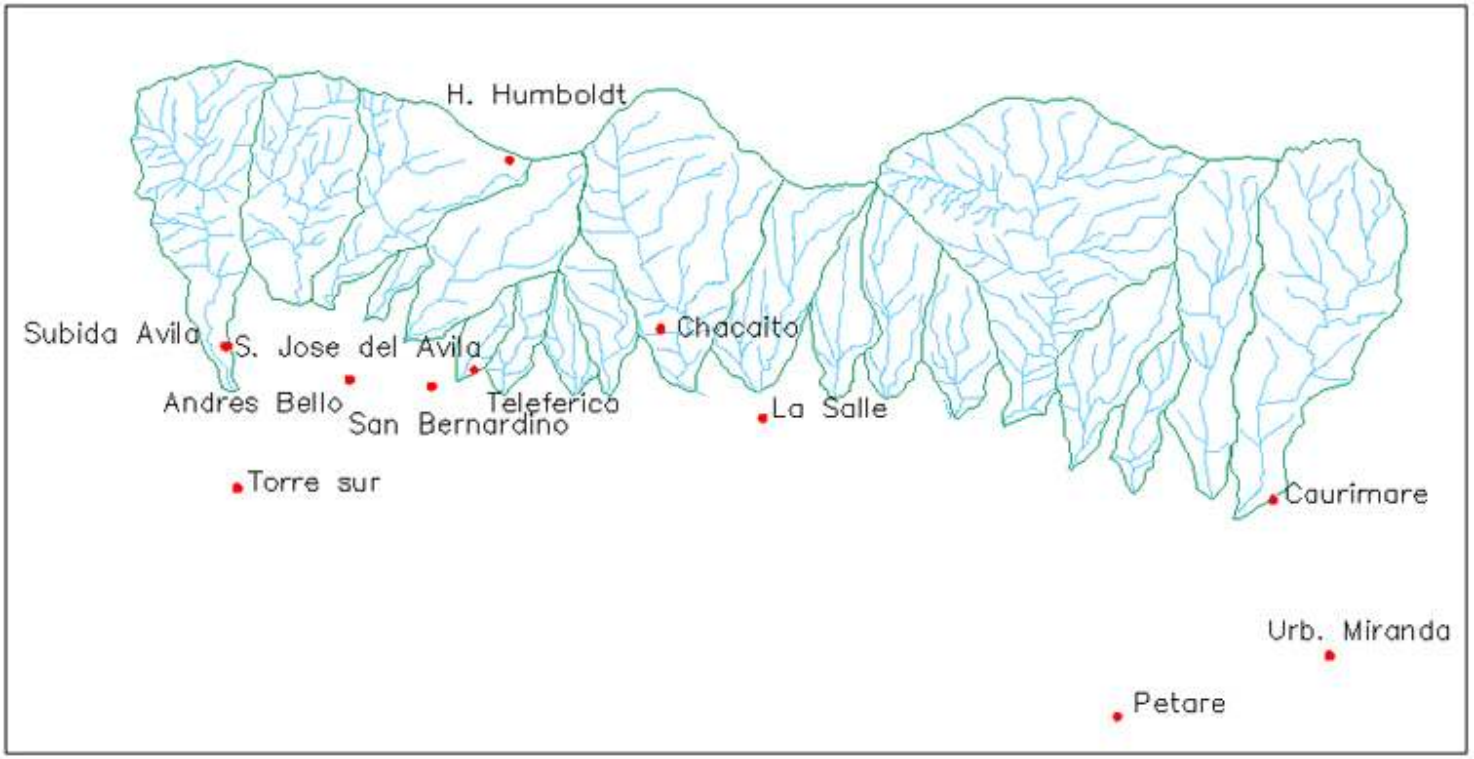
Tabla 4.1
Estaciones climáticas
(FUENTE: MARN)

De estas estaciones se espera obtener información referida a precipitación diaria y evaporación mensual, concomitante tanto entre si, como con la información hidrométrica.

En la figura Nº 5.2, se muestra la ubicación de las estaciones anteriormente señaladas.

Figura Nº 4.1

Ubicación de las estaciones climáticas



5.3.3 Información Hidrométrica

Existieron estaciones Hidrométricas en algunas de las quebradas de interés, parte de los registros de las mismas se pueden apreciar en los "Resúmenes de Estadística Hidrométrica del INOS, 1972", en donde se presenta información de datos diarios de los caudales y los valores máximos instantáneos de estos cursos de agua en cada mes.

En la tabla Nº 5.2, se muestra las estaciones de medición, con sus principales características.

Serial	Estación o cuenca	Area * km^2	Altura msnm	Ubicación		Período
				Latitud	Longitud	
222	Qda. Camburí en Camburí	2.1	1000	10-30-	66-48-	49-68
223	Qda. Caurimare en Caurimare	6.1	1000	10-28-	66-47-	49-68
224	Qda. Chacaito en Chacaito	6.5	1100	10-31-	66-51-	50-67
226	Qda. Pajaritos en Palos Grandes	1.7	1100	10-31-	66-49-	49-68
227	Qda. Pasaquire	0.9	1010	10-30-	66-48-	49-68
228	Qda. Sebucán en Sebucán	1.4	1000	10-31-	66-48-	49-68
230	Qda. Tenería en Tenería	1.5	1000	10-30-	66-49-	49-68
234	Qda. Galindo en Galindo	3.4	1000	10-28-	66-47-	48-62
052	Qda. Tócome Parque Los Chorros	9.3	1000	10-30-	66-49-	48-67

Tabla Nº 5.2
Estaciones hidrométricas

* Área según INOS

Esta información servirá para calibrar el modelo hidrológico, permitiendo así reducir el umbral de incertidumbre en la estimación de sedimento.

5.3.4 Información edafológica y granulométrica

.- Suelo.

El área no presenta estudios que permitan determinar las características de los suelos que los conforman. Por esta razón se planteó un muestreo, conformado en las quebradas Tócome (6 muestras), Chacaito (4 muestras), Anauco (3 muestras), Cotiza (3 muestras) y por ultimo Mariperez (2 muestras).

En análisis de laboratorio se determinó el contenido de arcilla, limo y arena, materia orgánica y permeabilidad. Se trato en todo lo posible de que el muestreo fuese representativo de toda el área de las quebradas, considerando la parte alta y baja de las cuencas.

.- Granulometría

Se procedió a muestrear material del lecho en las gargantas de las quebradas pilotos para obtener mediante tamizado en laboratorio las curvas granulométricas que caracterizan dichos materiales.

5.4 Estimación de producción de sedimentos en suspensión en las cuencas pilotos

El modelo instrumentado para estimar la producción de sedimentos debido a la erosión laminar, es el MUSLE, abreviaturas de su nombre en Ingles "*Modified of Universal Soil Loss Equation* ". Este modelo ha sido desarrollado por, J.R. Williams y Berndt, investigadores del USDA.

Es un modelo que se deriva de la ecuación USLE, donde sus autores sustituyeron el factor erosividad de las lluvias, por un factor de escorrentía, incrementando la precisión predictiva y posibilitando su aplicación en eventos individuales. Se aplica a nivel de cuencas a los fines de predecir el impacto de las prácticas de manejo de aguas y suelos sobre la producción de sedimentos. Las capacidades del modelo permiten el análisis de cuencas grandes y complejas, con diferentes tipos de suelos, cobertura vegetal y usos de la tierra, así como diferentes condiciones de manejo y durante largos períodos.

5.4.1 Formulación del modelo MUSLE

El modelo viene expresado por la siguiente ecuación:

$$Y = 11.6\left(q_p \times Q\right)^{0.56} \times K \times P \times C \times LS \qquad (5.1)$$

En donde:

Y = Sedimentos producido por un evento dato en toneladas métricas
q_p = Caudal pico del evento (m^3/s)
Q = Volumen total de escorrentía del evento (m^3)
K = Factor relativo a la erodabilidad del suelo
P = Factor relativo a las prácticas de manejo conservacionista del suelo
C = Factor relativo a la cobertura vegetal
LS = Factor relativo a la topografía

Las principales características del modelo son las siguientes:

- Permite estimar la producción de sedimento debido a un evento en particular
- Los datos de entrada se encuentran disponibles en la mayoría de las subcuencas.
- Permite el estudio de impactos a largo plazo como puede ser el asolvamiento en estructuras de drenaje

Desde el punto de vista del modelaje, no se disgregaron las subcuencas, ya que debido al tamaño de las mismas no presentan mayor variabilidad en la cobertura vegetal, suelos, topografía, clima y la existencia de estaciones de medición de escurrimientos.

5.4.2 Características de las subcuencas.

El modelo requiere que se le suministre por subcuenca los siguientes conjuntos de datos de entrada:

- Cobertura vegetal.
- Características de los suelos.
- Datos topográficos, longitudes, áreas, pendientes, rugosidades, etc.
- Prácticas de manejo.

5.4.2.1 Cobertura vegetal de las subcuencas.

Un factor importante que se considera afecta la erosión laminar del suelo, es la cobertura vegetal, expresada como el factor "C", este factor toma valores que van desde 0.001 donde se considera que la cobertura vegetal es muy densa, hasta un valor máximo de 1, en el caso de suelos desnudos.

La información de cobertura vegetal se obtuvo a través del procesamiento e interpretación de ortofotomapas, ajustada mediante visitas de campo. De esta manera se obtuvo un mapa de densidad de cobertura vegetal para cada una de las subcuencas estudiadas, los tipos de vegetación presente fue agrupada en cinco (5) categorías, que se listan a continuación:

ID	Tipo de Vegetación	Tipo de Cobertura
1	Selva nublada, Selva de galería, Bosque tropófilo	Muy Densa
2	Selva de transición, Bosque Tropófilo o veranero	Densa
3	Matorrales, Veg-Subparamo	Moderadamente densa
4	Matorrales degradados - sabanas	Poca densa
5	Sabanas degradables	Muy poco densa
6	Suelo desnudo	Nula o casi nula

Se calculó el porcentaje que cubren cada una de las unidades de cobertura vegetal identificadas para cada subcuencas. Todo lo cual permitió construir una matriz donde se cotejan las subcuencas contra los porcentajes de las distintas unidades de cobertura vegetal identificadas. Asignándoseles un valor de C a cada una de ellas, se obtuvo un valor ponderado de C. Los resultados se muestran en la tabla Nº 5.3.

Subcuenca	Área Total (ha)	Cobertura Vegetal							Factor C Ponderado
		1	2	3	4	5	6	Urb*	
		0.008	0.025	0.052	0.060	0.080	0.950		
Tócome	945.8	788.3	32.6	65.0	37.3	21.7	0.9	0.0	**0.016**
Chacaito	622.2	462.7	27.8	30.0	61.2	39.9	0.6	0.0	**0.022**
Caurimare	665.8	460.8	103.8	6.5	44.0	31.9	0.6	18.2	**0.019**
Galindo	386.8	128.6	132.8	35.0	67.3	21.7	0.4	1.0	**0.032**
Sebucan	191.3	129.6	33.3	23.3	4.9	0.0	0.2	0.0	**0.019**
Tenerias	139.6	103.9	13.7	9.1	11.3	1.5	0.1	0.0	**0.018**
Pajarito	130.7	75.0	27.8	23.5	4.0	0.3	0.1	0.0	**0.022**
Quintero	272.6	140.9	82.9	19.0	29.5	0.0	0.3	0.0	**0.023**
Mariperez	70.6	54.4	9.5	0.0	6.6	0.0	0.1	0.0	**0.016**
Gamboa	307.8	265.8	36.9	0.0	4.8	0.0	0.3	0.0	**0.012**
Anauco	345.3	258.5	57.5	3.5	24.3	1.2	0.3	0.0	**0.016**
Cotiza	370.7	286.5	53.0	0.0	27.3	3.5	0.4	0.0	**0.016**
Catuche	438.3	298.2	26.4	15.0	34.8	21.2	7.5	35.3	**0.036**
Pasaquire	100.9	51.8	24.4	14.7	9.9	0.0	0.1	0.0	**0.025**
Camburi	207.1	126.2	29.4	15.5	6.2	29.6	0.2	0.0	**0.026**

Tabla Nº 5.3
Factor de Cobertura Vegetal C

* No se considero el área urbana, a efectos de ponderar el factor C.

5.4.2.2 Erodabilidad de los suelos.

La erodabilidad del suelo, evaluado a través del factor K, en la ecuación MUSLE. El área de trabajo no presenta estudios que permitan obtener los valores de K de los suelos que los conforman. Por ello se planteó la necesidad de tomar muestras de suelos para analizar en laboratorio y con la información generada calcular el parámetro K.

Se realizó un muestreo en las quebradas Tócome, Chacaito, Arauco, Cotiza y Mariperez. A las muestras se le determinó el contenido de arcilla, limo y arena, materia orgánica y permeabilidad. Con los valores obtenidos en el laboratorio, se procedió a estimar el valor de K, para esto se empleo la ecuación de Wischmeier y Smith, la cual considera, la textura (contenido de arcilla, limo y arena), contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad. En la tabla Nº 5.4, se muestra los valores obtenidos de las muestras en el laboratorio (ver anexo Nº 5).

Subcuenca	Muestra	% limo+af	% arena	% M.O.	K
Mariperez	T-01	53	47	0.37	0.47
	T-02	64	36	0.57	0.58
Chacaito	T-03	76	24	3.50	0.39
	T-04	78	22	6.30	0.24
	T-05	74	26	5.11	0.29
Tócome	T-06	78	22	1.38	0.55
	T-07	72	28	4.21	0.34
	T-08	71	29	3.77	0.38
	T-09	72	28	5.49	0.26
	T-10	74	26	2.97	0.44
	T-11	79	21	3.08	0.45
	T-12	76	24	2.43	0.47
Anauco	T-13	79	21	1.93	0.53
	T-15	67	33	1.31	0.54
	T-17	70	30	2.01	0.49
Cotiza	T-14	67	33	2.22	0.47
	T-16	65	35	1.11	0.52
	T-18	68	32	0.70	0.59

Tabla Nº 5.4
Cálculo del Factor K

Como se puede observar los suelos muestreados no presentaron contenido de arcilla. La ausencia de material cohesivo trae en consecuencia una gran erodabilidad, aunque el alto contenido de materia orgánica mitige esta situación en algunos casos. Se estimará entonces que en términos medios, los suelos presentes en las subcuencas son altamente erodables.

5.4.2.3 Características topográficas de las subcuencas.

El factor LS, contemplado en la ecuación MUSLE para considerar los efectos de la topografía en la producción de sedimentos, combina dos factores, uno, la pendiente promedio de las laderas de la cuenca y el otro, la longitud de la pendiente.

Para el primer factor, empleando la información altimétrica contenida en los planos a escala 1:25.000 de Cartografía Nacional y herramientas GIS, se procedió a construir un modelo digital de elevación (MDE), de esta manera se realizaron los correspondientes mapas de pendiente de cada una de la subcuencas y se determinó la pendiente promedio ponderada de las laderas de las mismas (ver anexo Nº 4).

En el caso del segundo factor se empleó el método de los puntos extremos, el cual considera para obtener el factor L, las cotas que representan el 25, 50 y 75 % de la elevación de las subcuencas (ver anexo Nº 6). A continuación se muestra en la tabla Nº 5.5 con los valores calculados de pendiente y de L para cada una de las subcuencas.

Cuenca	Longitud (m)	Pendiente (m/m)
Anauco	89	0.574
Beatas	90	0.582
Camburí	105	0.699
Canoas	100	0.634
Catuche	69	0.568
Caurimare	105	0.675
Chacaito	96	0.755
Chapellin-	60	0.677
Cotiza	94	0.603
Galindo	98	0.617
Gamboa	208	0.592
Guño	49	0.822
Maripérez	102	0.666
Paiaritos	198	0.744
Pasaquire	63	0.733
Quintero	88	0.751
Sebucán	181	0.840
Teneria	145	0.734
Tócome	64	0.713

Tabla Nº 5.5
Pendiente Promedio ponderada de las subcuencas

5.4.3 Aplicación del modelo MUSLE.

Como se menciona en la formulación del modelo, este sustituye la erodabilidad de la lluvia del modelo original USLE, por un factor de escorrentía, el cual viene expresado por el gasto pico y el volumen de escorrentía de un evento dado. El modelo se aplicará en cada una de las subcuencas para los eventos de 10, 25, 50, 100 y 500 años de periodo de retorno, en la tabla Nº 5.6 se muestran el gasto máximo y volumen de escorrentía de estos eventos los cuales fueron estimados por CGR Ingeniería empleando el método de la onda cinemática.

Subcuencas	Período de retorno en años									
	10		25		50		100		500	
	Q	Qp	Q	Qp	Q	Qp	Q	Qp	Q	Qp
Anauco	0.17	21	0.24	30	0.30	40	0.36	50	0.52	74
Beatas	0.02	5	0.03	7	0.03	9	0.04	10	0.05	15
Camburí	0.19	32	0.26	49	0.31	60	0.37	74	0.5	103
Canoas	0.05	14	0.07	20	0.08	24	0.1	28	0.13	39
Catuche	0.22	20	0.32	34	0.40	47	0.49	59	0.7	88
Caurimare	0.22	38	0.29	48	0.34	58	0.4	75	0.55	118
Chacaito	0.37	40	0.53	70	0.66	92	0.8	117	1.13	180
Chapellin-		17	0.12	26		32	0.18	40	0.25	58
Avila	0.09				0.15					
Cotiza	0.20	20	0.29	33	0.36	45	0.44	56	0.62	83
Galindo	0.18	40	0.23	50	0.26	58	0.3	68	0.41	111
Gamboa	0.17	27	0.24	36	0.30	45	0.36	57	0.51	89
Guño	0.07	16	0.10	23	0.12	29	0.14	36	0.19	52
Maripérez	0.06	17	0.08	23	0.10	28	0.12	34	0.17	47
Pajaritos	0.11	19	0.16	27	0.19	33	0.23	42	0.31	59
Pasaquire	0.08	15	0.11	22	0.13	28	0.15	34	0.21	48
Quintero	0.16	28	0.23	39	0.29	49	0.35	64	0.5	100
Sebucán	0.14	21	0.19	32	0.24	41	0.28	53	0.4	78
Tenería	0.12	21	0.17	31	0.20	37	0.24	47	0.33	66
Tócome	0.56	65	0.80	105	1.00	139	1.2	182	1.71	284

Tabla Nº 5.6
Gastos Picos (m^3/s) y Volúmenes de escurrimiento (10^6 m^3)

Fuente: CGR Ingeniería, "Estudio de Crecidas en las Cuencas de la Vertiente Sur del Parque Nacional Ávila", MARN-PNUD, 2001

Con respecto al resto de los factores *C, LS y K,* en la tabla Nº 5.7, se presenta una matriz con los valores estimados anteriormente para cada una de las subcuencas, el factor de prácticas de conservación de suelo *P* referente al uso agrícola, se le asigno un valor de uno (1), ya que en ninguna de las subcuencas consideradas se presenta dicho uso.

Subcuenca	Factores MUSLE		
	C	LS	K
Anauco	0.016	15.74	0.52
Beatas	0.025	16.05	0.44
Camburí	0.026	19.91	0.44
Canoas	0.024	18.08	0.44
Catuche	0.036	13.76	0.44
Caurimare	0.019	19.42	0.44
Chacaito	0.022	20.05	0.31
Chapellin-Avila	0.022	14.64	0.44
Cotiza	0.016	16.89	0.53
Galindo	0.032	17.52	0.44
Gamboa	0.012	24.71	0.44
Guño	0.022	15.10	0.44
Maripérez	0.016	18.95	0.53
Pajaritos	0.022	28.52	0.44
Pasaquire	0.025	15.88	0.44
Quintero	0.023	19.09	0.44
Sebucán	0.019	29.46	0.44
Teneria	0.018	24.17	0.44
Tócome	0.016	15.79	0.41

Fuente: Cálculos propios

Tabla Nº 5.7
Factores de MUSLE

5.4.4 Resultados: producción de sedimentos en suspensión

Una vez reunida toda la información referente a los factores del modelo (Qp, Q, C, LS, y K) para cada una de las subcuencas consideradas se procedió a aplicar el modelo. En la tabla Nº 5.8 y 5.9, se presentan los resultados de producción de sedimento en suspensión, en la primera tabla se presenta los valores totales, y en la segunda en términos del módulo de producción (por unidad de área).

Subcuencas	TR (años)				
	10	25	50	100	500
Anauco	7.3	10.8	12.2	15.9	22.1
Beatas	1.4	2.0	2.2	2.7	3.3
Camburí	17.4	26.4	29.3	36.0	47.9
Canoas	4.2	6.3	6.9	8.5	10.7
Catuche	13.8	22.9	26.0	34.9	48.4
Caurimare	14.7	19.6	21.5	26.0	35.9
Chacaito	16.2	27.1	30.7	39.8	55.2
Chapellin-Avila	4.8	7.3	8.3	10.3	14.0
Cotiza	8.2	13.5	15.2	20.3	27.8
Galindo	20.0	26.4	28.3	33.2	43.3
Gamboa	8.1	11.7	13.2	16.7	23.1
Guño	4.2	6.4	7.0	8.7	11.7
Maripérez	4.4	6.1	7.0	8.5	11.6
Pajaritos	11.5	17.3	19.0	23.7	32.0
Pasaquire	5.3	7.7	8.5	10.5	14.1
Quintero	12.3	17.9	20.4	25.7	36.4
Sebucán	11.9	18.1	20.5	25.8	36.4
Tenería	9.1	13.6	15.0	18.2	24.9
Tócome	21.4	34.2	38.8	50.3	71.3

Fuente: Cálculos propios

Tablas Nº 5.8
Producción de sedimentos en suspensión
(miles de ton)

Esto resultados nos permiten en primer término, tener magnitudes de las cantidades de toneladas de sedimento que estas subcuencas pueden producir, para los eventos analizados, y en segundo termino, nos permiten evaluar y priorizar las subcuencas en función del modulo de producción de sedimento. En la tabla de los totales, se puede observar que la subcuenca con la mayor producción de sedimentos es Tócome, debido a la mayor área. Sin embargo cuando revisamos los módulos de producción por unidad de área, se puede ver que la misma está, entre la menos productora de sedimentos.

Puede observarse en esta última tabla, que las subcuencas mas productoras de sedimentos son Pajaritos, Camburí y Sebucán, seguidas por Canoas y Tenería, debido en mayor parte a la topografía y cobertura vegetal de las mismas.

Subuencas	TR (años)				
	10	25	50	100	500
Anauco	2.0	2.9	3.3	4.3	6.0
Beatas	3.5	5.0	5.4	6.8	8.2
Camburí	8.3	12.5	14.0	17.1	22.8
Canoas	7.0	10.5	11.5	14.2	17.9
Catuche	3.1	5.1	5.8	7.8	10.8
Caurimare	2.3	3.1	3.4	4.1	5.7
Chacaito	2.6	4.3	4.9	6.3	8.8
Chapellin-Avila	4.0	6.1	6.9	8.6	11.7
Cotiza	2.2	3.6	4.0	5.3	7.3
Galindo	5.3	6.9	7.5	8.7	11.4
Gamboa	2.5	3.5	4.0	5.0	7.0
Guño	4.7	7.1	7.7	9.7	13.0
Maripérez	6.3	8.7	10.0	12.2	16.5
Pajaritos	8.2	12.3	13.6	16.9	22.9
Pasaquire	4.8	7.0	7.7	9.5	12.8
Quintero	4.5	6.6	7.5	9.5	13.5
Sebucán	6.3	9.5	10.8	13.6	19.2
Tenería	6.5	9.7	10.7	13.0	17.8
Tócome	2.3	3.6	4.1	5.3	7.6

Fuente: Cálculos propios

Tablas Nº 5.9
Modulo de producción de sedimentos en suspensión
(miles de ton/km^2)

En la figura Nº 5.3 se puede observar gráficamente la tendencia del modulo de producción de sedimentos con respecto al área de las subcuencas para un evento de TR= 100 años, el comportamiento es el mismo para los demás eventos, los módulos de producción tienden a ser mayor a medidas que las subcuencas tienden a ser mas pequeñas. Esto se puede explicar, por una parte, por el hecho que las subcuencas con mayor extensión tienden a minimizar los efectos de áreas donde la cobertura vegetal ha sido degradada, y por otra parte, son precisamente las subcuencas pequeñas que tienen mayor parte de sus áreas afectadas por la intervención humana.

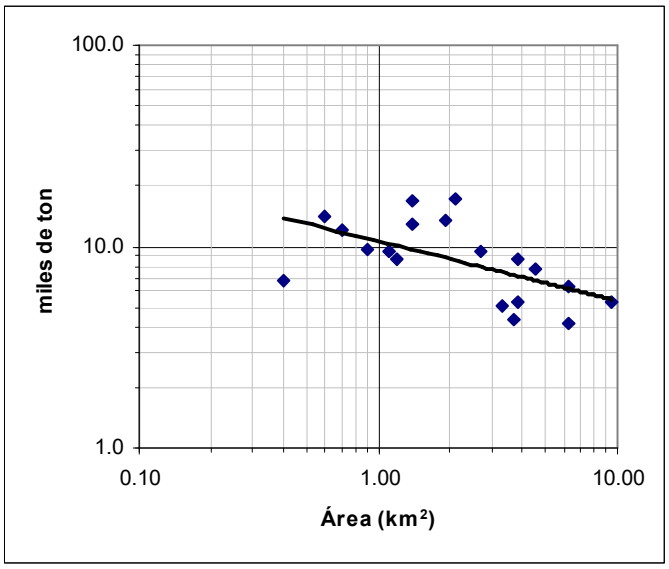


Figura Nº 5.3
Módulo de producción de sedimentos & áreas de subcuencas

5.5. Estimación de acarreo de sedimentos (erosión en canales) en las cuencas pilotos.

Las pendientes de los cursos de agua en las cuencas de montañas adquieren dimensiones que superan, en general, las consideradas en el desarrollo de las ecuaciones de transporte de acarreo. Comúnmente las ecuaciones de transporte de sedimentos han sido desarrolladas para pendientes pequeñas. Esta restricción limita la aplicación de la ecuación para ríos o canales con pendientes pronunciadas y gran variabilidad en el tamaño del sedimento, cual es el caso de las cuencas que se analizan.

Investigaciones muestran que en cursos de montañas el proceso de transporte de sedimentos ingresa a una zona de transición en donde la componente del peso de las partículas en la dirección del flujo es importante; mientras que en pendientes suaves esta componente normalmente es despreciada.

Considerando lo antes mencionado se propusieron dos ecuaciones para la estimación de la producción de sedimentos por arrastre de fondo; la de Schoklistch y la de Meyer-Peter/Müller, ya que las mismas han sido adaptada o modificadas para canales de montaña cuya pendiente se aproximan al 20 %.

5.5.1 Formulación del modelo de acarreo de sedimentos.

a) Ecuación de Schoklitsch

Este autor desarrolló una fórmula basada en la idea de que el material del lecho empieza a moverse a alguna descarga crítica y que la descarga del sedimento de arrastre es proporcional a la tasa de trabajo realizado por parte de la fuerza tractiva que excede a la necesaria para superar la resistencia a lo largo del perímetro mojado. En principio, la ecuación se dedujo para material unigranular, sin embargo se emplea en materiales mixtos, integrando los resultados aplicados a los diferentes diámetros representativos del material. Bathurst et al. (1987), valiéndose de información de laboratorio y de ríos de alta pendiente propuso una modificación a la ecuación original de Schoklistch, con la que se logró un mejor ajuste a la estimación de acarreo, considerando el efecto de no uniformidad en la

distribución del tamaño de los sedimentos recomendada para el cálculo para ríos de montaña. Dicha ecuación es la siguiente:

$$q_s = \frac{2.5}{\rho_s / \rho} S^{3/2}(q - q_o) \qquad (5.1)$$

Con:

$$q_o = 0.21 S^{-1.12} \sqrt{gD^3} \qquad (5.2)$$

En donde:

q_s = Acarreo de fondo de sedimento por unidad de ancho, (kg/s/m)

D = Diámetro de la partículas, (mm)

S = Pendiente de la línea de energía, (m/m)

qo = Descarga crítica por unidad de ancho, (m^3/s/m)

□$_s$/□ = Relación entre la densidad de los sedimento y el agua

b) Ecuación de Meyer-Peter/Müller

Está ecuación empírica es muy empleada para estimar el acarreo de fondo en cursos naturales de montaña.

La ecuación expresada en forma explicita es la siguiente:

$$q_B = \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \cdot g \cdot D^3 \cdot 8(\tau_* - 0.047)^{3/2}} \qquad (5.3)$$

En donde:

$$\tau_* = \frac{\tau_o}{\rho_s - \rho \cdot D} \qquad (5.4)$$

En donde:

□$_*$ = Tensión de corte critico de la partícula

τ_o = Tensión de corte del agua sobre el fondo

ρ_s = Densidad de los sedimentos

ρ = Densidad del agua

Sf = Pendiente de la línea de energía, (m/m)

D = Diámetro de la partículas (m)

Para ambas ecuaciones se considero el efecto de los sedimentos en suspensión calculado con MUSLE, sobre la densidad del agua, ya que este parámetro repercute sobre el acarreo de fondo, es de suponer que la concentración varié durante el hidrograma de forma proporcional al mismo, pero el modelo MUSLE, arroja valores globales y no discretizado para cada intervalo del hidrograma, así que se considero una concentración constante de sedimentos a lo largo de todo el hidrograma, como la relación del volumen total de sedimento entre el volumen total de agua.

5.5.2 Características de las subcuencas consideradas.

Para el cálculo del acarreo de fondo, las ecuaciones planteadas han sido acoplado a un modelo hidráulico, que necesita como información de entrada la información de las quebradas correspondiente a:

- Secciones transversales
- Granulometría del material
- Hidrográmas de las crecidas para los diferentes TR, considerados

5.5.2.1 Características topográficas de las gargantas de las subcuencas

Una variable importante en las ecuaciones de acarreo de sedimento es la pendiente de la línea de energía, por esto, se acoplaron dichas ecuaciones a un modelo hidráulico HEC-RAS, para así, calcular el perfil hidráulico, lográndose así, conocer la pendiente de la línea de energía, en la sección donde se desee calcular la producción de sedimento. Para este modelo hidráulico el insumo principal son las secciones transversales del canal a modelar, así que se determinaron las secciones transversales, mediante el empleo modelos digitales de elevación de las gargantas de las quebradas a partir de cartografía a escala 1:1000. En los anexos Nº 7, se muestran las secciones empleadas.

5.5.2.2 Características de los sedimentos

Las distribución de los tamaños de los sedimentos transportados es fundamental para el calculo del mismo, por ello se tomaron muestras en los lechos de las quebradas, para analizar en laboratorio y generar las curvas granulométricas, se muestrearon seis quebradas, en el anexo Nº 5, se muestra el informe técnico con las respectivas curvas granulométricas.

5.5.3 Aplicación de los modelos Schoklistch y Meyer – Peter/ Müller

Los hidrogramas de las crecidas de 10, 25, 59, 100 y 500 años de período de retorno discretizados en intervalos de cinco (5) minutos, se transitaron en la garganta de seis subcuencas pilotos[4], en tramos entre 150 y 250 m, con secciones levantadas cada 25 a 50 m, con interpolaciones de las mismas cada 5 m, se empleo el modelo hidráulico HEC-RAS[5]. Los resultados de los perfiles obtenidos para cada intervalo fueron empleados para realizar los cálculos de acarreo de fondo empleando las ecuaciones de Schoklitsch y Meyer-Peter/Müller.

[4] Esta seis subcuencas contaban con suficiente información topográfica a escala 1:1.000
[5] Modelo desarrollado por el Cuerpo de Ingeniero de la Armada de EEUU

Debido a la no uniformidad de la granulometría del material del lecho de estas quebradas, las ecuaciones fueron aplicadas separadamente para cada una de las fracciones de tamaños de partículas, correspondientes al D_{10}, D_{20}, D_{30}, D_{40}, D_{50}, D_{60}, D_{70}, D_{80} y D_{90}.

5.5.4 Resultados: producción de sedimentos por acarreo de fondo

Acopladas las ecuaciones a los resultados del modelo HEC-RAS se obtuvieron los correspondientes hidrogramas de acarreo de sedimentos, de cada uno de los eventos analizados, los mismos se muestran en las figuras Nº 5.4 a la 5.9.

En la tabla Nº 5.10, se muestran las cantidades totales de acarreo de sedimentos correspondiente a cada evento y subcuencas.

Subcuenca	Pendiente (m/m)		Long Tramo	Ecuación	TR(años)				
	Sección	Tramo (1)	(m)		10	25	50	100	500
Anauco	0.13	0.19	150	Schoklitsch	14.52	22.14	27.98	34.75	50.98
				Meyer-Peter-Müller	9.30	13.09	15.77	19.08	25.19
Camburí	0.10	0.10	218	Schoklitsch	15.40	22.45	27.43	32.67	44.38
				Meyer-Peter-Müller	15.03	20.27	23.42	26.83	34.82
Chacaito	0.06	0.06	150	Schoklitsch	6.29	9.09	11.23	13.73	19.58
				Meyer-Peter-Müller	10.25	13.52	15.69	18.19	23.64
Galindo	0.03	0.07	240	Schoklitsch	0.71	0.92	1.07	1.26	1.66
				Meyer-Peter-Müller	1.25	1.53	1.70	1.94	2.44
Tenería	0.07	0.12	150	Schoklitsch	5.30	7.90	9.91	12.12	17.35
				Meyer-Peter-Müller	5.45	7.54	8.92	10.53	13.90
Tócome	0.19	0.20	250	Schoklitsch	83.40	120.24	146.99	176.03	230.51
				Meyer-Peter-Müller	74.31	100.02	116.07	134.17	169.37

(1)Pendiente ponderada en el tramo considerado

Tabla Nº 5.10
Producción de sedimentos por acarreo de fondo en subcuencas pilotos
(Miles de ton.)

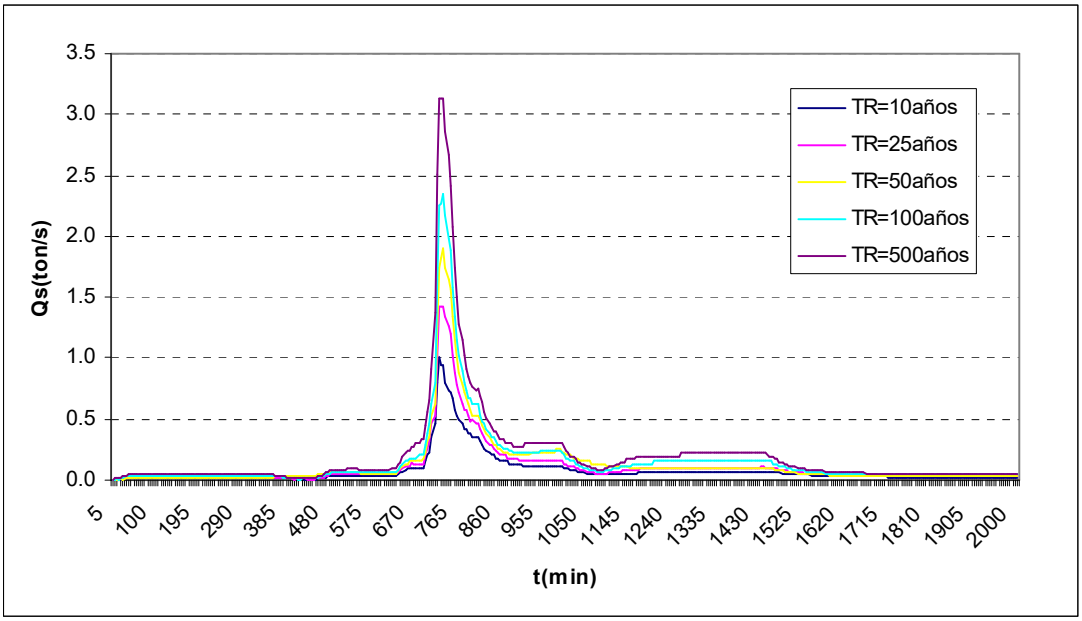


Figura Nº 5.4
Subcuenca Anauco
Hidrógramas de acarreo de fondo – Ecuación de Meyer-Peter/Müller

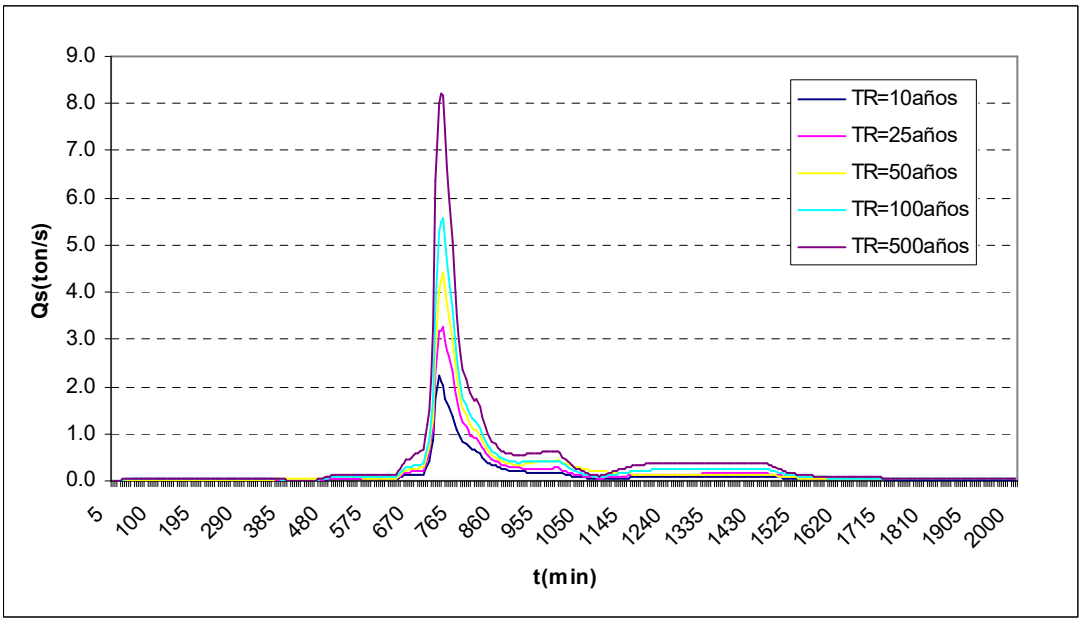


Figura Nº 5.5
Subcuenca Anauco
Hidrógramas de acarreo de fondo – Ecuación de Schoklitsch

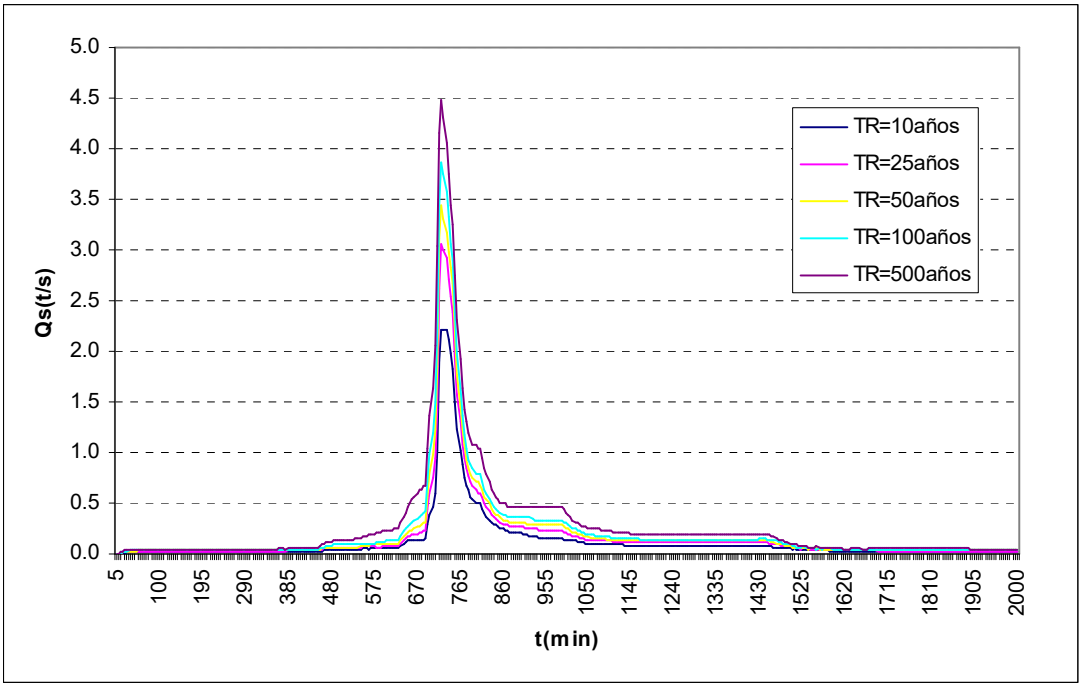


Figura Nº 5.6
Subcuenca Camburí
Hidrógramas de acarreo de fondo – Ecuación de Meyer-Peter/Müller

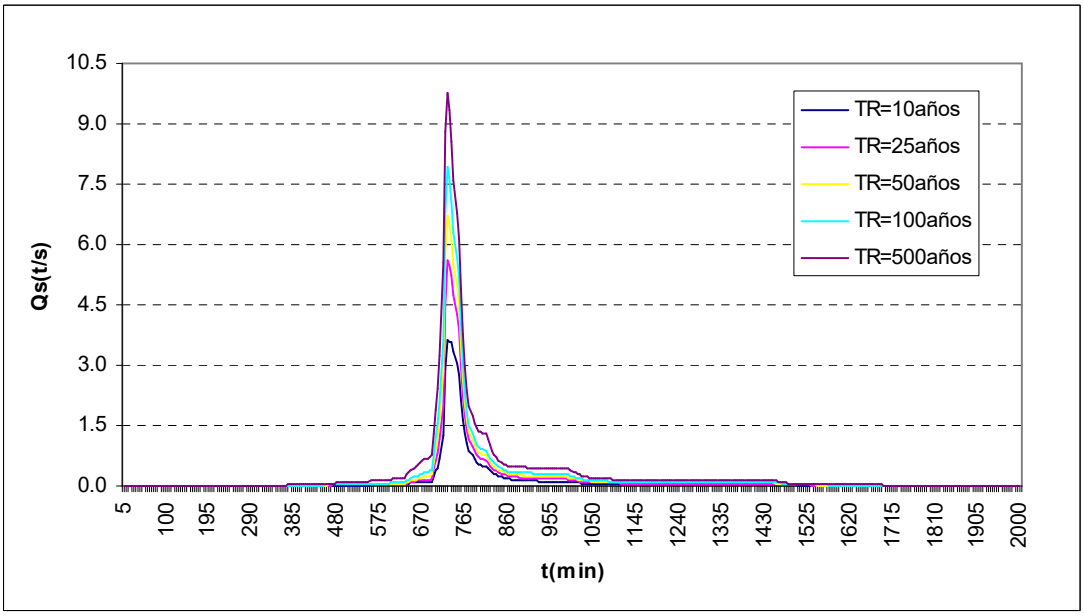


Figura Nº 5.7
Subcuenca Camburí
Hidrógramas de acarreo de fondo – Ecuación de Schoklitsch

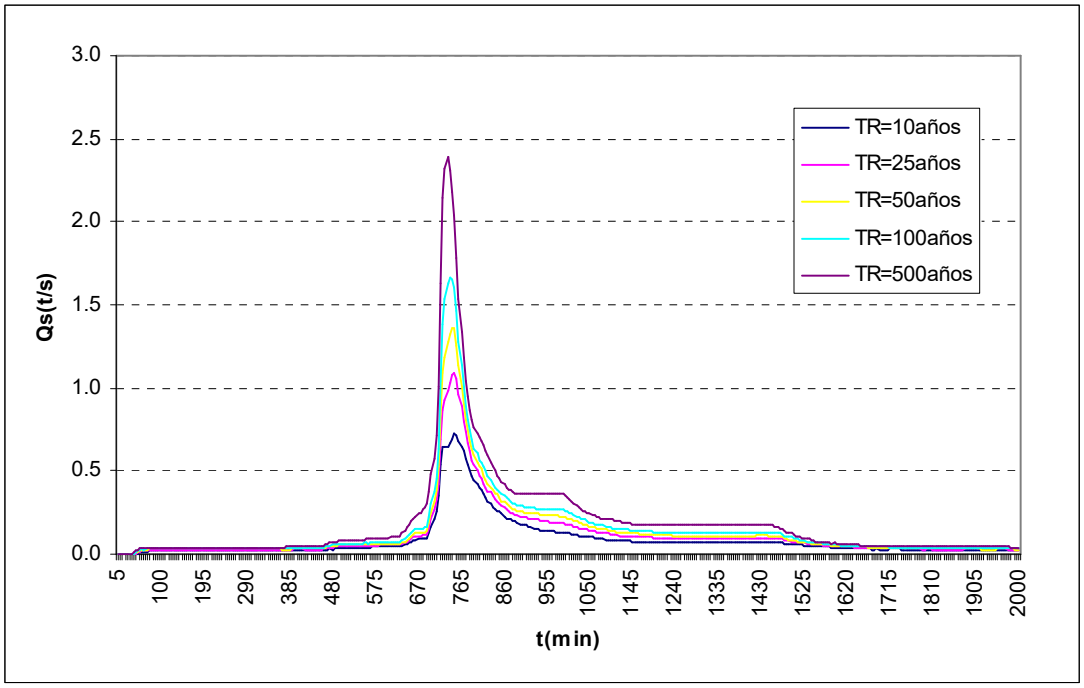


Figura Nº 5.8
Subcuenca Chacaito
Hidrógramas de acarreo de fondo – Ecuación de Meyer-Peter/Müller

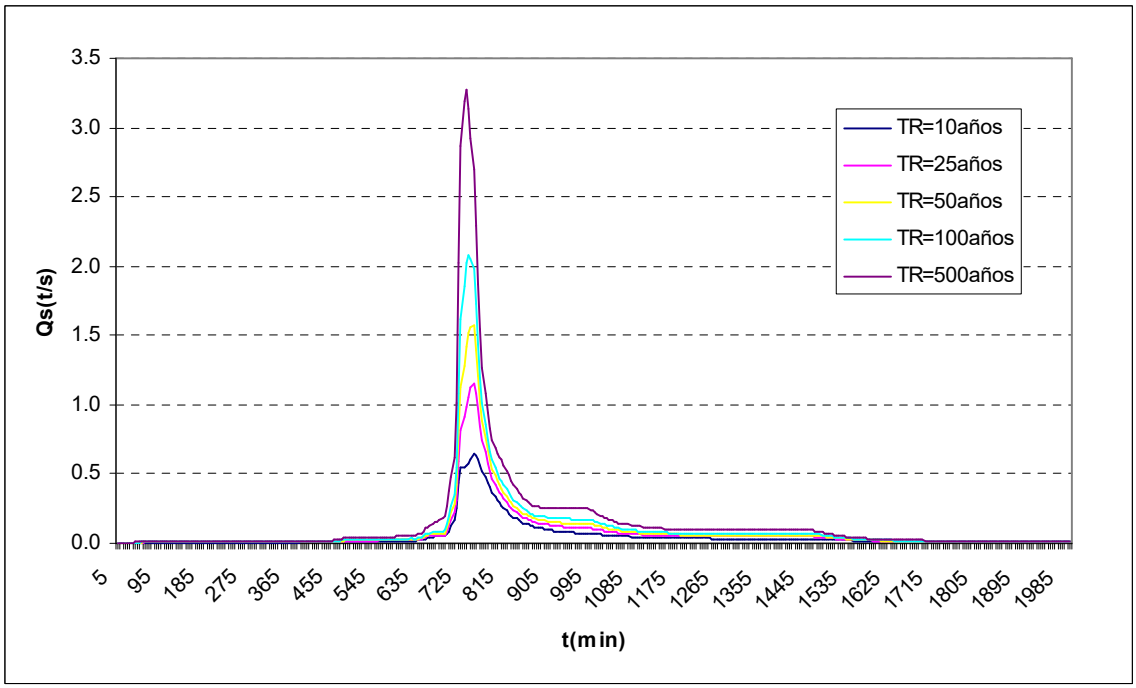


Figura Nº 5.9
Subcuenca Chacaito
Hidrógramas de acarreo de fondo – Ecuación de Schoklitsch

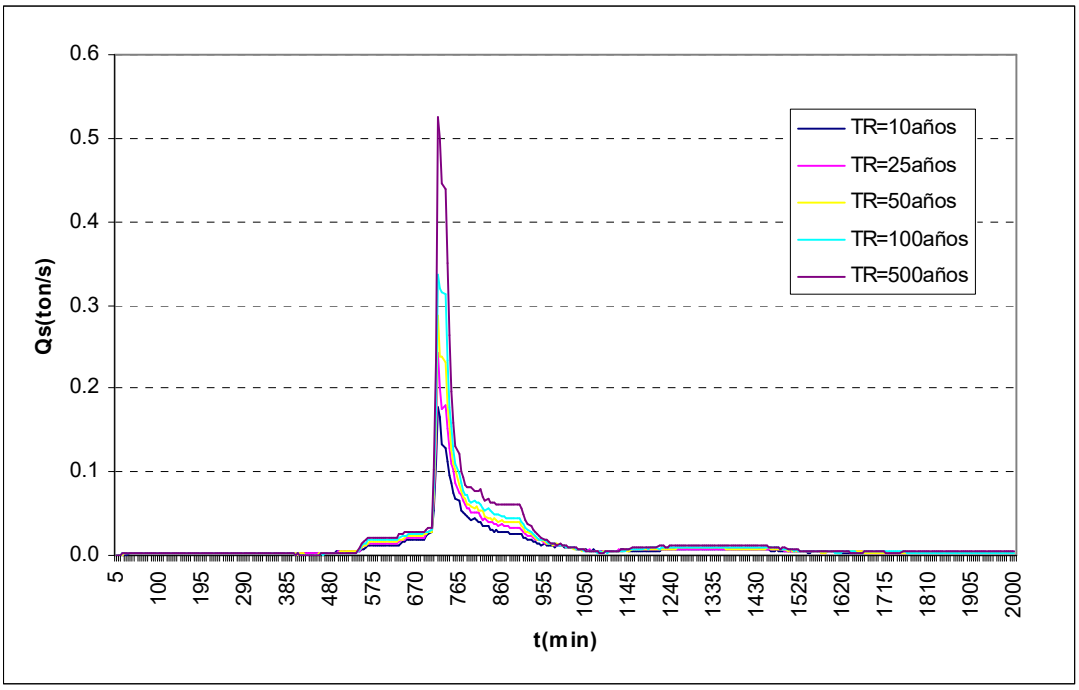


Figura Nº 5.10
Subcuenca Galindo
Hidrógramas de acarreo de fondo – Ecuación de Meyer-Peter/Müller

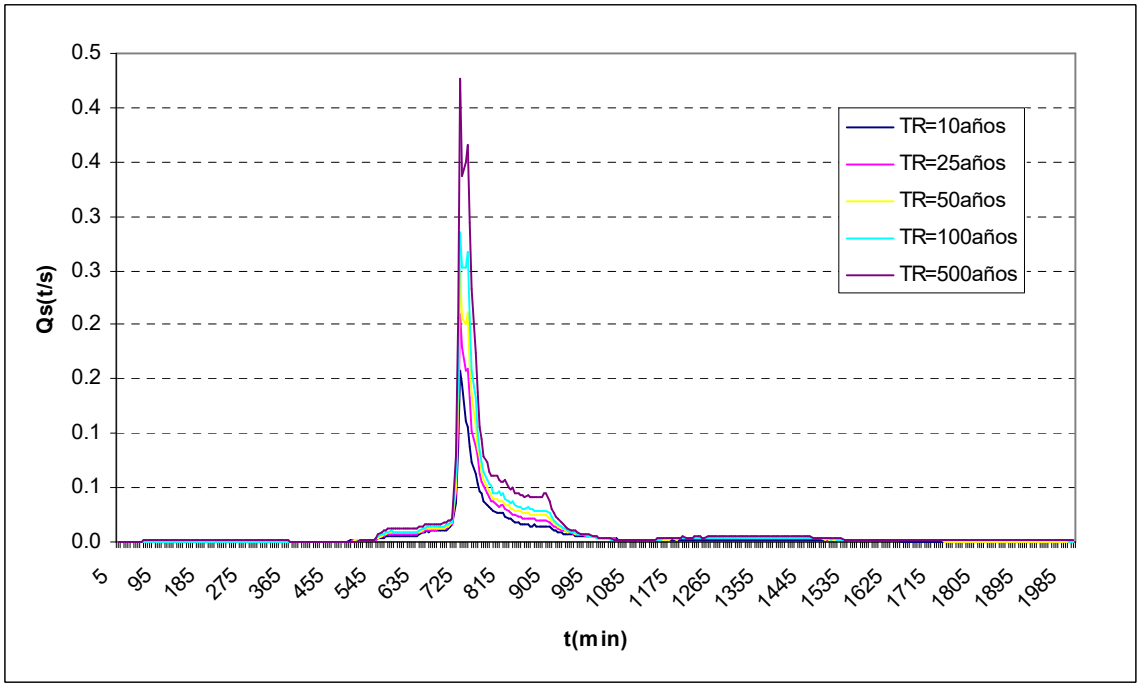


Figura Nº 5.11
Subcuenca Galindo
Hidrógramas de acarreo de fondo – Ecuación de Schoklitsch

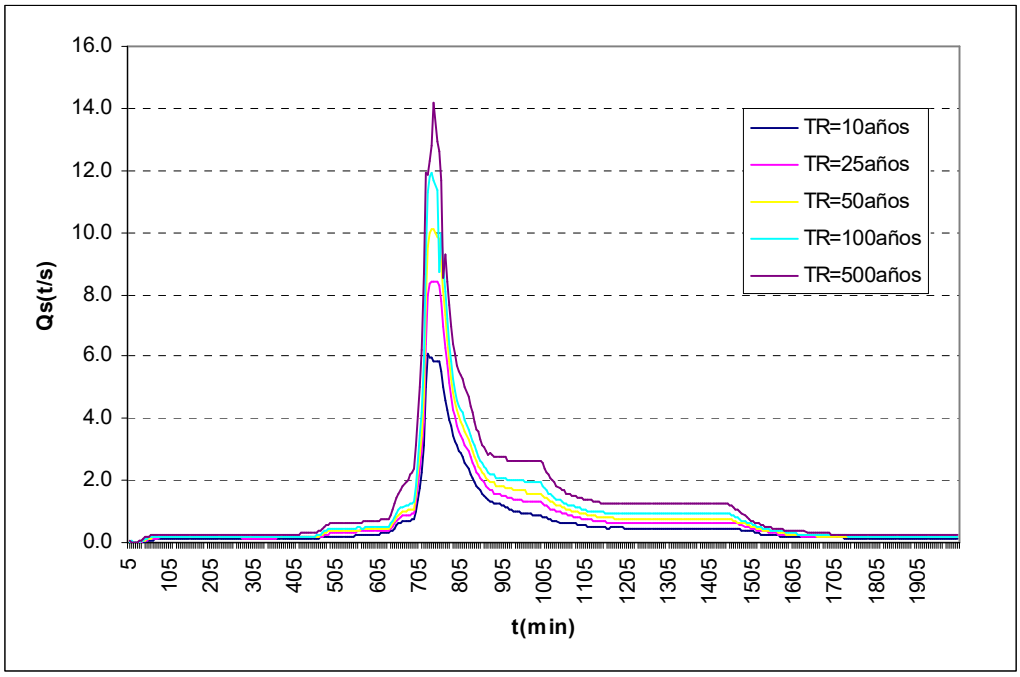


Figura Nº 5.12
Subcuenca Tócome
Hidrógramas de acarreo de fondo – Ecuación de Meyer-Peter/Müller

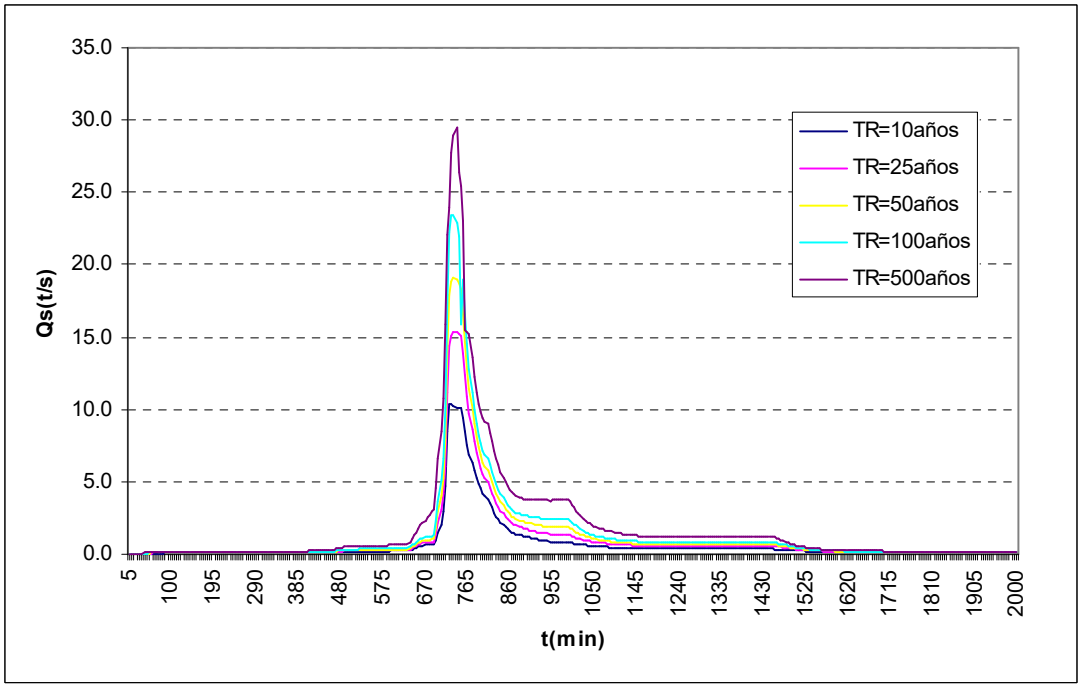


Figura Nº 5.13
Subcuenca Tócome
Hidrógramas de acarreo de fondo – Ecuación de Schoklitsch

5.6 Análisis de correlación de la producción de sedimento en suspensión y de fondo

Obtenidos los resultados de las ecuaciones de Schoklitsch y Meyer-Peter/Müller, se cotejaron estos con los obtenidos con el modelo MUSLE, para así, buscar una correlación de ambos resultados, es decir, entre la produccione de sedimentos en suspensión y de acarreo de fondo de las subcuencas. Se logró establecer una función del tipo exponencial $Y=aX^b$, que cuantifica la proporción de sedimentos de acarreo de fondo con respecto al de suspensión (Qf/Qs), en función de la pendiente de fondo (So). En la figuras Nº 5.14 y 5.15, se presentan de manera gráfica los resultados obtenidos para la ecuación de Meyer-Peter/Müller y Schoklitsch.

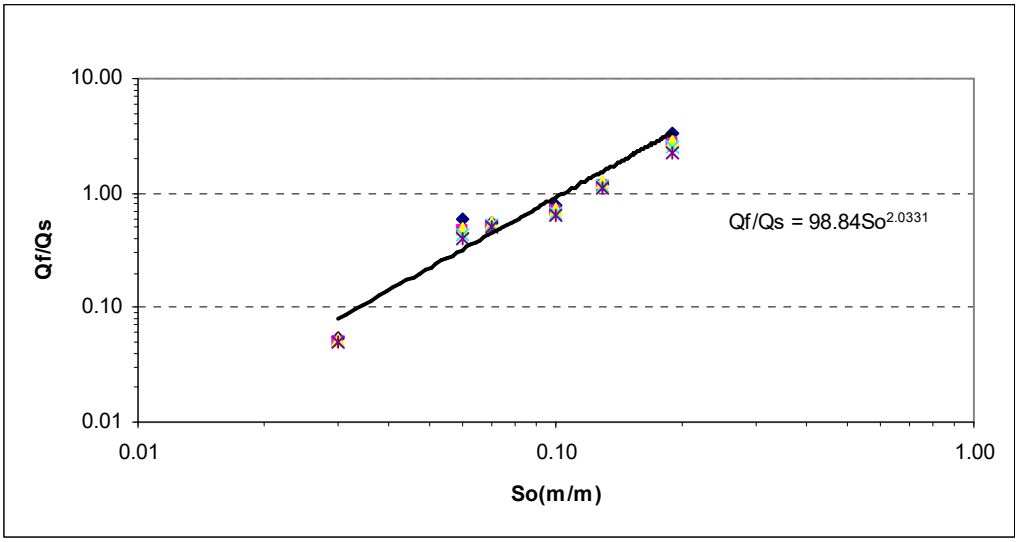


Figura Nº 5.14
Qf/Qs & So – Ecuación de Meyer-Peter/Müller

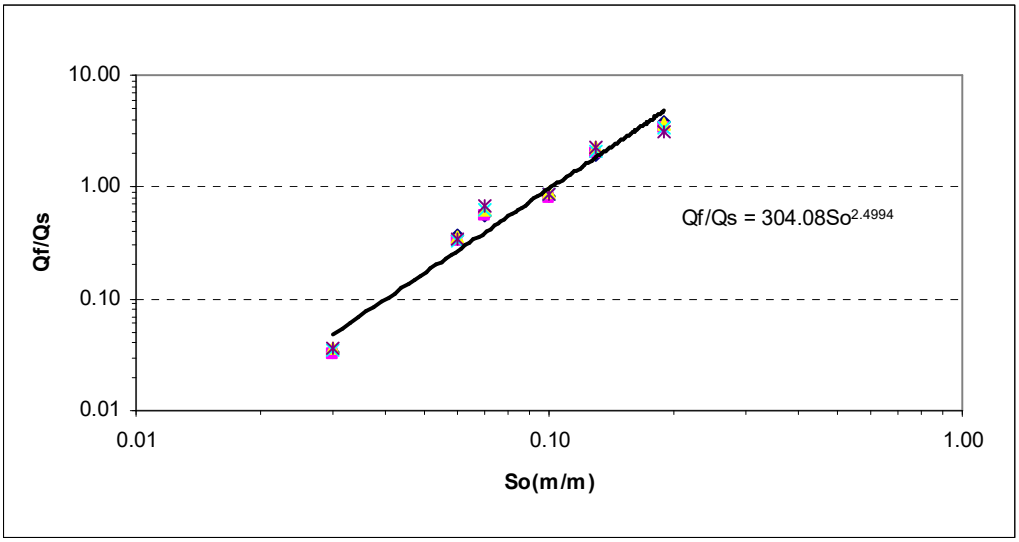


Figura Nº 5.15
Qf/Qs & So – Ecuación de Schoklitsch

Puede observarse en los resultados que en ambas ecuaciones, para la pendiente de fondo del 10%, se presenta un umbral, en donde la proporción entre los sedimentos de suspensión y el acarreo de fondo es la misma, para valores por debajo de pendiente, el contenido de sedimento en suspensión va ser mayor que el acarreo de fondo y para valores por encima del 10% esta proporción se invierte. En base a estas relaciones se estimo el acarreo de fondo para el resto de las subcuencas, para los eventos extremos estudiados, los valores se muestran en la tabla Nº 5.11, a continuación

SUBCUENCAS	ACARREO DE FONDO									
	SCHOKLITSCH					MEYER - PETER / MÜLLER				
	TR(años)					TR(años)				
	10	25	50	100	500	10	25	50	100	500
Anauco *	14.14	21.54	27.28	33.82	49.67	8.85	12.42	15.04	18.12	25.05
Beatas	1.33	1.94	2.08	2.62	3.15	1.31	1.91	2.05	2.58	3.10
Camburí *	14.57	21.11	25.99	30.81	41.88	13.48	17.99	21.00	23.95	31.14
Canoas	11.18	16.70	18.28	22.58	28.51	20.87	31.17	34.13	42.16	53.23
Catuche	3.12	5.18	5.87	7.89	10.94	0.67	1.11	1.26	1.69	2.34
Caurimare	4.32	5.72	6.30	7.62	10.52	1.98	2.62	2.88	3.49	4.82
Chacaito *	6.12	8.80	10.92	13.31	19.00	9.75	12.75	14.88	17.18	22.32
Chapellin-Avila	23.15	35.04	39.62	49.40	67.28	62.57	94.73	107.11	133.54	181.87
Cotiza	4.82	7.93	8.89	11.92	16.32	3.45	5.69	6.38	8.55	11.71
Galindo *	0.66	0.86	1.00	1.18	1.55	1.07	1.31	1.47	1.67	2.13
Gamboa	3.37	4.86	5.46	6.91	9.58	1.93	2.79	3.14	3.97	5.50
Guño	9.38	14.20	15.52	19.53	26.15	15.72	23.79	26.00	32.71	43.81
Maripérez	0.11	0.15	0.17	0.20	0.28	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Pajaritos	4.38	6.58	7.25	9.02	12.21	2.38	3.58	3.94	4.90	6.63
Pasaquire	4.41	6.39	7.05	8.71	11.72	3.95	5.73	6.32	7.81	10.51
Quintero	18.22	26.58	30.32	38.21	54.19	23.63	34.46	39.31	49.54	70.26
Sebucán	26.71	40.66	46.00	58.04	81.83	44.94	68.42	77.40	97.67	137.70
Teneria *	5.06	7.52	9.48	11.58	16.58	4.97	6.85	8.16	9.62	12.71
Tócome *	81.46	117.12	143.52	169.95	224.67	70.98	95.04	110.81	127.62	161.16

Tabla Nº 5.11
Producción de sedimentos por acarreo de fondo
(miles de ton)

(*) Subcuencas pilotos

Los valores obtenidos corresponden a un acarreo de fondo potencial o máximo que pueda ocurrir en estas subcuencas para los eventos analizados, dado que están sujetos al volumen de material aluvial presente en los cauces de sus lechos, en especial en aquellas subcuencas como Chapellín, Sebucán y Tócome, que debido a la alta pendiente, presentan valores que pueden estar limitados por la disponibilidad de material.

5.7 Modelo lluvia-escorrentía

El modelo propuesto corresponde al creado por el Soil Conservation Service de Estados Unidos, basado en el método del número de la curva (CN). Se emplea una versión modificada que considera la evapotranspiración (William y La Seur, 1976) y la percolación profunda (Cordova, Baldoni y Fuentes, 1985), y utiliza como información pluviométrica datos diarios de precipitación.

Este tipo de modelo lluvia-escorrentía toma en cuenta los procesos de evapotranspiración, escorrentía superficial, percolación profunda, flujo superficial, flujo subsuperficial, considerando las características topográficas, suelo y vegetación existentes en la cuenca. En el figura 5.16, se muestra el diagrama donde se representa la interrelación entre los diferentes partes del modelo.

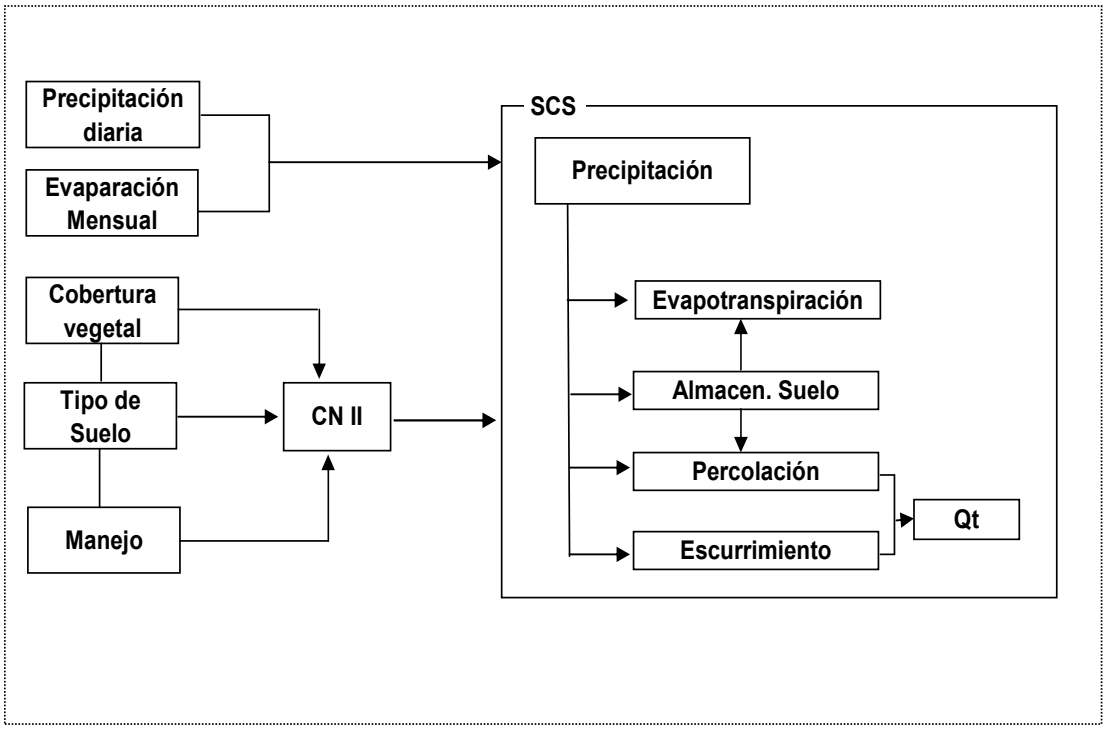


Figura 5.16.Componentes del modelo lluvia-escorrentía de simulación continua
Fuente: Elaboración propia

5.7.1 Formulación del Modelo SCS

La ecuación en que se basa el método del SCS estima la escorrentía superficial se obtuvo mediante el análisis de los procesos de retención, escorrentía e infiltración en numerosas cuencas experimentales en los EEUU.

La ecuación se expresa de la siguiente forma:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \qquad (5.1)$$

En donde:
Q = Escurrimiento superficial
P = Precipitación total
S = Parámetro de retención

La deducción de la ecuación parte de la siguiente relación básica: la retención real es a la retención potencial como la escorrentía real es a la escorrentía potencial.

Designando por *Ia* las perdidas iniciales, es decir, la precipitación que ocurre antes de que comience el escurrimiento, la relación antes descrita queda expresada:

$$\frac{(P - Ia) - Q}{S} = \frac{Q}{P - Ia} \qquad (5.2)$$

Análisis hechos a la relación *Ia* y *S*, para un gran número de eventos condujo a una aproximación lineal que asigna a *Ia* un valor equivalente al 20% de *S*, con lo cual al realizar los reemplazos correspondientes se llega a la ecuación (5.1).

El parámetro *S*, comprende el contenido de humedad del suelo al momento de producirse un evento y se estima evaluando el potencial de retención del conjunto suelo – vegetación. Para la estimación de este parámetro, el SCS desarrolló la metodología del Número de Curva (CN), la cual toma en cuenta tres variables: el potencial de escorrentía superficial del suelo, el tipo de cobertura vegetal o uso de la tierra, y la humedad antecedente. La ecuación que expresa el parámetro S en función del Número de curva (CN) es:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad (5.3)$$

En donde S está expresado en milímetros.

- Modificación propuesta por Williams y La Seur (1976)

Los autores introducen al modelo un índice de humedad *SM*, con lo que se logra una contabilidad del estado de humedad del suelo antes de cada evento, ya que, en efecto, la humedad del suelo varía continuamente: Este índice de humedad se relaciona con el parámetro de retención *S* mediante la siguiente expresión:

$$SM = V - S \qquad (5.4)$$

en donde *V* es el máximo valor de almacenamiento de humedad del suelo.

Visto que la humedad del suelo se agota continuamente entre cada evento y la tasa de agotamiento es mayor a medida que el contenido de humedad y la evapotranspiración posean valores altos, este proceso se puede representar matemáticamente de la siguiente forma:

$$\frac{d(SM)}{dt} = -Ea \qquad (5.5)$$

en donde *Ea* es la tasa de evapotranspiración actual, la cual esta en función valor de *SM*, de la evaporación al sol y del tipo de suelo.

Williams y La Seur (1976) sugieren para estimar *Ea*, la siguiente expresión:

$$Ea = B * SM^2 * EV \qquad (5.6)$$

Sustituyendo la expresión 5.6 en 5.5 quedaría que:

$$\frac{d(SM)}{dt} = -B * SM^2 * EV \qquad (5.7)$$

en donde:

t = tiempo
B = coeficiente de agotamiento de la humedad del suelo
EV = evaporación

Williams y La Seur relacionaron varios índices climatológicos con el escurrimiento, entre ellos la temperatura y la evaporación, logrando mejores resultados de predicción con los valores promedios mensuales de evaporación en tina.

Integrando la ecuación (5.3) y resolviendo para *SM*, obtenemos:

$$SM_t = \frac{SM_{t-1}}{1 + B + SM\sum_{t=1}^{T} EV_t} \qquad (5.8)$$

En donde:

SM_{t-1} = índice de humedad del suelo al comienzo del primer evento.
SM_t = índice de humedad del suelo para un tiempo t.
EV_t = evapotranspiración diaria
T = número de días transcurridos entre eventos

Para efectos prácticos, el término correspondiente a la sumatoria de los *EVt*, se sustituye por el promedio diario de evaporación mensual.

- Modificación propuesta por Baldoni y Fuentes (1985)

Estos autores proponen a la ecuación de balance de humedad del suelo un segundo termino que considera la percolación profunda (*Pa*), De esta forma, la humedad del suelo no está en función únicamente de la evapotranspiración, sino también de la percolación ocurrida, permitiendo así estimar el flujo base y a partir de éste también la escorrentía total.

Incluyendo este segundo termino, la ecuación (5.1), queda ahora de la siguiente forma:

$$\frac{d(SM)}{dt} = -Ea - Pa \qquad (5.9)$$

Según Eagleson (1977), la tasa de percolación se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$Pa = B2\left(\frac{SM}{V}\right)^{c} \qquad (5.10)$$

donde:

B2 = coeficiente de permeabilidad
c = índice de conectividad del espacio poroso, con valores según Eagleson para la mayoría de los suelos entre 1 y 6. De manera práctica para facilitar los cálculos de integración y considerando que la ecuación de la tasa de evapotranspiración es una función cuadrática, se toma un valor de c = 2.

Así, sustituyendo (5.5) y (5.10) en (9.9), tenemos:

$$\frac{d(SM)}{dt} = -B \times SM^{2} \times EV - \frac{B2}{V^{2}} \times SM^{2} \qquad (5.11)$$

Integrando esta expresión para SM, obtenemos:

$$SM_{t} = \frac{SM}{1 + B \times SM \times EV + \frac{B2}{V^{2}} \times SM} \qquad (5.12)$$

La humedad inicial para un evento vendrá dado por la suma de la humedad inicial más la lámina precipitada SM + P, considerando el desfase lluvia – escorrentía, se deja para el final del evento la sustracción de la escorrentía Q, dado que la cantidad que infiltra es P – Q, así que la expresión para estimar el coeficiente de agotamiento es:

$$SM_{t} = \frac{SM_{t-1} + P_{t}}{1 + B \times (SM_{t-1} + P_{t}) + \frac{B2}{V^{2}} \times (SM_{t-1} + P_{t})} - Q_{t} \qquad (52.13)$$

Finalmente, la expresión para calcular la producción total de agua es:

$$Qt = \frac{(P - 0.2S)^{2}}{P + 0.8S} + B2\left(\frac{SM}{V}\right)^{2} \qquad (5.14)$$

En donde el primer término del lado derecho de la ecuación representa el escurrimiento superficial, y el segundo término, el flujo base.

Las ventajas de la aplicación de este tipo de modelos son:

a) Generar y/o extender las series históricas de escurrimiento mensual en las cuencas que posean estaciones hidrométricas con registros, preservando los promedios de la series históricas así como las otras variables estadísticas que la caracterizan (varianzas, correlación, etc.),
b) Determinar los pesos o ponderaciones de las estaciones pluviométricas asociados con cada cuenca. Estas ponderaciones permitirán definir la serie de datos de precipitación diaria (promedio real) asociada a cada cuenca, a los fines de aplicar el modelo de estimación de producción de sedimentos.

5.7.2. Calibración del modelo lluvia-escorrentía de simulación continua

Previamente a su aplicación el modelo éste debe ser validado y calibrado a partir de la información disponible acerca del escurrimiento y la precipitación en el área de estudio.

5.7.2.1 Análisis de la información hidrométrica y climática

a.- Información hidrométrica

La información hidrométrica se obtuvo de los "Resúmenes de Estadística Hidrométrica del INOS, 1972" ya mencionado.

La calidad de la información se puede catalogar de buena a regular. Aunque presenta algunas lagunas a nivel diario, los totales mensuales pueden ser empleados para calibrar el modelo diario contra valores mensuales. Otra acotación hecha a estos registros, es que no reflejan mucha precisión para grandes gastos. En visita de campo se pudo observar, que los vertederos construidos para aforar estaban diseñados para un control de gastos mínimos. En la figura Nº 4.4 se observan los registros presentes para cada subcuenca, así como la calidad de los mismos.

Los registros de estas mediciones se presentan en el Anexo Nº 1.

b.- Información pluviométrica

La información pluviométrica se analizó desde dos enfoques:

- Ubicación de las estaciones; Como se puede observar en la Tabla Nº 5.12, la mayoría de las estaciones se ubica en la parte baja de las subcuencas, hallándose solo una estación (Hotel Humboldt, 2129 msnm) en la parte alta de la cordillera. Esto tiene gran relevancia, ya que la repuesta hidrológica de estas subcuencas responde a la precipitación ocurrida en las cabeceras de las mismas, y estas no son registradas en totalidad en las estaciones ubicadas en la cuenca baja, ya que la diferencia de mas de 1000 m, influye localmente en el régimen de precipitación.

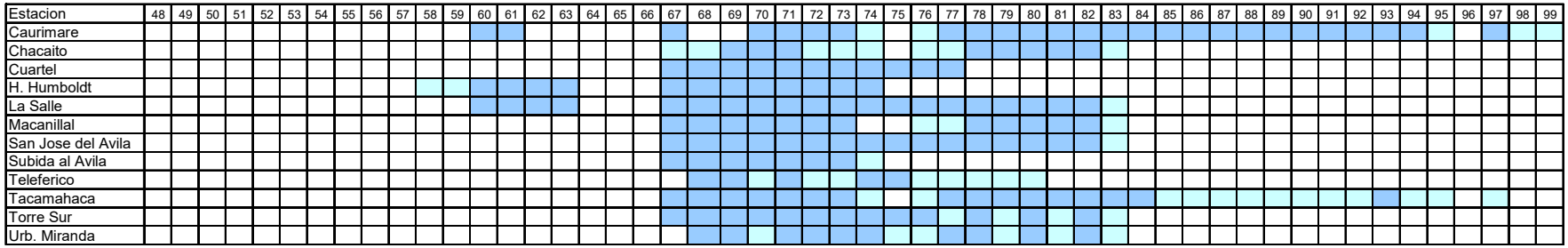
Serial	Estación	Altitud msnm	Ubicación		Información
			Latitud	Longitud	
519	Hotel Humboldt	2129	10-32-	66-52-	Precip.
520	La Salle	1080	10-30-	66-50-	Precip.
526	Torre Sur	1060	10-30-	66-54-	Precip.
563	La Mariposa	980	10-24-	66-55-	Evap.
607	San José Avila	1000	10-31-	66-54-	Precip.
622	Teleférico	1165	10-32-	66-52-	Precip.
624	Urb Miranda	1000	10-31-	66-55-	Precip.
794	Andres Bello	900	10-31-	66-55-	Evap.
5021	Chacaito	1000	10-31-	66-51-	Precip.
5024	Caracas Subida Avila	1000	10-31-	66-54-	Precip.
5026	San Bernardino	930	10-31-	66-53-	Evap.
5027	Caurimare	1000	10-30-	66-50-	Precip.

Tabla 5.12. Estaciones climáticas. Fuente: MARN

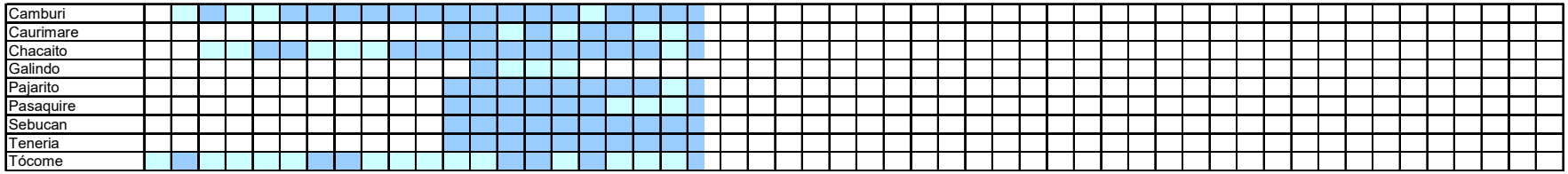
- Lapsos de los registros; Esto es de gran importancia, ya que la concomitancia entre la información pluviométrica y la hidrométrica, da la disponibilidad de la información para calibrar el modelo Lluvia- escorrentía. Se contrastaron entonces estos registros con la información hidrométrica, tal como se puede observar en la Tabla Nº 5.13. Lo más resaltante es que la mayor parte de los registros se efectuaron a partir de 1967, con sólo un breve solape, menor a dos (2) años, con la hidrométrica. La excepción son las estaciones Caurimare, La Salle y Hotel Humboldt. Aunque esta última dispone de una serie continua desde 1958, existen lagunas en la información de los dos primeros años; Los datos anteriores al año 1967 de las estaciones La Salle y Caurimare, son de cortos periodos, que limitan los registros de la estación Hotel Humboldt, en los casos donde las subcuencas, por su ubicación necesiten combinar dicha información con algunas de estas.

Los registros de precipitación observados en las estaciones, se muestran en el Anexo Nº2.

PLUVIOMETRICA



HIDROMETRICA



CALIDAD DE LA INFORMACIÓN
Buena
Regular

Tabla Nº 5.13. Disponibilidad de Información Pluviométrica e Hidrométrica

c.- Información climática adicional

Se dispuso de la información referente a la evaporación mensual de las estaciones Andrés Bello, San Bernardino, Las Mariposa y Prados del Este, cuyos registros se encuentran en la publicación del M.A.R.N.R correspondiente a los Anuarios de precipitación y evaporación de la zona 1. Esta información es importante para estimar la evapotranspiración potencial que caracteriza estas cuencas;

Por ser una de las más representativas y poseer un periodo concomitante con la información pluviométrica e hidrométrica, se trabajó con la data de la estación Andrés Bello.

Los promedios mensuales de esta variable, se muestran en la tabla Nº 5.17 y la Figura Nº 5.18

Estación	Serial	Elev	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	D
Andrés Bello	794	900	140.3	151.7	192.1	172.4	169.9	152.5	155.5	162.3	149.5	151.3	125.3	13
San Bernardino	5026	930	109.4	128.0	161.6	159.7	144.6	152.5	146.5	150.7	139.3	124.3	119.2	12
La Mariposa	563	980	113.3	125.6	159.5	144.4	141.6	121.5	125.4	136.1	131.1	125.3	106.2	10
Prados del Este	608		99.5	110.2	139.0	128.3	124.6	116.9	120.3	123.9	120.5	115.5	98.9	8

Tabla Nº 5.17. Evaporación media mensual, (Fuente: Anuarios de precipitación y evaporación zona 1, M.A.R.N.R, Dirección General de Información e Investigación del ambiente, Oficina del Centro de Información)

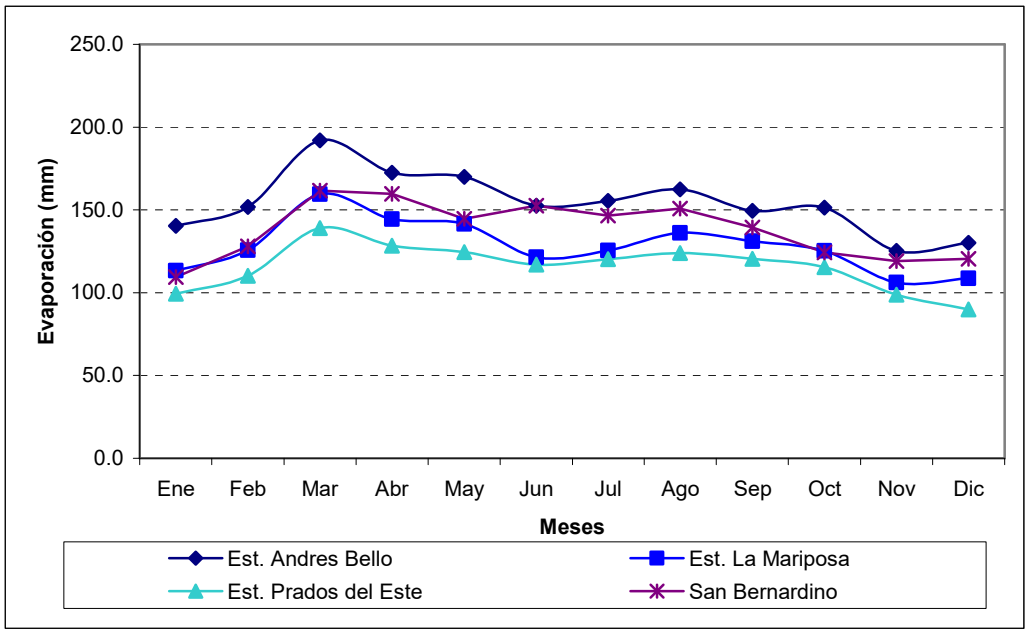


Figura Nº 5.18. Evaporación media mensual, (Fuente: Elaboración propia)

5.7.2.2 Períodos de calibración

Considerando la concordancia entre la información pluviométrica e hidrométrica, el período de calibración se estableció entre 1960 y 1968, dependiendo de los datos disponibles para cada subcuenca.

5.7.2.3 Calibración del modelo hasta los puntos de control.

En la tabla Nº 5.14 se presentan las subcuencas cuyos regímenes de escorrentía fueron calibrados contra valores medidos. El área tributaria de cada una de ellas fue definida por el punto de control que establecía la ubicación de las estaciones hidrométricas.

En el modelo para cada subcuenca hay dos componentes a calibrar:

a) El componente climático, donde las variables son la distribución y combinación lineal de los registros de las estaciones (el cual parte de un análisis de la ubicación de las estaciones) y el factor de evaporación de tina cuyo valor por lo general se asume como fue el caso de 0,75.

b) El componente suelo, las variables mas importante a calibrar corresponden a los de coeficientes de agotamiento de humedad, permeabilidad y máximo volumen de almacenamiento, ya que estos tienen mucho peso en la repuesta hidrológica de las subcuencas.

Subcuenca	Área en km^2
Camburí	2.10
Caurimare	6.30
Chacaito	6.30
Galindo	3.80
Sebucán	1.90
Tócome	9.40

Tabla Nº 5.14. Áreas tributarias a las cuencas

Los resultados de la calibración del modelo en las subcuencas estudiadas se presentan desde la Figura Nº 5.15. Hasta la Nº 5.19. Estas calibraciones arrojaron un coeficiente de correlación, entre la serie de gastos mensuales observados y simulados, del orden del 0.90 para las quebradas Caurimare, Chacaíto, Galindo y Tócome; del orden del 0.85 para la quebrada Sebucán; un 0.8, para Camurí. Mientras que la diferencia entre los volúmenes observados y simulados fue inferior al 5%.

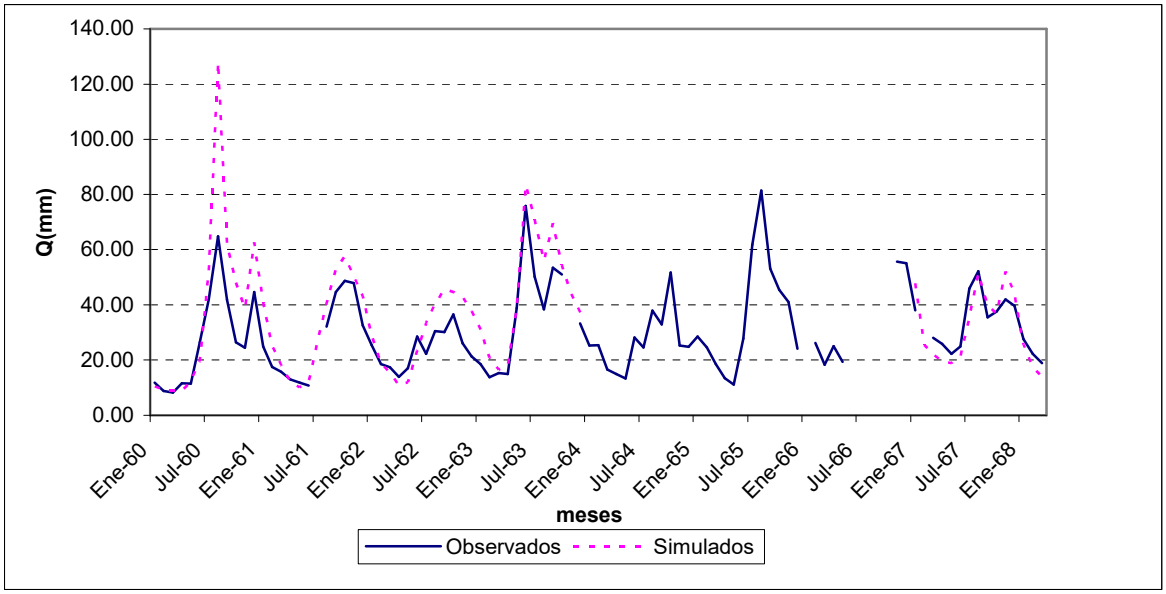


Figura Nº 5.15. Calibración del modelo de simulación continua
Qda. Caurimare. Período 1960-1968

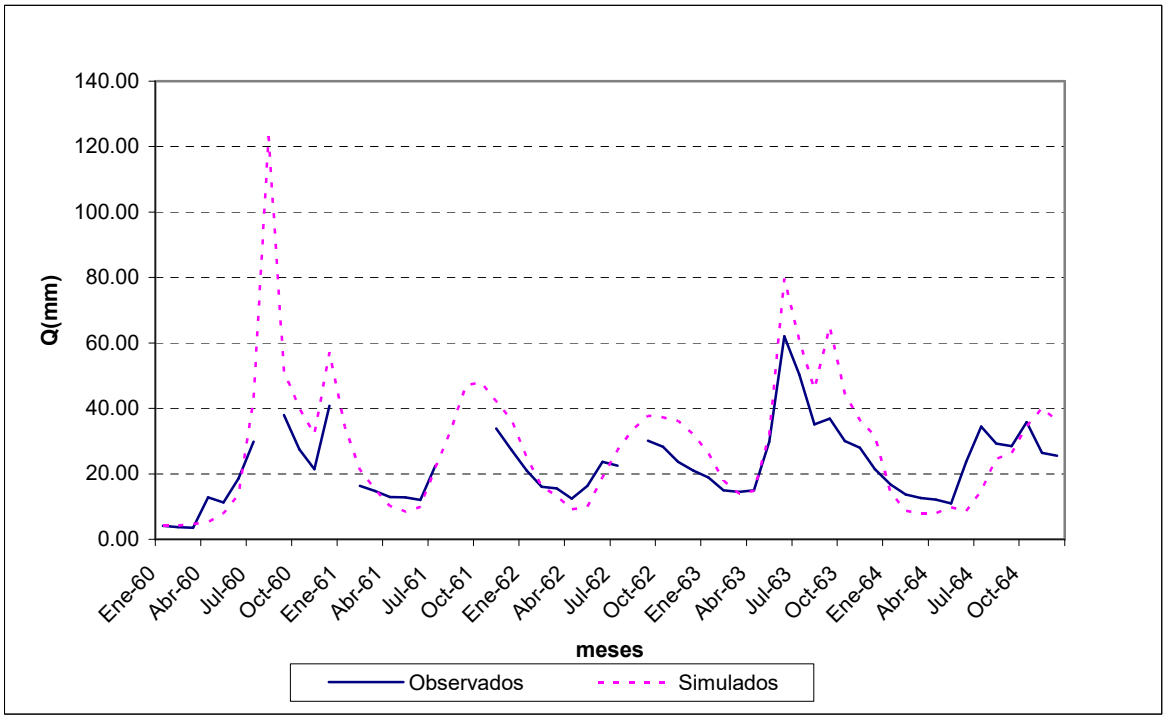


Figura Nº 5.16. Calibración del modelo de simulación continua
Qda. Chacaíto Período 1960-1964

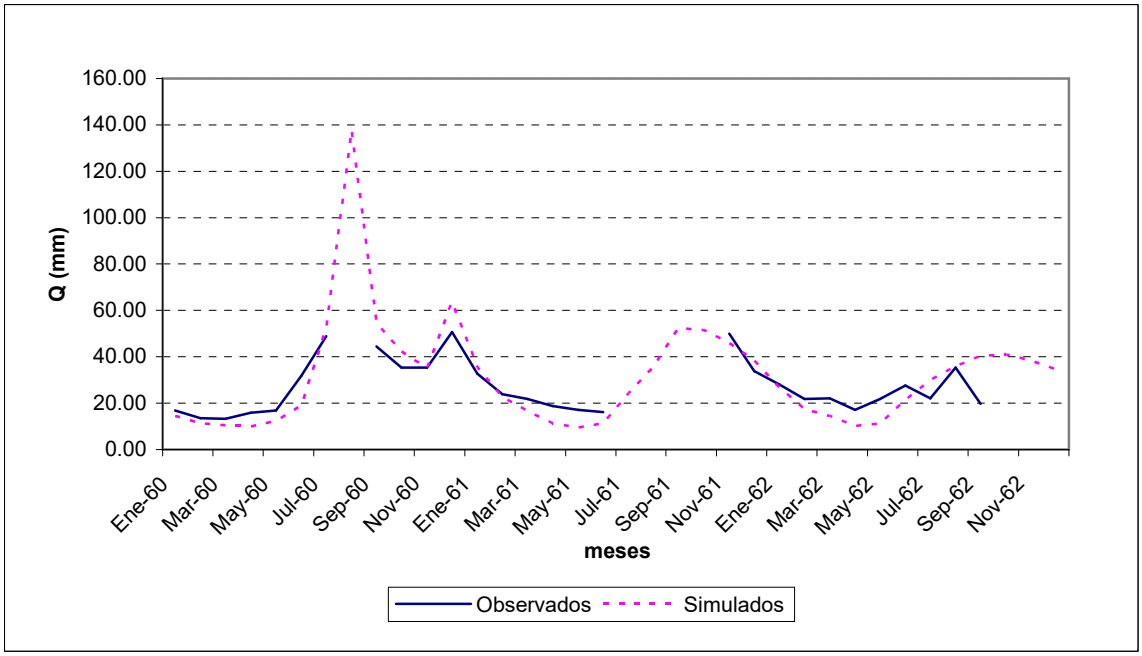


Figura Nº 5.17. Calibración del modelo de simulación continua
Qda. Galindo Período 1960-1962

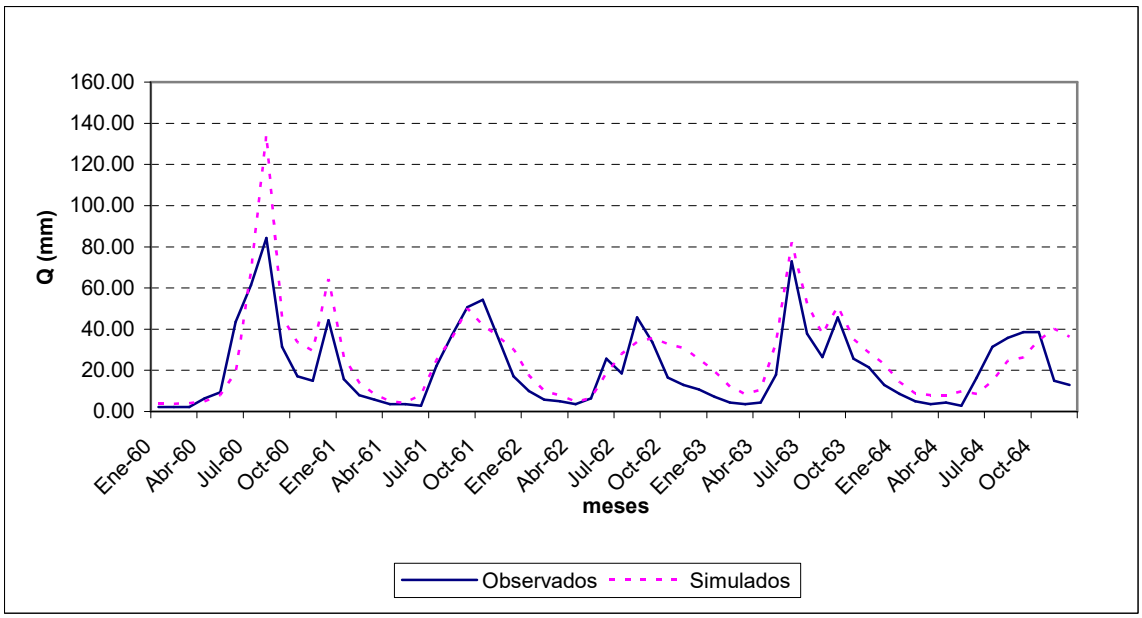


Figura Nº 5.18. Calibración del modelo de simulación continua
Qda. Sebucán Período 1960-1964

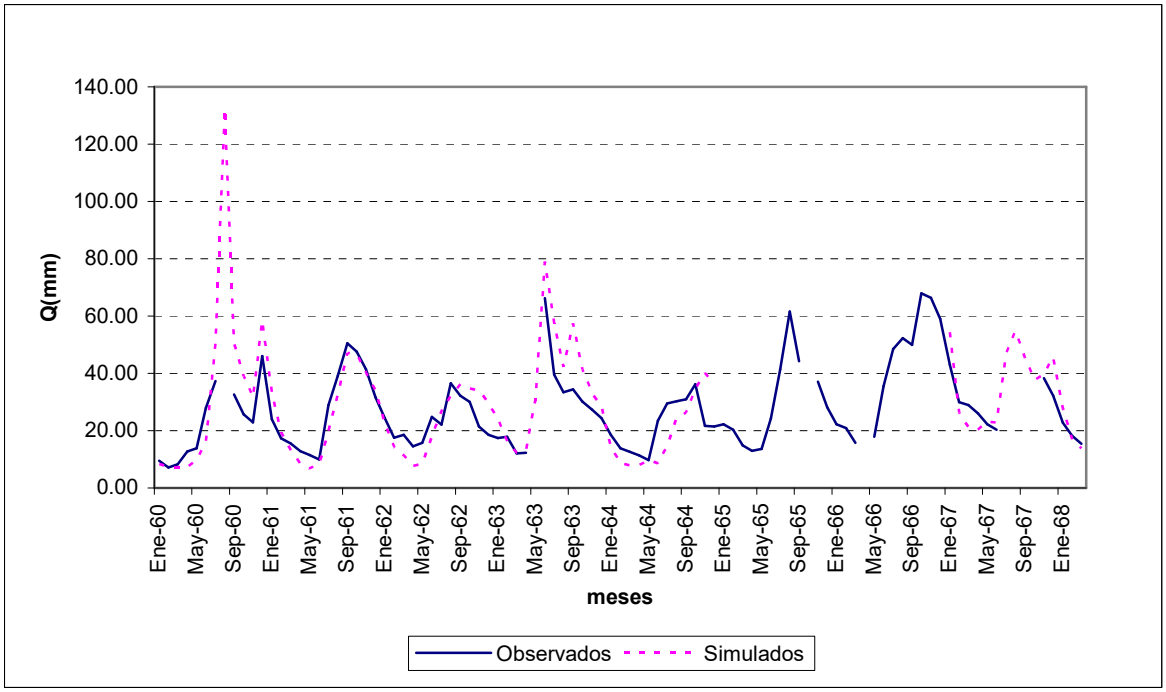


Figura Nº 5.19. Calibración del modelo de simulación continua
Qda. Tócome Período 1960-1968

Los valores simulados de caudales medios mensuales y anuales se muestran en la tabla Nº 5.15

Subcuencas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Camburí	10.1	6.7	4.4	3.7	4.5	9.1	19.5	25.5	23.0	19.8	18.1	21.1	13.8
Caurimare	54.7	39.3	27.6	24.1	35.2	67.3	91.0	127.8	114.1	100.8	88.8	87.7	71.8
Chacaíto	44.9	31.9	22.9	20.4	28.7	54.1	71.7	109.5	96.6	88.9	83.9	82.5	61.6
Galindo	34.6	26.0	19.1	16.7	23.1	49.5	57.2	86.6	77.4	60.0	54.4	56.8	46.9
Sebucán	6.9	4.4	3.0	2.9	5.3	11.1	15.7	21.8	17.6	15.2	14.8	15.0	11.2
Tenería	3.2	2.3	1.7	1.5	2.1	4.3	5.3	8.3	7.3	6.2	5.8	5.7	4.5
Tócome	64.5	45.0	31.7	28.1	40.2	78.8	104.9	162.0	136.0	123.7	116.4	115.2	87.5

Tabla Nº 5.15. Caudales medios mensuales simulados
(lt/s)

Al evaluar el peso de los registros de precipitación en el proceso de calibración del modelo para cada una de las subcuencas, encontramos que la mejor repuesta se obtuvo al emplear los datos de la estación Hotel Humboldt, lo que concuerda con lo expuesto en el análisis de la información pluviométrica. Como era de suponer, en

aquellas subcuencas que nacen por debajo de los 1800 msnm, como Tenerías, (cuya mayor área de captación se ubica alrededor de los 1500 msnm, aunque nace por encima de los 2000 msnm), la correlación de los caudales simulado no fue tan buena como la del resto. En la figura Nº 5.19, se muestra la ponderación de los registros de las estaciones empleados.

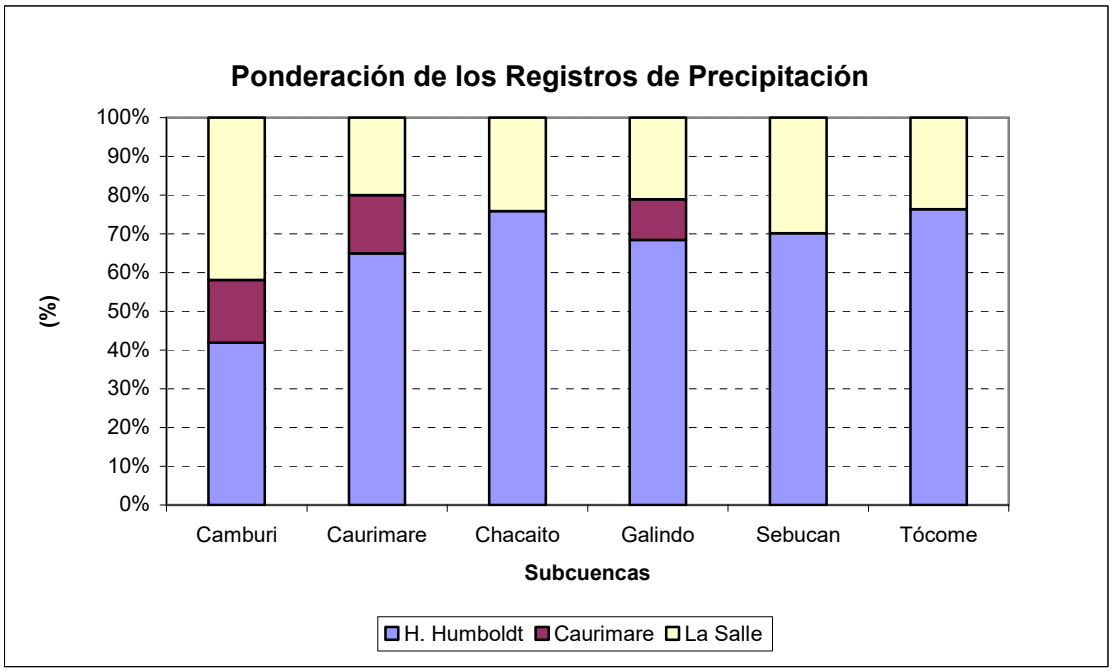


Figura Nº 5.19

Con respecto a los parámetros del modelo calibrados, en la tabla Nº 5.15 se muestran los valores obtenidos para cada una de las subcuencas.

Subcuenca	Coeficiente de Agotamiento "B"	Coeficiente de Permeabilidad "B2"	Contenido de Humedad "SMF"	Máximo vol. almacenamiento "V"	Días de Retención "TRQB"
Camburí	1.5E-06	1.80	120	320	1
Caurimare	1.4E-06	2.50	150	390	5
Chacaíto	2.5E-06	1.90	100	370	8
Galindo	1.9E-06	1.95	200	385	2
Sebucán	3.0E-06	2.00	80	325	4
Tócome	3.6E-06	1.90	150	370	10

Tabla Nº 5.15. Parámetros del suelo calibrados

Como se puede observar, los valores obtenidos en la calibración de estos parámetros son bastante uniformes, presentando valores del orden de 2.5 x 10^{-6} mm/d, 2.03 mm/d y 370 mm para los coeficientes de agotamiento de humedad, permeabilidad y máximo volumen de almacenamiento de agua en el suelo respectivamente.

5.8 Estimación de la producción ordinaria total de sedimentos en las cuencas de la Vertiente Sur

Se calculó la producción ordinaria de sedimentos (promedio mensual y anual) tanto de suspensión como acarreo de fondo, en las 19 subcuencas. Para ello se combinó el modelo lluvia-escorrentía-MUSLE, formulado en el numeral 5.4, con las relaciones obtenidas en el numeral 5.6. Los valores de los parámetros empleados en modelo lluvia-escorrentía fueron los promedios ponderados obtenidos en las seis subcuencas donde el mismo fue calibrado. Se empleó un registro compuesto de precipitación de 12 años, de las estaciones Hotel Humboldt, La Salle y Caurimare. Los módulos por unidad de área calculados para la producción de sedimento en suspensión así como el acarreo de fondo por las relaciones obtenidas para las ecuaciones de Schoklitsch y Meyer-Peter/Müller, se muestran en las tablas Nº 5.16, 5.17 y 5.18 respectivamente.

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Anauco	0	0	62	1	14	50	37	146	56	38	64	11	479
Beatas	0	0	69	2	26	79	55	168	115	92	97	26	729
Camburí	1	0	105	2	28	153	171	350	302	186	196	92	1,586
Canoas	0	0	173	2	44	158	114	416	186	133	192	37	1,455
Catuche	0	0	143	1	32	122	87	351	131	90	152	24	1,133
Caurimare	0	0	56	0	6	65	41	185	66	55	71	18	563
Chacaíto	0	0	46	0	7	61	40	143	80	64	66	24	531
Chapellín	0	0	87	2	32	94	69	208	138	108	117	31	886
Cotiza	0	0	63	1	15	57	39	155	64	46	70	12	522
Galindo	0	0	89	0	10	112	75	287	135	110	123	41	982
Gamboa	0	0	84	1	20	66	51	195	74	49	83	14	637
Cuño	0	0	49	0	7	88	101	223	187	116	120	63	954
Maripérez	0	0	82	0	2	127	136	333	212	176	160	89	1,317
Pajaritos	1	0	116	2	32	141	154	323	245	153	173	76	1,416
Pasaquire	0	0	67	0	11	83	79	204	121	88	98	42	793
Quintero	0	0	66	0	12	84	75	198	123	89	95	41	783
Sebucán	0	0	114	1	23	141	119	331	203	146	161	63	1,302
Tenería	1	0	150	3	48	186	208	418	348	215	238	101	1,916
Tócome	0	0	45	0	6	56	42	141	72	56	65	24	507

Tabla Nº 5.16. Producción media mensual y anual de sedimento en suspensión

(ton/km^2), (Fuente: Cálculos Propios)

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Anauco	0	0	338	3	78	273	203	794	304	205	346	58	2,602
Beatas	1	0	202	5	77	232	163	496	339	272	285	76	2,148
Camburí	3	0	311	5	83	452	506	1,034	892	549	578	271	4,684
Canoas	0	0	1,312	15	331	1,198	862	3,149	1,411	1,011	1,452	276	11,017
Catuche	0	0	110	1	24	94	67	270	101	69	117	19	872
Caurimare	0	0	54	0	6	63	40	181	65	53	69	17	548
Chacaíto	0	0	42	0	6	55	36	129	72	58	59	22	479
Chapellín	0	0	1,134	25	423	1,233	905	2,725	1,810	1,416	1,539	410	11,620
Cotiza	0	0	117	1	28	106	74	289	119	86	130	23	973
Galindo	0	0	16	0	2	20	14	52	24	20	22	7	177
Gamboa	0	0	113	1	27	89	69	263	100	66	112	19	859
Cuño	0	0	319	1	43	569	651	1,441	1,209	750	771	407	6,161
Maripérez	0	0	8	0	0	12	13	32	20	17	15	8	125
Pajaritos	1	0	145	2	39	177	192	403	306	191	216	94	1,766
Pasaquire	0	0	174	1	28	214	203	525	312	226	254	108	2,045
Quintero	0	0	291	2	54	370	331	878	546	393	422	179	3,466
Sebucán	0	0	743	6	149	914	772	2,152	1,320	949	1,042	410	8,457
Tenería	1	0	150	3	48	186	208	418	348	215	238	101	1,916
Tócome	0	0	587	2	81	733	552	1,842	943	732	851	320	6,643

Tabla Nº 5.17. Producción de sedimentos por acarreo de fondo – relación de Schoklitsch
(ton/km^2), Fuente: Cálculos propios

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Anauco	0	0	293	2	68	236	176	688	263	178	300	50	2,254
Beatas	1	0	200	5	76	229	161	490	335	268	282	75	2,122
Camburí	3	0	307	5	82	446	500	1,020	881	542	571	268	4,625
Canoas	0	0	1,059	12	267	967	696	2,542	1,139	816	1,172	223	8,893
Catuche	0	0	144	1	32	123	88	355	132	91	153	24	1,143
Caurimare	0	0	68	0	7	79	50	226	81	67	86	22	686
Chacaíto	0	0	53	0	8	70	46	164	92	73	75	27	608
Chapellín	0	0	814	18	304	885	650	1,957	1,299	1,016	1,105	294	8,342
Cotiza	0	0	127	1	31	115	80	315	129	93	142	25	1,058
Galindo	0	0	29	0	3	36	24	93	44	36	40	13	318
Gamboa	0	0	132	1	32	104	81	307	116	77	131	22	1,003
Cuño	0	0	266	1	36	475	544	1,204	1,010	627	644	340	5,147
Maripérez	0	0	16	0	0	25	27	65	41	35	31	17	257
Pajaritos	1	0	171	3	47	209	228	477	363	226	257	112	2,094
Pasaquire	0	0	177	1	28	218	207	533	317	230	258	109	2,078
Quintero	0	0	264	2	49	335	300	795	495	356	382	162	3,140
Sebucán	0	0	620	5	124	762	644	1,795	1,101	792	870	342	7,055
Tenería	1	0	176	4	57	219	245	493	410	253	280	119	2,257
Tócome	0	0	422	1	58	526	396	1,323	677	526	611	230	4,770

Tabla Nº 5.18. Producción de sedimentos por acarreo de fondo – relación de Meyer-Peter/Müller (ton/km^2), Fuente: Cálculos propios

De forma grafica, en las figuras Nº 5.20, 5.21 y 5.22, se muestran los valores medios de producción de sedimentos en suspensión y por acarreo de fondo, para las subcuencas estudiadas.

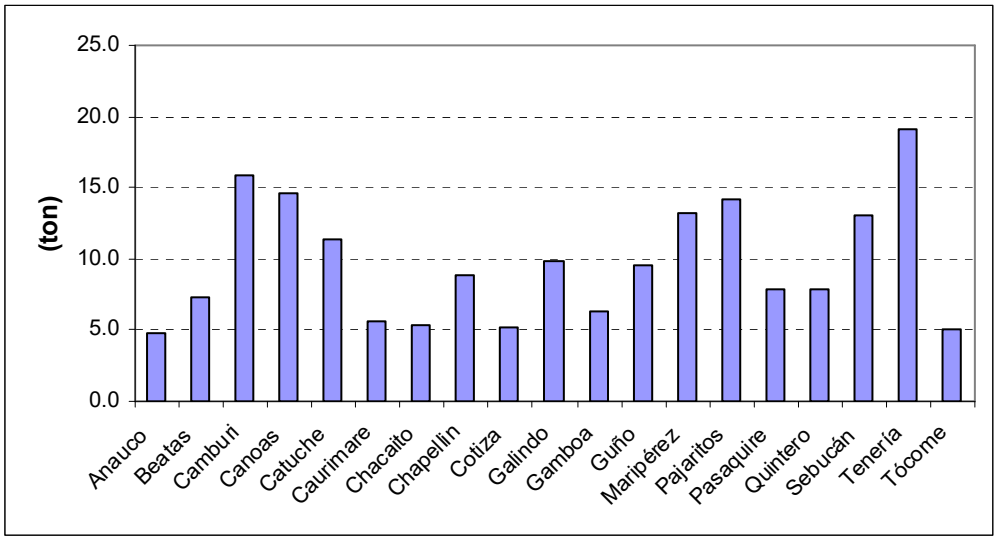


Figura Nº 5.20. Producción media anual de sedimentos en suspensión

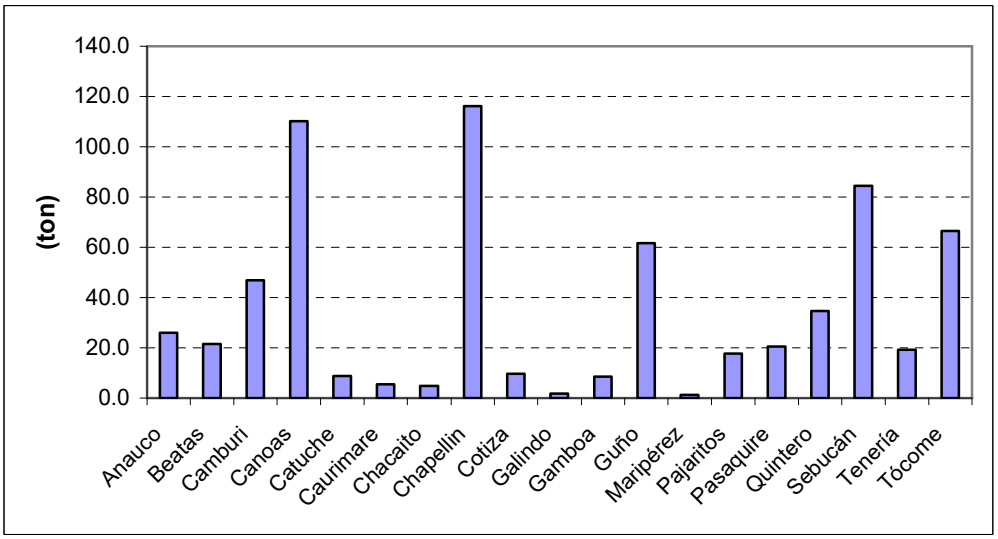


Figura Nº 5.21. Acarreo de fondo medio anual – relación de Schoklitsch

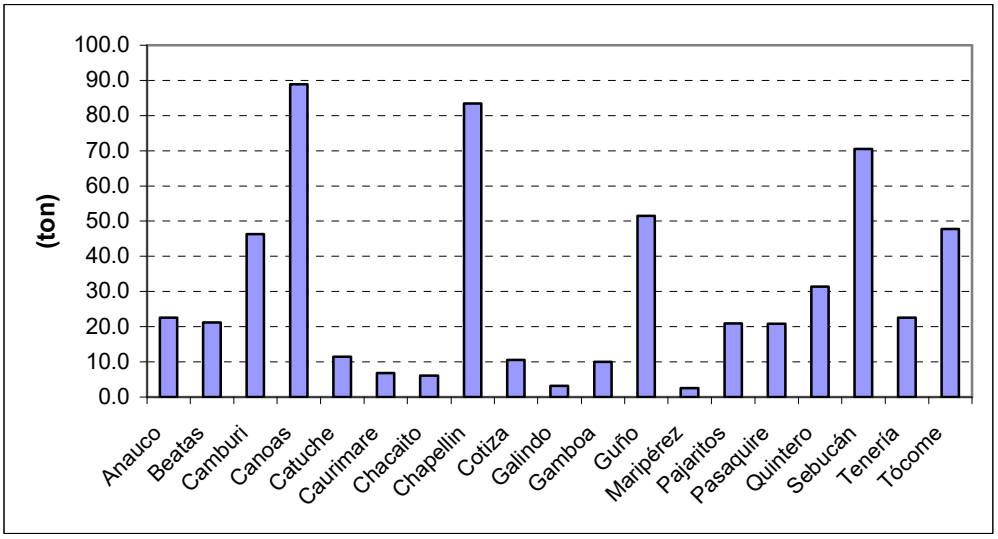


Figura Nº 5.22. Acarreo de fondo medio anual – relación de Meyer-Peter/Müller

5.9 Conclusiones y recomendaciones

5.9.1 Conclusiones

En el presente trabajo, se estableció a partir de cuenca pilotos una correlación entre producción de sedimento en suspensión y de acarreo de fondo, en función de la pendiente de fondo. Se hizo evidente que no se justifica la suposición usual que existe una relación fija entre los dos, por ejemplo que el arrastre de fondo representa un 20% del sedimento en suspensión. Para pendientes propios de ríos de montaña el arrastre de fondo puede ser incluso mayor que el sedimento en suspensión.

Se extendieron las estimaciones de producción de sedimentos a las 19 quebradas de la vertiente sur del Ávila. Se notó que los módulos de producción de sedimentos por unidad de área de las subcuencas tienden a ser mayor a medidas que las mismas tienden a ser mas pequeñas, debido a que éstas últimas, por su cercanía al área urbana tienen mayor parte de sus áreas afectadas por la intervención humana, con una cobertura vegetal degradada.

Es importante señalar que los valores obtenidos corresponden al acarreo de fondo potencial o máximo que pueda ocurrir en estas subcuencas para los eventos analizados, pero que los valores efectivos están condicionados al volumen de material aluvial presente en los cauces de sus lechos.

5.9.2 Recomendaciones

Parece oportuno seguir estudiando, como se ha hecho en el presente estudio, la producción real de arrastre en las cuencas con valores altos de pendiente, y contrastar las correlaciones de la producción de sedimento obtenidas mediante modelos matemáticos con valores medidos en campo.

En este sentido, se recomienda:

a. en las cuencas analizadas con valores de pendiente longitudinal altos, calcular el volumen de material (aluvial y coluvial) disponible que puede ser acarreado.

b. estimar la producción de sedimentos por erosión laminar en las laderas y por acarreo de fondo en canales de las subcuencas de la vertiente norte del Parque Nacional El Ávila, bajo el mismo enfoque metodológico utilizado en el presente trabajo.

5. ESTIMACION DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS....1
5.1 Introducción....1
5.2 Metodología....4
5.2.1 Aspectos particulares a las cuencas de montaña....4
5.2.2.- Metodología....6
5.3 Recopilación y procesamiento de la información básica....7
5.3.1 Cartografía....7
5.3.2 Información Climática....8
5.3.3 Información Hidrométrica....10
5.3.4 Información edafológica y granulométrica....11
5.4 Estimación de producción de sedimentos en suspensión en las cuencas pilotos....12
5.4.1 Formulación del modelo MUSLE....12
5.4.2 Características de las subcuencas.....13
5.4.3 Aplicación del modelo MUSLE.....17
5.4.4 Resultados: producción de sedimentos en suspensión....18
5.5. Estimación de acarreo de sedimentos (erosión en canales) en las cuencas pilotos.....22
5.5.1 Formulación del modelo de acarreo de sedimentos.....22
5.5.2 Características de las subcuencas consideradas.....24
5.5.3 Aplicación de los modelos Schoklistch y Meyer – Meter/ Müller....25
5.5.4 Resultados: producción de sedimentos por acarreo de fondo....26
5.6 Análisis de correlación de la producción de sedimento en suspensión y de fondo....33
5.7 Modelo lluvia-escorrentía....36
5.7.1 Formulación del Modelo SCS....37
5.7.2. Calibración del modelo lluvia-escorrentía de simulación continua....41
5.8 Estimación de la producción ordinaria total de sedimentos en las cuencas de la Vertiente Sur....52
5.9 Conclusiones y recomendaciones....55
5.9.1 Conclusiones....55
5.9.2 Recomendaciones....56

6. ESTUDIO DEL RIO GUAIRE

6.1 Características del canal

6.1.1 Características por tramo

El Río Guaire está canalizado desde su nacimiento, en la confluencia de los ríos Macarao y San Pedro en Las Adjuntas, hasta El Encantado, a unos kilómetros aguas abajo de la confluencia con la Quebrada La Guairita.

El tramo objeto del presente análisis comprende desde Las Adjuntas hasta el puente Baloa en Petare, con una longitud aproximada de 27 km. El canal es de sección trapecial revestido en concreto, con canaleta central y taludes 1.5H: 1V revestidos en la parte inferior, y vegetados en la parte superior.

En la Fig 6.1a se representan las distintas secciones existentes a lo largo del tramo estudiado.

Tramo I. Las Adjuntas-Caricuao

Este tramo se inicia en el puente Las Adjuntas y finaliza aguas abajo de la confluencia con la quebrada Caricuao. Tiene una longitud de 3,15 km y es de sección trapecial, con canaleta central de 3 m de ancho, ancho base del canal 10 m y tope 17 m , con taludes 1,5 H : 1V revestidos en la parte inferior y la parte superior vegetada.

En la Fig. 6.1b se muestra la canalización del Río Guaire en Las Adjuntas. Como se puede observar, la vegetación está levantando las placas de concreto de la parte inferior del talud.

Figura 6.1b Río Guaire. Tramo Las Adjuntas-Caricuao, vista hacia aguas arriba.

Tramo II. Caricuao-Puente Mohedano

En este tramo de 12,83 km de longitud la sección se mantiene, aunque el canal revestido es mas profundo (5,2m). En la Figura 6.2 se puede observar como el talud izquierdo está totalmente cubierto por la vegetación.

Figura 6.2. Río Guaire. Tramo Caricuao-Pte Mohedano, vista hacia aguas arriba.

Tramo III. Puente Mohedano-Bello Monte

Tiene una longitud de 2,25 km desde el puente Mohedano hasta la confluencia con el Río Valle, es de sección trapecial de 13 m de ancho base, tope 26,5 m, canaleta central de 3 m y profundidad 5,2 m.

Como se puede observar en la Figura 6.3, la sección del río es mas amplia con taludes 1,3H:1V. La base del talud está revestido en concreto, una parte central revestido con losas de piedra y la parte superior vegetada.

Figura 6.3. Río Guaire. Estación Los Caobos.

En la Figura 6.4 se muestra la Estación Hidrométrica Los Caobos a la altura del Parque del mismo nombre, donde se registraba el nivel del Río Guaire (actualmente no está operativa).

Figura 6.4. Río Guaire. Estación Los Caobos.

Tramo IV. Bello Monte-Puente Las Mercedes

Este tramo tiene una longitud de 1,75 km, comenzando en la confluencia con el Río Valle hasta el puente Las Mercedes. El canal tiene una canaleta central de 3 m de ancho, y el canal revestido es de 17 m de ancho base, 29,45 m de ancho tope, taludes 1,5H: 1V y profundidad 4,15 m.

En la Figura 6.5, se muestra una vista desde aguas abajo de la confluencia con el Río Valle. Como se puede apreciar las losas de la base del canal en algunos sitios se encuentran levantadas, generando remansos.

Figura 6.5a. Río Guaire. Confluencia del Río Guaire con el Río Valle.

Figura 6.5b. Río Guaire. Confluencia del Río Guaire con el Río Valle. Vista hacia aguas abajo

Un punto crítico en este tramo, es el puente Lincoln que comunica Bello Monte con Sabana Grande, ubicado aguas abajo de la confluencia con el río Valle como se aprecia en la Figura 6.5b, ya que la viga del puente disminuye el área de la sección.

Tramo V. Puente Las Mercedes-Puente Baloa

El siguiente tramo es el de Las Mercedes-Puente Baloa, con 7,35 km de longitud y sección de 18 m de ancho base, taludes 1,5H:1V, profundidad 5m y canaleta central de 4 m de ancho.

En las siguientes figuras se muestra el canal en distintos sitios del tramo. Las Figuras 6.6 y 6.7 muestran el Guaire en Las Mercedes. Como se puede observar en la Figura 6.7, el puente Las Mercedes es un punto crítico debido a que la sección se contrae y tiene poco tirante libre, en caso de una creciente los escombros pueden obstruir el puente y el río desbordarse.

Figura 6.6. Río Guaire en Puente Las Mercedes, vista hacia aguas abajo.

Figura 6.7. Río Guaire en Las Mercedes, vista hacia aguas abajo.

Otros puntos críticos en este tramo son los puentes a la altura de la California Sur. En las Figuras 6.8 y 6.9 se muestran los puentes California Sur y Macaracuay respectivamente.

Como se puede observar en las fotografías el tirante libre es muy bajo, por lo que en el momento de una crecida, en estos sitios se represarían las aguas y se acumularían todos los escombros arrastrados por la corriente, tal como sucedió en 1.980 cuando se inundó La California Sur (Corro et al., 1980).

Figura 6.8. Río Guaire en Puente California Sur, vista hacia aguas arriba.

Figura 6.9. Río Guaire en Puente Macaracuay, vista hacia aguas arriba.

En las Figuras 6.10, 6.11 y 6.12 se muestra la sección del Río Guaire a la altura de Petare, aguas abajo del Hospital Pérez de León.

Figura 6.10. Río Guaire en Petare, vista hacia aguas arriba.

Figura 6.11. Río Guaire en Pte. Baloa, Petare, vista hacia aguas abajo.

Figura 6.12. Río Guaire en Petare, aguas abajo de Puente Baloa, vista hacia aguas abajo.

6.1.2 Etapas de construcción

La canalización del Río Guaire se realizó por etapas y los estudios realizados para tal fin se iniciaron en la década de los cuarenta, siendo el organismo encargado el Ministerio de Obras Públicas, por lo cual actualmente toda la información sobre la historia de la canalización se encuentra dispersa y existe incertidumbre sobre algunos datos. La información aquí expuesta proviene de los informes de los proyectos y los planos de construcción que se pudieron ubicar, además de la información verbal obtenida de algunas de las personas que intervinieron directa o indirectamente en su construcción.

En Mayo de 2005, el Ing. Roberto Pérez Lecuna presentó un trabajo titulado "*El Río Guaire, su canalización a su paso por la ciudad de Caracas*" en la Academia Nacional de Ciencias en el marco del Simposio Recuperación y Saneamiento del Río Guaire, donde recopila la historia de la canalización del río en forma detallada (ver anexo III). A continuación se presenta un resumen del capítulo referido a la historia de la canalización del río.

De acuerdo a este trabajo, la obra se inició a través de la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP, con la participación de los Ingenieros Pedro Palacios Herrera, Vicente Tejera, Celestino Martínez de la Plaza y Víctor Sardi entre otros.

La primera etapa se construyó para la inauguración de los Juegos Bolivarianos de 1950, desde el Puente Tamanaco (aguas abajo de Puente Mohedano) hasta el Puente Lincoln en la confluencia con el Río Valle, con capacidad de 600 m^3/s.

Posteriormente, en 1953 se fija el trazado del canal en el tramo comprendido entre Puente Lincoln (Bello Monte) y Puente Veracruz (Las Mercedes) a lo largo de la autopista, con fondo móvil y taludes con gaviones.

Entre Puente Tamanaco y Puente Mohedano se construye el canal de concreto con sección trapecial por el cauce original.

En los años sesenta, el Ministro de Obras Públicas Dr. Santiago Hernández Ron transfiere la responsabilidad de la canalización del Río Guaire al INOS y se designa al Ing. Santos Michelena para el proyecto de canalización y la realización de un modelo físico, quien establece como prioritario la realización de un estudio hidrológico para determinar los caudales de diseño del canal, por lo que contrata al Dr. Robert Wiese para dicho estudio y conforma un grupo de trabajo con profesionales venezolanos de reconocida trayectoria, entre los que se encontraban los Ingenieros: José Ferrer, José A. Pardo Morales, Adolfo Yanes, Luis Franceschi, Carlos Vendan, Oswaldo Hernández, Rafael Convit. Como resultado se diseñó un canal de sección parabólica autolimpiante para régimen supercrítico.

Sin embargo, por razones económicas el nuevo Ministro, Dr. Sucre Figarella, decide que el canal será de sección trapecial con capacidad de conducción de 500 m^3/s, y diseño asesorado por el Dr. Víctor Sardi, quien había diseñado y construido la canalización del Río Valle.

Entre los años 1967 y 1969, se construye el tramo Puente Veracruz – Petare, de sección trapecial revestida en concreto y pendiente general de 4‰, continuando con los criterios anteriores de Gustavo y José Ayala.

En 1970 se termina la canalización del río hasta las Adjuntas con la construcción de la autopista de Caricuao.

Posteriormente, entre 1971 y 1973 se modifica la sección del canal entre Las Mercedes y Puente Lincoln de fondo móvil a fondo fijo y taludes en concreto. Se completa la canalización hasta El Llanito entre 1975 y 1977.

Siendo el último tramo que se construyó, el de Petare El Llanito hasta el Puente La Línea en los años ochenta.

En el Anexo III se presenta el trabajo completo presentado por el Ing. Roberto Pérez Lecuna y una comunicación enviada por el Ing. José Ferrer que aporta información de interés sobre la canalización del río Guaire.

6.1.3 Capacidad de conducción

De acuerdo a su sección, el canal del Río Guaire se puede dividir en 5 tramos. En la tabla 6.1 se presenta para cada tramo las dimensiones, gasto de diseño y la capacidad máxima de conducción.

Para determinar la capacidad del canal se tomaron los datos de pendiente del estudio hidrológico del MARN (1.982). En cuanto a la rugosidad, se consideró la situación actual del canal, el cual presenta en algunos tramos gran cantidad de vegetación, lo que reduce notablemente la capacidad del canal. Es particularmente el caso de los tramos aguas arriba, donde no se observa ningún tipo de mantenimiento. Se supuso una condición de régimen

uniforme y se utilizó la fórmula de Manning para estimar la capacidad máxima de conducción en secciones con rugosidad compuesta. Cabe destacar que la profundidad que se indica en la tabla 6.1 se refiere a la parte revestida del canal. Sin embargo, para calcular la capacidad total se incluyó la parte sin revestir medida en campo la cual varía de pocos centímetros hasta un par de metros según el tramo, y que para los efectos de estimar la capacidad de conducción se consideró en algunos casos un aumento de 1 m aproximadamente en la profundidad del canal. En cuanto a la pendiente, ésta se estimó según los casos en base a los planos de construcción, a los informes de los proyectos o por defecto por la topografía del terreno.

Tramo	Ancho (m)			Talud	Profundidad (m)	Pendiente	Gasto de diseño (m^3/s)	Capacidad máxima actual (m^3/s)
	Canaleta	Base	Tope					
1.Las Adjuntas-Caricuao	3	10	17	1:1	3,2	0.038	500	390
2.Caricuao-Pte. Mohedano	3	10	25,6	1,5:1	5,2	0.038	600	850
3.Pte. Mohedano-Bello Monte	3	13	26,6	1,3:1	5,2	0.038	600	950
4.Bello Monte-Pte. Las Mercedes	3	17	29,5	1,5:1	4,2	0.035	600	1160
5.Pte. Las Mercedes-Pte. Baloa	4	18	33	1,5:1	5	0.035	920	1690

Tabla 6.1. Parámetros hidráulicos y capacidad de la canalización del Río Guaire.

Como se puede observar en esta tabla 6.1, la capacidad del canal en el tramo entre Las Adjuntas y Caricuao es inferior al gasto de diseño, debido a que la canalización se encuentra en muy mal estado. Existen losas levantadas y gran sedimentación, por lo que se reduce notablemente su capacidad.

A continuación se presenta una tabla donde se compara la capacidad del canal con los caudales máximos calculados en el estudio hidrológico:

Tramo	Capacidad (m^3/s)	Q_{10} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{100} (m^3/s)	Q_{500} (m^3/s)
Las Adjuntas-Caricuao	390	415	862	1094	1685
Caricuao-Pte. Mohedano	850	435	883	1127	1698
Pte. Mohedano-Bello Monte	950	444	915	1166	1738
Bello Monte-Las Mercedes	1160	539	1147	1469	2173
Las Mercedes-Petare	1690	556	1190	1529	2252

Tabla 6.2. Comparación de la capacidad del canal con los caudales máximos estimados

De acuerdo a estos cálculos el canal no tendría capacidad para conducir los caudales con período de retorno igual o superior a 10 años en el tramo entre Las Adjuntas y Caricuao. Sin embargo si se realizara un adecuado mantenimiento a este tramo, la capacidad se incrementaría notablemente.

En cuanto al tramo siguiente, Caricuo-Pte. Mohedano, observamos que no tiene capacidad de conducción de caudales superiores a 50 años de período de retorno. Esto se debe en parte a que la vegetación ha levantado en algunos tramos las losas de concreto cubriendo parte de la canalización trayendo como consecuencia una disminución de la capacidad del canal.

A partir de Pte. Mohedano el canal no tiene capacidad de conducción para caudales superiores a 100 años de período de retorno.

Parece claro entonces que la falta de mantenimiento del canal a lo largo del curso reduce peligrosamente la capacidad de conducción.

6.2 Antecedentes de inundaciones

6.2.1 Resumen de antecedentes

Wiese (1.959) en su informe hidrológico para la canalización del Río Guaire, señala la ocurrencia de grandes tormentas y crecientes en octubre de 1.892, octubre de 1.938 y noviembre de 1.944, de las cuales lamentablemente no se tiene mayor información.

En cambio el mismo reporta tormentas medianas y grandes entre 1.949-1.958 que produjeron la crecida del Guaire de las cuales se dispone de datos hidrológicos. Estas tormentas ocurrieron en noviembre de 1.949, octubre de 1.950, febrero de 1.951, junio de 1.951, mayo de 1.952, diciembre de 1.956, y en junio y agosto de 1.958.

En base a esta fuente y otras consultadas, los antecedentes de inundación son los siguientes:

1. Año 1.892: El 7 de octubre de este año el Río Guaire creció y destruyó el Puente de la Regeneración, mejor conocido como Puente de Hierro, ubicado al extremo sur de la calle Ustáriz, así como los puentes Sucre y Tablas. (PREVENE, 2.000)

   No existen registros históricos de la creciente.

2. Año 1.949: La inundación de las Vegas del Río Guaire el 29 de noviembre causó daños en El Paraíso, San Agustín, El Conde, Bello Monte y El Rosal. (PREVENE, 2.000).

3. Año 1.951: El 17 de febrero ocurrieron aludes torrenciales en Vargas. Sobre la cuenca del Guaire también cayó gran cantidad de lluvia, provocando inundaciones en el valle de Caracas, con el desbordamiento de las quebradas Pajaritos, Agua de Maíz, Tócome, Caraballo y Catuche, y la creciente del Guaire. Se estimó el gasto máximo del Guaire en la Estación Los Caobos de Ciudad Universitaria en 180 m^3/s (Wiese, 1.959).

   Aún cuando el Río Guaire no se desbordó, esta tormenta es una de las más grandes que ha caído sobre el Litoral Central y el Valle de Caracas en los

últimos años y que generó grandes pérdidas humanas y materiales, se estiman 18 personas muertas y 3 desaparecidas.

4. Año 1.961: Las quebradas Pajaritos, Caraballo, Catuche y Anauco crecieron y en algunos casos se desbordaron ocasionando daños materiales. El Río Guaire alcanzó 4,20 m de altura en la Estación de Aforos Los Caobos, el río no se desbordó aunque dañó una de las pilastras del puente en Ciudad Universitaria.

   (Fuente:http://www.pnud.org.ve/archivo/documentos/desastres_naturales/lluvias/Efectos%20de%20las%20lluvias/AnexosGuaira.doc)

5. Año 1977: A las 17:30 horas del día sábado 20 de agosto, el Río Guaire creció súbitamente inundando la parte baja de Caricuao y Las Adjuntas, debido a las cuantiosas lluvias que cayeron sobre las cuencas de los ríos San Pedro y Macarao. El sistema de drenaje del sector colapsó y la primera planta de las edificaciones quedaron tapadas por los sedimentos. Se reportaron 5 muertos, 3 personas desaparecidas y 700 vehículos dañados o arrastrados por el río. (Fuente:http://www.cepis.ops-oms.org/bvsade/cd/e/publicaciones/EstudioVEN/cap6.PDF)

   La Estación Río Guaire Los Caobos en Ciudad Universitaria, registró para este día un gasto máximo de 463 m^3/s. (Ayala, 1982)

6. Año 1.980: El 18 de septiembre a las 14:30 horas, se registró en la Estación Manzanares la creciente del Río San Pedro. El Río San Pedro produjo un aumento en los niveles del Río Guaire y se produjo una superposición de avenidas. Mientras que en la Estación Los Caobos se registró un nivel de 4,15 m con un caudal máximo de 630 m^3/s, los aportes del Río Valle, y las quebradas Pajaritos, Agua de Maíz y Tócome, representaron un caudal de 270 m^3/s, por lo que el caudal máximo en la California Sur fue de 900m^3/s. En la California Sur el Río Guaire se desbordó e inundó un área de 16 hectáreas con un nivel máximo sobre el terreno de 3,10 m (Corro et. al, 1.980).

   La corriente del río arrastró a su paso gran cantidad de desechos y escombros que quedaron represados en el Puente California Sur, debido al poco tirante libre disponible. El río creció y se desbordó inundando la primera planta y parte de la segunda planta de las casas de la urbanización California Sur, causando numerosos daños materiales. Aunque el tramo de canalización entre Las Mercedes y puente Baloa fue diseñado para un caudal de 920 m3/s, la obstrucción de los puentes de La California Sur produjo el desbordamiento del río en este sector.

7. Año 2.005: El 8 de Febrero de 2005 se desbordó el río Guaire a la altura de Bello Monte, Las Mercedes, California Sur y Petare. Se efectuará a continuación un análisis detallado de este evento.

6.2.2 Crecida del Río Guaire del 8 de febrero de 2.005

A raíz de las lluvias que cayeron en la ciudad de Caracas los días 7 y 8 de Febrero de 2005 y que produjeron el desbordamiento del río Guaire en varios sitios el día 8 entre la 1 y 2 pm, se realizaron visitas de campo con la colaboración de Técnicos de la Dirección de Hidrología del Ministerio del Ambiente para determinar los sitios de desbordamiento del río y los niveles alcanzados.

Cabe destacar que resultó difícil determinar las marcas de agua de la crecida del río, ya que las cuadrillas de limpieza de las alcaldías respectivas, efectuaron trabajos de limpieza y remoción de escombros a primeras horas del día 9 borrando así todas las marcas en el terreno en aquellas zonas donde se desbordó el río.

A continuación se muestran los niveles del río a lo largo de la canalización que se dividió en 6 tramos para su estudio.

a) Tramo Las Adjuntas – Caricuao

En este tramo el río Guaire no se desbordó y alcanzó un nivel aproximado de 2m, de acuerdo a las marcas de agua observadas en la canalización, ver Fotos 1y 2.

A la altura del Distribuidor Caricuao, después de la confluencia con la quebrada Caricuao, se midió el nivel del río en 3m, ver Foto 2.

Foto 1. Ruíz Pineda. Vista de la canalización desde puente de carretera vieja Los Teques, a la altura de la estación de metro de Ruíz Pineda.

Foto 2. Caricuao. Marcas de agua en canalización a pocos metros del Distribuidor Caricuao.

b) Tramo Caricuao – Pte. Mohedano

En la pista norte de la Autopista Francisco Fajardo, a la altura de la estación de metro Antímano, se observó acumulación de sedimentos y basura, sin embargo, no eran producto del desbordamiento del Guaire sino del desbordamiento de una quebrada en Antímano que drenó hacia el río Guaire inundando un tramo de la autopista.

En la Foto 3 se puede observar como el río no llegó al tope del canal revestido, las marcas de agua indican que el nivel que alcanzó fue de 2 m aproximadamente. La foto 3 fue tomada a la altura de la Universidad Católica Andrés Bello, a unos metros de la estación de metro de Antímano, se aprecia en las aperturas de la defensa de la autopista la acumulación de gran cantidad de sedimentos y escombros que descargaron en el río, aunque no se observan niveles altos del río. A diferencia del tramo de la urbanización El Paraíso, donde el nivel del río superó el tramo revestido del canal (ver foto 4).

En el Puente Los Leones de El Paraíso, el nivel de agua llegó a 0.5-1m por encima del tope revestido, mientras que en el Puente Hierro (Foto 5) el nivel llegó a 2 m por encima del tramo revestido de la canalización, al igual que En San Agustín (Foto 6).

Foto 3. Antímano. Canalización a la altura de la Universidad Católica Andrés Bello en Montalbán. Se observa acumulación de sedimentos y escombros en talud izquierdo.

Foto 4. El Paraíso. Se observan marcas de agua sobre tope de canalización.

Foto 5. Puente Hierro. Se observan marcas de agua y acumulación de escombros.

Foto 6. San Agustín. Marcas de agua

c) Tramo Pte. Mohedano – Bello Monte

En la Foto 7 se muestra la sección del Río Guaire a la altura de la Estación Hidrométrica Los Caobos (actualmente fuera de servicio), donde el río alcanzó un nivel aproximado de 4 m.

Foto 7. Los Caobos. Se observan marcas de agua a 1-1.5 m por encima del revestimiento.

d) Tramo Bello Monte – Las Mercedes

En Bello Monte el río Guaire se desbordó en varios sitios, Puente Lincoln, Puente Los Gemelos y por los sumideros de la avenida principal, la lámina de agua en la avenida fue de 40 cm por encima de la calzada afectando las instalaciones ubicadas en el sótano de la Alcaldía de Baruta.

Las Fotos 8 y 9 corresponde al tramo entre la confluencia con el río Valle y el puente Lincoln, en las fotos tomadas horas después de la crecida se puede apreciar que las aguas contenían sedimentos.

Aguas abajo, en el Puente Los Gemelos en Bello Monte (Foto 10), el nivel de las aguas llegó hasta el tope inferior de la viga del puente, por lo que las aguas del ríos se desbordaron y escurrieron por la avenida principal de Bello Monte. El canal tiene una profundidad de 5 m en ese tramo y las aguas alcanzaron los 6m de profundidad debajo del puente.

Foto 8. Bello Monte. Foto tomada después de la crecida (8-2-05, 4:38pm). Confluencia con río Valle.

Foto 9. Bello Monte. Foto tomada en Puente Lincoln horas después de la creciente (5:36pm), se observa inundación en calle prolongación de la av. Las Acacias.

Foto 10: Bello Monte. Nivel de las aguas llegaron hasta la parte inferior de la viga del Puente Los Gemelos produciéndose el desbordamiento.

e) Tramo Las Mercedes – Petare

El río creció en el tramo de Las Mercedes llegando a niveles críticos de desbordamiento en el puente Las Mercedes. En visitas de campo realizadas posteriormente, se observó acumulación de basura en una baranda por la margen derecha del río a pocos metros del puente (Foto 11), y hay evidencias de que se desbordó por las marcas en las bases del elevado a 65 cm sobre el terreno. Sin embargo, el área afectada corresponde solo a la intersección de la avenida principal de Las Mercedes con la principal de Bello Monte hasta Crema Paraíso, donde solo quedó afectado el kiosco de periódico ubicado debajo del elevado al que se le metió el agua pocos centímetros por no estar al ras del piso.

En la Foto 12 se indica la marca de agua en la margen derecha por donde se desbordó el río. De acuerdo a las mediciones realizadas, el flujo superó los 6m de altura en esa sección, mientras que la marca de agua en el puente indica que el flujo alcanzó una profundidad aproximada de 4.5 m (Foto 13), esto indica que se produjo un remanso debido a la contracción de la sección transversal del canal en el puente.

Otro tramo afectado fue a la altura del distribuidor Los Ruices, en el puente que comunica la zona industrial de Los Ruices con la avenida Río de Janeiro se observan marcas de agua por encima del revestimiento de concreto del canal, a pocos centímetros del nivel de la avenida. En la Foto 14 se observa la margen derecha erosionada y marcas de agua por la

margen izquierda a nivel de la avenida Trieste, mientras que en la Foto 15, se observan las marcas de agua en el talud izquierdo.

La zona mas afectada por la crecida fue la urbanización California Sur, donde el río se desbordó por los puentes California Sur y Macaracuay debido al bajo tirante de agua disponible, inundando un área de 4.5 has y un nivel máximo de 1.8 m sobre el terreno a la salida del distribuidor Macaracuay que es el punto mas bajo. En la avenida Trieste las aguas llegaron a 1 m sobre el terreno y escurrieron por las calles Capri, Malta y las avenidas Ginebra, Varsovia y Belgrado, en la Figura 1 se indica el área inundada y los niveles alcanzados, mientras que en las Fotos 16 al 21 se aprecian los daños causados por la creciente y los niveles alcanzados.

Otro sitio de desbordamiento fue aguas abajo de Macaracuay, donde se inundó el canal lento de la pista norte de la autopista Francisco Fajardo, en las Fotos 22 y 23 se puede apreciar la acumulación de sedimento fino, material granular y troncos que fueron arrastrados por la corriente y se depositaron en el talud izquierdo, con una altura aproximada de 1-1.5 m.

En Petare el río se desbordó aguas abajo de Puente Baloa, en la vía hacia El Encantado, afectando un barrio asentado en la margen derecha del río donde las aguas se metieron en las casas y llegaron a 1-1.5m por encima del terreno. En las Fotos 24 al 26, se muestra el sector de Petare y las marcas de aguas dejadas por la creciente.

Foto 11. Las Mercedes. Acumulación de desperdicios en baranda que indican posible sitio de desbordamiento del río por margen derecha.

Foto 12. Las Mercedes. Sección aguas arriba de puente Las Mercedes.

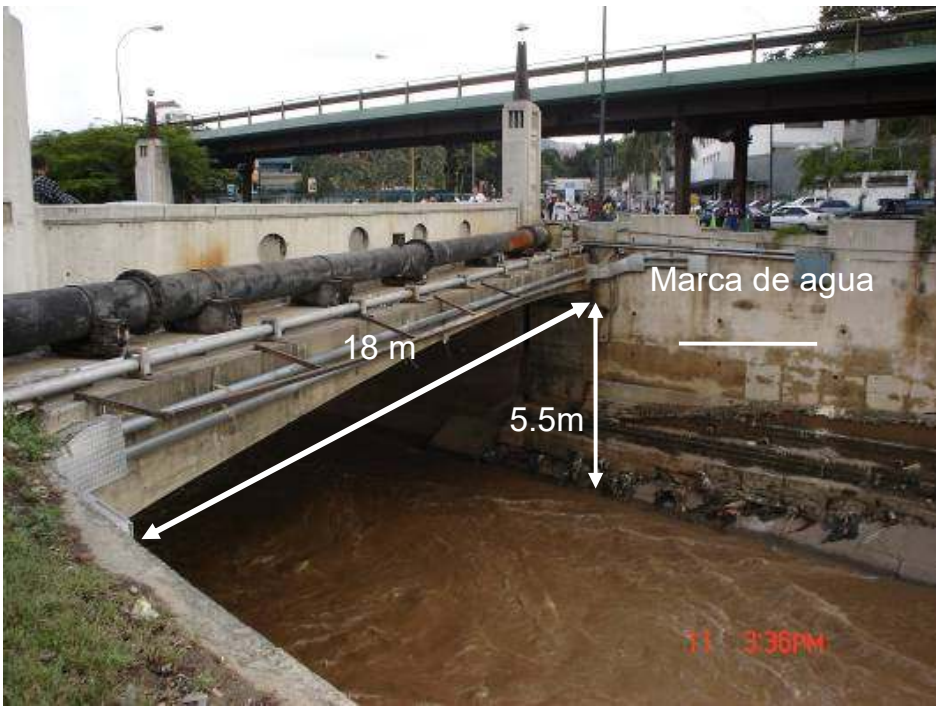


Foto 13. Las Mercedes. Vista desde aguas arriba del Puente Las Mercedes.

Foto 14. Los Ruices. Puente que comunica la zona industrial de Los Ruices con avenida Río de Janeiro. Se observa erosión en margen derecha y marcas de agua.

Foto 15. Los Ruices. Marcas de agua a la altura de la Base Aérea La Carlota.

Foto 16. California Sur. Sitio de desbordamiento del río en Puente Macaracuay.

Foto 17. California Sur. Daños sufridos al revestimiento del canal y defensa del puente Macaracuay debido a la crecida.

Foto 18. California Sur. Se observa como la crecida arrastró la cerca que bordea margen izquierda del canal.

Foto 19. California Sur. Vista hacia aguas abajo de puente Macaracuay. Se observa como el nivel de las aguas alcanzaron el tope de la canalización.

Foto 20. California Sur. Se observa el nivel de las aguas en el Edif. Laura.

Foto 21. California Sur. Vista hacia abajo de Puente California Sur.

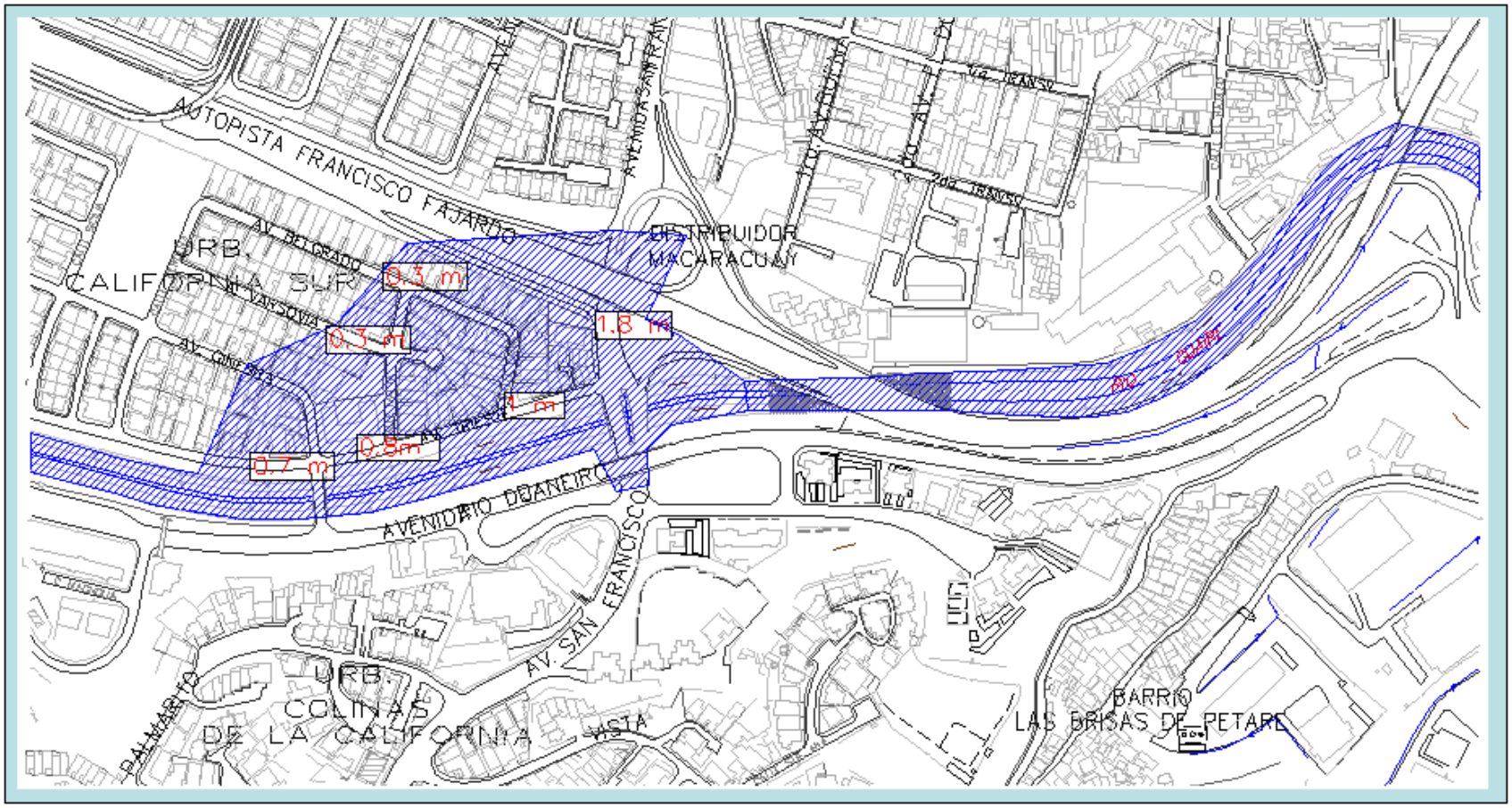


Figura 6.13. Mapa de inundación de creciente del 8 de Febrero de 2005

Foto 22. Aguas abajo de Puente Macaracuay. Se observa depósito de sedimentos y escombros en margen izquierda.

Foto 23.Sitio de desbordamiento del río, aguas debajo de Puente Macaracuay, donde se observa gran acumulación de material grueso y troncos arrastrados por la crecida.

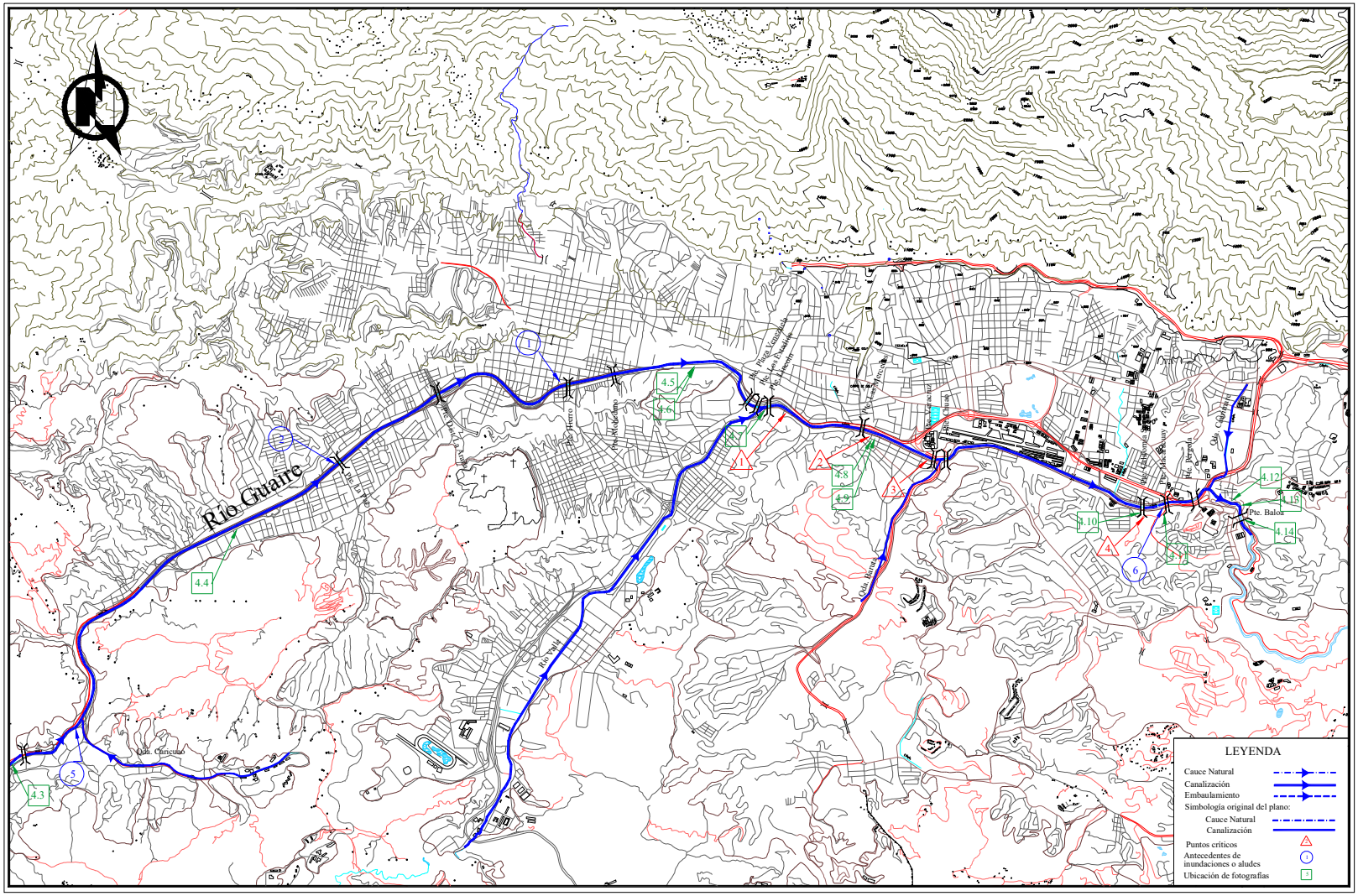
Foto 24. Petare. Se observa la deposición del material arrastrado por la crecida, aguas arriba de Puente Baloa.

Foto 25. Petare. Desbordamiento del río aguas abajo de puente Baloa, hacia el Encantado, afectando barrio ubicado en la margen derecha del río.

Foto 26. Petare. Barrio afectado por desbordamiento del río ubicado aguas debajo de puente Baloa, se observan las marcas de agua.

6.2.3 Resumen de puntos críticos

En la Figura 6.14 se indican los puntos críticos a lo largo de la canalización de acuerdo a los antecedentes de inundaciones y las observaciones de campo.


Río Guaire
Río Valle
Río Hierro
Río Macaracuay
Río Catuche
Río Anauco
Río Caroata
Río Pajarera
Río Baloa
Río Guaire
Río Valle
Río Catuche
Río Anauco
Río Caroata
Río Pajarera
Río Baloa
Qda. Caricuao
Qda. Macuto
Qda. Catuche
Qda. Anauco
Qda. Caroata
Qda. Pajarera
Qda. Baloa
Av. Río de Janeiro
Av. Río Caroní
Av. Río Orinoco
Av. Río Tuy
Av. Río Negro
Av. Río Amazonas
Av. Río Tocuyo
Av. Río Portuguesa
Av. Río Manzanares
Av. Río Caura

6.3 Simulación hidráulica de inundaciones por crecientes del río Guaire

6.3.1 Metodología

Para la simulación de inundaciones del Río Guaire se procedió a un análisis en dos etapas, aplicando sucesivamente el modelo unidimensional HEC-RAS y el modelo bidimensional FLO-2D.

- Se empleó primero el modelo unidimensional con la finalidad de estimar las profundidades de flujo para los gastos máximos de las crecientes de 2.33, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años de período de retorno y la mancha de inundación para las distintas crecientes.
- Los resultados anteriores permitieron identificar las zonas críticas, las cuales se analizaron entonces de manera más precisa con el modelo bidimensional.

Para facilitar el estudio se dividió la canalización en 6 tramos en función de la geometría de la sección y los aportes de los afluentes más importantes:

- **Tramo I: Las Adjuntas – Caricuao**. Tiene una longitud de 3,15 km de sección trapecial, con canaleta central de 3 m de ancho, ancho base del canal 10 m y tope 17 m , con taludes 1,5 H : 1V revestidos en la parte inferior de 3.2 m de profundidad y la parte superior vegetada.
- **Tramo II: Caricuao – Puente Mohedano**. En este tramo de 12,83 km de longitud la sección se mantiene, aunque el canal es más profundo (5,2m).
- **Tramo III: Puente Mohedano – Bello Monte**. Tiene una longitud de 2,25 km desde el puente Mohedano hasta la confluencia con el río Valle. Es de sección trapecial de 13 m de ancho base, tope 26,5 m, canaleta central de 3 m y profundidad 5,2 m.
- **Tramo IV: Bello Monte – Las Mercedes**. Este tramo tiene una longitud de 1,75 km, comenzando en la confluencia con el río Valle hasta el puente Las Mercedes. El canal tiene una canaleta central de 3 m de ancho, y el canal es de 17 m de ancho base, 29,45 m de ancho tope, taludes 1,5H:1V y profundidad 4,15 m.
- **Tramo V: Las Mercedes – Chuao**. Se inicia aguas arriba del puente Las Mercedes y finaliza aguas abajo del puente Veracruz antes de la confluencia con la quebrada Baruta. Tiene una longitud de 1,5 km, sección de 18 m de ancho base, taludes 1,5H:1V, profundidad 5m y canaleta central de 4 m de ancho.
- **Tramo VI: Chuao – Petare**. Permanece constante la sección del tramo anterior y tiene una longitud de 5,85 km hasta Puente Baloa en Petare.

Los resultados del modelo HEC-RAS indican que las zonas con mayores problemas de inundación son Caricuao, El Paraíso, Bello Monte, Las Mercedes y California Sur, siendo las más críticas Caricuao, Las Mercedes y California Sur.

Para su estudio se empleó el modelo bidimensional FLO-2D, el cual permite simular hidráulicamente estas áreas con mayor nivel de detalle y representar lo mejor posible las condiciones reales a la vez que se pueden plantear varios escenarios. Primero se corrió el

modelo bidimensional en cada tramo bajo las condiciones de la creciente de 10 años de período de retorno sin sedimentos para calibrar el modelo con los resultados del HEC-RAS.

Posteriormente se procedió a correr el modelo bajo los escenarios de crecientes de 10, 100 y 500 años de período de retorno considerando un "Bulking factor", factor que incrementa el caudal en función de la concentración de sedimentos por volumen. En el caso de la creciente de 10 años se fijó una concentración de sedimentos volumétrica constante de 15% y para las crecientes de 100 y 500 años se fijó una concentración de sedimentos volumétrica constante de 10%, lo que representa un incremento del 18% del caudal de Tr = 10 años y un incremento de 11% del caudal de Tr = 100 y 500 años.

6.3.2 Simulaciones con modelo unidimensional

El modelo HEC-RAS calcula el perfil de agua para régimen permanente gradualmente variado y es capaz de simular flujo subcrítico y supercrítico. Se basa en la solución de la ecuación de energía en una dimensión, adicionalmente emplea la solución de la ecuación de cantidad de movimiento en los casos en que el perfil de agua es rápidamente variado, como por ejemplo resaltos hidráulicos, confluencias y puentes. Asimismo, considera los efectos de obstrucciones debidas a puentes, alcantarillas y vertederos.

Como datos de entrada al modelo se introdujeron los gastos máximos de las crecientes del Río Guaire, secciones transversales de proyecto ajustadas con la topografía y longitud del tramo. Se dividió el río en los 6 tramos mencionados y se simuló cada tramo para los gastos máximos de 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años.

El modelo se calibró con la información hidrométrica disponible de la Estación Los Caobos durante el período 1958-1977. Aunque existen informaciones hidrométricas del Guaire en Puente La Paz y Puente Soublette, éstas no se utilizaron debido a los pocos registros existentes.

Para el caudal máximo de la creciente de 10 años de período de retorno la profundidad media del flujo alcanza 3,5 m con velocidades entre 7 y 8,5 m/s; para la creciente de 25 años de período de retorno la profundidad hidráulica del flujo es de alrededor de 4,5 m a lo largo de la canalización y velocidades entre 8 m/s y 9 m/s. En el caso de la creciente de 50 años, el modelo predice profundidades entre 4,5 m y 5,5 m y velocidades entre 9 m/s y 10 m/s. Mientras que para el gasto máximo de la creciente de 100 años de período de retorno, la profundidad varía desde 5 m hasta 6,5 m con velocidades de 10 m/s. El gasto máximo de la creciente de 500 años, genera una profundidad de flujo de 5,5 m en el tramo aguas arriba y 7 m en el tramo aguas abajo con velocidades entre 10 m/s y 11 m/s.

El régimen es supercrítico con número de Froude entre 1,3 y 1,5 en los tramos Las Adjuntas-Caricuao, Caricuao-Pte. Mohedano y Pte. Mohedano-Bello Monte. Mientras que desde Bello Monte hasta Petare el régimen sigue supercrítico pero muy cercano al crítico con número de Froude entre 1,1 y 1,3 para las crecientes de período de retorno igual o menor a 25 años y para las crecientes de 50, 100 y 500 años el tipo de régimen es subcrítico, lo cual quedó evidenciado durante la crecida de Febrero de 2005 cuando el flujo a la altura del Puente Las Mercedes se produjo una depresión del perfil del agua al pasar por el puente que representa una contracción del flujo y se produjo un remanso hacia aguas arriba, ver foto a continuación (Figuras 6.15 a 6.17).

Figura 6.15. Río Guaire en Las Mercedes, vista desde aguas arriba del puente. Foto tomada por el prof. José Luis López minutos después del paso de la crecida.

Figura 6.16. Río Guaire en Las Mercedes, vista desde aguas arriba del puente. Foto tomada por autor desconocido durante la crecida.

Figura 6.17. Río Guaire en Las Mercedes, vista desde aguas arriba del puente. Foto tomada por autor desconocido durante la crecida.

En las Figuras 6.18 al 6.29 se presentan los perfiles de agua y las secciones transversales características de cada tramo donde se pueden observar los niveles de agua que alcanza el río para las distintas crecientes.

De acuerdo a la simulación con el modelo HEC-RAS, para la creciente de 25 años, el Río Guaire se desborda en un pequeño sector del tramo Las Adjuntas-Caricuao, para la creciente de 50 años de período de retorno el río se desborda en ciertas zonas a partir de Puente Mohedano hasta Puente Baloa, y la canalización no tiene capacidad de conducción de gastos superiores a 100 años de período de retorno.

Una vez obtenidos los resultados, se montó la información sobre un modelo topográfico en 3 dimensiones del Valle de Caracas a través del programa GEO-RAS para determinar el área de inundación de las crecientes del Río Guaire.

A continuación se presenta una tabla resumen con el área inundada por tramo debido a las crecientes de 100 años y 500 años de período de retorno:

Tramo	**Tr = 100 años**	**Tr = 500 años**
Adjuntas-Caricuao	38,2 has	53,9 has
Caricuao – Pte. Mohedano	260,7 has	506,9 has

Pte. Mohedano-Bello Monte	16,2 has	37,2 has
Bello Monte-Las Mercedes	21,4 has	53,9 has
Mercedes-Chuao	82,9 has	89,1 has
Chuao-Petare	180,3 has	214,6 has

Tabla 6.3. Área de inundación por tramo

En las Figuras 6.30, 6.31, 6.32, 6.33, 6.34 y 6.35 se muestran las manchas de inundación debido a las crecientes de 10, 100 y 500 años de período de retorno en los tramos Las Adjuntas-Caricuao, Caricuao-Pte. Mohedano, Pte. Mohedano-Bello Monte, Bello Monte-Las Mercedes, Las Mercedes-Chuao y Chuao-Petare respectivamente.

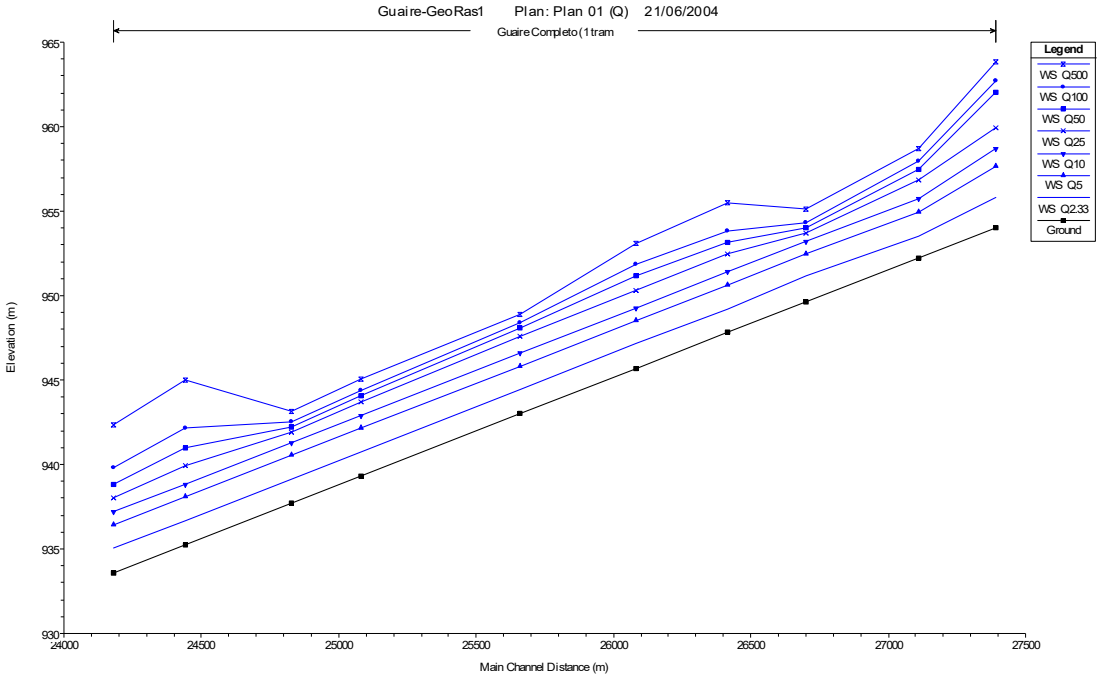


Figura 6.18. Perfil Tramo I: Las Adjuntas – Caricuao

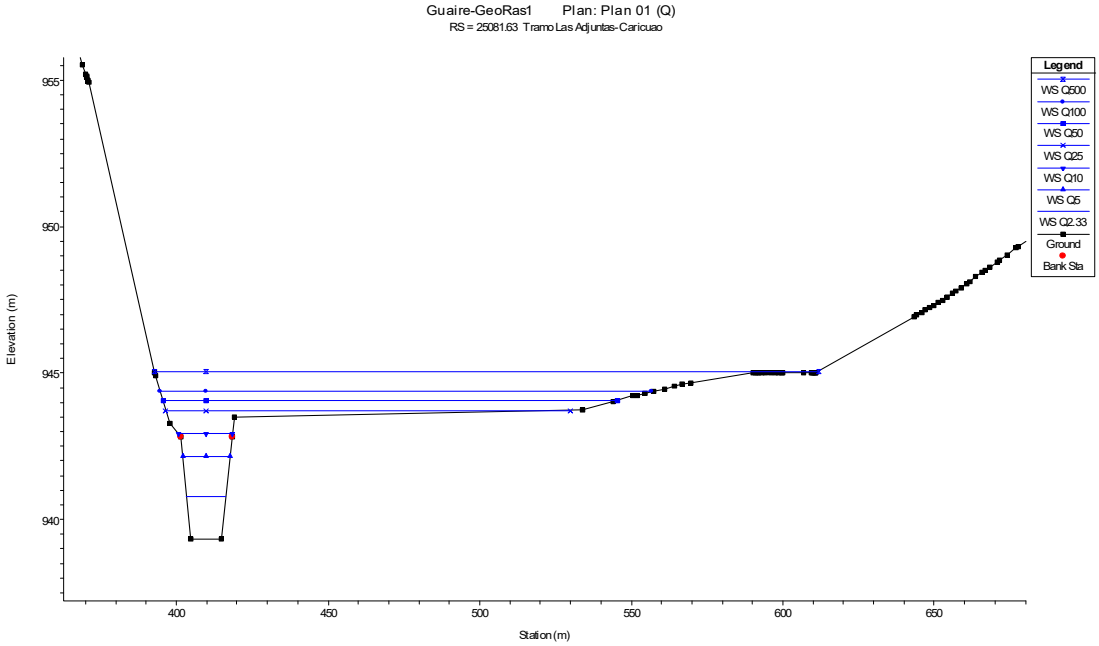


Figura 6.19. Sección Tramo II Las Adjuntas – Caricuao

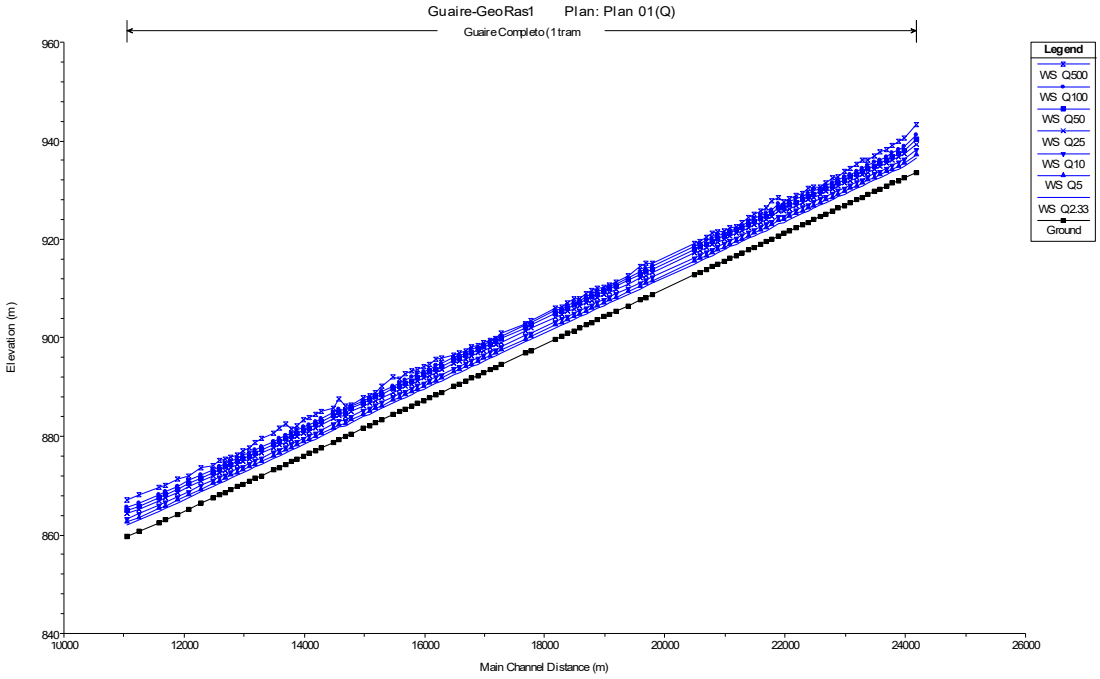


Figura 6.20 Perfil Tramo II: Caricuao – Pte. Mohedano

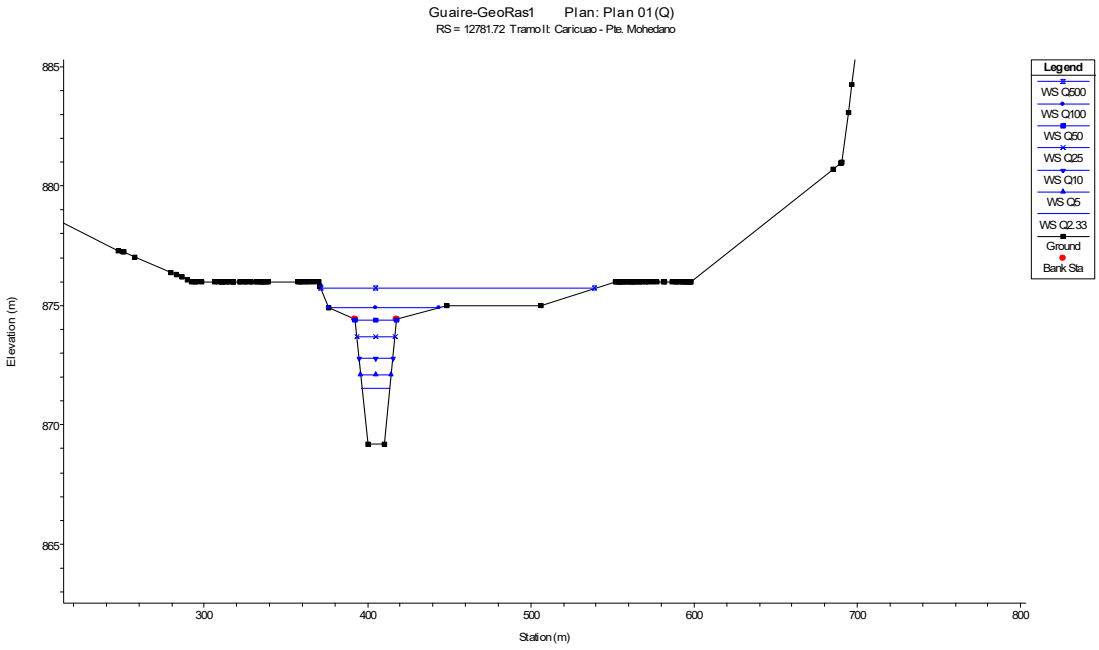


Figura 6.21 Sección Tramo II: Caricuao – Pte. Mohedano

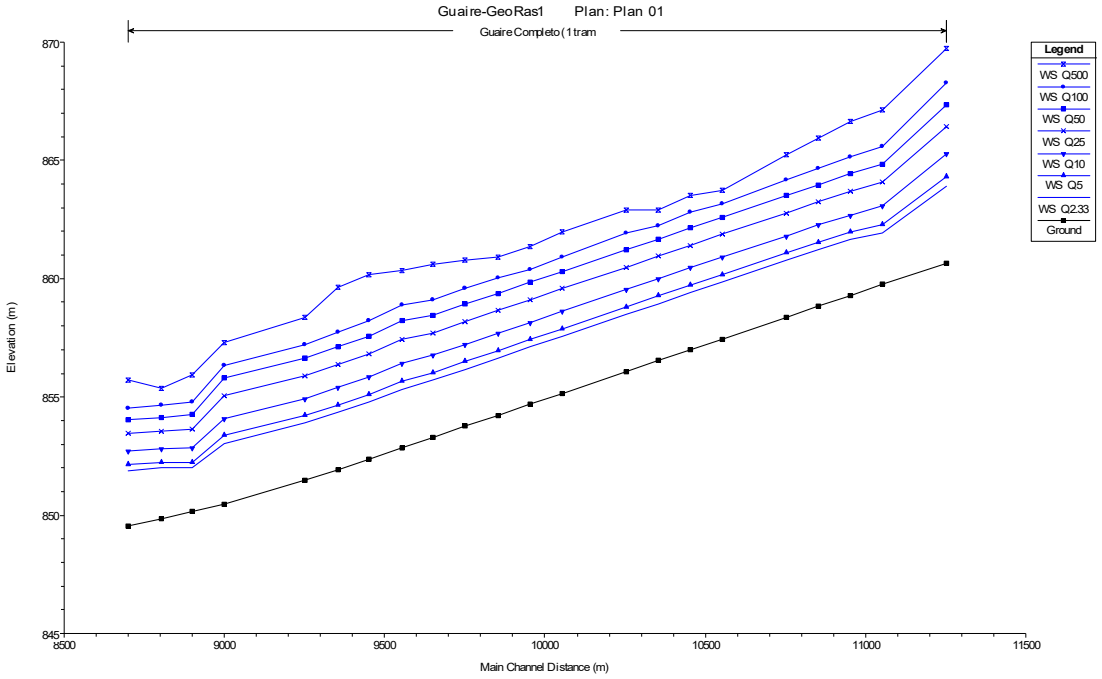


Figura 6.22 Perfil Tramo III: Pte. Mohedano – Bello Monte

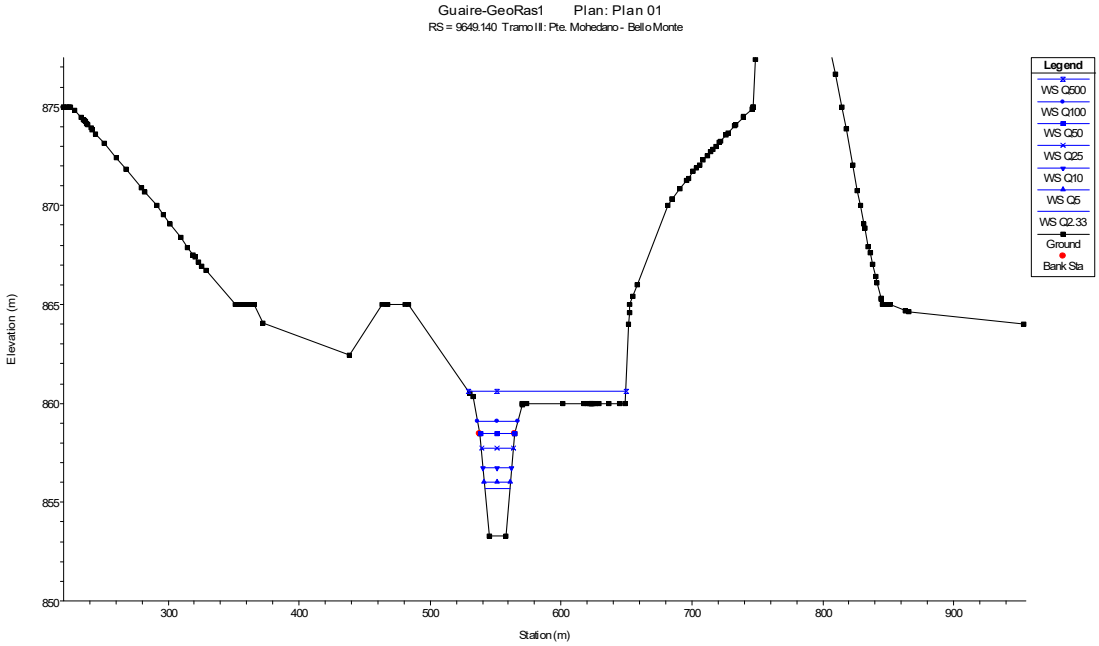


Figura 6.23. Sección Tramo III: Pte. Mohedano – Bello Monte

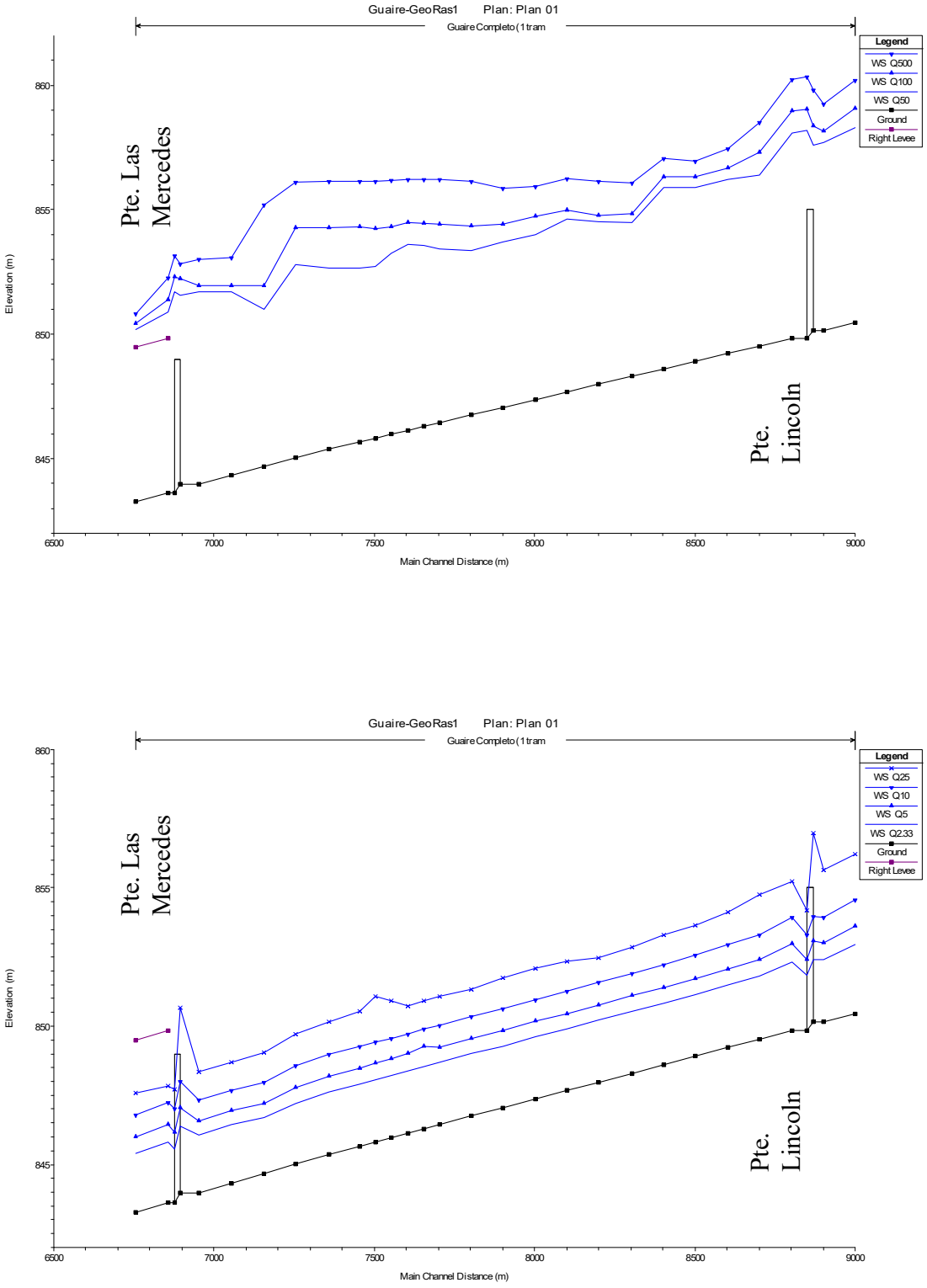


Figura 6.24. Perfil Tramo IV: Bello Monte – Las Mercedes

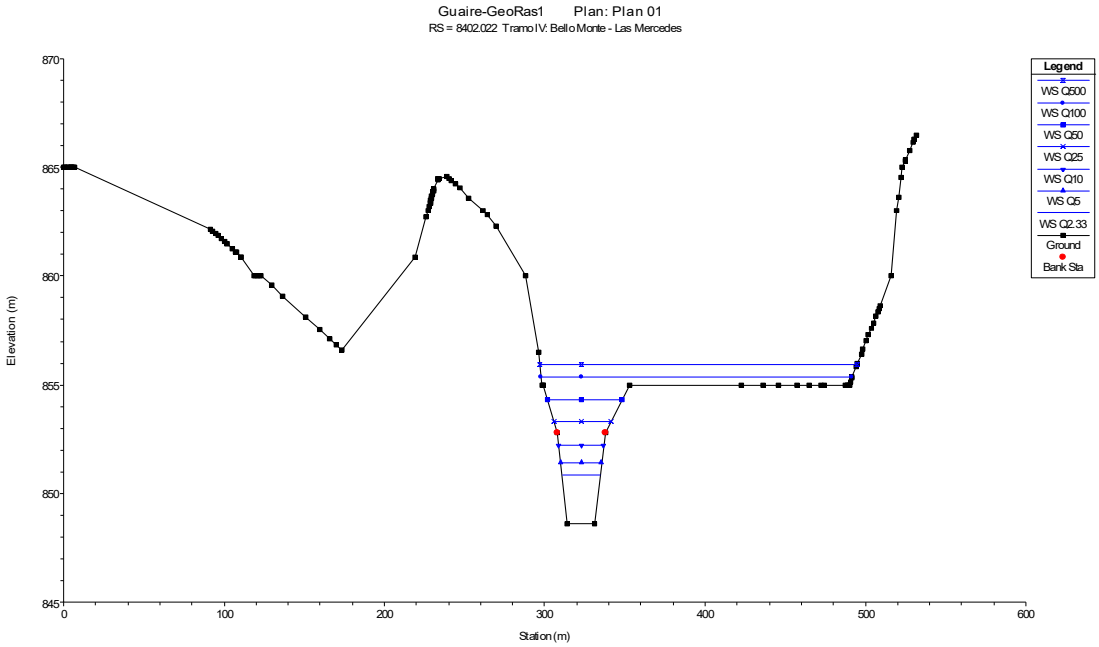


Figura 6.25. Sección Tramo IV: Bello Monte – Las Mercedes

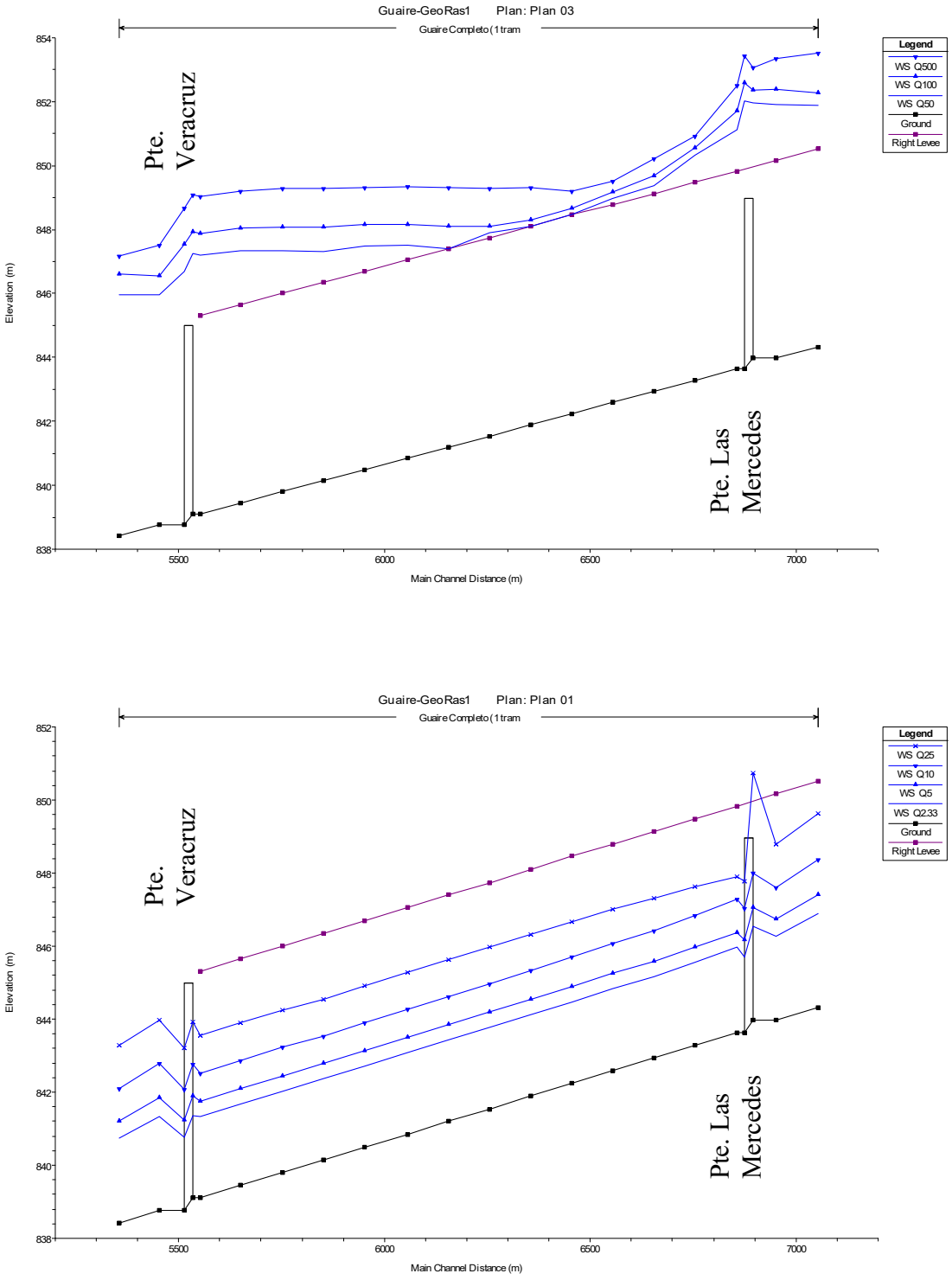


Figura 6.26. Perfil Tramo V: Las Mercedes - Chuao

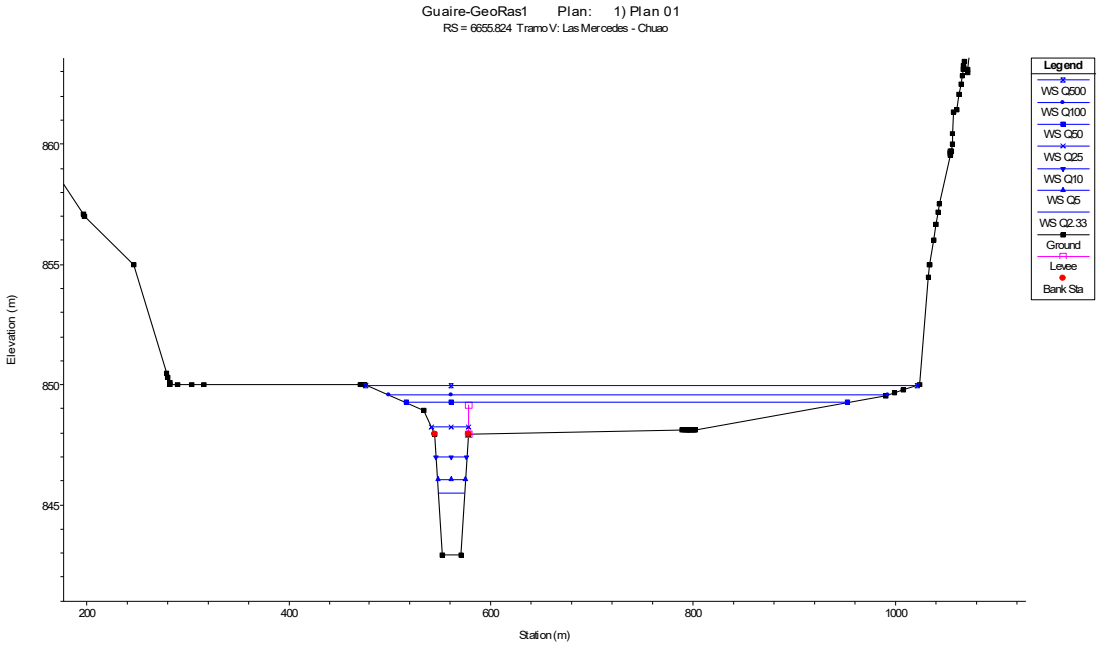


Figura 6.27. Sección Tramo V: Las Mercedes - Chuao

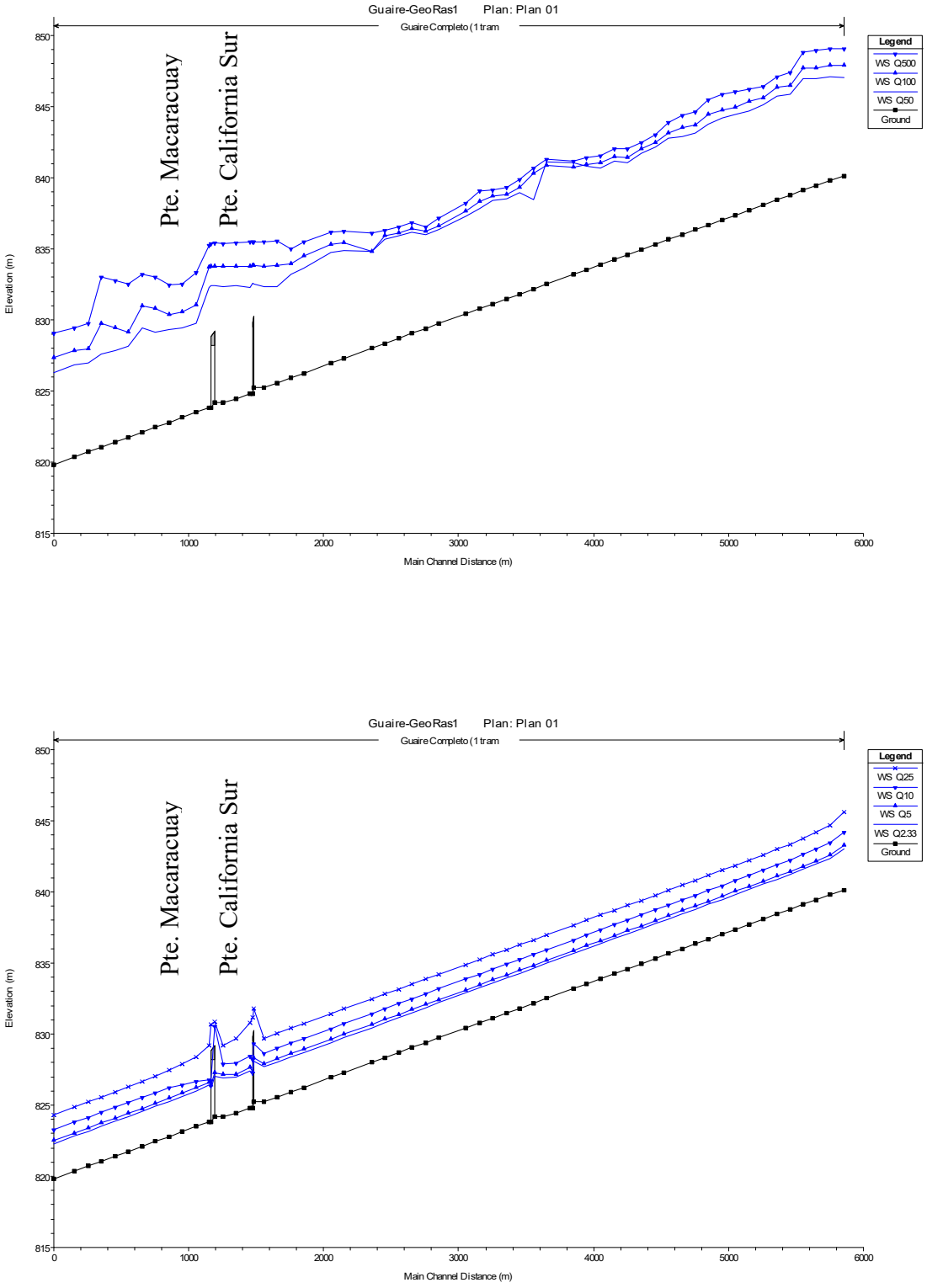


Figura 6.28. Perfil Tramo V: Chuao – Pte. Baloa

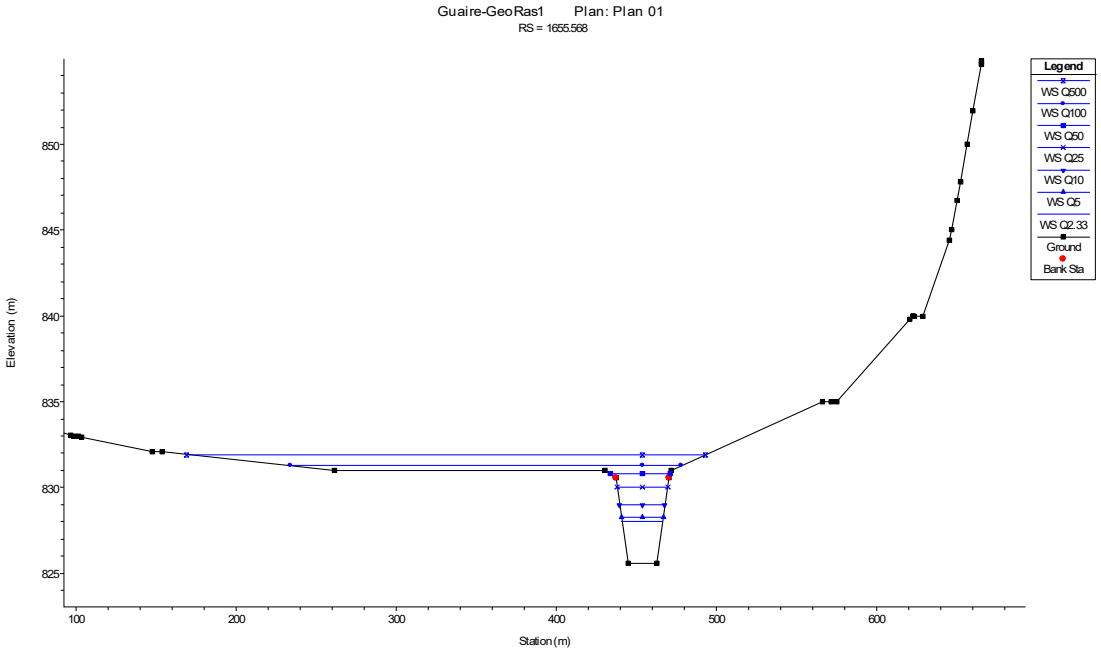


Figura 6.29. Sección Tramo V: Chuao – Pte. Baloa

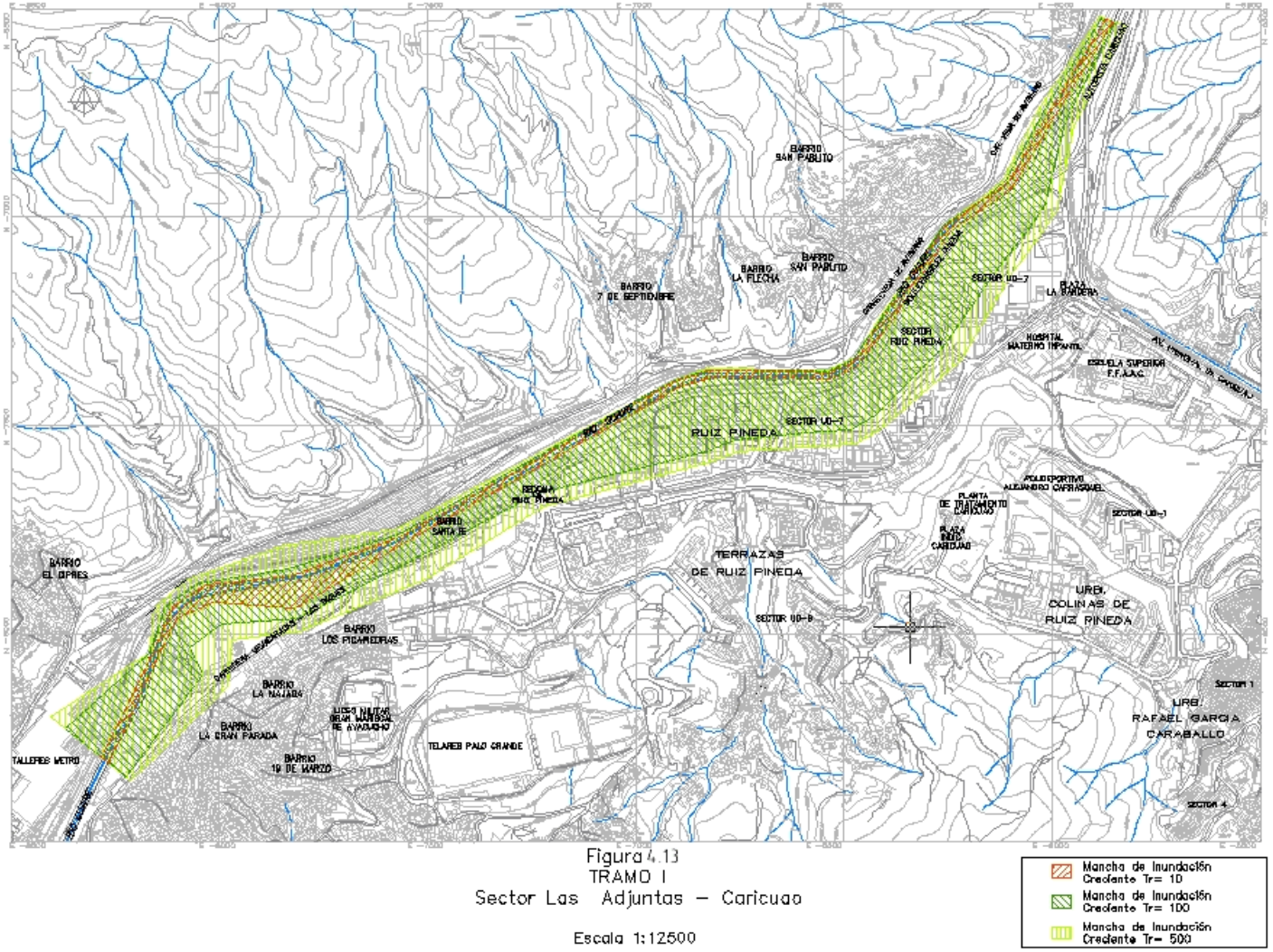


Figura 6.30. Tramo Las Adjuntas-Caricuao. Mancha de inundación del Río Guaire calculada con el modelo HEC-RAS.

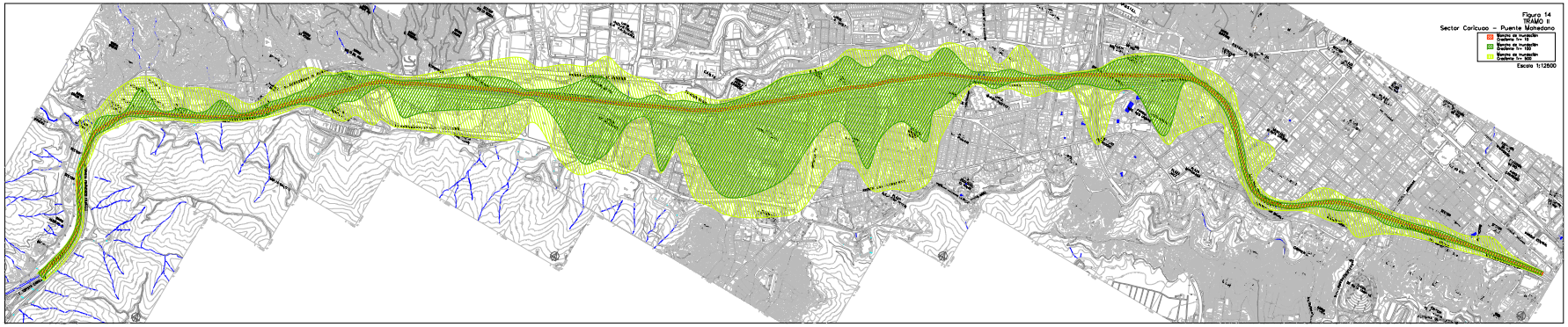


Figura 6.31. Tramo Caricuao-Pte Mohedano. Mancha de inundación del Río Guaire calculada con el modelo HEC-RAS.

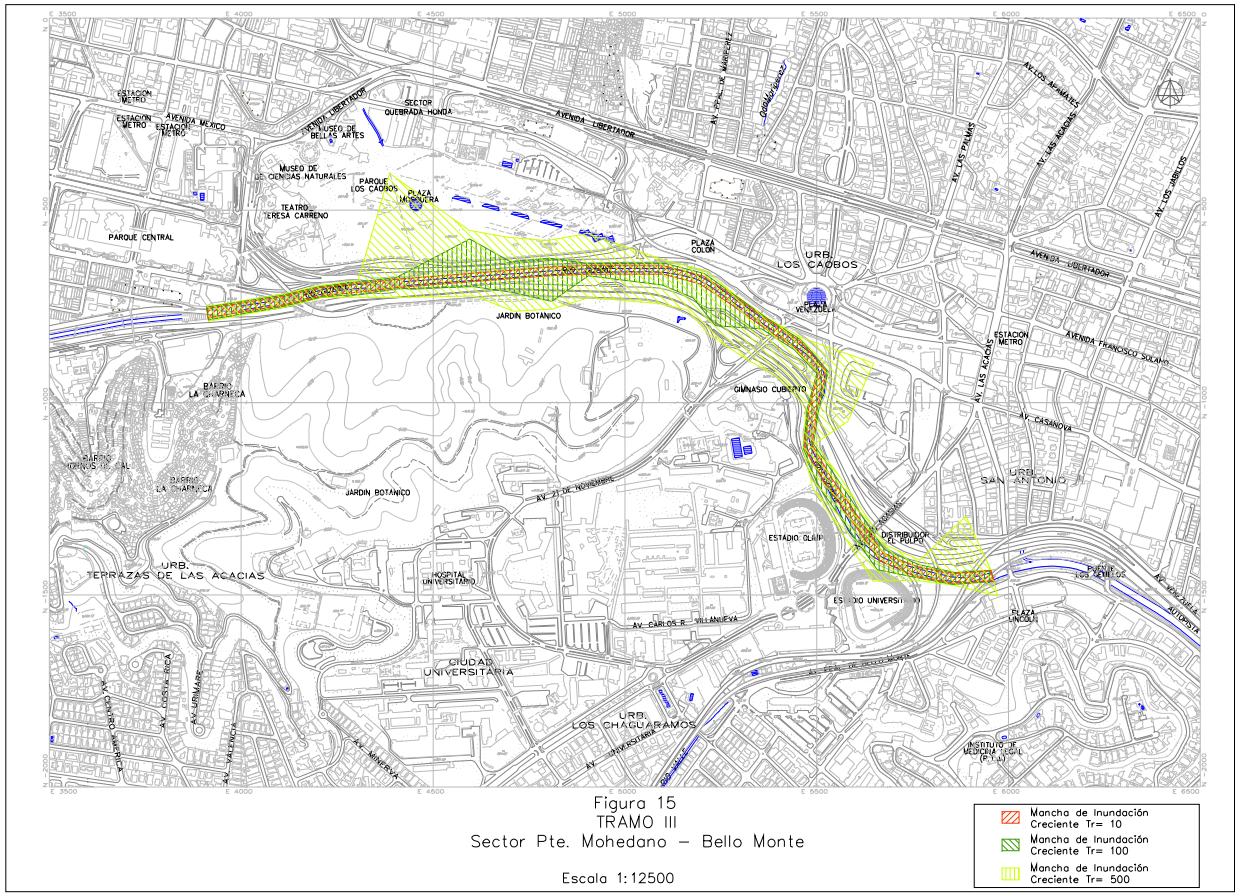


Figura 6.32. Tramo Pte. Mohedano-Bello Monte. Mancha de inundación del Río Guaire calculada con el modelo HEC-RAS.

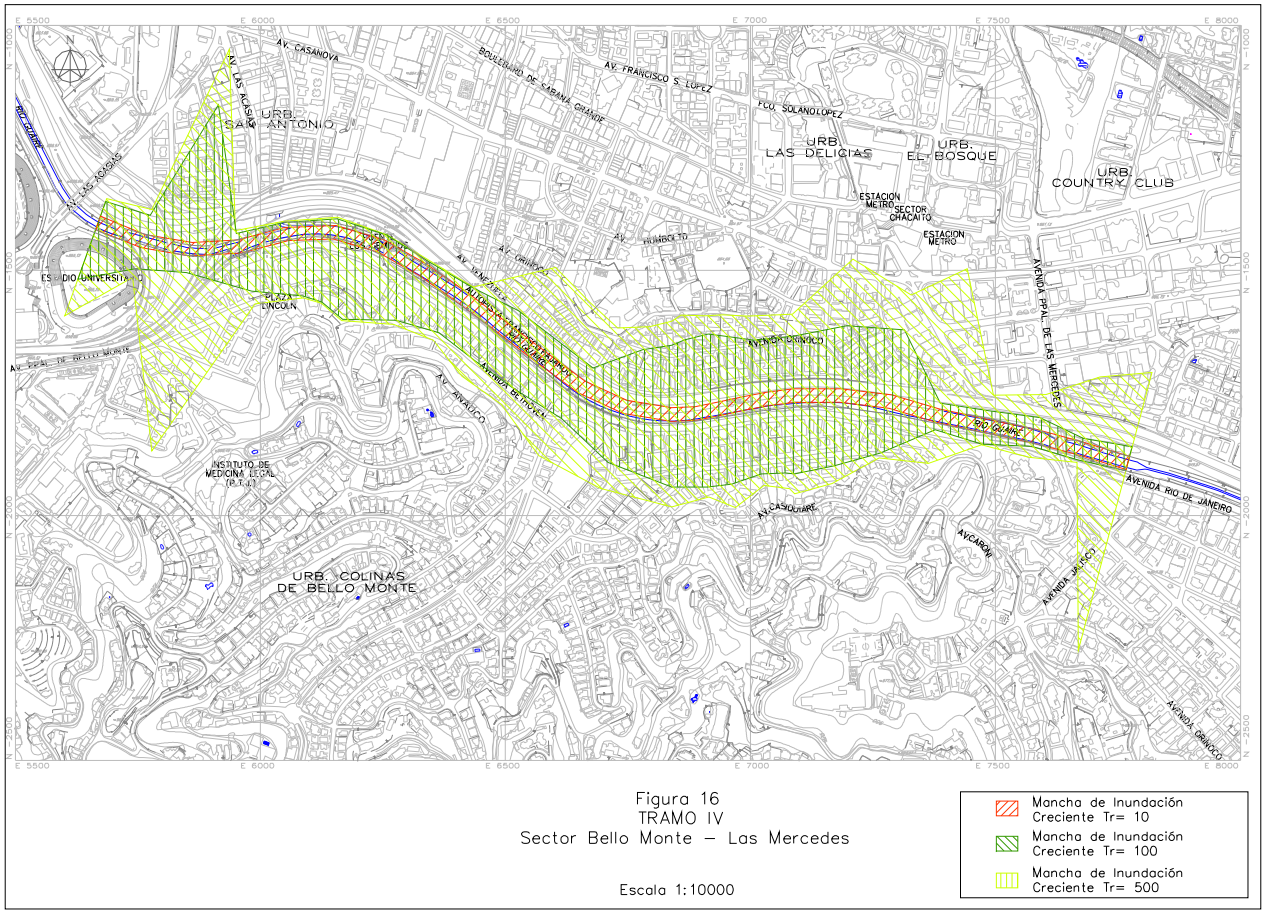


Figura 6.33. Tramo Bello Monte-Las Mercedes. Mancha de inundación del Río Guaire calculada con el modelo HEC-RAS.

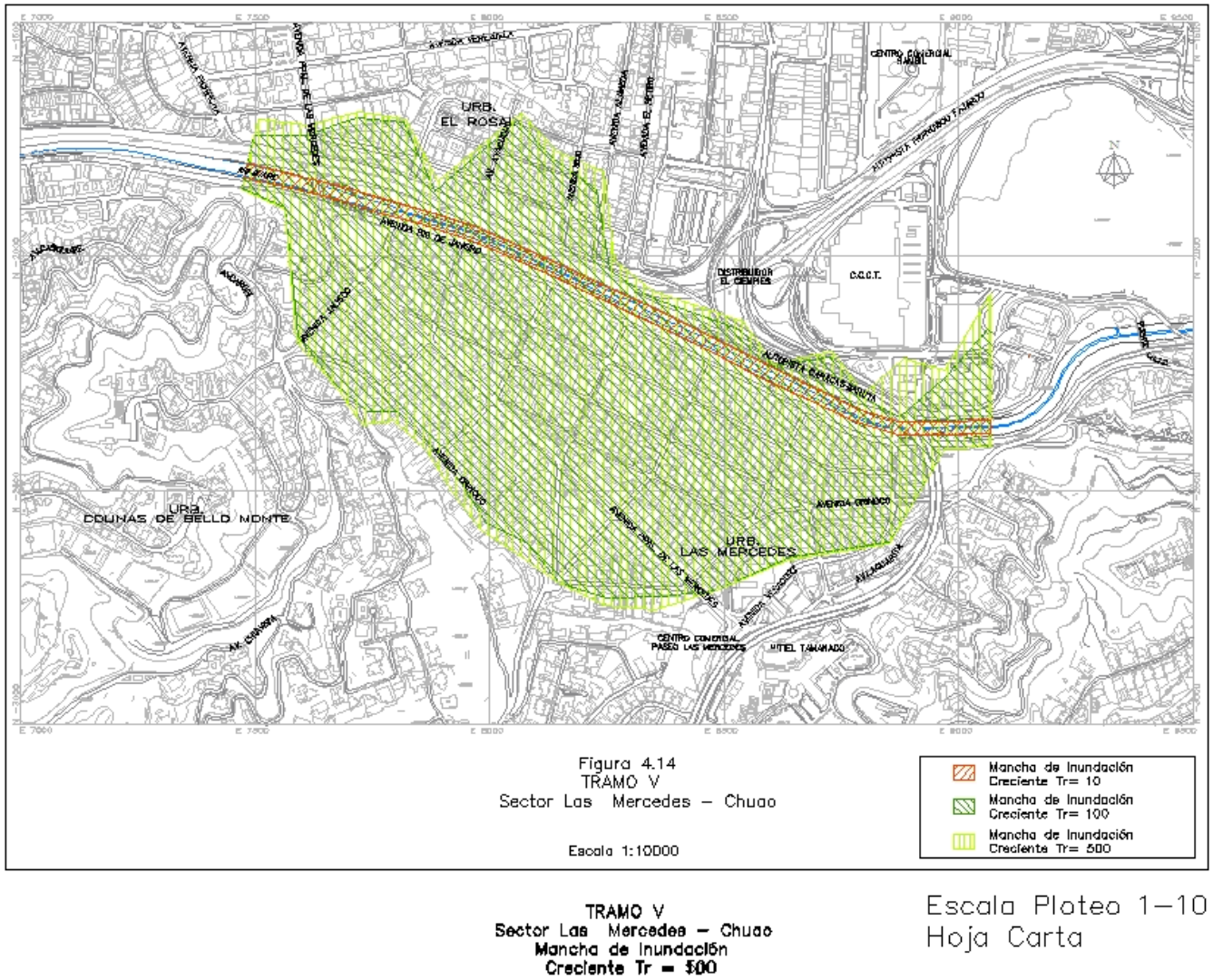


Figura 6.34. Tramo Las Mercedes-Chuao. Mancha de inundación del Río Guaire calculada con el modelo HEC-RAS.

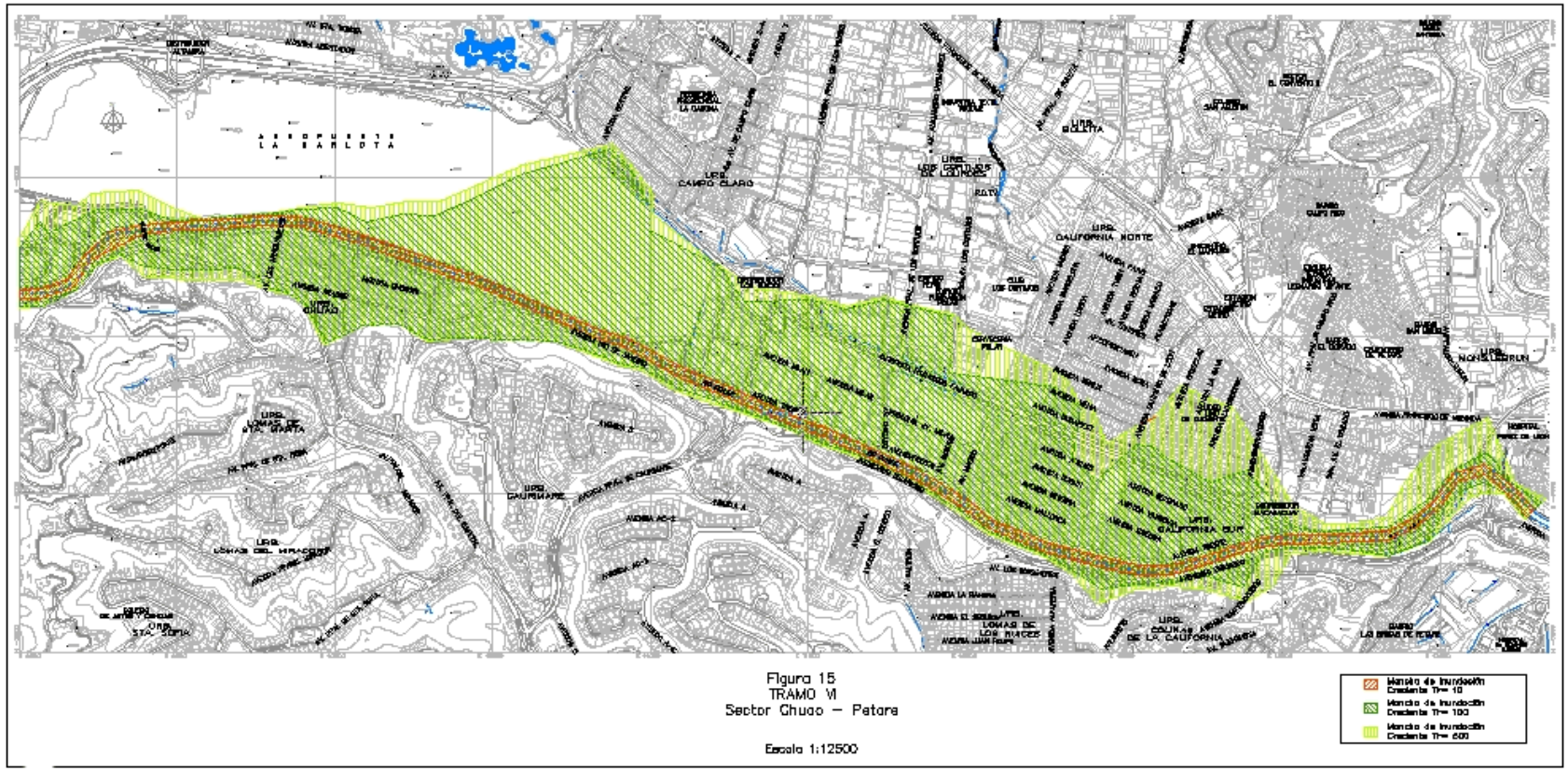


Figura 6.35. Tramo Las Mercedes – Pte. Baloa. Mancha de inundación del Río Guaire calculada con el modelo HEC-RAS.

6.3.3 Simulaciones con modelo bidimensional

Las áreas simuladas con el modelo bidimensional, se representan en la figura 6.36

- Condiciones generales de la simulación

Se discretizó el mapa topográfico digitalizado con curvas de nivel cada 5m en base a una malla con celdas de 30 m de ancho cada una y se representaron los escenarios correspondientes a las crecientes de 10, 100 y 500 años de período de retorno de los tramos:

- Las Adjuntas - Caricuao
- Caricuao – Pte Mohedano
- Pte. Mohedano – Bello Monte
- Bello Monte – Las Mercedes
- Las Mercedes – Chuao
- Chuao – Petare

Los hidrogramas de crecientes empleados provienen del estudio hidrológico. En las simulaciones con el modelo FLO-2D se consideró una concentración de sedimentos por volumen constante de 15% en el caso de la creciente de 10 años de período de retorno, mientras que para las crecientes de 100 y 500 años se consideró una concentración de sedimentos por volumen constante de 10%.

En cuanto a las características y dimensiones del canal se ajustó la información obtenida de los estudios y proyectos con información levantada en campo.

En cuanto a la rugosidad, ésta es variable, en el canal la rugosidad varía desde 0.017 hasta 0.04 según las características y condiciones en que se encuentra la canalización, en el caso de las calles se fijó una rugosidad de Manning de 0.02, en la planicie se fijó un valor inicial de 0.04 y se varío en algunas celdas según los resultados del modelo.

En las simulaciones se incorporaron las calles y las edificaciones. Se simularon los puentes Lincoln, Las Mercedes, Veracruz, California Sur, Macaracuay y Baloa, se consideró la obstrucción total de los mismos cuando el flujo alcanza el 70% de la capacidad de la sección en el sitio de puente.

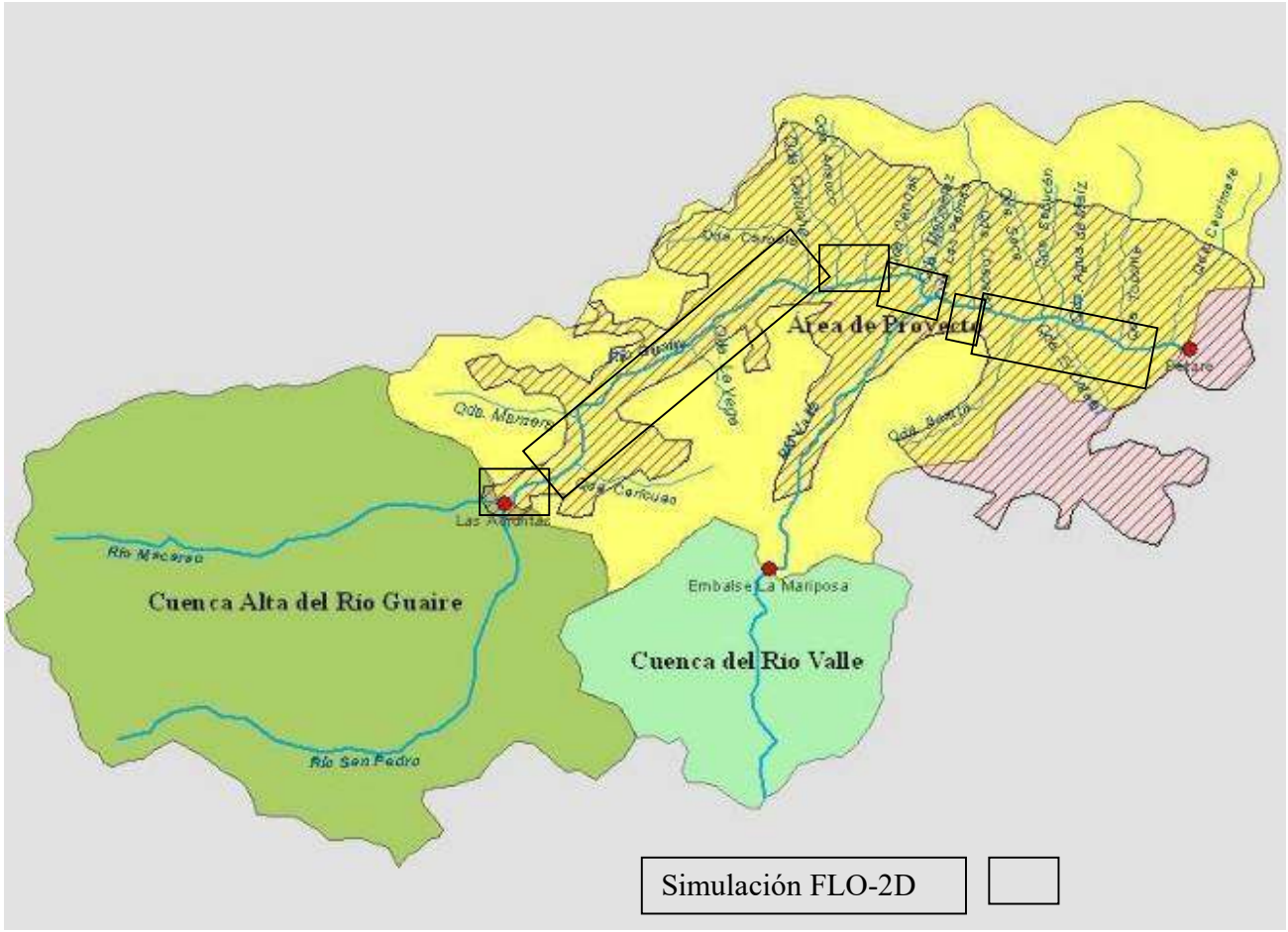


Figura 6.36 Ubicación de la áreas simuladas con el programa FLO-2D

6.3.3a Tramo Las Adjuntas - Caricuao

Condiciones de la simulación

En la tabla siguiente se presentan los valores de los parámetros específicos para cada escenario estudiado en el tramo Las Adjuntas - Caricuao:

Río		**Guaire**		
Tramo		**Las Adjuntas - Caricuao**		
Escenario		10 años	100 años	500 años
Tamaño de celda	m x m	30 x 30	30 x 30	30 x 30
Número de celdas		8468		
Área simulada	km^2	7.62		
n de Manning	Canal	0.017-0.03	0.017-0.03	0.017-0.03
	Planicie de inundación	Variable		
Puentes	Nº	-	-	-
Reducción de área	%	20 - 30		
Calles	Nº	6		
Caudal pico de agua	(m^3/s)	415	1094	1685
Caudal pico de agua y sedimentos	(m^3/s)	488	1216	1872
Cv		0.15	0.10	0.10

Tabla 6.4 Tramo Las Adjuntas – Caricuao. Parámetros de las simulaciones.

Los hidrogramas de creciente se muestran en las figuras 6.37, 6.38 y 6.39

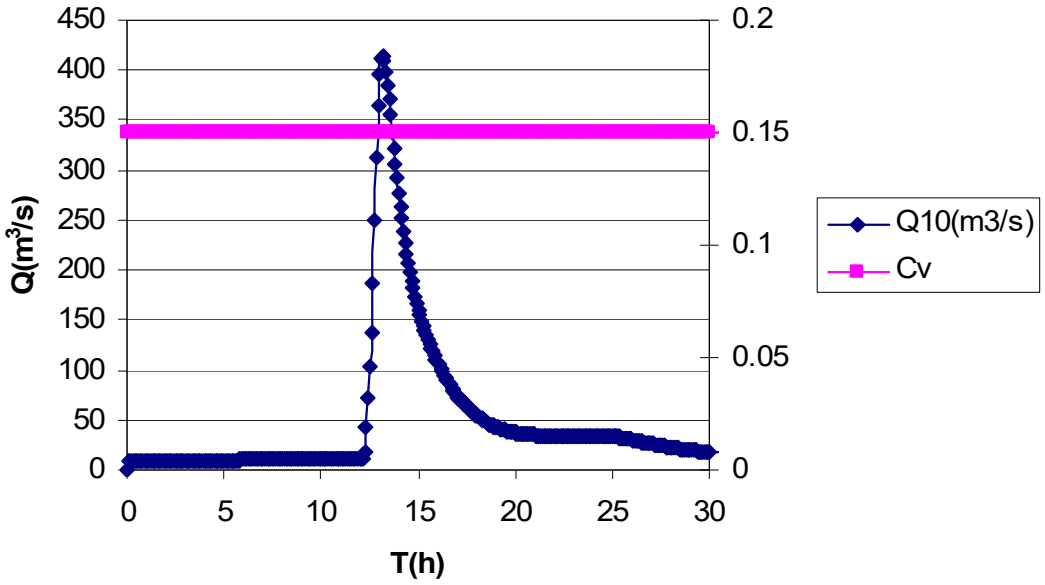


Figura 6.37. Tramo Las Adjuntas – Caricuao. Tr=10 años. Hidrograma

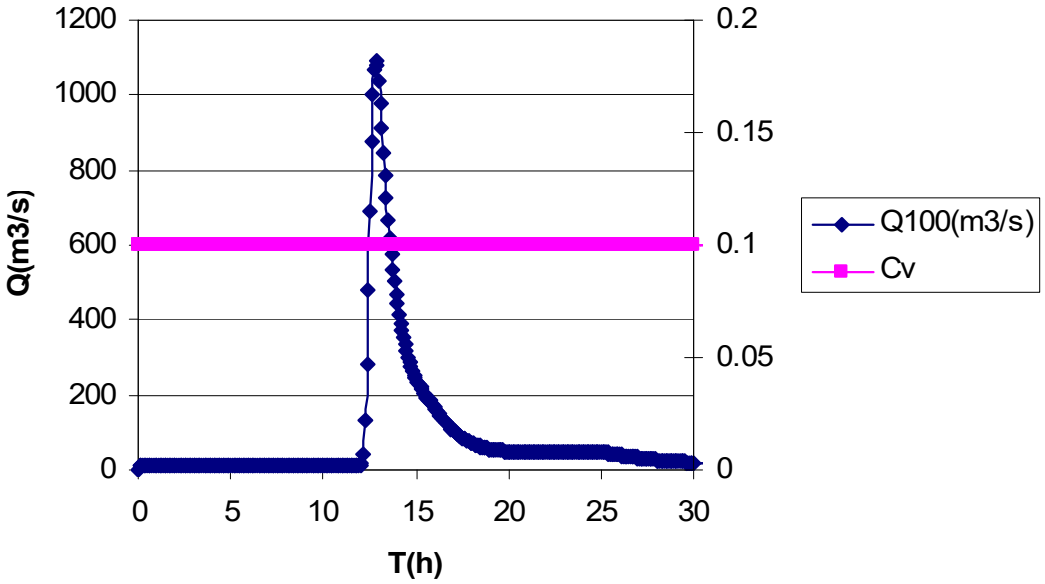


Figura 6.38. Tramo Las Adjuntas – Caricuao. Tr=100 años. Hidrograma

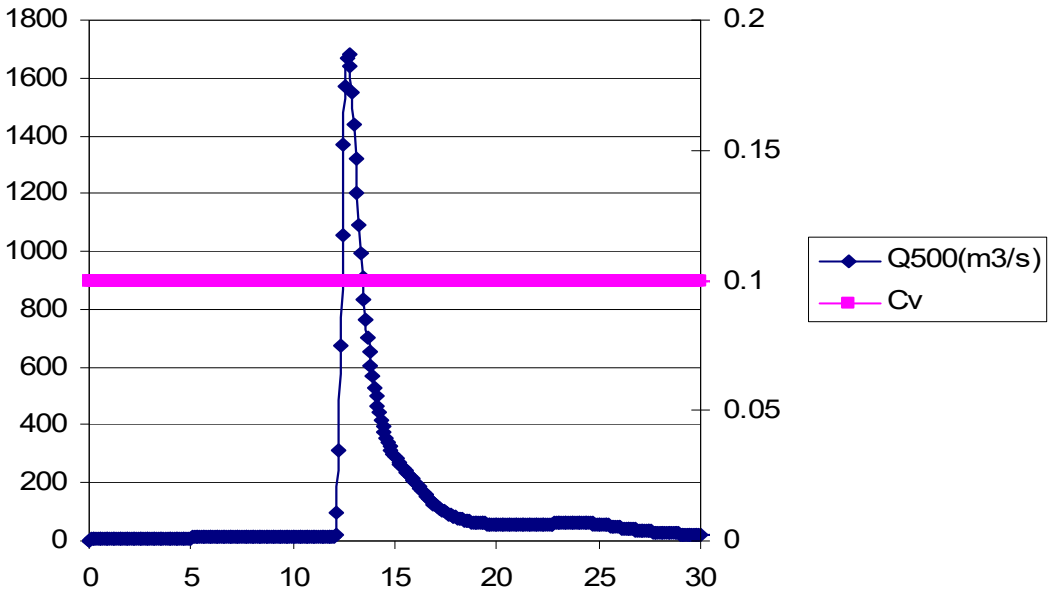


Figura 6.39. Tramo Las Adjuntas – Caricuao. Tr=500 años. Hidrograma

Resultados

De acuerdo al modelo FLO-2D para una creciente de 10 años de período de retorno con gasto máximo de 415 m^3/s el canal no se desborda. La profundidad máxima del flujo en el canal es de 3,7 m con velocidad máxima de 8 m/s, como se puede observar en las Figuras 6.40 y 6.41. El modelo reporta un área inundada de 7,06 ha que corresponde al canal.

Para la creciente de 100 años de período de retorno con gasto máximo de 1094 m^3/s el canal se desborda y se alcanzan profundidades de flujo en el canal entre 6.5 m y 8 m con velocidades máximas alrededor de 9,8 m/s. El área total inundada es de 60,66 ha que incluye la superficie del canal, siendo el área afectada por el desbordamiento de 53,4ha.

Mientras que la creciente de 500 años de período de retorno de 1685 m^3/s de gasto pico inunda un área total de 71,57 ha, de las cuales 7,2 ha corresponden al canal. Las profundidades del flujo dentro del canal varían entre 8,5 y 10 m con velocidades alrededor de 10 m/s.

Desde la Figura 6.40 hasta la 6.45 se muestran los gráficos de profundidades y velocidades máximas de flujo generados por el modelo FLO-2D para las crecientes de 10, 100 y 500 años de período de retorno respectivamente.

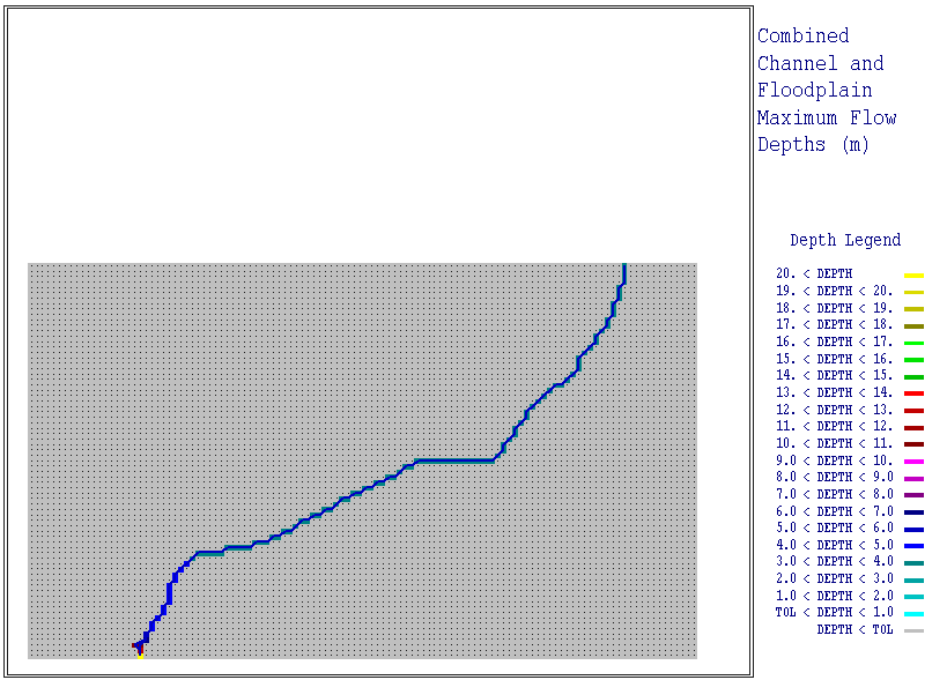


Figura 6.40. Tramo I: Las Adjuntas – Caricuao. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 10 años de período de retorno.

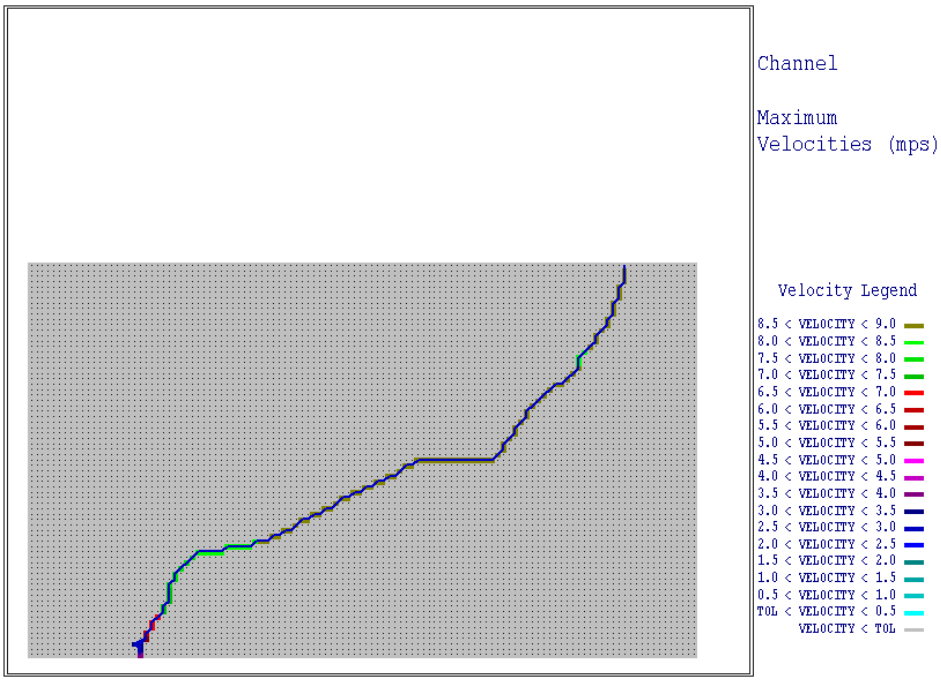


Figura 6.41. Tramo I: Las Adjuntas – Caricuao. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 10 años de período de retorno.

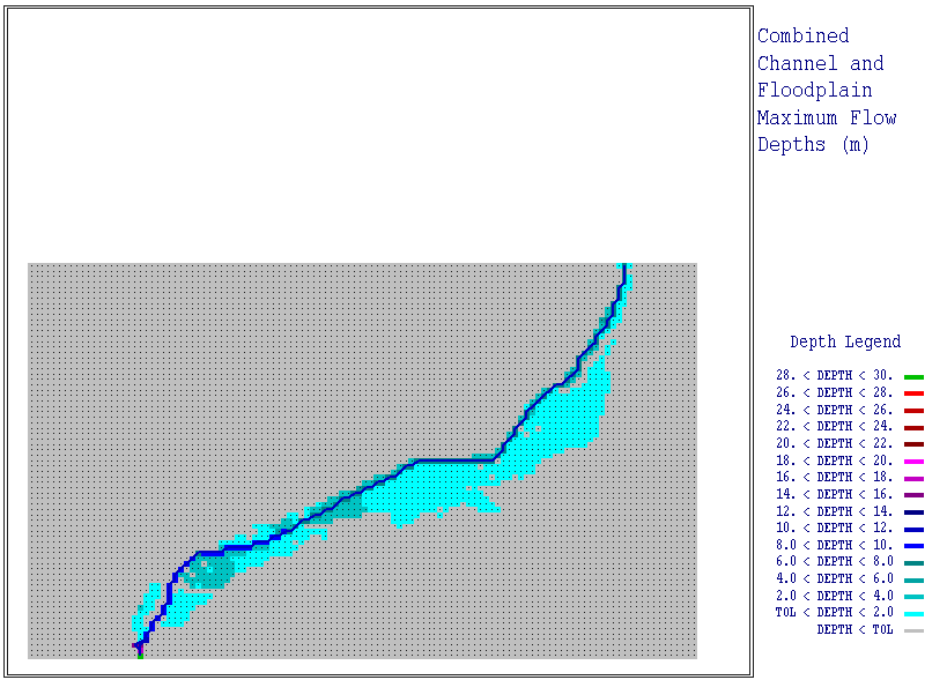


Figura 6.42. Tramo I: Las Adjuntas – Caricuao. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 100 años de período de retorno.

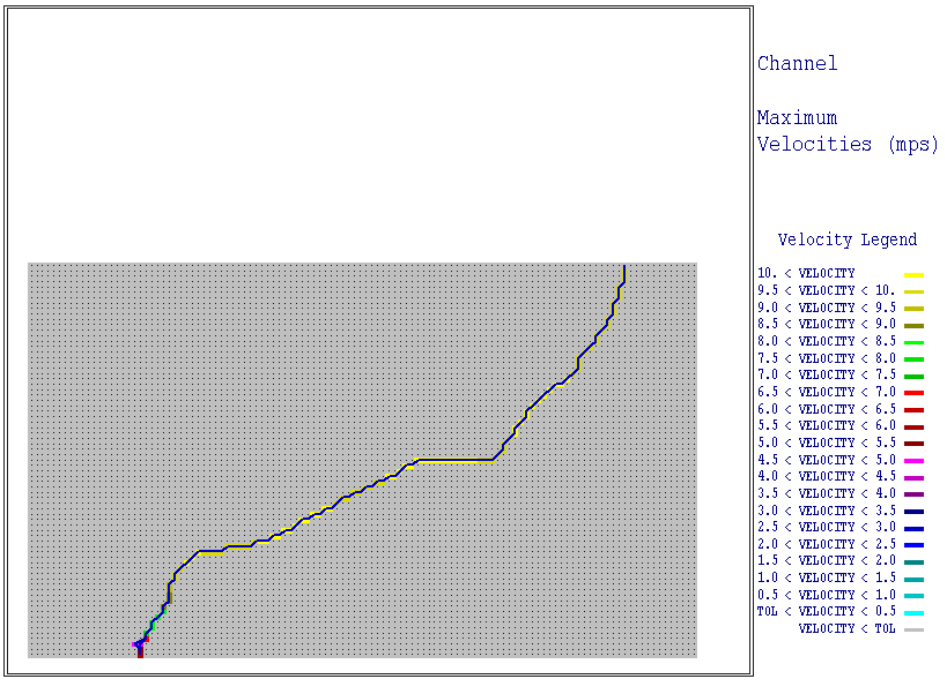


Figura 6.43. Tramo I: Las Adjuntas – Caricuao. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 100 años de período de retorno.

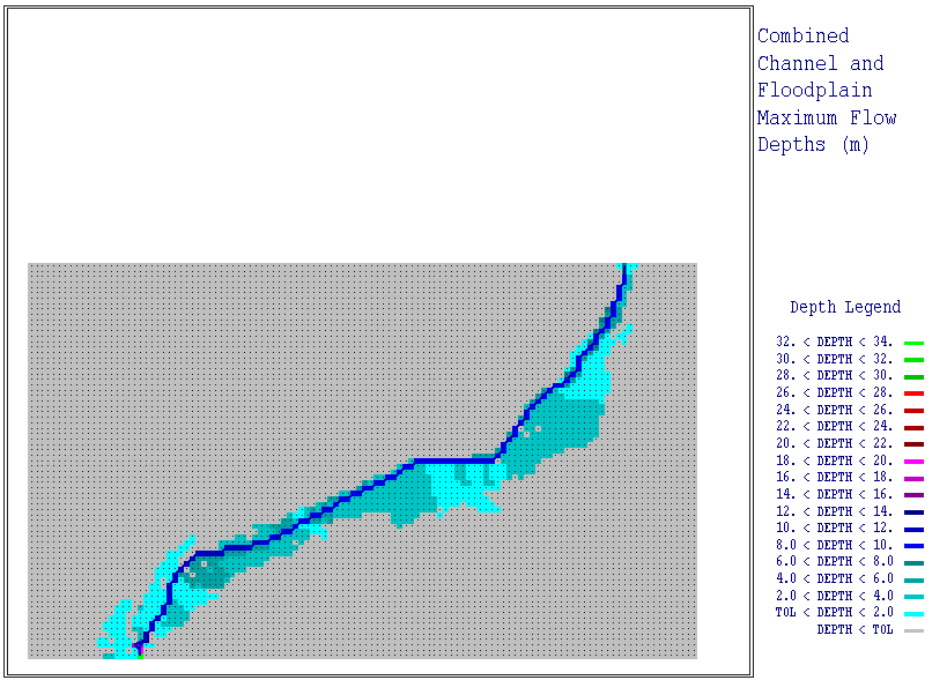


Figura 6.44 Tramo I: Las Adjuntas – Caricuao. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 500 años de período de retorno.

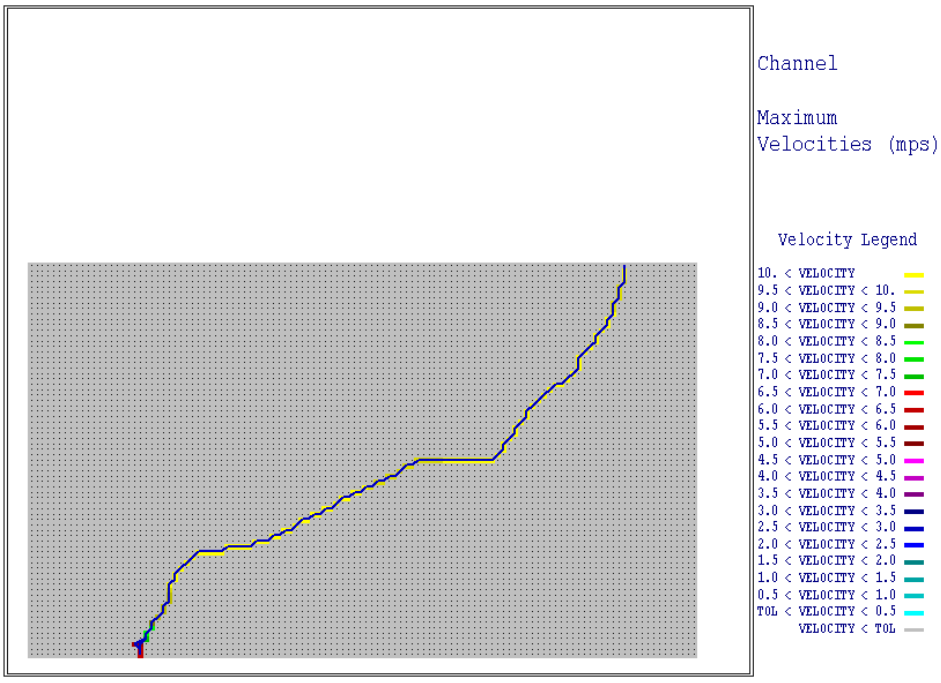


Figura 6.45. Tramo I: Las Adjuntas – Caricuao. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 500 años de período de retorno.

6.3.3b Tramo Caricuao - Pte. Mohedano

Condiciones de la simulación

En la tabla siguiente se presentan los valores de los parámetros específicos para cada escenario estudiado en el tramo Caricuao - Pte. Mohedano:

Río		**Guaire**		
Tramo		**Pte. Mohedano – Bello Monte**		
Escenario		10 años	100 años	500 años
Tamaño de celda	m x m	30 x 30	30 x 30	30 x 30
Número de celdas		35740		
Área simulada	km^2	32.17		
n de Manning	Canal	0.017-0.03	0.017-0.03	0.017-0.03
	Planicie de inundación	Variable		
Puentes	Nº	-	-	-
Reducción de área	%	-	20 - 30	
Calles	Nº	1		
Caudal pico de agua	(m^3/s)	435	1127	1698
Caudal pico de agua y sedimentos	(m^3/s)	512	1252	1887
Cv		0.15	0.10	0.10

Tabla 6.5. Tramo Caricuao - Pte. Mohedano. Parámetros de las simulaciones.

Los hidrogramas de creciente se muestran en las figuras 6.46, 6.47 y 6.48

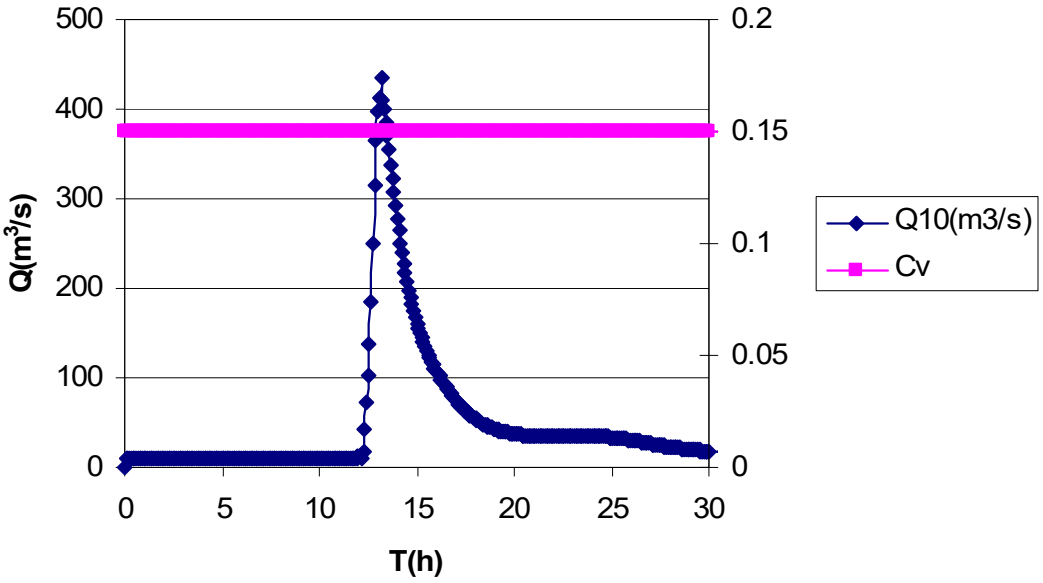


Figura 6.46 Tramo Caricuao - Pte Mohedano. Tr=10 años. Hidrograma

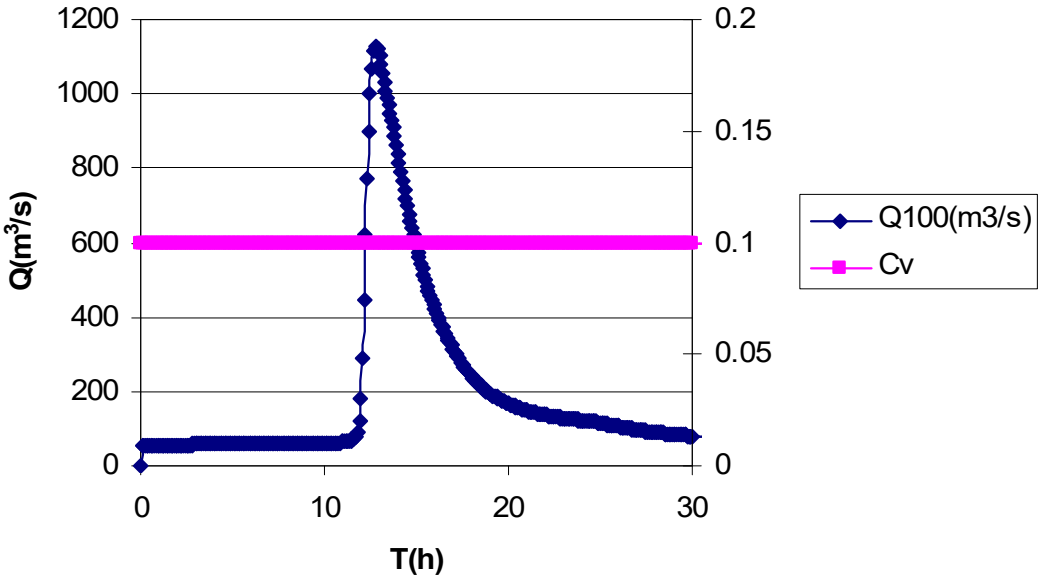


Figura 6.47. Tramo Caricuao - Pte Mohedano. Tr=100 años. Hidrograma

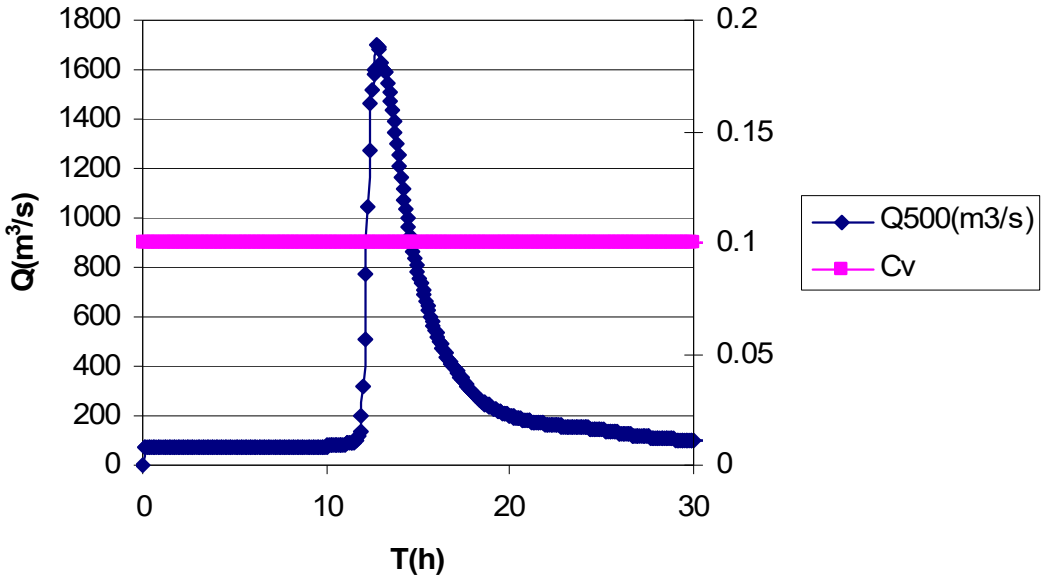


Figura 6.48. Tramo Caricuao - Pte Mohedano. Tr=500 años. Hidrograma

RESULTADOS

Para la creciente de 10 años de período de retorno el modelo predice que el canal no se desborda y el flujo alcanza una profundidad promedio en el orden de 3 m con velocidad promedio de 7 m/s como se puede observar en las figuras 6.49 y 6.50

En cambio para las crecientes de 100 y 500 años el canal se desborda. Para la creciente de 100 años, la profundidad del flujo en el canal es de 5 m y velocidades alrededor de 9 m/s. El área de inundación según el modelo es de 39,24 ha de las cuales 38,2 ha corresponden al canal, lo que indica que solo 1,1 ha son afectadas por el desbordamiento del canal. En las figuras 6.51 y 6.52 se presentan los gráficos con los resultados de profundidades y velocidades del FLO2D.

Para la creciente de 500 años el canal se desborda, produciendo la inundación de 272,5 ha de terreno y área total de inundación de 298,73 ha. El modelo predice que las profundidades de flujo en el canal varían entre 5,5 y 6,5 m con velocidades alrededor de 11,5 m/s, tal como se puede observar en las figuras 6.53 y 6.54.

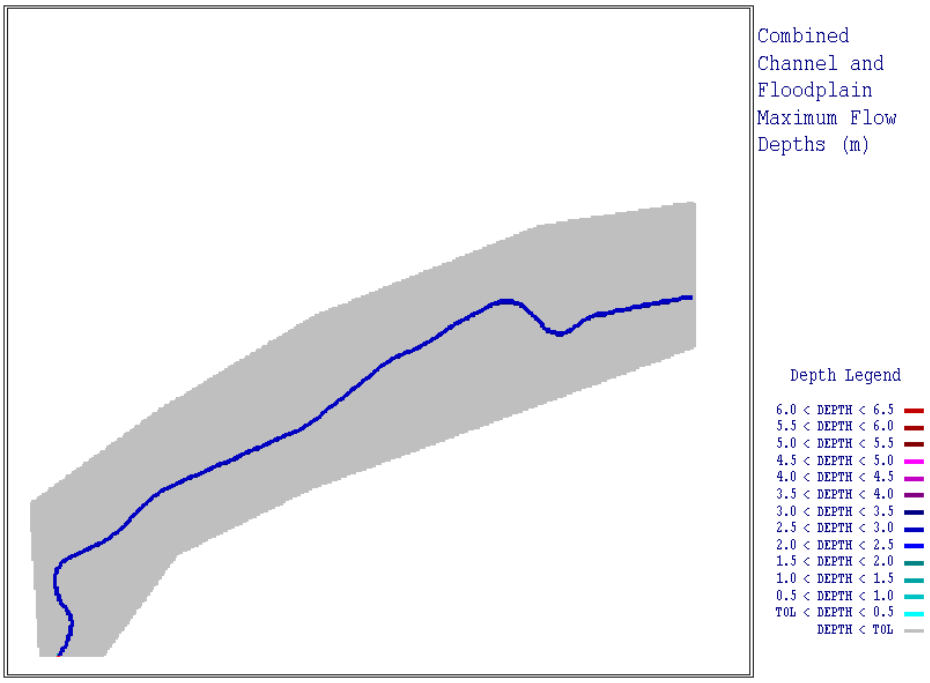


Figura 6.49. Tramo II: Caricuao – Pte. Mohedano. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 10 años de período de retorno.

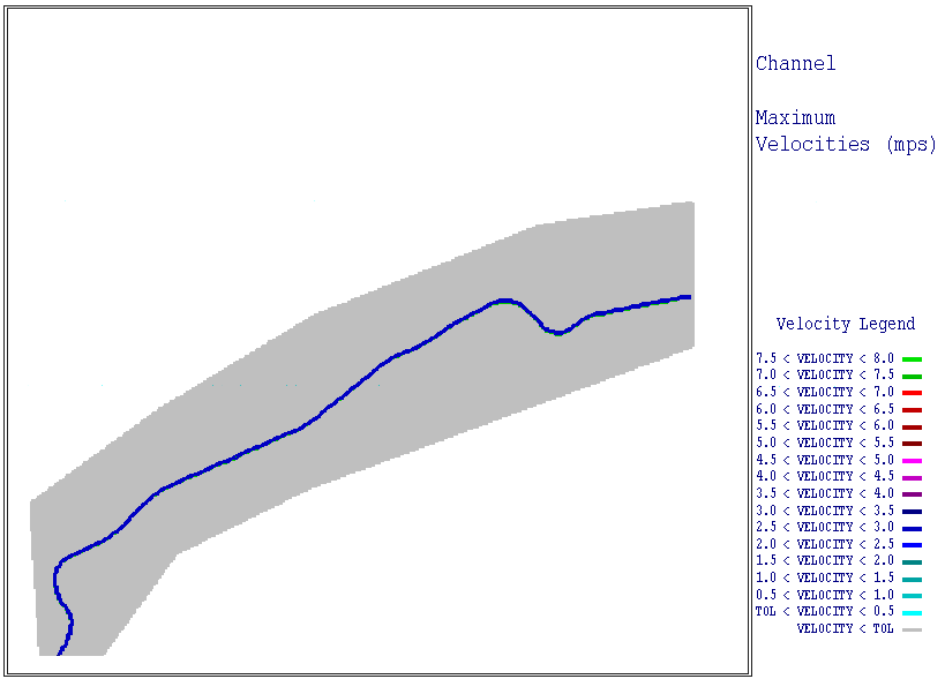


Figura 6.50. Tramo II: Caricuao – Pte. Mohedano. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 10 años de período de retorno.

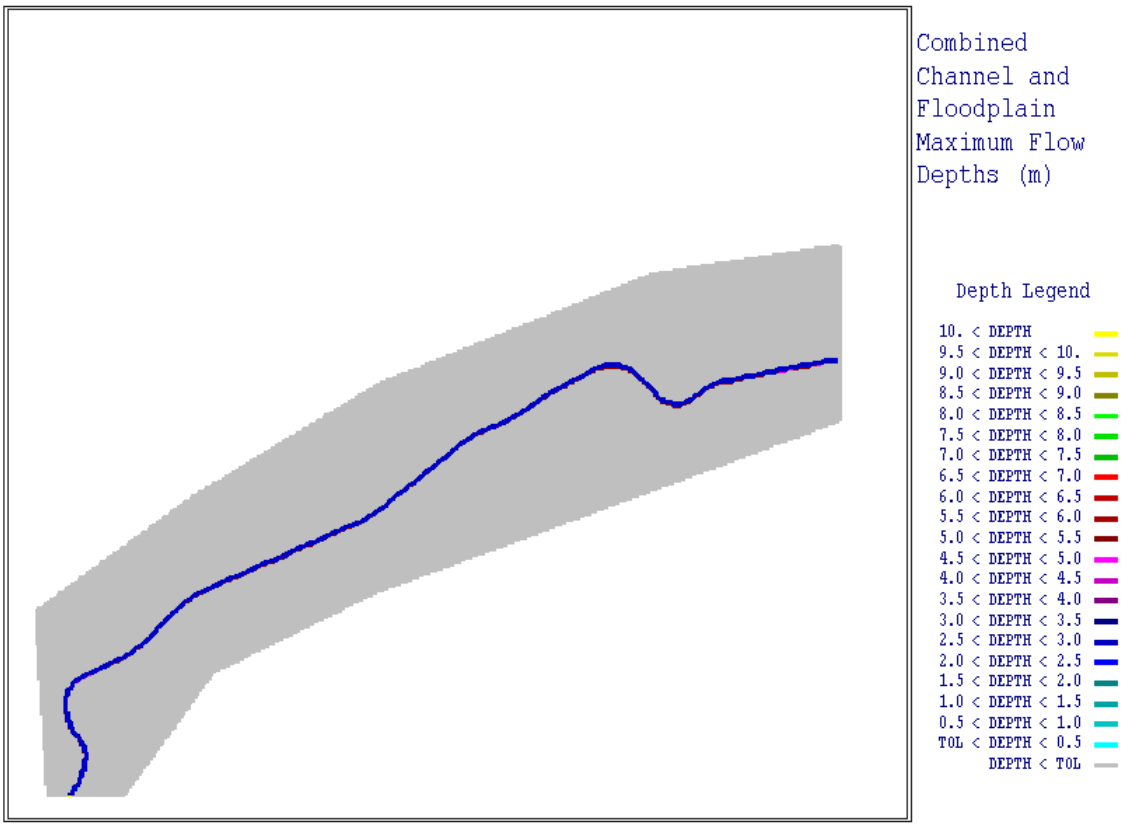


Figura 6.51. Tramo II: Caricuao – Pte. Mohedano. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 100 años de período de retorno.

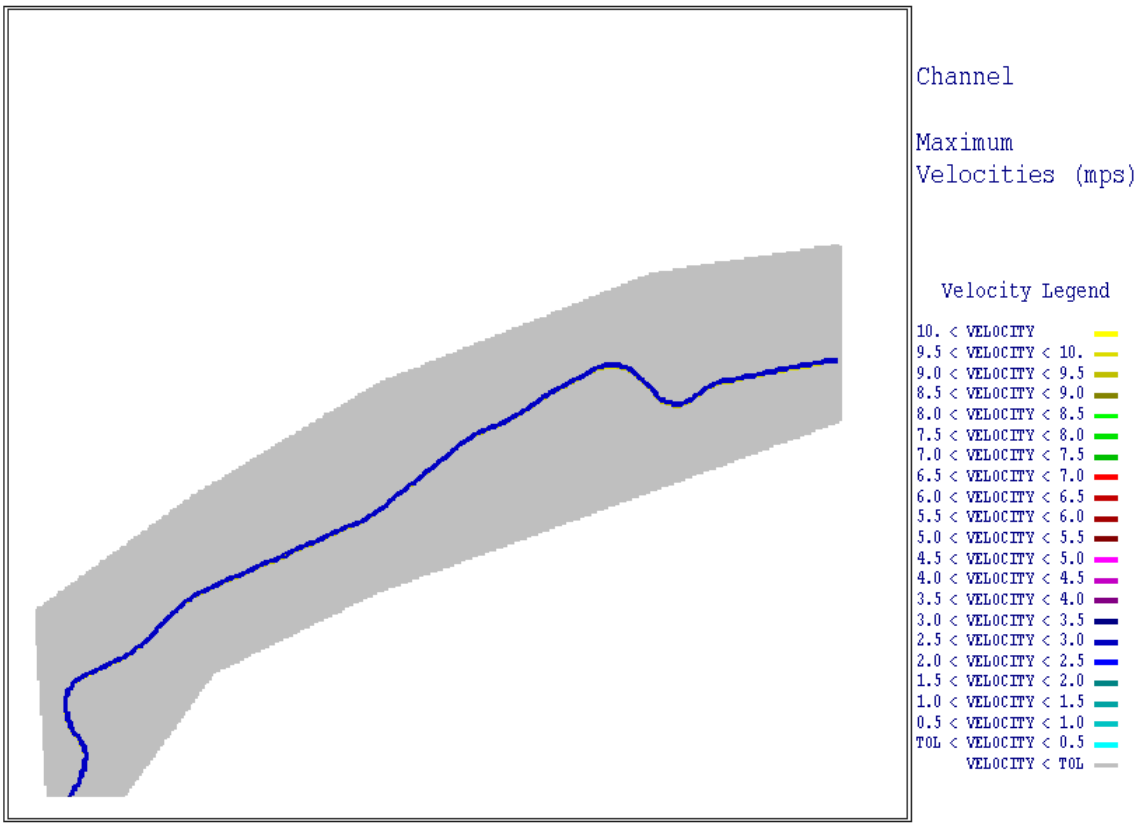


Figura 6.52. Tramo II: Caricuao – Pte. Mohedano. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 100 años de período de retorno.

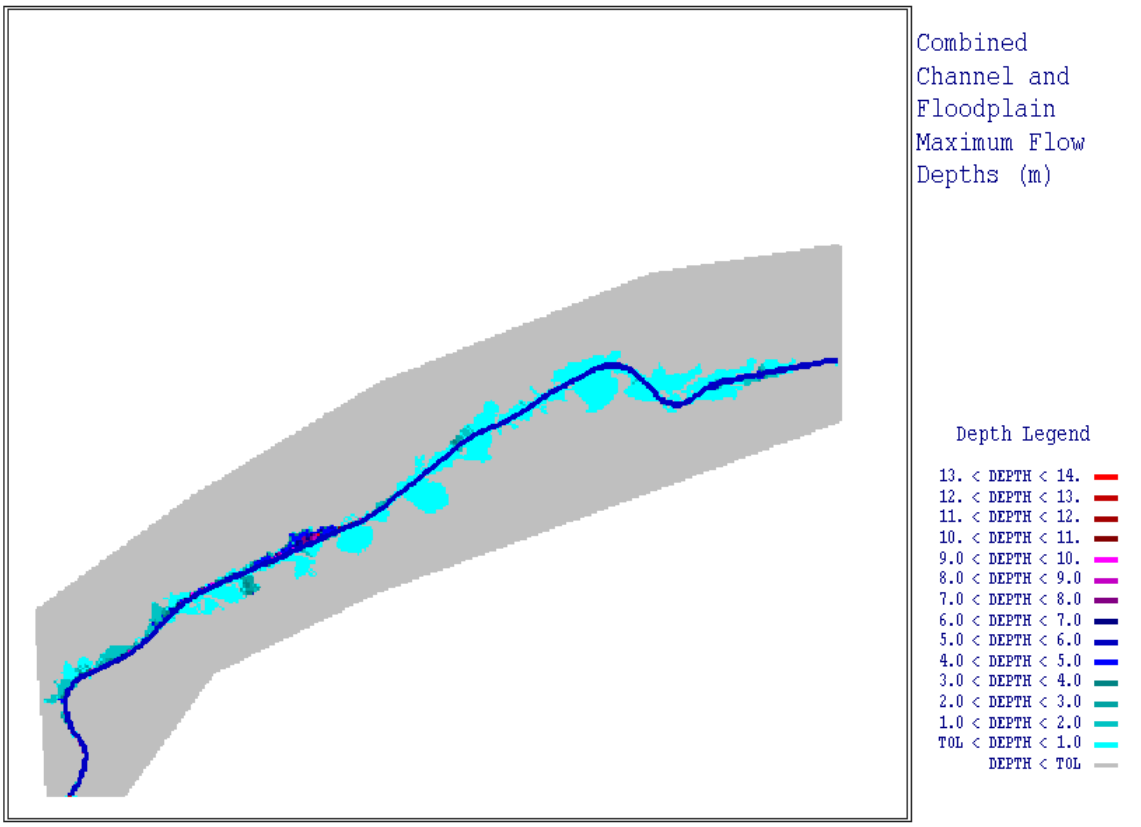


Figura 6.53. Tramo II: Caricuao – Pte. Mohedano. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 500 años de período de retorno.

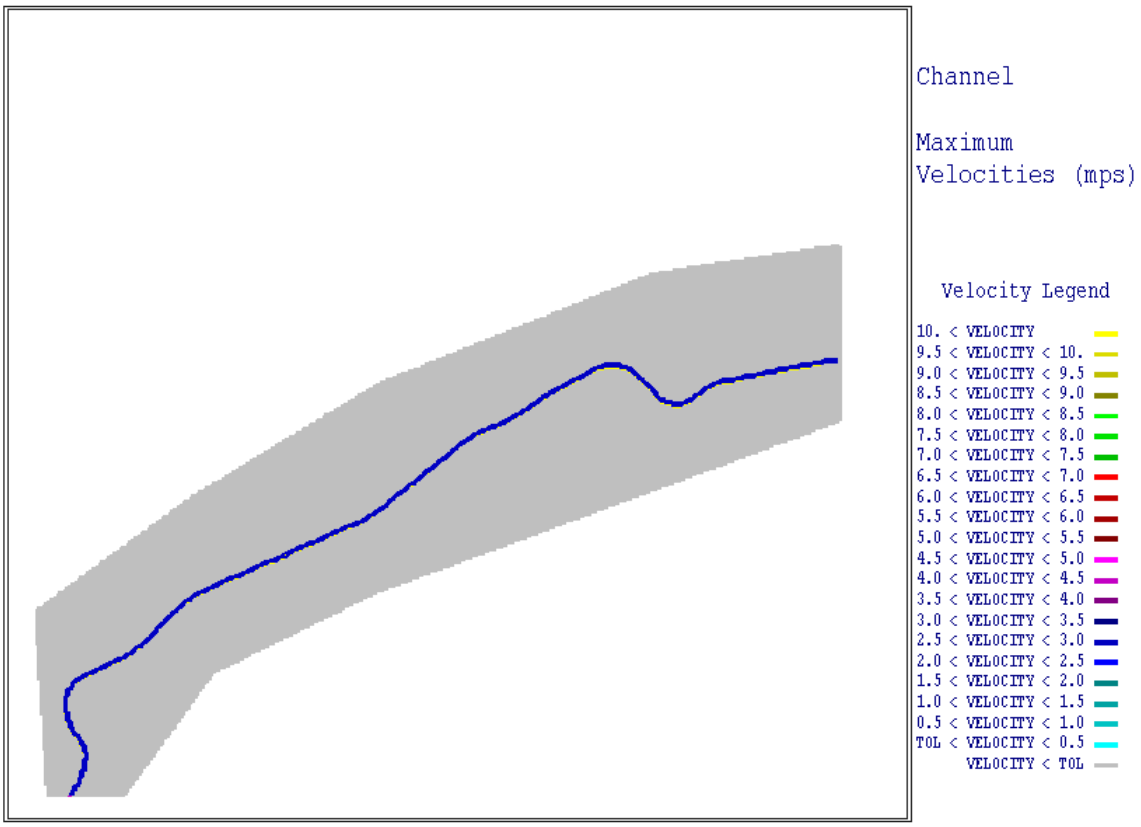


Figura 6.54. Tramo II: Caricuao – Pte. Mohedano. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 500 años de período de retorno.

6.3.3c Tramo Pte. Mohedano – Bello Monte

Condiciones de la simulación

En la tabla siguiente se presentan los valores de los parámetros específicos para cada escenario estudiado en el tramo Pte. Mohedano – Bello Monte:

Río		**Guaire**		
Tramo		**Pte. Mohedano – Bello Monte**		
Escenario		10 años	100 años	500 años
Tamaño de celda	m x m	30 x 30	30 x 30	30 x 30
Número de celdas		4615		
Área simulada	km^2	4.15		
n de Manning	Canal	0.017-0.03	0.017-0.03	0.017-0.03
	Planicie de inundación	Variable		
Puentes	Nº	-	-	-
Reducción de área	%	-	20 - 30	
Calles	Nº	1		
Caudal pico de agua	(m^3/s)	444	1166	1738
Caudal pico de agua y sedimentos	(m^3/s)	522	1296	1931
Cv		0.15	0.10	0.10

Tabla 6.6. Tramo Pte. Mohedano – Bello Monte. Parámetros de las simulaciones.

Los hidrogramas de creciente se muestran en las figuras 6.55, 6.56 y 6.57

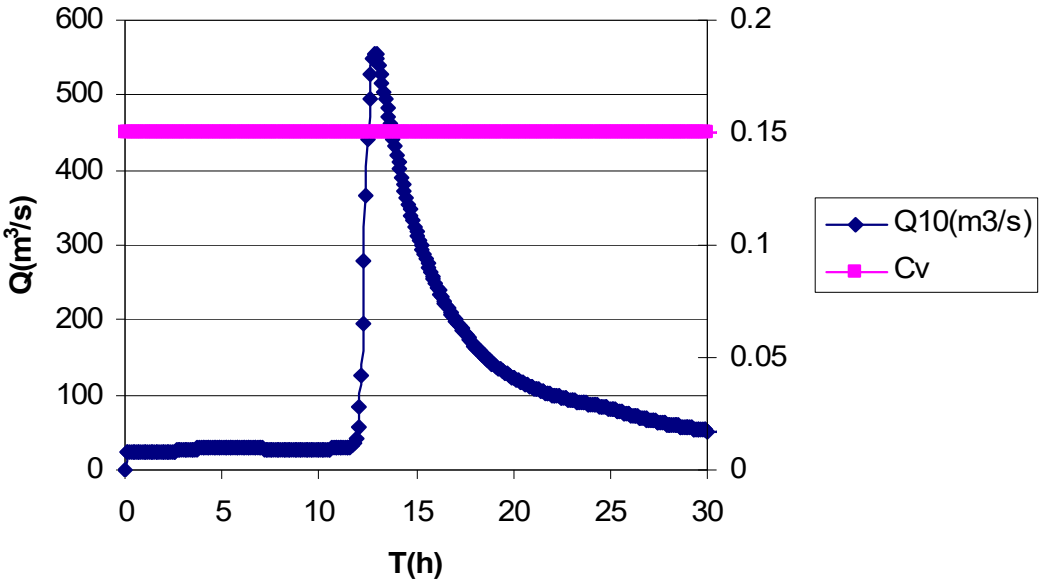


Figura 6.55 Tramo Pte Mohedano – Bello Monte. Tr=10 años. Hidrograma

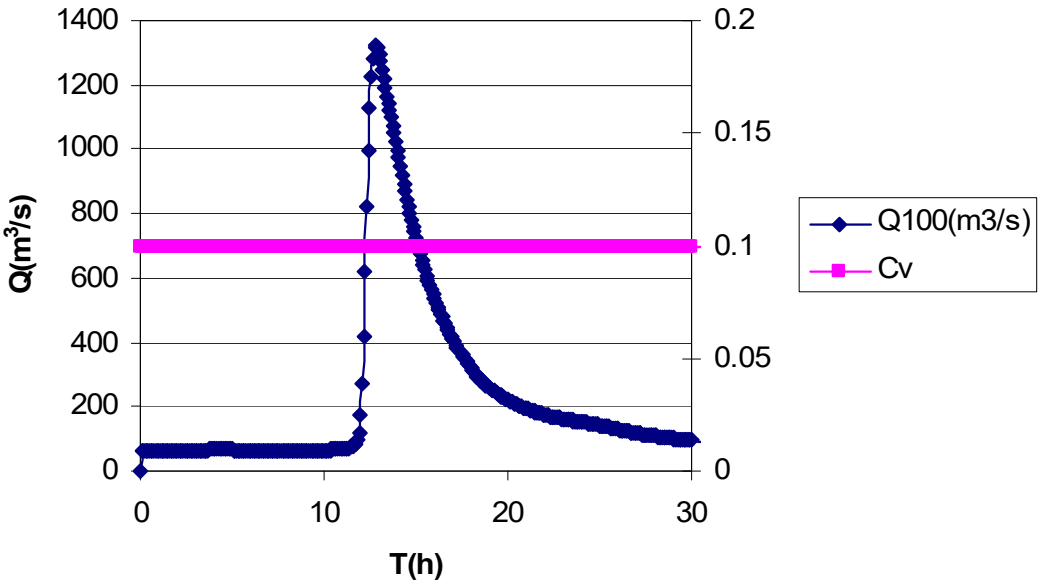


Figura 6.56. Tramo Pte Mohedano – Bello Monte. Tr=100 años. Hidrograma

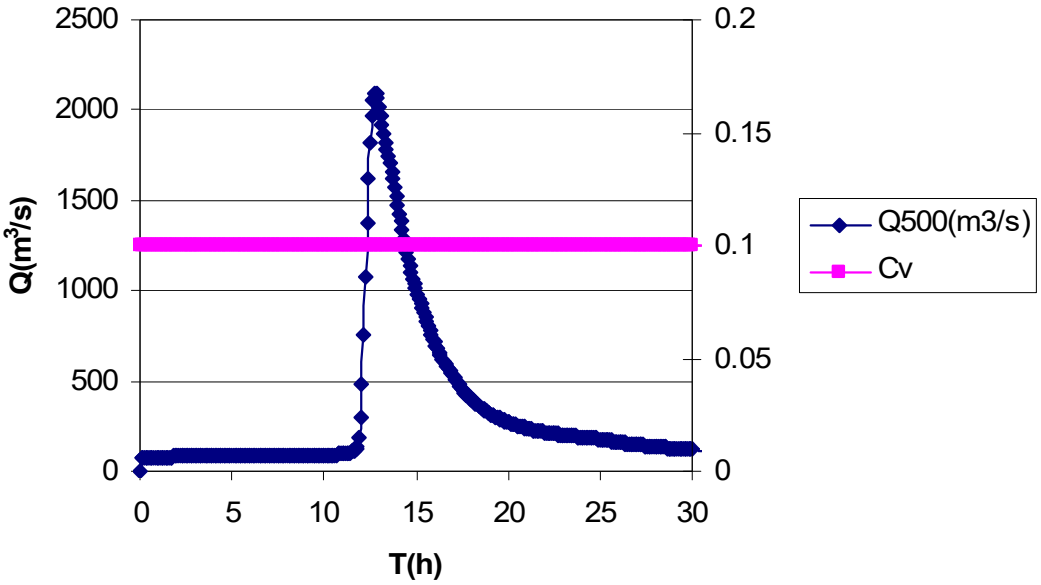


Figura 6.57. Tramo Pte Mohedano – Bello Monte. Tr=500 años. Hidrograma

RESULTADOS

Para la creciente de 10 años de período de retorno el modelo predice que el canal no se desborda y el flujo alcanza una profundidad promedio en el canal en el orden de 4,2 m con velocidad promedio de 8 m/s como se puede observar en las figuras 6.58 y 6.59

Para la creciente de 100 años el canal se desborda, la profundidad del flujo en el canal es de 6,5 m y velocidades entre 9 y 10 m/s, mientras que en la planicie el flujo llega a alcanzar hasta 1,5 m en el Parque Los Caobos y entre 1 y 0,5 m en el Teatro Teresa Carreño. El área total de inundación es de 36,68 ha, siendo el área del terreno afectado de 29,5 ha. En las figuras 6.60 y 6.61 se presentan los gráficos con los resultados de profundidades y velocidades del FLO2D.

Para la creciente de 500 años el canal se desborda inundando El Parque Los Caobos, un sector de Plaza Venezuela y la parte baja de los estadios universitarios. El modelo predice profundidades de flujo en el canal que varía entre 7,5 y 10 m con velocidades entre de 10 y 11 m/s, tal como se puede observar en las figuras 6.62 y 6.63. El área total inundada es de 83,29 ha y de las cuales 75,7 ha corresponden al terreno y 7,5 ha al canal.

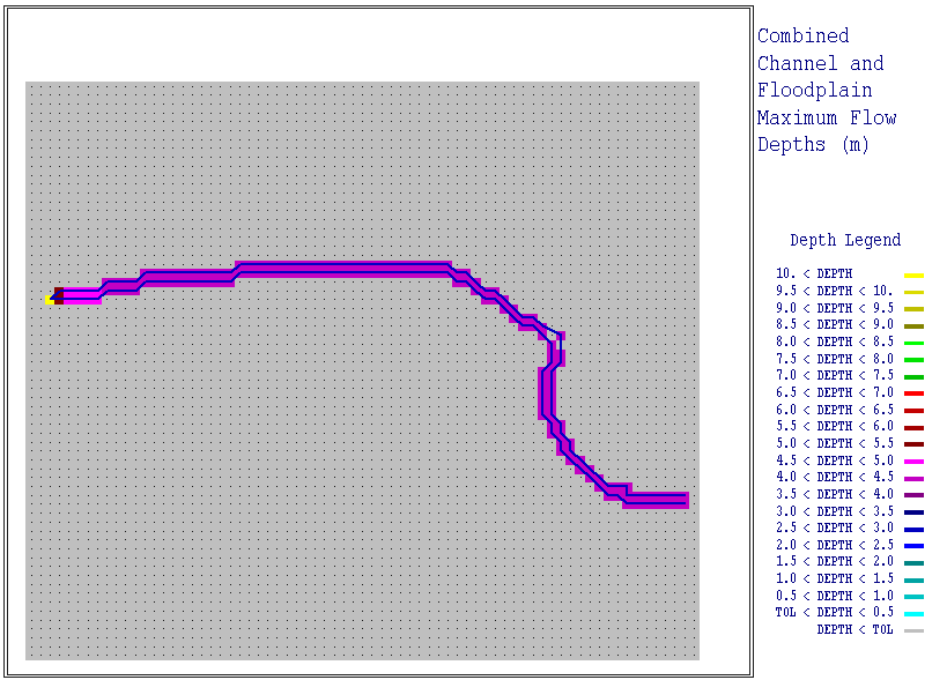


Figura 6.58. Tramo III: Mohedano – Bello Monte. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 10 años de período de retorno.

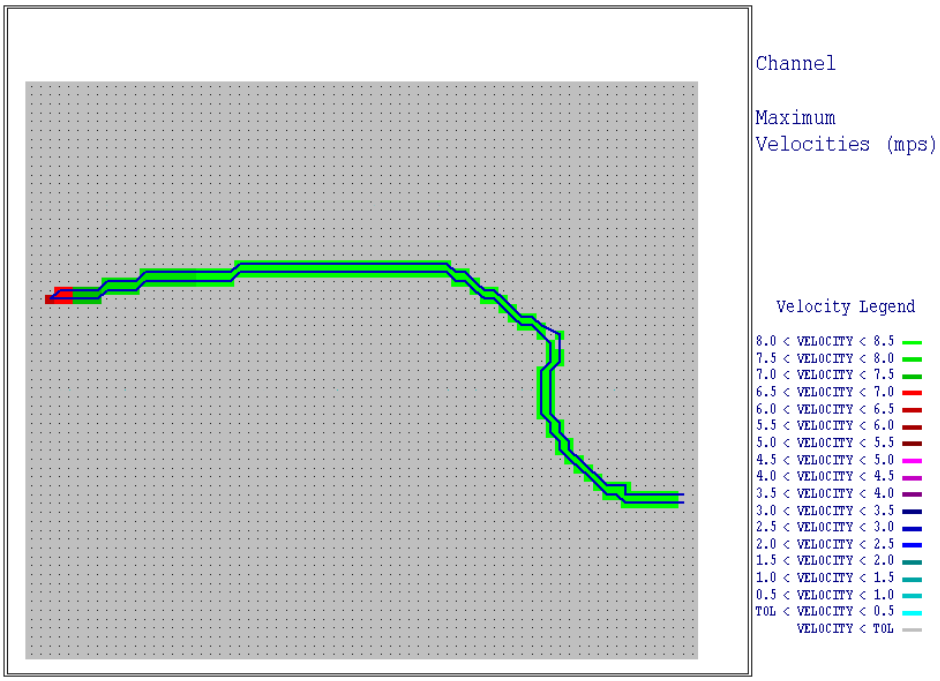


Figura 6.59. Tramo III: Mohedano – Bello Monte. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 10 años de período de retorno.

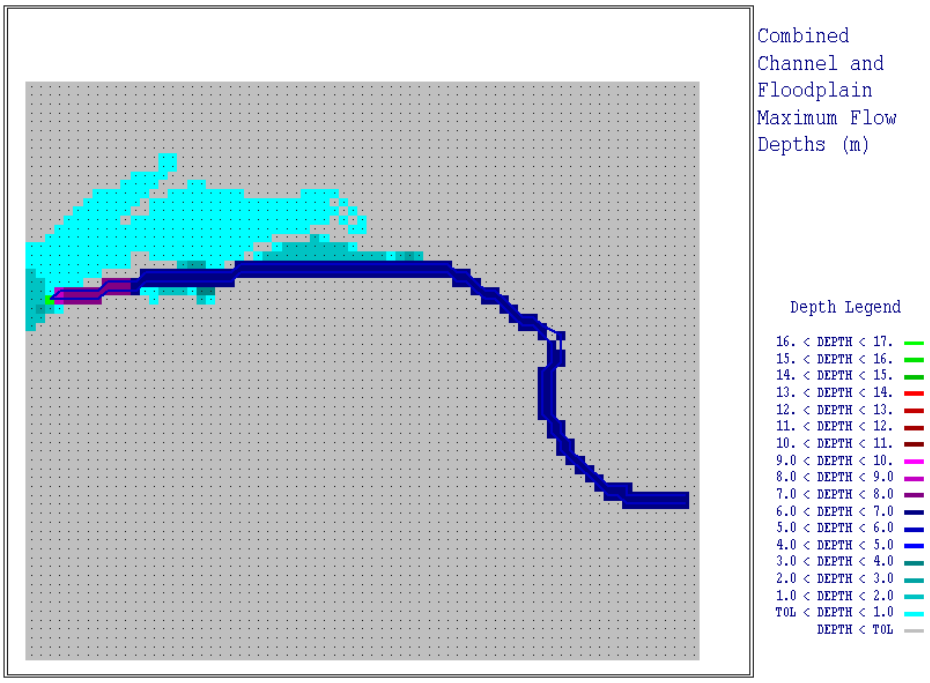


Figura 6.60. Tramo III: Mohedano – Bello Monte. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 100 años de período de retorno.

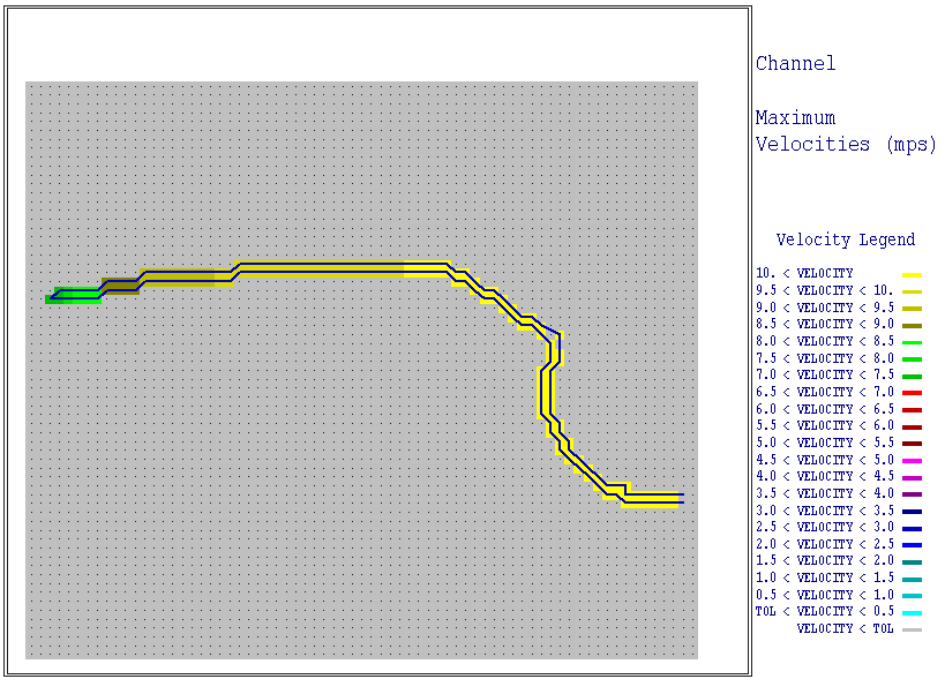


Figura 6.61. Tramo III: Mohedano – Bello Monte. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 100 años de período de retorno.

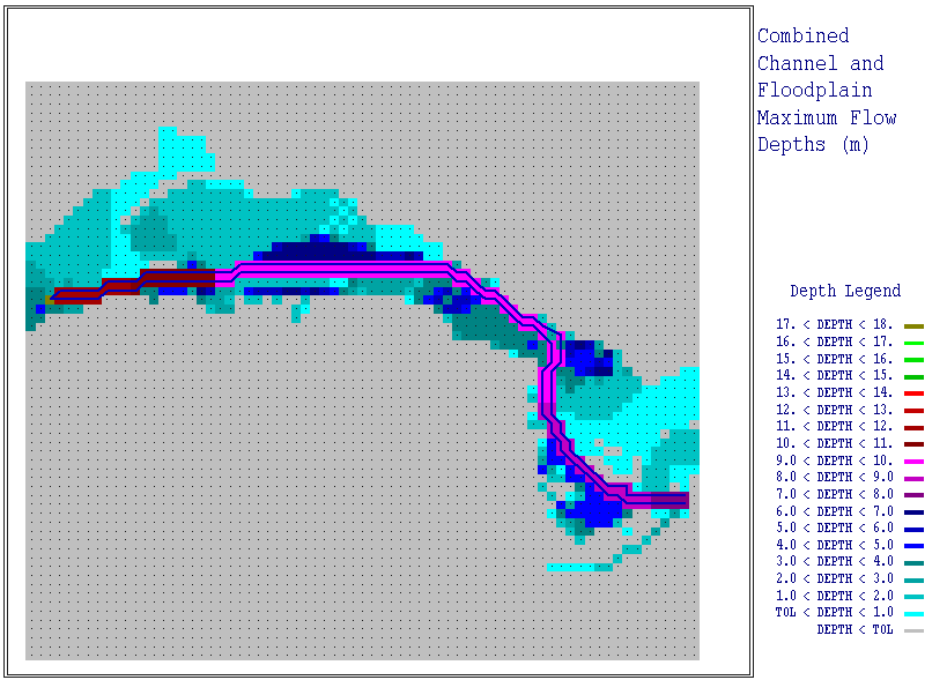


Figura 6.62. Tramo III: Mohedano – Bello Monte. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 500 años de período de retorno.

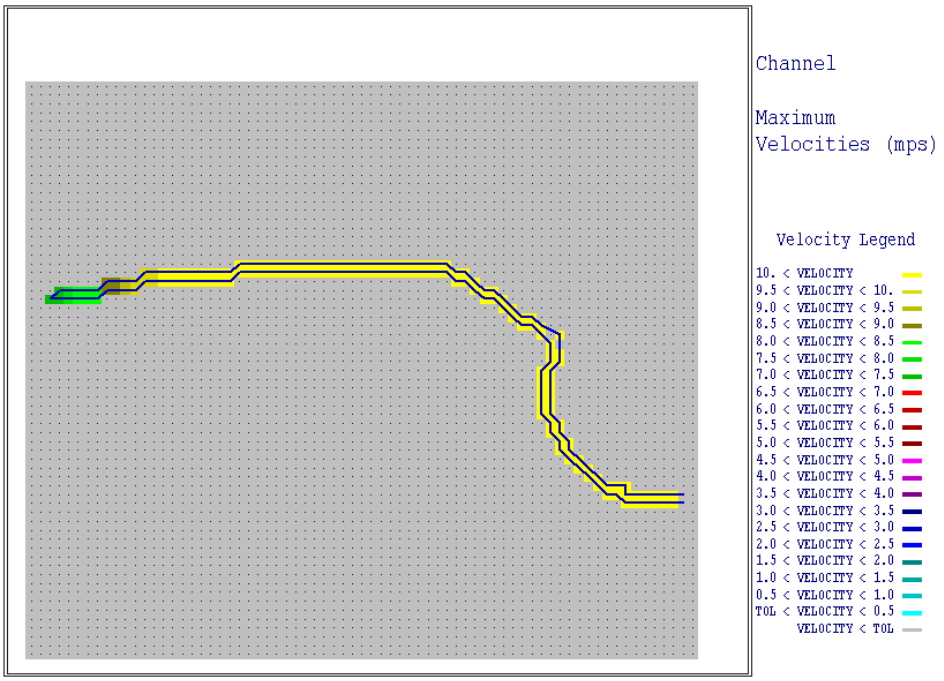


Figura 6.63. Tramo III: Mohedano – Bello Monte. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 500 años de período de retorno.

6.3.3c Tramo Bello Monte – Las Mercedes

Condiciones de la simulación

En la tabla siguiente se presentan los valores de los parámetros específicos para cada escenario estudiado en el tramo Bello Monte – Las Mercedes:

Río		**Guaire**		
Tramo		**Bello Monte – Las Mercedes**		
Escenario		10 años	100 años	500 años
Tamaño de celda	m x m	30 x 30	30 x 30	30 x 30
Número de celdas		3240		
Área simulada	km^2	2.92		
n de Manning	Canal	0.017-0.03	0.017-0.03	0.017-0.03
	Planicie de inundación	Variable		
Puentes	Nº	-	1	1
Reducción de área	%	-	20-30	
Calles	Nº	-	1	1
Caudal pico de agua	(m^3/s)	539	1469	2173
Caudal pico de agua y sedimentos	(m^3/s)	634	1632	2414
Cv		0.15	0.10	0.10

Tabla 6.7. Tramo Bello Monte– Las Mercedes. Parámetros de las simulaciones.

Los hidrogramas de creciente se muestran en las figuras 6.64, 6.65 y 6.66

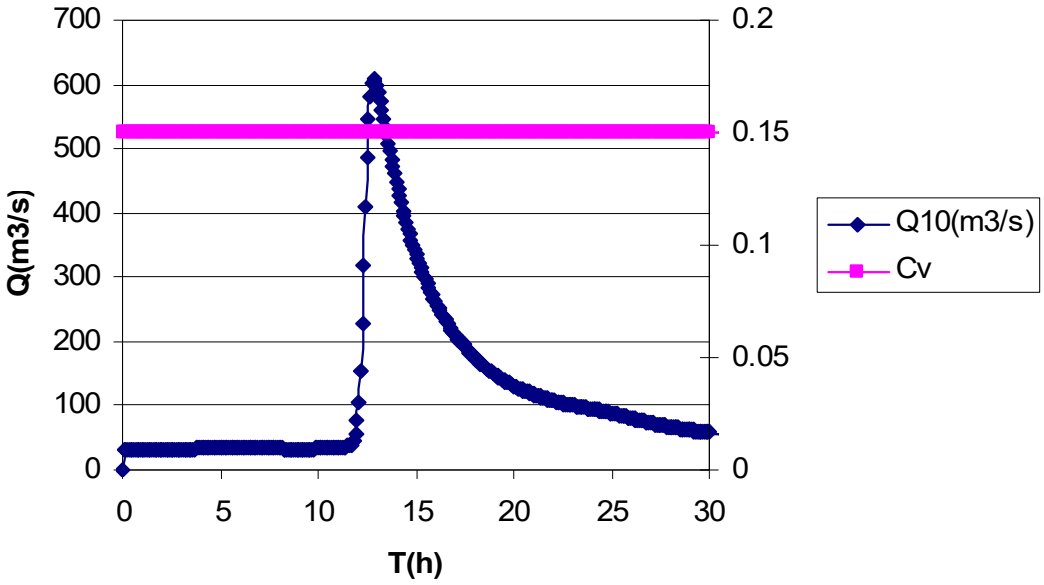


Figura 6.64. Tramo Bello Monte – Las Mercedes. Tr=10 años. Hidrograma

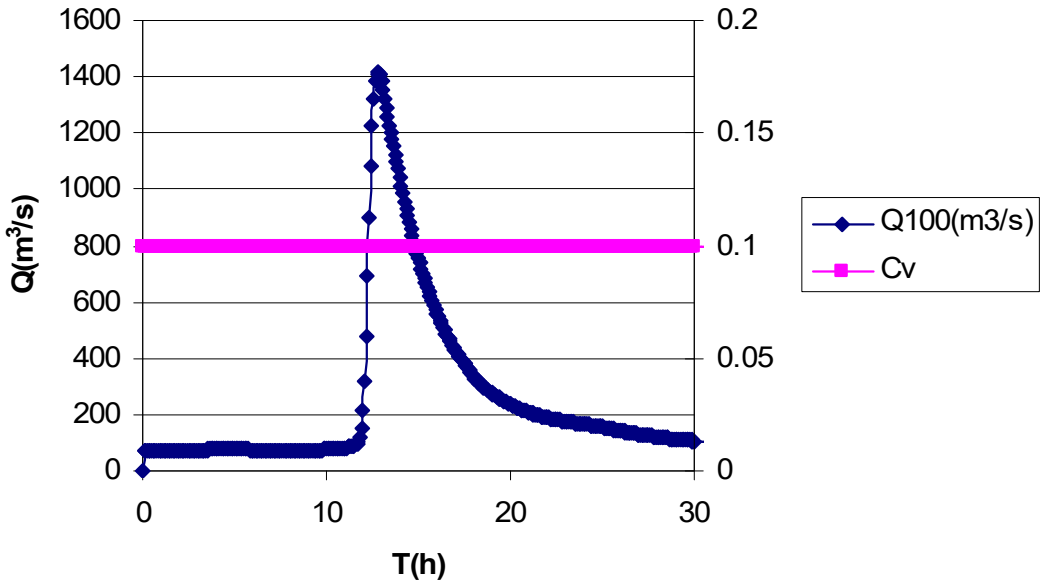


Figura 6.65. Tramo Bello Monte – Las Mercedes. Tr=100 años. Hidrograma

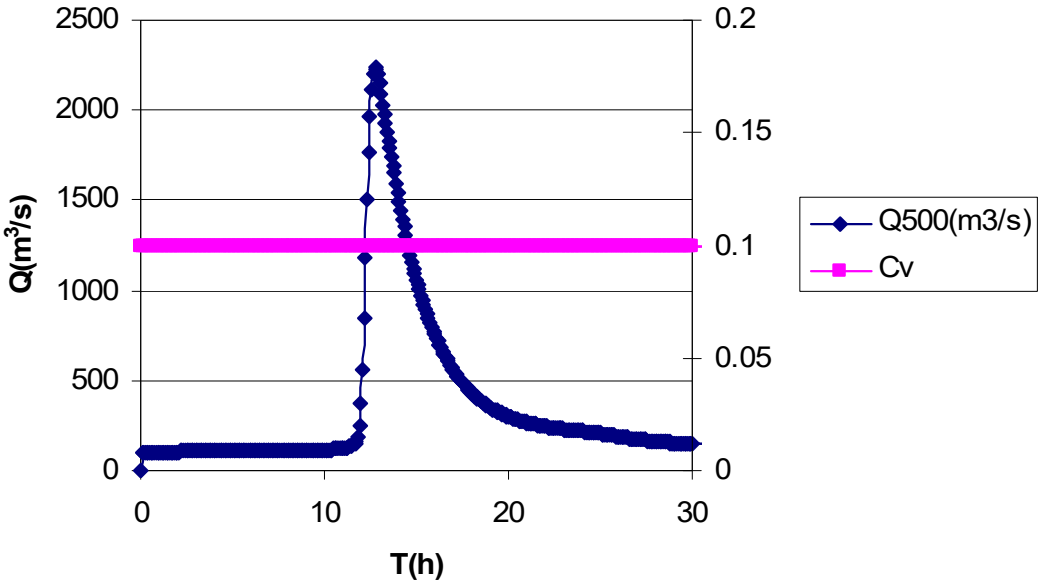


Figura 6.66. Tramo Bello Monte – Las Mercedes. Tr=500 años. Hidrograma

Resultados

En las figuras 6.67 y 6.68 se muestran los resultados de profundidades y velocidades obtenidos con el modelo FLO2D, como se puede observar la profundidad del flujo es de 4,25m y velocidad promedio de 7,25 m/s y no se produce desbordamiento.

En cuanto a al creciente de 100 años, el modelo predice el desbordamiento del canal, donde el flujo alcanza una profundidad promedio que varía entre 6,5m y 7,5m y velocidades alrededor de 9 m/s, tal como se observa en las figuras 6.69 y 6.70. En la planicie, observamos como el canal se desborda por ambas márgenes; por la margen derecha se inunda la avenida principal de Colinas de Bello Monte con profundidades de flujo que van desde 0,5m hasta 1,5m, mientras que por la margen izquierda la mancha de inundación llega es inferior con profundidades de flujo alrededor de 1 m hacia Plaza Venezuela e inferiores a 0,2 m en Bello Monte y San Antonio. El área total de inundación es de 43,53 ha, de las cuales 35,8 ha corresponden al terreno y 7,7 ha al canal.

Para la creciente de 500 años, el modelo predice un área total de inundación de 82,65 ha, afectando 74,9 ha del terreno. En el canal la profundidad del flujo varía entre 10,5 y 11,5m y velocidad alrededor de 10 m/s y esto se evidencia en las figuras 6.71 y 6.72 correspondientes a los resultados de profundidades y velocidades de flujo calculadas con el modelo.

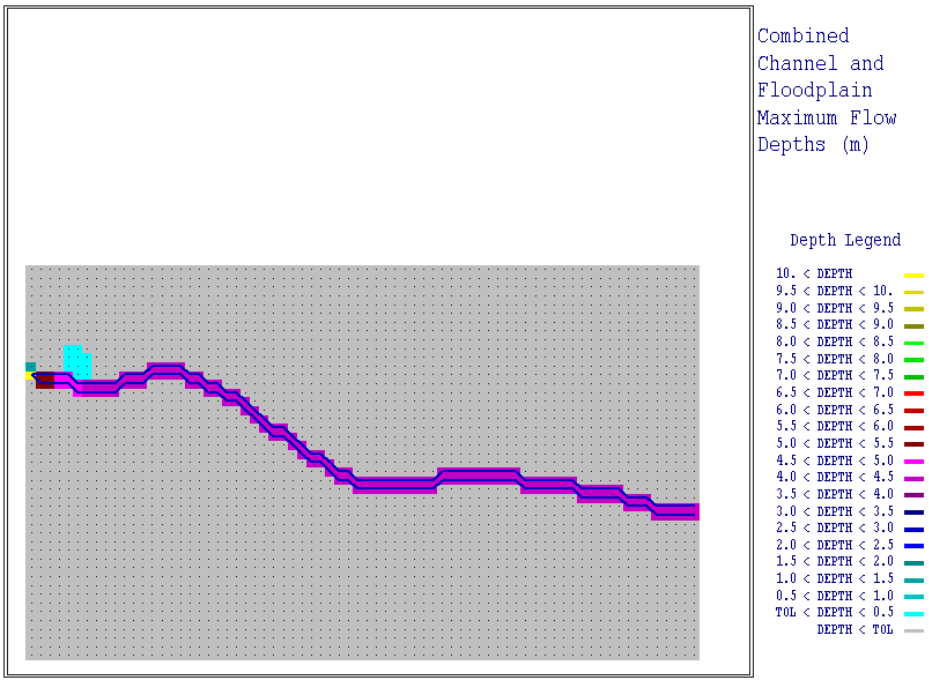


Figura 6.67. Tramo I: Bello Monte – Las Mercedes. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 10 años de período de retorno.

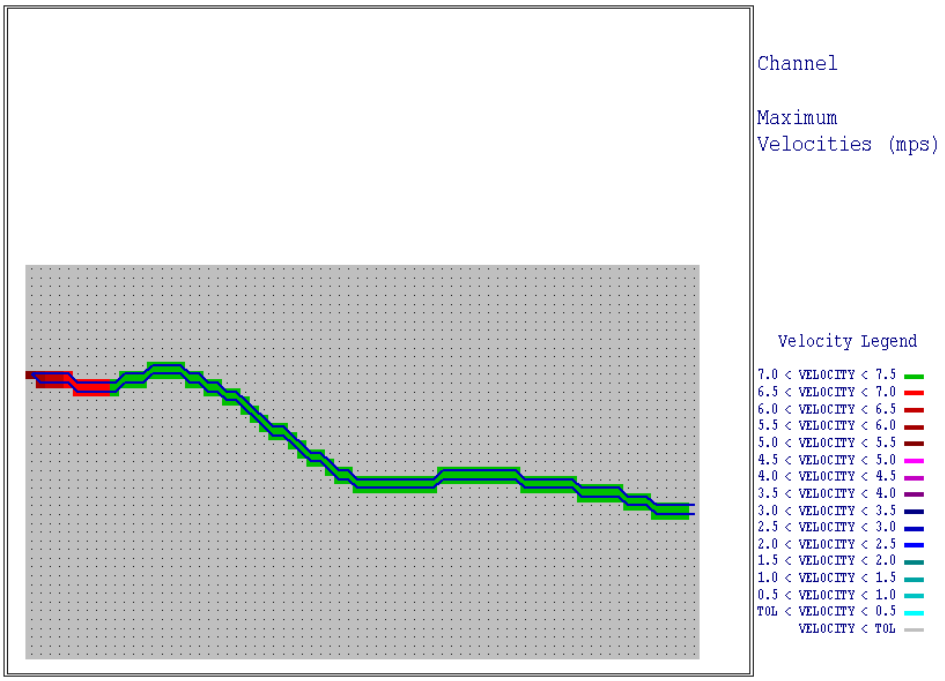


Figura 6.68. Tramo I: Bello Monte – Las Mercedes. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 10 años de período de retorno.

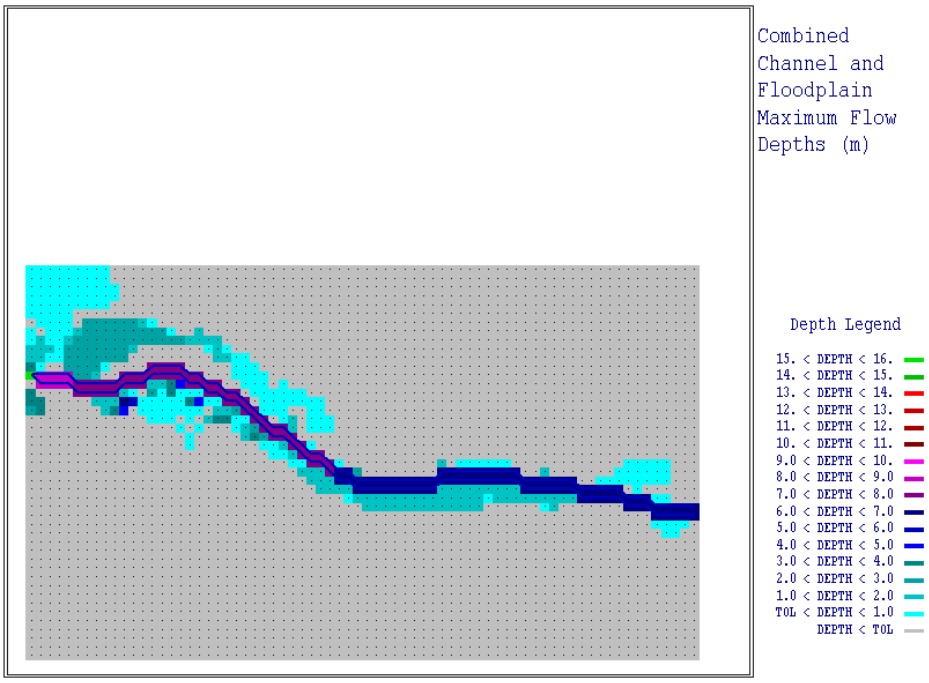


Figura 6.69. Tramo I: Bello Monte – Las Mercedes. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 100 años de período de retorno.

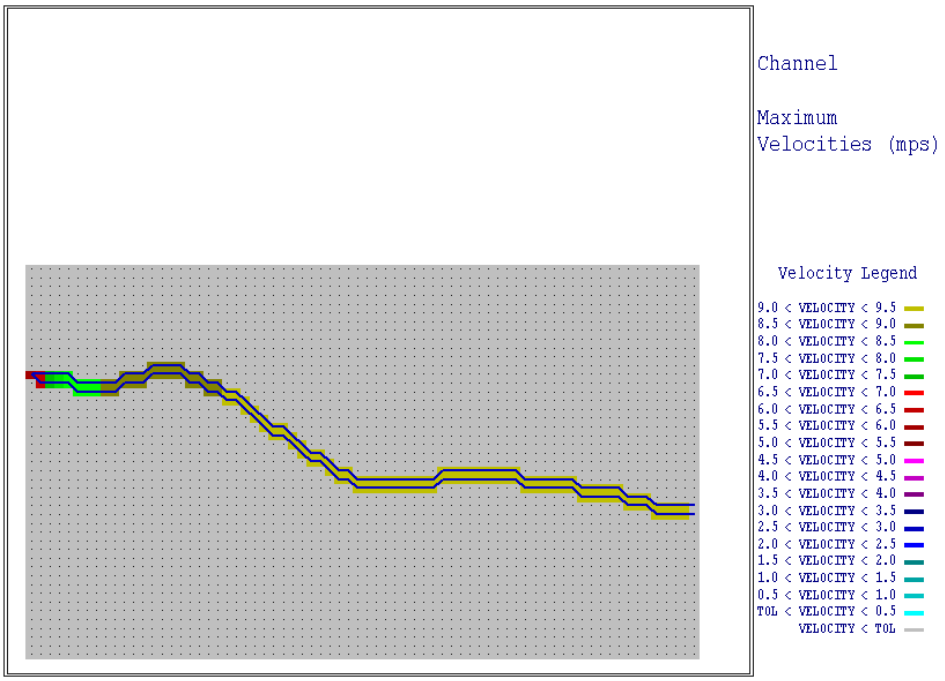


Figura 6.70. Tramo I: Bello Monte – Las Mercedes. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 100 años de período de retorno.

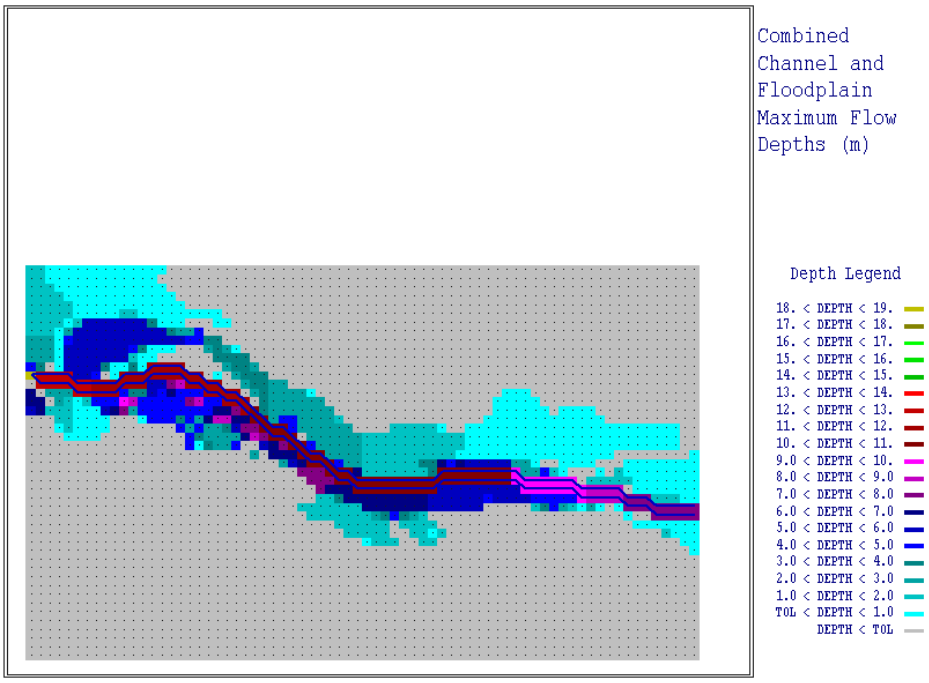


Figura 6.71. Tramo I: Bello Monte – Las Mercedes. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 500 años de período de retorno.

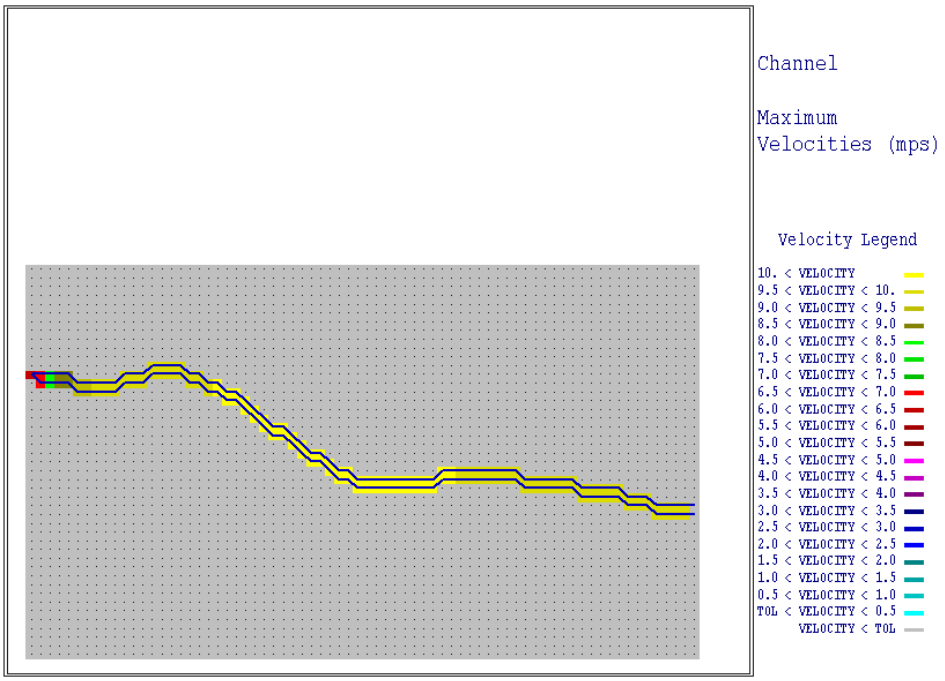


Figura 6.72. Tramo I: Bello Monte – Las Mercedes. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 500 años de período de retorno.

6.3.3d Tramo Las Mercedes - Chuao

Condiciones de la simulación

En la tabla siguiente se presentan los valores de los parámetros específicos para cada escenario estudiado en el tramo Las Mercedes - Chuao:

Río		**Guaire**		
Tramo		**Las Mercedes - Chuao**		
Escenario		10 años	100 años	500 años
Tamaño de celda	m x m	30 x 30	30 x 30	30 x 30
Número de celdas		3364		
Área simulada	km^2	3.03		
n de Manning	Canal	0.017-0.03	0.017-0.03	0.017-0.03
	Planicie de inundación	Variable		
Puentes	Nº	-	2	2
Reducción de área	%	-	20 - 30	20 - 30
Calles	Nº	22		
Caudal pico de agua	(m^3/s)	548	1507	2221
Caudal pico de agua y sedimentos	(m^3/s)	645	1674	2468
Cv		0.15	0.10	0.10

Tabla 6.8. Tramo Las Mercedes – Chuao. Parámetros de las simulaciones

Los hidrogramas de creciente se muestran en las figuras 6.73, 6.74 y 6.75

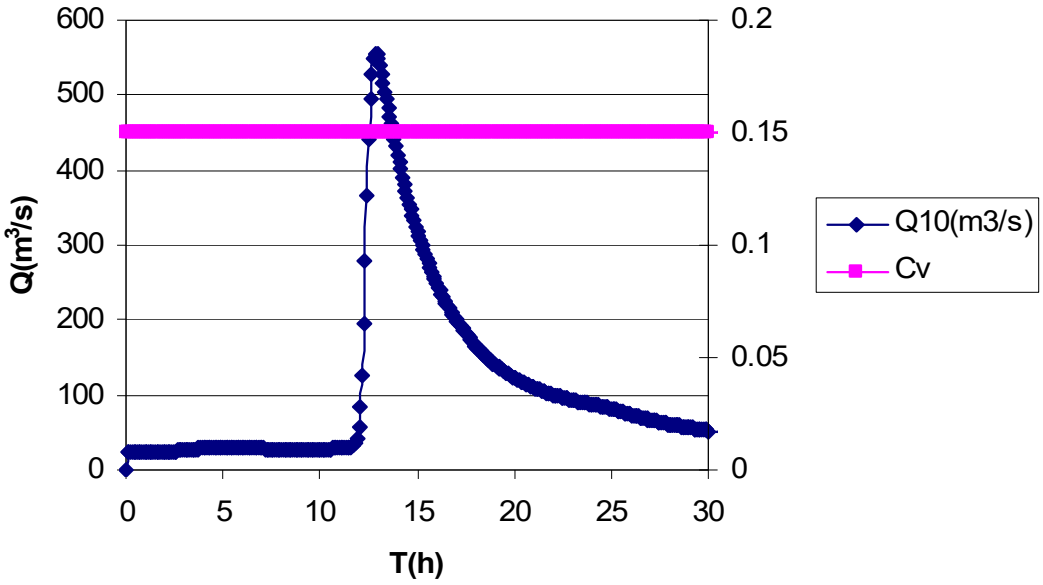


Figura 6.73. Tramo Las Mercedes - Chuao. Tr=10 años. Hidrograma

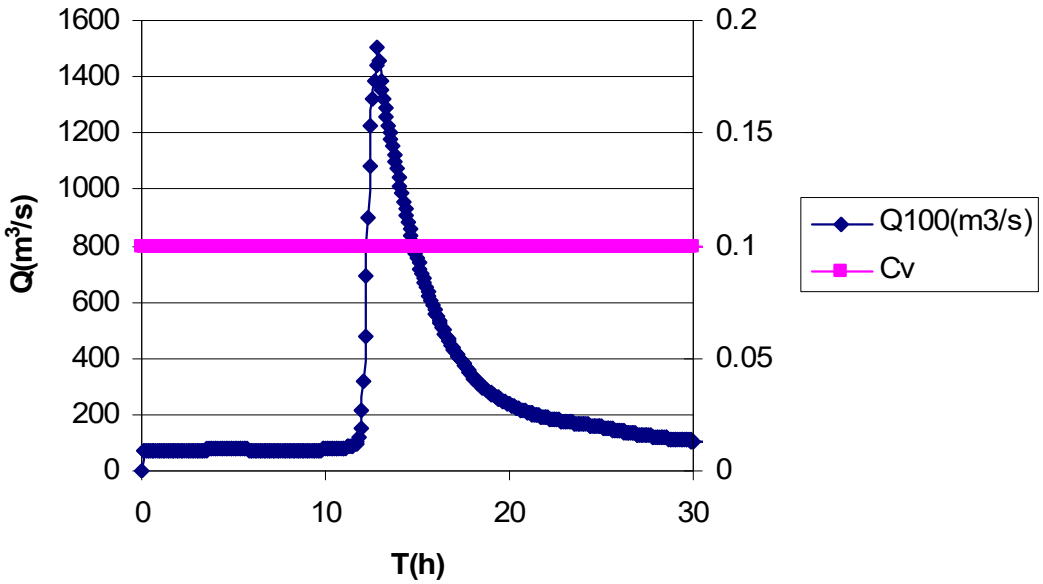


Figura 6.74. Tramo Las Mercedes - Chuao. Tr=100 años. Hidrograma

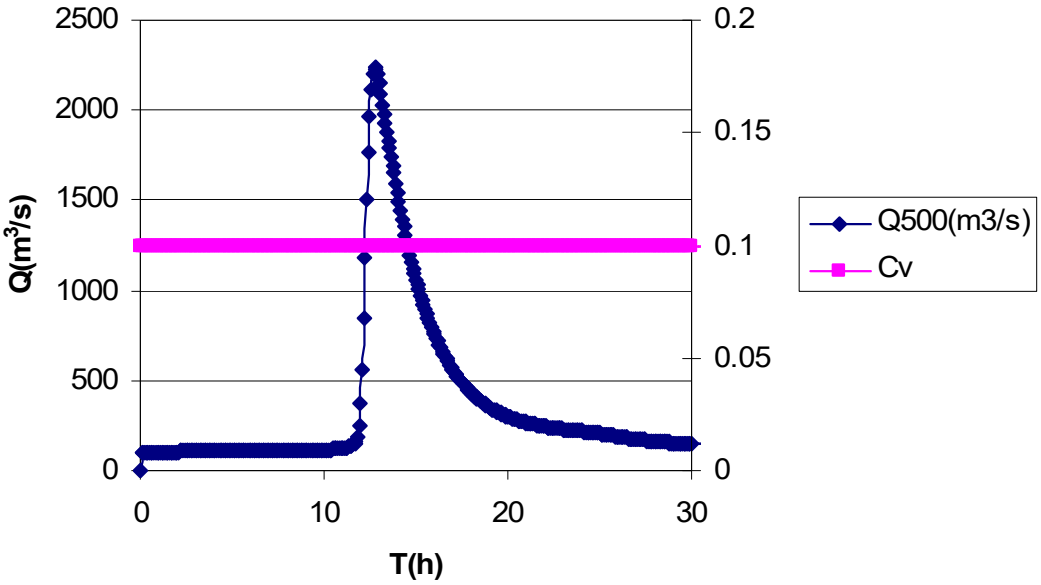


Figura 6.75. Tramo Las Mercedes - Chuao. Tr=500 años. Hidrograma

Resultados

En la simulación se incorporó el muro que bordea la margen derecha de la canalización en este tramo como un dique lateral. En cuanto a los puentes Las Mercedes y Veracruz, se incorporaron al modelo para el estudio de las crecientes de 100 años y 500 años de período de retorno y se consideró que ambos se obstruían cuando el flujo alcanza el 70% de la capacidad de la sección en el sitio de puente.

En cuanto a la creciente de 10 años de período de retorno, el modelo predice profundidades máximas de flujo entre 3 y 4 m dentro del canal sin producirse desbordamiento, con velocidad máxima entre 7 m/s y 10 m/s con gasto máximo de 548 m^3/s. El área inundada es de 6,09 ha, correspondiente al canal.

Para la creciente de 100 años de período de retorno que tiene un caudal pico de 1507 m^3/s se produce el desbordamiento del río a la altura del puente Las Mercedes inundando un pequeño sector de El Rosal y la intersección de la avenida principal de Las Mercedes con la avenida Río de Janeiro, la profundidad del flujo en el canal varía entre 5m y 6,5 m con velocidades máximas entre 10 y 12 m/s. El área total inundada es de 20,94 ha, 19 ha de terreno y 1,9 ha de canal.

El modelo predice para una creciente de 500 años de período de retorno con caudal pico de 2221 m3/s un área total de inundación de 76,9 ha, de las cuales 74,9 ha corresponde al terreno, afectando prácticamente a toda la urbanización Las Mercedes y al sector de la urbanización El Rosal que colinda con la autopista. Las profundidades de flujo dentro del canal son de 7,5 m con velocidades de 12 m/s, mientras que la profundidad del flujo en el terreno por la margen derecha es de aproximadamente de 1m, excepto en los terrenos

aledaños al puente Veracruz con profundidades de flujo que alcanza hasta los 6m en los puntos mas bajos. En la urbanización El Rosal el terreno se inunda hasta los 1-1.5m hacia Chacaíto y en los puntos mas bajos hacia la autopista es de 3-4 m, cabe destacar que este es un pequeño sector cuya cota de terreno es inferior a la autopista. Asimismo, el modelo reporta desbordamiento del canal por la margen izquierda de pocos centímetros de flujo hacia el Cubo Negro en Chuao.

En las Figuras 6.76 a 6.77 se muestran los gráficos de profundidades y velocidades máximas de flujo para las creciente de 10, 100 y 500 años de período de retorno.

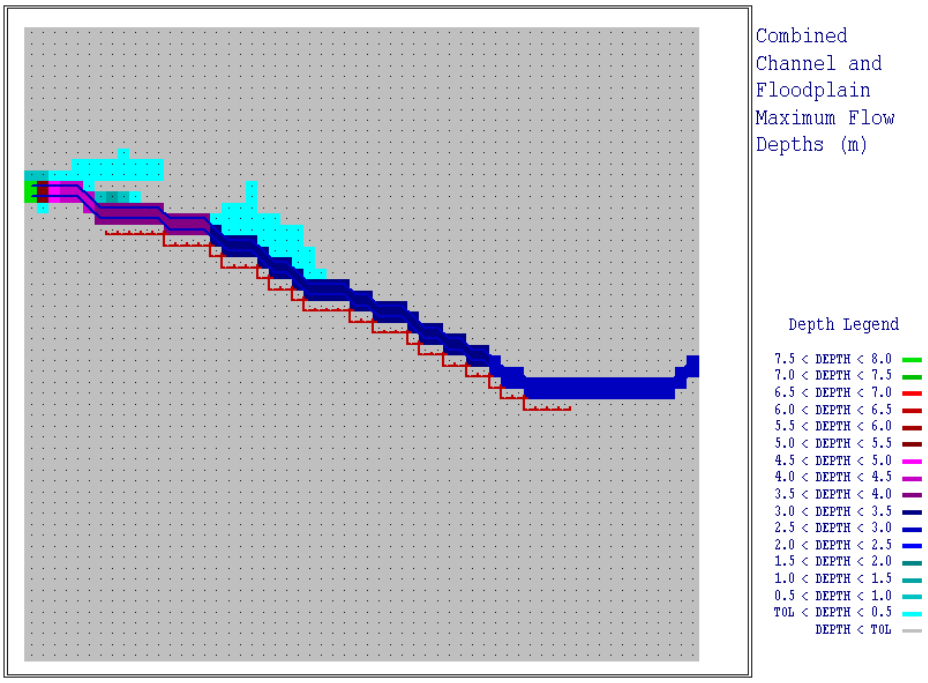


Figura 6.76. Tramo V: Las Mercedes - Chuao. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 10 años de período de retorno.

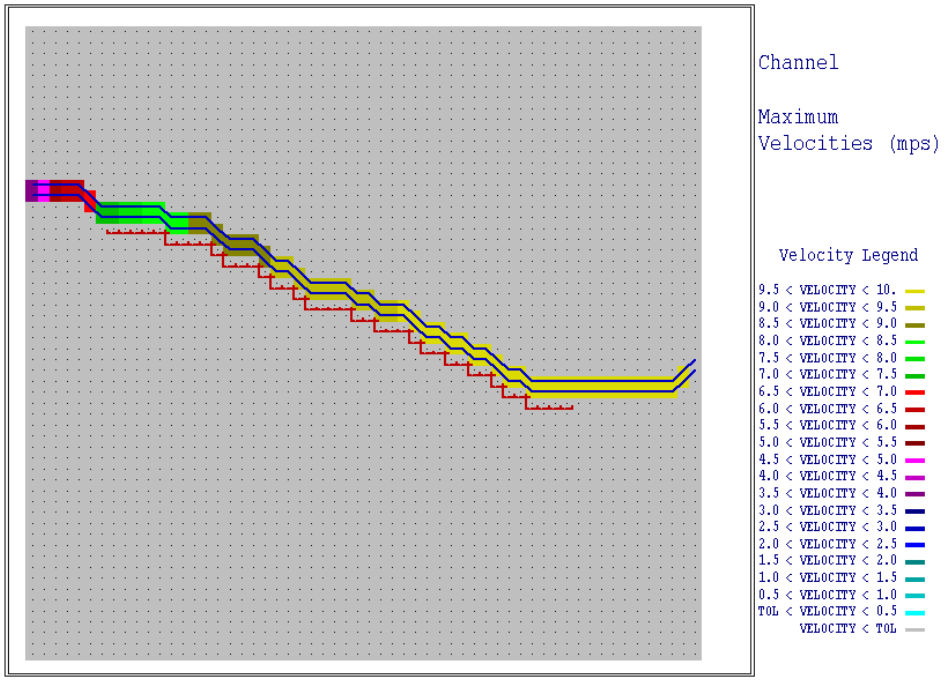


Figura 6.77. Tramo V: Las Mercedes - Chuao. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 10 años de período de retorno.

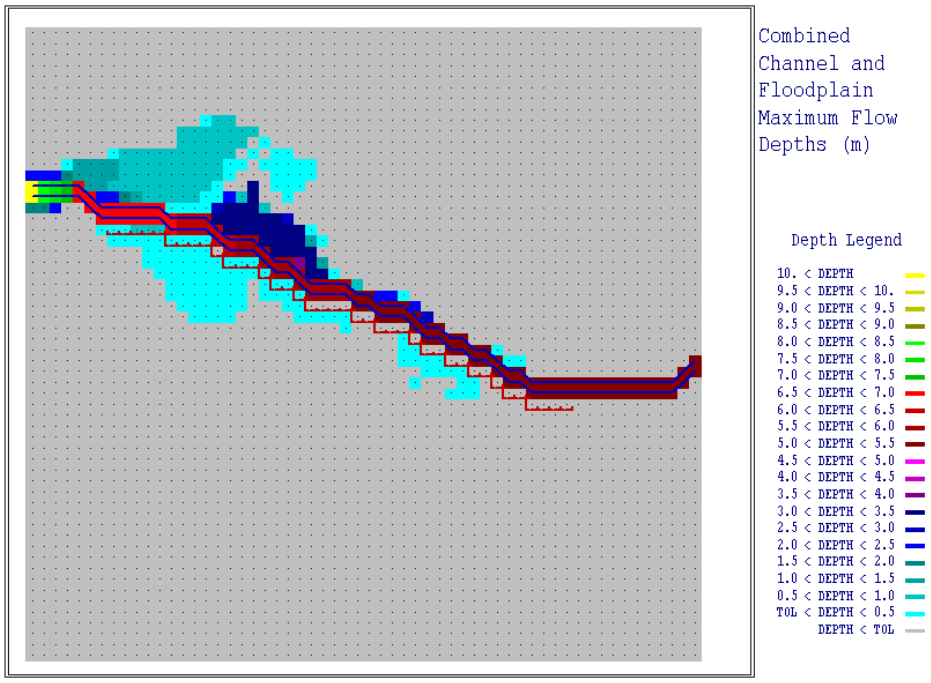


Figura 6.78. Tramo V: Las Mercedes - Chuao. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 100 años de período de retorno.

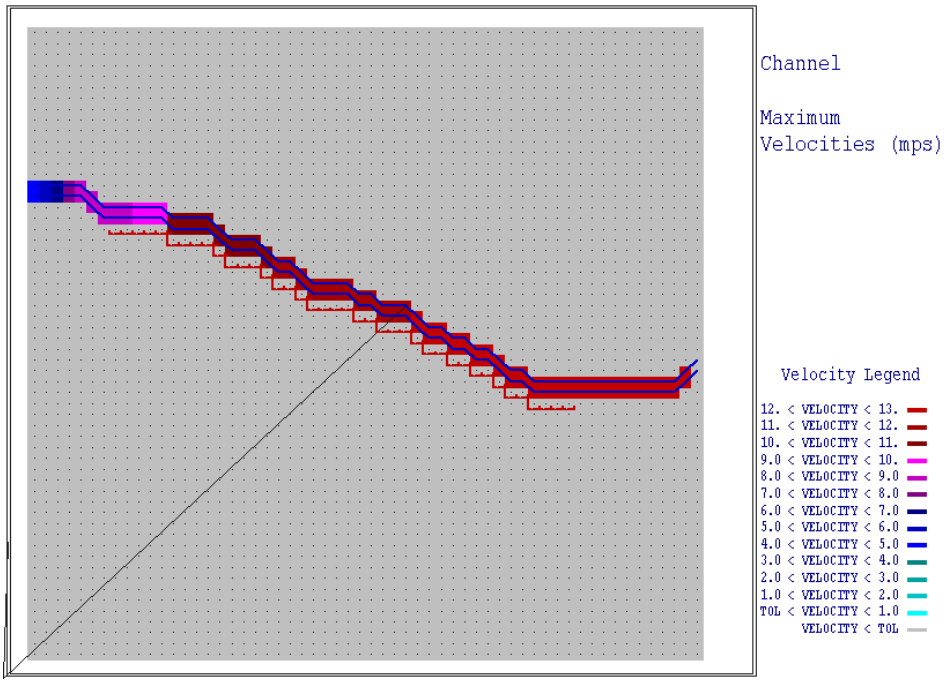


Figura 6.79. Tramo V: Las Mercedes - Chuao. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 100 años de período de retorno.

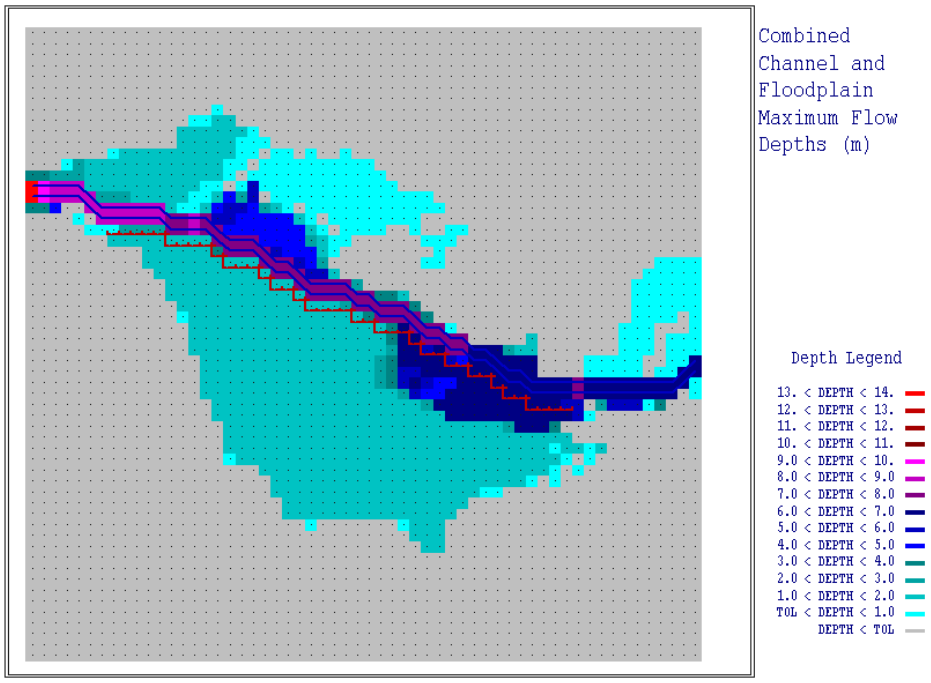


Figura 6.80. Tramo V: Las Mercedes - Chuao. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 500 años de período de retorno.

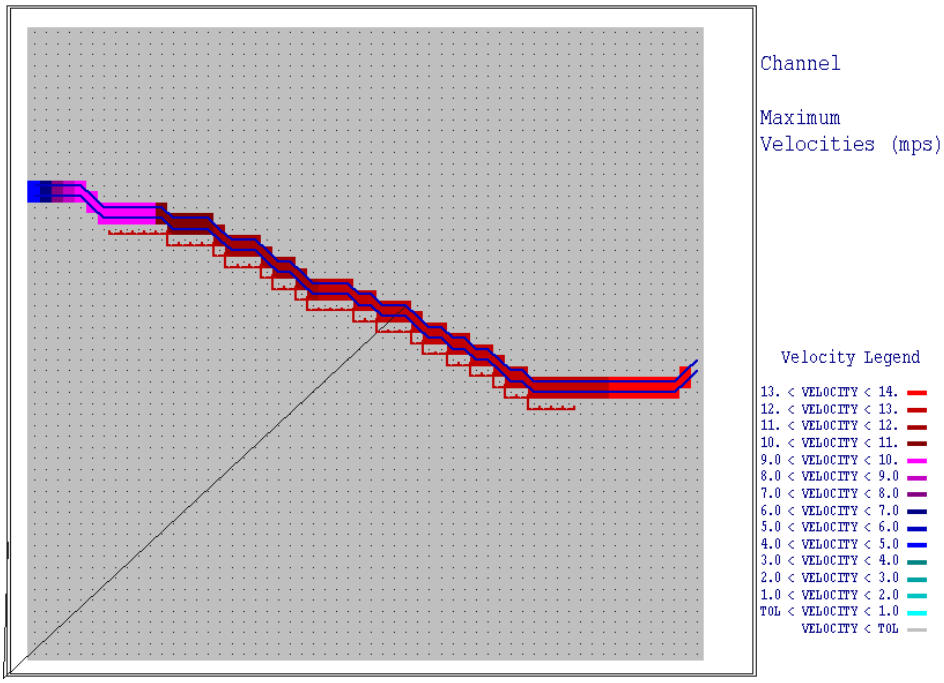


Figura 6.81. Tramo V: Las Mercedes - Chuao. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 500 años de período de retorno.

6.3.3e Tramo Chuao - Petare

Condiciones de la simulación

En la tabla siguiente se presentan los valores de los parámetros específicos para cada escenario estudiado en el tramo Chuao – Petare:

Río		**Guaire**		
Tramo		**Chuao – Petare**		
Escenario		10 años	100 años	500 años
Tamaño de celda	m x m	30 x 30	30 x 30	30 x 30
Número de celdas		11911		
Área simulada	km^2	10.72		
n de Manning	Canal	0.017-0.03	0.017-0.03	0.017-0.03
	Planicie de inundación	Variable		
Puentes	Nº	-	3	3
Reducción de área	%	-	20 – 30	20 - 30
Calles	Nº	-	30	30
Caudal pico de agua	(m^3/s)	556	1529	2252
Caudal pico de agua y sedimentos	(m^3/s)	654	1699	2502
Cv		0.15	0.10	0.10

Tabla 6.9. Tramo Chuao – Petare. Parámetros de las simulaciones.

Los hidrogramas de creciente se muestran en las figuras 6.82, 6.83 y 6.84

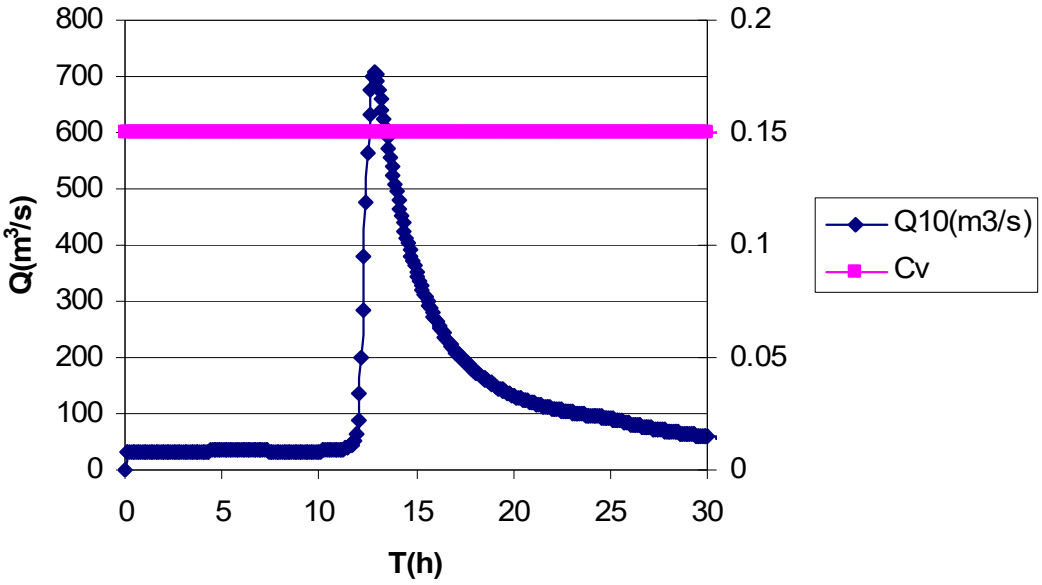


Figura 6.82. Tramo Chuao - Petare. Tr=10 años. Hidrograma

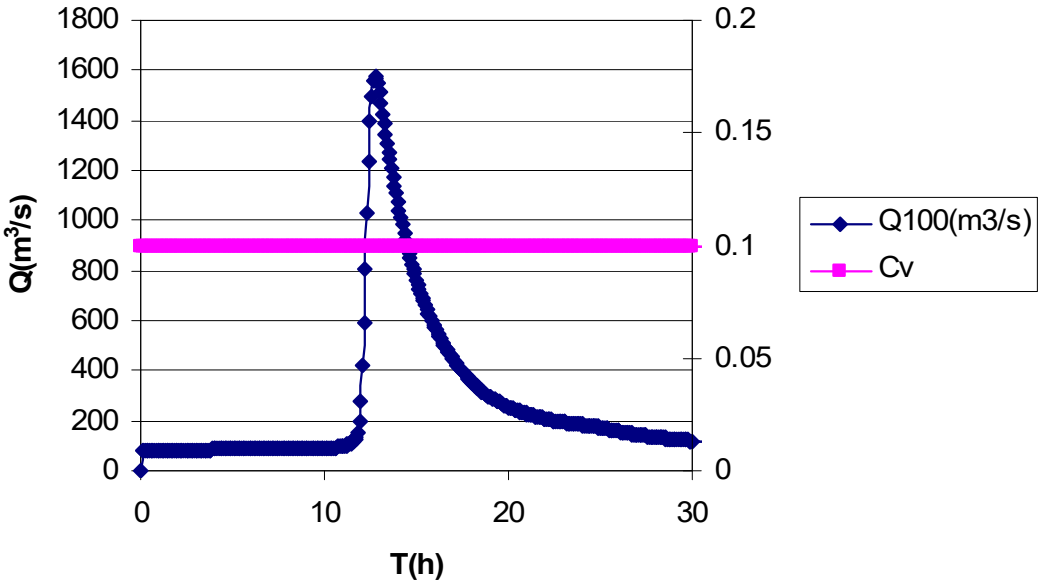


Figura 6.83. Tramo Chuao - Petare. Tr=100 años. Hidrograma

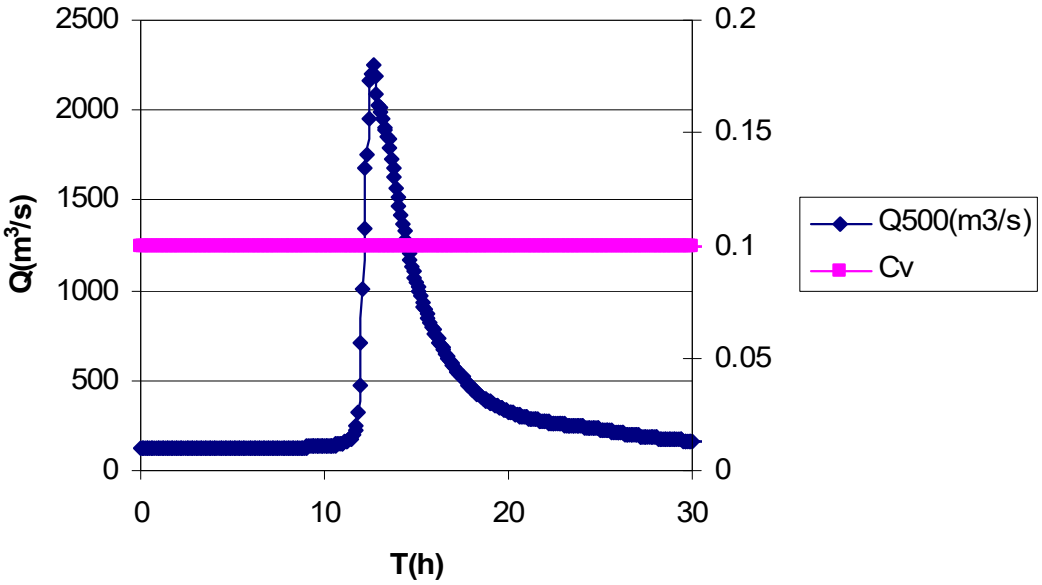


Figura 6.84. Tramo Chuao - Petare. Tr=500 años. Hidrograma

Resultados

De acuerdo al modelo FLO-2D para una creciente de 10 años de período de retorno con gasto máximo de 556 m^3/s el canal no se desborda. La profundidad máxima del flujo es de 4,5 m con velocidad máxima de 7,5 m/s, como se puede observar en las Figuras 6.85 y 6.86. El modelo reporta un área inundada de 17,2 ha que corresponde al canal.

Para simular las crecientes de 100 y 500 años de período de retorno se consideró la obstrucción de los puentes cuando el flujo alcanza el 70% de la capacidad de la sección en el sitio de puente.

Para la creciente de 100 años de período de retorno con gasto máximo de 1529 m^3/s el canal se desborda y se alcanzan profundidades de flujo en el canal de 8 a 9 m con velocidades máximas que varía desde los 2 m/s aguas arriba de puente Baloa, 4-5 m/s aguas arriba de puente California Sur y entre 6 y 7 m/s en Chuao, quedando en evidencia el efecto de remanso que se produce aguas arriba de los puentes cuya onda se transmite varios kilómetros hacia aguas arriba. El canal se desborda por la margen derecha a la altura de la urbanización Chuao con profundidades de flujo sobre el terreno hasta 4-5m en la parte mas baja, por la margen izquierda en este sector el desbordamiento afecta el Cubo Negro con profundidades alrededor de 1m y en los terrenos del Aeropuerto La Carlota se registran profundidades hasta 4-5 hacia parte sur-este del aeropuerto. Mas aguas abajo, en la urbanización California Sur, se produce otro desbordamiento del río debido a los puentes California Sur y Macaracuay inundando la urbanización hasta los 4-5m sobre el terreno. El otro sitio crítico corresponde entre los puentes de Macaracuay y Baloa en Petare donde el río cambia abruptamente de dirección, y el canal se desborda por ambas márgenes siendo la mas crítica la margen izquierda, donde el flujo alcanza hasta los 3m. El área total de

inundación es de 160 ha, siendo 140 ha del terreno y 20 ha del canal. En las figuras 6.87 y 6.88 se presentan los resultados de profundidades y velocidades máximas calculadas con el modelo.

Mientras que la creciente de 500 años de período de retorno de 2252 m^3/s de gasto pico inunda un área de 277,68 ha. Los resultados evidencian la ocurrencia de un remanso debido al efecto de los puentes y las dos curvas fuertes aguas abajo de Macaracuay, la profundidad promedio del flujo dentro del canal varía desde los 13m aguas arriba de Puente Baloa, 11 m aguas arriba de los puentes Macaracuay y California Sur y 9 m en Chuao, como se puede observar en las figuras 6.89 y 6.90. El terreno se inunda desde 2 hasta 7m en la urbanización California Sur, de 2 a 6 m en los terrenos del aeropuerto, siendo el área de inundación del terreno de 257 ha.

Al comparar los resultados de las crecientes de 100 años y 500 años de período de retorno observamos para este último evento la inundación del sector este del Aeropuerto La Carlota, de la zona industrial de La California Sur y la urbanización California Sur, así como un pequeño sector de Petare aledaño al Hospital Pérez Carreño.

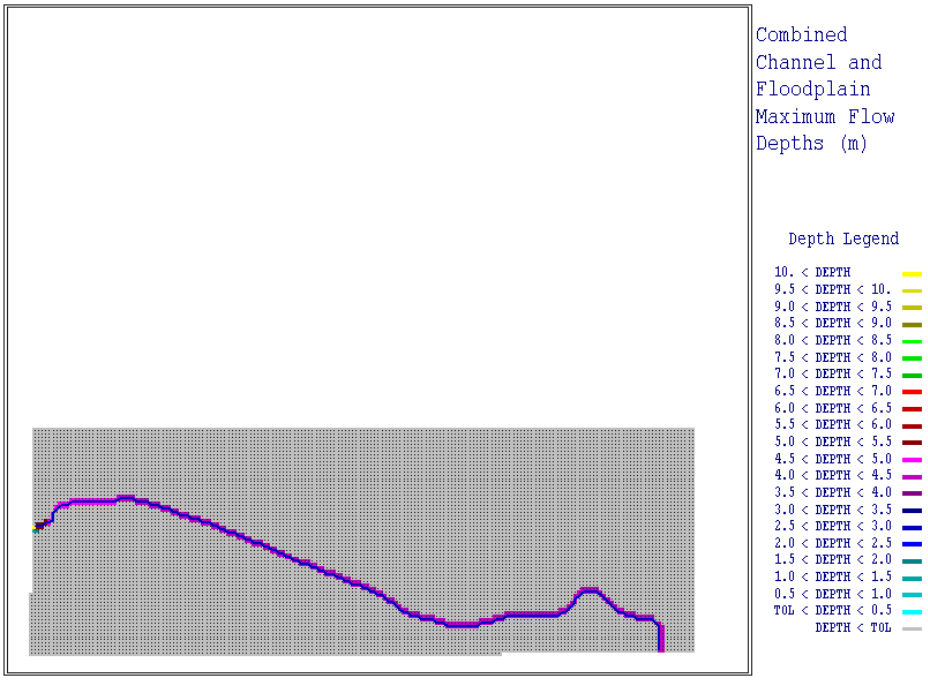


Figura 6.85. Tramo V: Chuao - Petare. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 10 años de período de retorno.

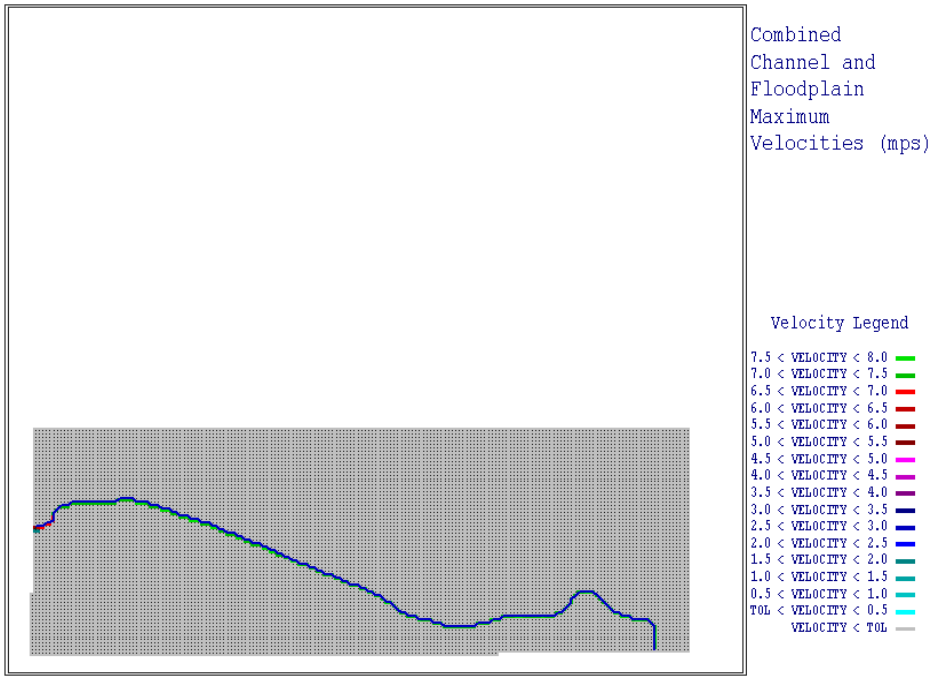


Figura 6.86. Tramo V: Chuao - Petare. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 10 años de período de retorno.

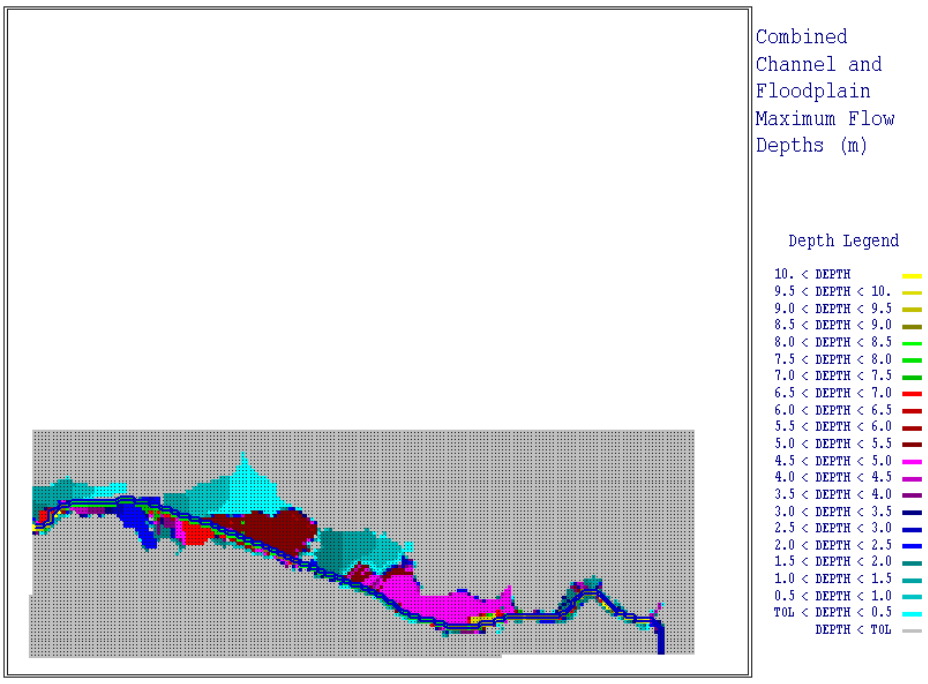


Figura 6.87. Tramo V: Chuao - Petare. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 100 años de período de retorno.

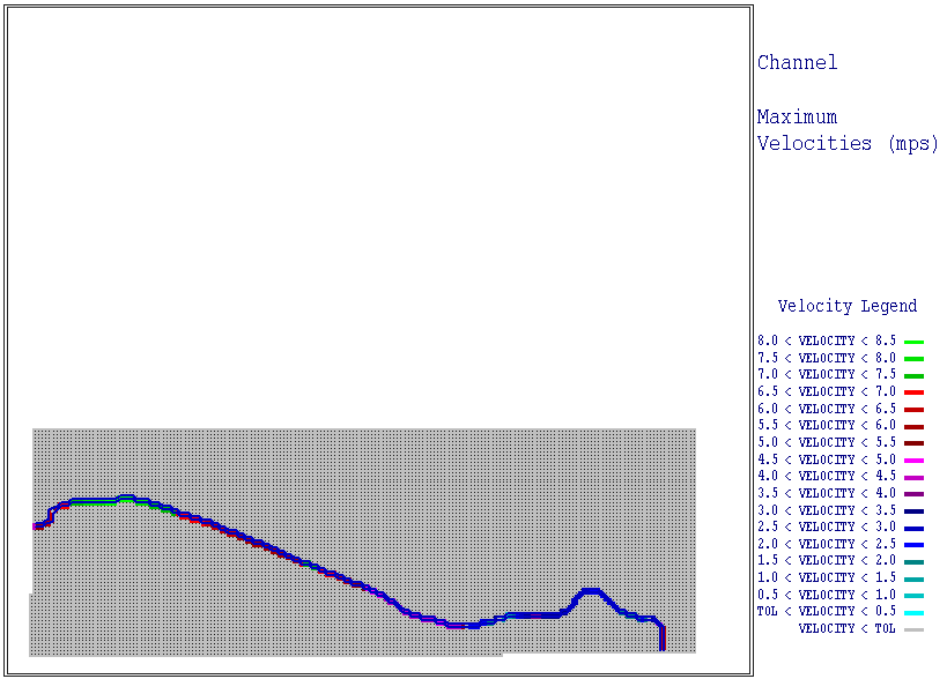


Figura 6.88. Tramo V: Chuao - Petare. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 100 años de período de retorno.

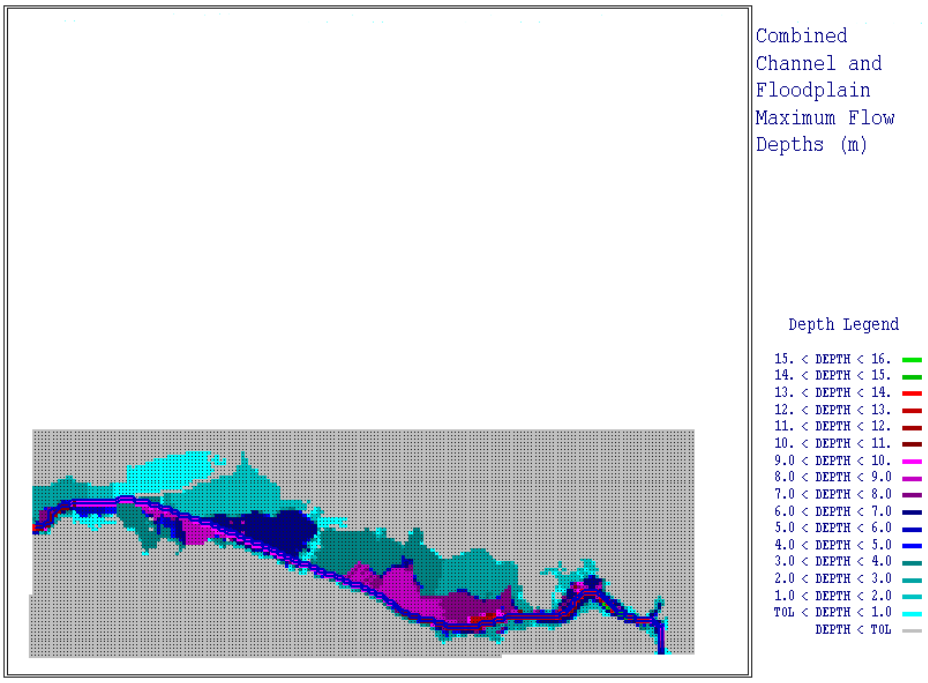


Figura 6.89 Tramo V: Chuao - Petare. Profundidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 500 años de período de retorno.

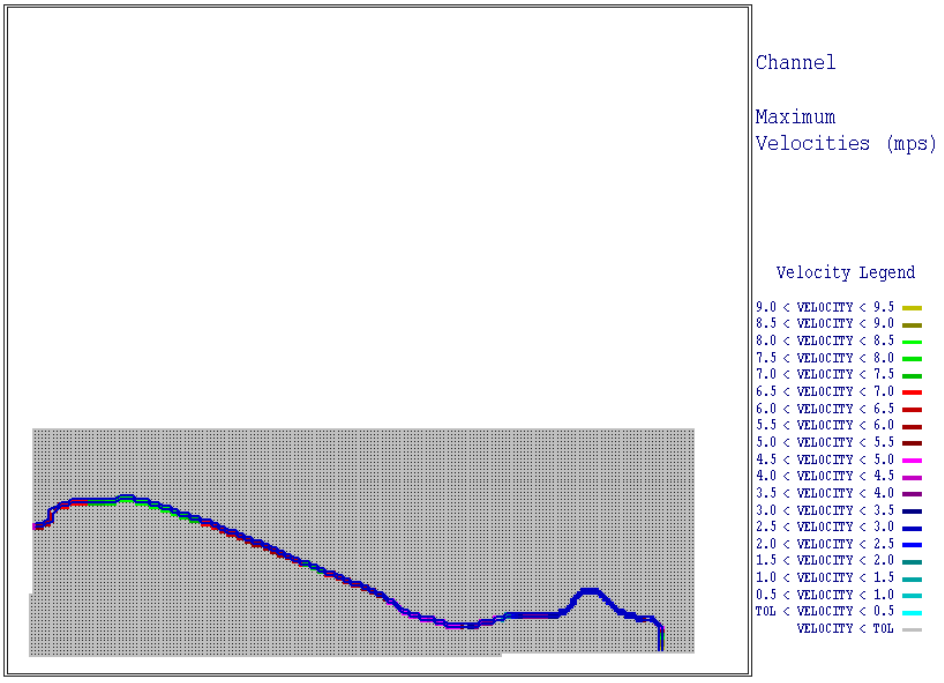


Figura 6.90. Tramo V: Chuao - Petare. Velocidades de flujo calculadas con el modelo FLO2D para una creciente de 500 años de período de retorno.

6.4 Mapas de amenaza

Una vez obtenidos los resultados del modelo FLO-2D se procedió a elaborar los mapas de amenaza por inundación en cada sector estudiado, primero en forma reticulada según la salida del modelo, luego en forma rectificada para el mapa final.

Los mapas de amenaza correspondientes se encuentran a continuación en formato reducido y en anexo en escala 1:10.000.

La amenaza alta, la más extendida cubre 560 ha., mientras las amenazas media y baja cubren 20 y 193 ha, respectivamente

Como se puede observar, las áreas amenazadas en el primer tramo son sectores de Las Adjuntas y Caricuao. Luego, hasta Puente Mohedano, son pocas las áreas amenazadas, ubicadas principalmente en Mamera y Antímano

.

A partir de Puente Mohedano, después de la confluencia con la Qda Anauco, se extiende un área de amenaza continua hasta Petare, la cual incluye:

- áreas residenciales o residenciales-comerciales: Bello Monte (ambas márgenes), Las Mercedes, Chuao (margen derecha), Los Cortijos, La California Sur, La California Norte
- administrativas: Chuao (margen izquierda)
- industriales (Los Ruices Sur)
- áreas abiertas: Parque Los Caobos, Jardín Botánico, Estadios Universitarios, Base Aérea La Carlota

6.6 CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

Al comparar la capacidad de la canalización del Río Guaire con los caudales máximos estimados para cada creciente, se ha mostrado que en algunos casos la capacidad es inferior al gasto de diseño, debido a las condiciones en que se encuentra actualmente la canalización. Es importante resaltar entonces que con una rehabilitación y un adecuado mantenimiento se aumentaría notablemente la capacidad de conducción del canal.

El modelo HEC-RAS permitió establecer las siguientes zonas críticas: Caricuao, Paraíso, Las Mercedes y California Sur. De acuerdo a los resultados del HEC-RAS, las manchas de inundación que producen las crecientes de 100 y 500 años de período de retorno son similares.

Se empleó el modelo FLO2D para estudiar a nivel de detalle las zonas que se establecieron críticas a partir de los resultados del HEC-RAS. El modelo permitió simular las calles que sirven como conductoras de flujo y las edificaciones que representan una obstrucción del flujo. Asimismo, se tomó en cuenta la concentración de sedimentos del río que representa un aumento del caudal.

Al comparar los resultados de ambos modelos observamos que las profundidades de flujo y el área de inundación estimadas con el FLO2D son superiores respecto a las calculadas con el modelo HEC-RAS. Esto se debe básicamente a que el modelo FLO2D es un modelo bidimensional que calcula el flujo en 8 direcciones, y es en principio mas exacto.

Al momento de montar el modelo bidimensional se disponía además de mayor información de campo, lo cual permitió ajustar las secciones del canal y las características de los puentes, trayendo como consecuencia que tramos donde el canal se desbordaba de acuerdo a los resultados del HEC-RAS, el modelo FLO-2D no lo reportaba.

En el tramo Chuao-Petare se procedió a calibrar el modelo utilizando como referencia la creciente de 1980, para ello se procedió a bloquear totalmente los puentes cuando el flujo alcanza el 70% del área de la sección, lo que representa el caso más desfavorable pero más cercano a la realidad, ya que ocurrió en 1980 ocasionando la inundación de la urbanización California Sur.

Se presentan seguidamente algunas recomendaciones para dar continuidad al presente estudio. Estas recomendaciones precisan para el caso del Río Guaire las orientaciones generales propuestas en los capítulos del presente informe relativos a medidas de prevención y apoyo a planes de contingencia.

- Se recomienda una revisión más detallada de la topografía, ya que los mapas digitales disponibles son a escala 1:5.000 y sería más adecuado montar el modelo bidimensional sobre una base topográfica 1:1.000.

- Se propone por otra parte la instalación de una red hidrométrica en la cuenca del Río Guaire, a fin de monitorear los niveles y establecer los caudales críticos durante un período de varios años, lo que podrá permitir determinar estadísticamente la probabilidad de ocurrencia de eventos que representen peligrosidad. Para ello se pueden realizar aforos en varios sitios de su recorrido e instalar sensores ultrasónicos y estaciones pluviométricas de registros continuos con transmisión de datos a tiempo real a un centro que analice la información y que estén en capacidad de activar un sistema de alerta temprana.

- Se propone la realización de un estudio detallado de los sitios de puente, tales como los puentes de Bello Monte, Las Mercedes, California Sur y Macaracuay, para ampliar el área de la sección y evitar que se produzca una onda de remanso hacia aguas arriba y posterior desbordamiento del canal, como lo ocurrido durante la crecida de febrero de 2.005.
- En cuanto a la capacidad de conducción del canal, se propone en primer lugar darle mantenimiento al canal para reducir la resistencia al flujo que ocasionan la vegetación y las losas de concreto levantadas o muy deterioradas, adicionalmente se propone estudiar la posibilidad de construir diques en aquellos tramos donde los niveles del flujo son críticos y la topografía lo permite, y/o ampliar la sección del canal, previos estudios de factibilidad.
- En el caso de Bello Monte, donde el río se desbordó en la margen derecha durante la crecida del 2005 por los sumideros de ventanas ubicadas en la avenida principal, se propone la construcción de estructuras que permitan drenar las aguas de lluvia de la avenida hacia el río pero que impidan flujo en dirección contraria.
- En el caso de la urbanización California Sur, urge un estudio detallado de la problemática del sitio debido por una parte a al reducción del área de la sección del canal que ocasionan las vigas de los puentes California Sur y Macaracuay y por otra parte las dos curvas fuertes a pocos metros aguas abajo de estos puentes donde el río cambia abruptamente de dirección y oponen gran resistencia al flujo produciendo una desaceleración del flujo y remanso que se transmite hacia aguas arriba y pareciera que fue la causa del desbordamiento del río en ese tramo en 2.005.
- Se propone el estudio de la influencia de la construcción de la represa proyectada en Macarao sobre los gastos extremos del Río Guaire y las consecuencias de una falla eventual de la obra por terremoto u otra causa.
- Finalmente se debe resaltar la importancia del río y la recolección de las aguas servidas que actualmente descargan en el canal y no se recolectadas por los colectores marginales construidos para tal fin.

6. ESTUDIO DEL RIO GUAIRE 1
6.1 Características del canal 1
6.1.1 Características por tramo 1
6.1.2 Etapas de construcción 9
6.1.3 Capacidad de conducción 10
6.2 Antecedentes de inundaciones 13
6.2.1 Resumen de antecedentes 13
6.2.2 Crecida del Río Guaire del 8 de febrero de 2.005 15
6.3 Simulación hidráulica de inundaciones por crecientes del río Guaire 34
6.3.1 Metodología 34
6.3.2 Simulaciones con modelo unidimensional 35
6.3.3 Simulaciones con modelo bidimensional 54
6.3.3a Tramo Las Adjuntas - Caricuao 56
6.3.3b Tramo Pte. Mohedano – Bello Monte 62
6.3.3c Tramo Pte. Mohedano – Bello Monte 70
6.3.3c Tramo Bello Monte – Las Mercedes 76
6.3.3d Tramo Las Mercedes - Chuao 82
6.3.3e Tramo Chuao - Petare 89
6.4 Mapas de amenaza 96

7. ESTUDIO DE LA QUEBRADA CATUCHE

7.1 Características del Área

7.1.1 Ubicación geográfica

La quebrada Catuche se ubica en la vertiente sur del Macizo Ávila, al noroeste del área de estudio. Nace a la altura del Topo El Infiernito y fluye en dirección norte-sur hasta su descarga en el Guaire, a la altura de El Conde. Su principal tributario es la Quebrada Aguacatico o Punceres. La subcuenca pertenece en su totalidad al Municipio Libertador del Distrito Capital. Catuche fue la primera fuente de abastecimiento de agua de la Ciudad de Caracas, también fue la primera en ser canalizada y embaulada.

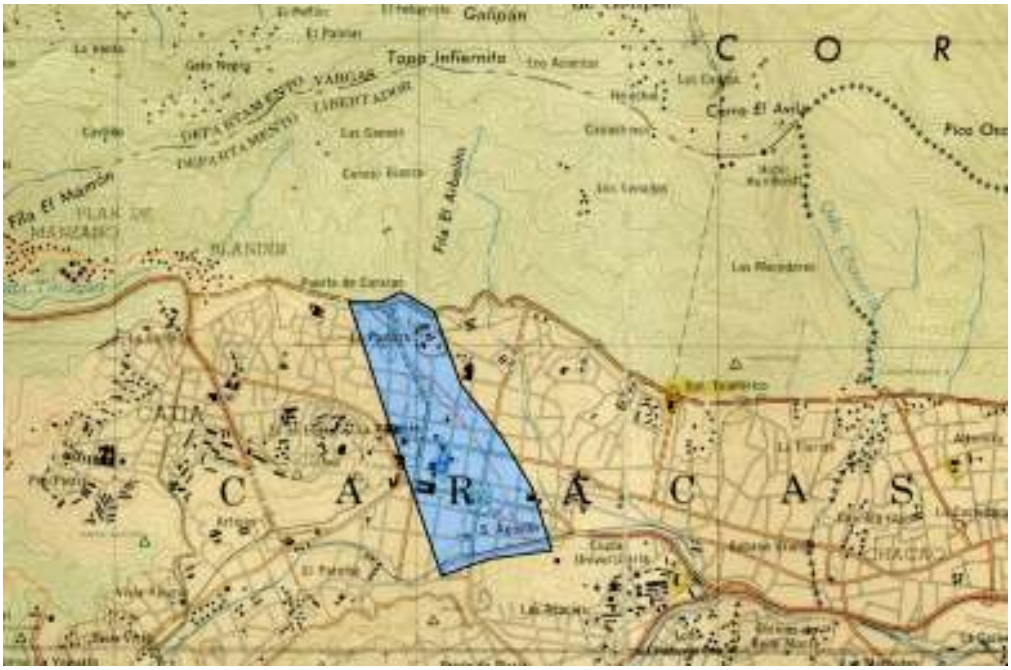


Figura 7.1. Catuche. Ubicación de la subcuenca

7.1.2 Información disponible

7.1.2.1 Información cartográfica y fotográfica

La información cartográfica utilizada para el estudio de Catuche es la siguiente:

- Plano digital "Ciudad de Caracas", formato CAD, escala 1:5.000, elaborado por Estereofoto C.A., año 2000, hojas 14, 02 y 06.

- Ortofotomapa de la República de Venezuela a escala 1:25.000, año 1994. Servicio autónomo de Geografía y Cartografía Nacional, hojas 6847-IV-SO y 6847-III NO.
- Plano de Caracas, Guía de Calles y Avenidas, escala aproximada 1:15.000. Electricidad de Caracas, Caracas, 1990, plano 03.
- Plano en papel a escala 1:25.000 del año 1975, Ministerio del Ambiente. Dirección de Geografía y Cartografía Nacional, hoja 6847-III-NE.
- Raster a escala 1:25.000, correspondiente a la vertiente sur del Ávila y Valle de Caracas. Procedencia y fecha de elaboración desconocidas.

Se disponen por otra parte de fotos aéreas, tanto en formato digital como en papel fotográfico y sus respectivos mosaicos, como se indica en la Tabla 7.1.

Año	Misión	Fotos	Formato	Escala original
2.000	0304190	8997, 8943, 8821, 9276, 9277, 9117	Papel Fotográfico	Desconocida

Tabla 7.1. Catuche. Fotos aéreas disponibles.

Existe además una información fotográfica anterior sobre la quebrada, proveniente de visitas de campo realizadas en el marco del Proyecto Ávila en junio 2001 ((I.G.N.S.B, 2002) y del Informe de los Bomberos del Distrito Federal (Bomberos del Distrito Federal, 2000).

7.1.2.2 Información hidrológica

Los hietogramas e hidrogramas utilizados provienen del estudio hidrológico realizado para el presente estudio. La Tabla 7.2 muestra los valores de los caudales máximos para diferentes períodos de retorno, calculados a la altura de la Avenida Boyacá..

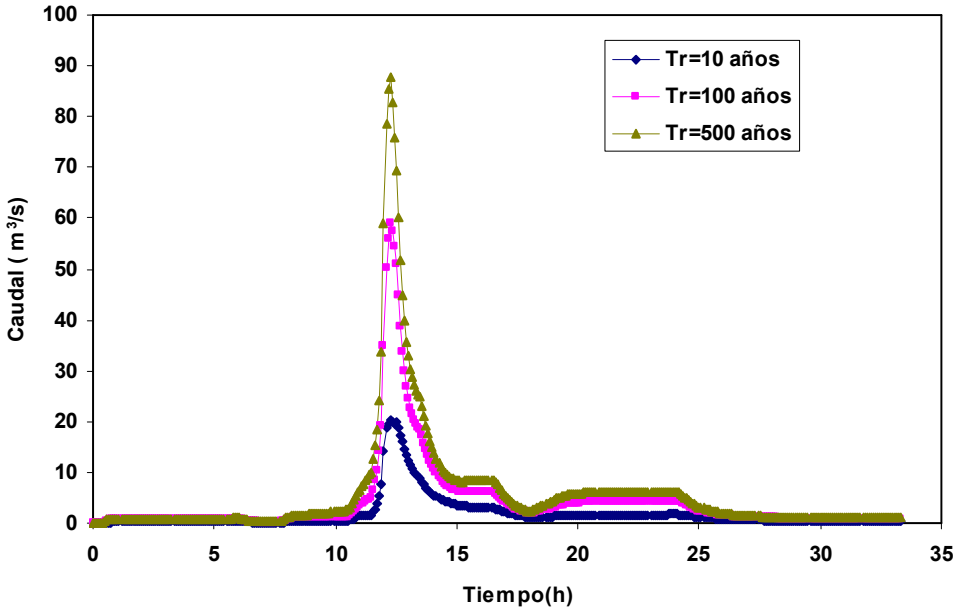


Figura 7.2. Catuche. Hidrogramas de caudal líquido en la cota 1.000 m.s.n.m para diferentes períodos de retorno.

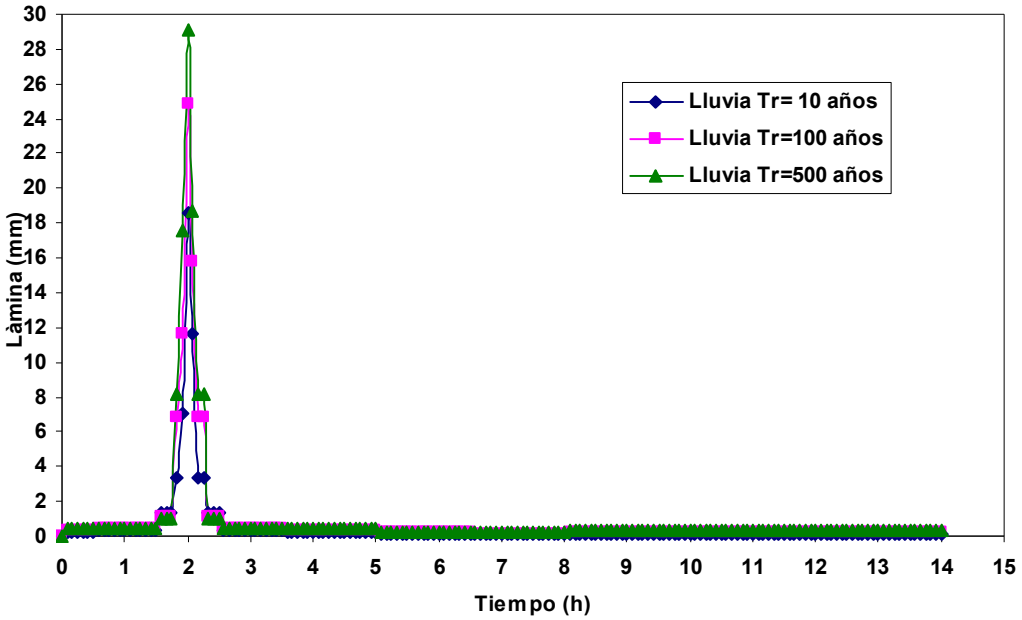


Figura 7.3. Catuche. Hietogramas para diferentes períodos de retorno

Quebrada	Caudal máximo (m^3 /s)		
Catuche	Tr=10 años	Tr=100 años	Tr=500 años
	20,21	59,08	87,87

Tabla 7.2. Catuche. Caudales máximos.

7.1.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica

Para el Estudio de la Quebrada Catuche se utilizaron los planos que se indican a continuación:

- Plano en papel Quebradas Principales del Municipio Libertador. Alcaldía de Caracas, escala 1:10.000 año, 1995, hojas 02 y 03.
- Plano en papel Quebradas Principales del Municipio Libertador. Alcaldía de Caracas, escala 1:5.0000 año 1995, hoja F-43 y F-44.
- Planos BPP, 1992.

7.1.2.4 Estudios previos

La Quebrada Catuche ha sido incluida en lo dos estudios previos señalados (I.G.N.S.B, 2002 y C.G.R. Ingeniería, 2001).

7.1.3 Hidrografía

La subcuenca se extiende desde el Topo El Infiernito en el Ávila (1.960 m.s.n.m.) hasta el Río Guaire (845 m.s.n.m). El área total es de 6,9 km^2.

La Quebrada Catuche tiene una longitud aproximada de 8 km y una pendiente promedio de 41,12 %. Sus afluentes son la Quebrada Aguacatico, ahora colector Punceres, que confluye con Catuche en la esquina de Punceres (Avenida Urdaneta). y el Colector Teñidero.

Sus características principales se resumen en la Tabla 7.3.

La Figura 7.4 presenta el perfil longitudinal del cauce en estudio a partir de la confluencia con el Río Guaire, elaborado a partir del raster 1:25.000 para la parte alta (por encima de los 1.000 m.s.n.m) y el plano digital 1:5.000 para la parte baja. La Figura 7.5 presenta el perfil longitudinal en la parte urbana de la quebrada.

Área de la cuenca (km^2)	Vegetada: 4.5 (65,3 %)	Total: 6,9
	Urbana: 2.39 (34,6 %)	
Longitud del cauce principal (km)	En área extra-urbana: 4,4 (55 %)	Total: 8
	En área urbana: 3,6 (45 %)	
Cotas (m.s.n.m.)	Superior: 1.960	
	Inferior (confluencia con el río Guaire): 865	
Pendiente del cauce principal (%)	En área extra-urbana: 58,8	Promedio:41,12
	En área urbana: 5,7	

Tabla 7.3. Catuche. Características de la subcuenca

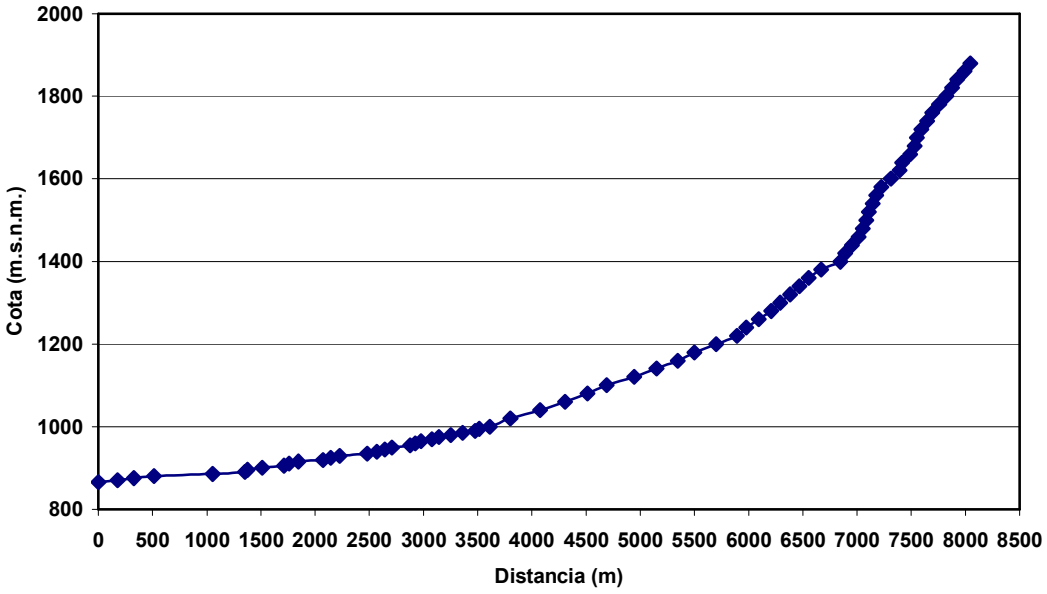


Figura 7.4. Catuche. Perfil longitudinal del cauce de la quebrada

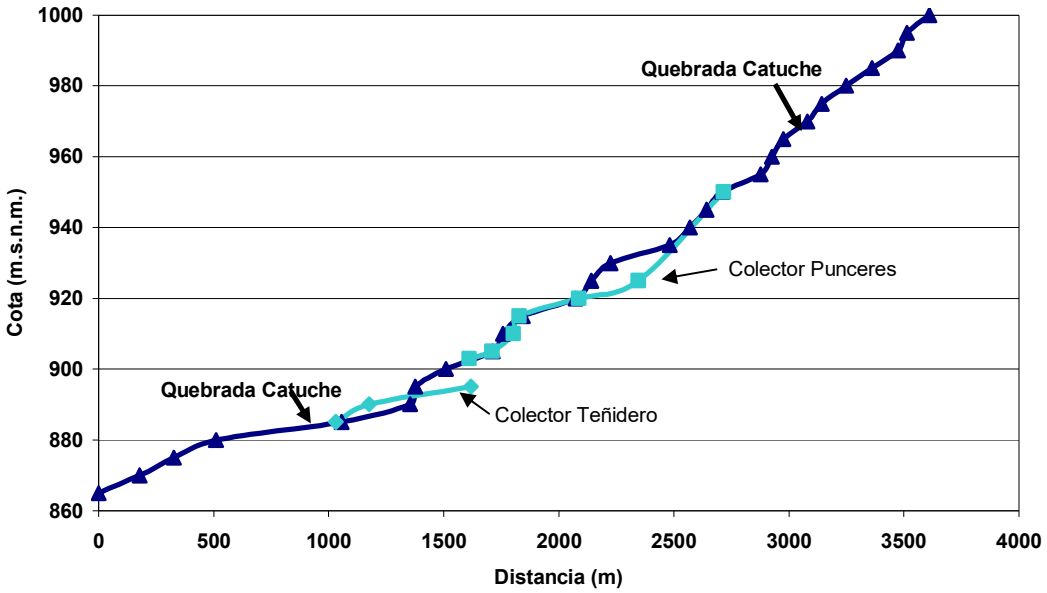


Figura 7.5. Catuche. Perfil longitudinal del cauce en el área urbana

7.1.4 Usos del suelo

La subcuenca presenta dos zonas bien diferenciadas, separadas por el límite del Parque Nacional Ávila (cota 1.000 m.s.n.m): una parte alta vegetada que representa el 65,3 % de la superficie, y una parte baja urbanizada que representa el 34,6 % de la misma.

El área vegetada pertenece al Parque Nacional Ávila y presenta árboles de gran altura y gramíneas, así como rocas que pueden favorecer la formación de diques naturales (Figura 7.6), cuyo rompimiento podría ocasionar un alud torrencial. Como se verá más adelante, este caso se presentó durante el evento de 1999.

Figura 7.6. Catuche a la altura de La Toma (Fuente: Martínez Consultores S.A., 1999)

La quebrada entra en la zona urbana, cerca de la Puerta de Caracas (Sector La Toma), alrededor de los 1.000 m.s.n.m., sigue una dirección aproximada noroeste-suroeste, para descargar en el río Guaire en El Conde. Cerca de su entrada en la zona urbana, la quebrada pasa por los barrios los Mecedores, Sabana del Blanco y Diego de Lozada.

En el área urbana, la cuenca presenta en general una densidad poblacional media. En su curso hacia su desembocadura en el Guaire, Catuche atraviesa parte del casco colonial de Caracas, donde se encuentran edificios de gran importancia histórica, como el Panteón Nacional, la Biblioteca Nacional y el cuartel San Carlos, avenidas de alta circulación vehicular, como lo son la Avenida Baralt, la Avenida Urdaneta, la Avenida Universidad, la Avenida Fuerzas Armadas y la Avenida Bolívar y una zona comercial bastante extensa. En su parte media se encuentra la Parroquia La Pastora.

En parte del recorrido de la quebrada, desde La Toma hasta La Trilla se observa la presencia de desarrollos habitacionales no controlados en ambas márgenes.

Luego del evento de 1999, el Instituto de Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela (INSURBECA), definió una propuesta de Ordenación Urbana para esta área. La propuesta incluía zonas residenciales de baja, media y alta densidad, comercios, áreas educacionales, religiosas y de recreación. Las acciones inmediatas más notables previstas consistían en la eliminación de las viviendas informales todavía ubicadas en las márgenes del cauce, la reubicación de estas 400 familias en apartamentos equipados con todos los servicios, por construir en terrenos seguros en la cercanía de la quebrada, y la construcción de obras de control, como presas de retención de sedimentos y canalización de la quebrada

a todo lo largo del tramo La Toma- La Trilla. La realización de estas acciones está siendo llevada por la comunidad de Catuche, a través de la Asociación Civil Catuche, (ASOCICA). La zonificación se presenta en la Figura 7.7.

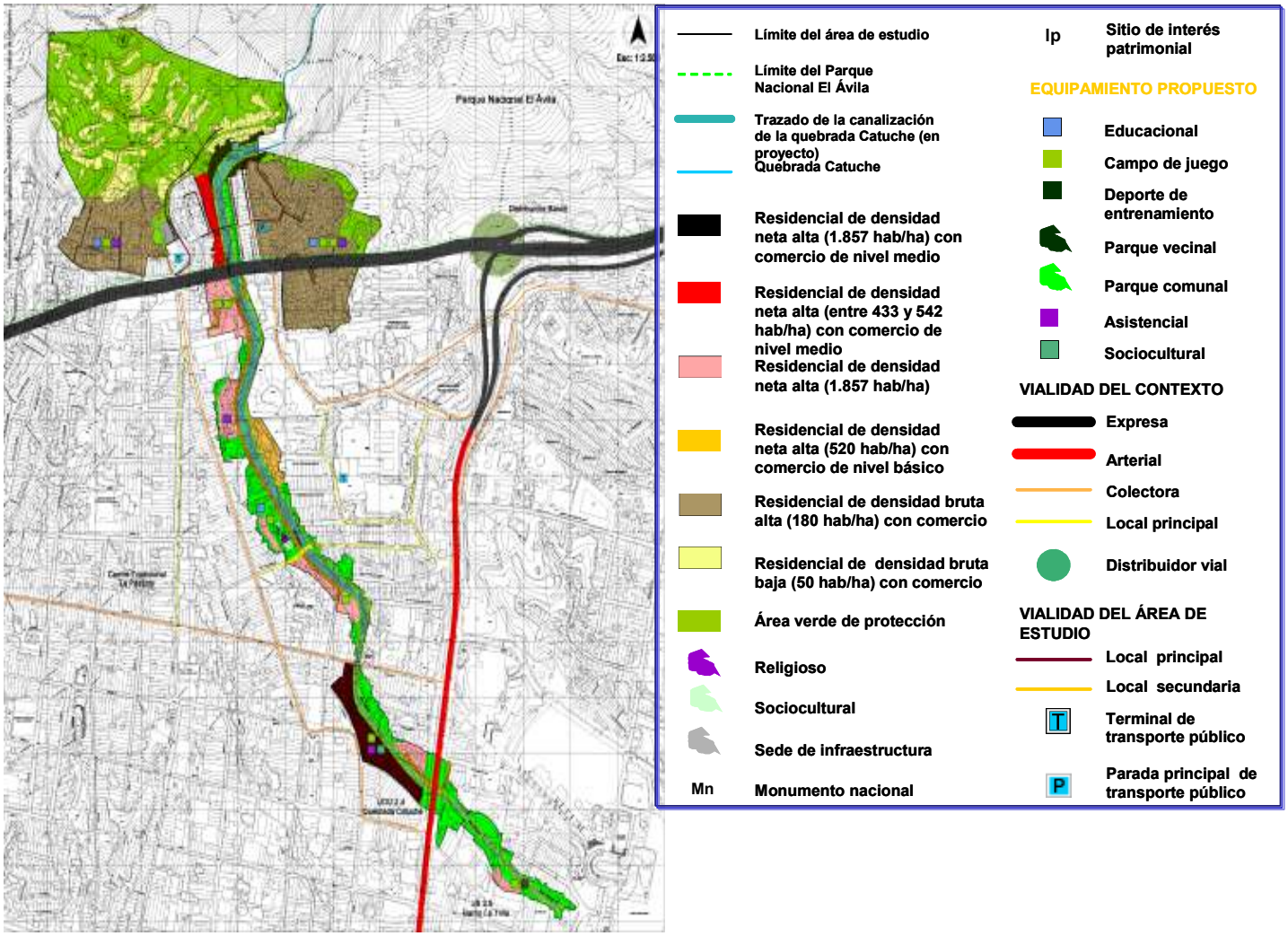


Figura 7.7. Catuche. Zonificación de INSURBECA para la zona

7.2 Red de drenaje pluvial

Luego de pasar por Los Mecedores y Sabana del Blanco, la quebrada fluye hasta el puente Carlos III, luego continúa en dirección sur-sureste y atraviesa la Avenida Baralt en el Puente El Guanábano. Sigue hacia el barrio La Trilla (Foro Libertador) y cruza la Avenida

Norte en el Puente La Trinidad y la Norte 1, entre Santa Bárbara y Canónigos. Seguidamente atraviesa la Avenida Este 3, en la esquina de Abanico.
El recorrido de la quebrada sigue la misma dirección general y atraviesa la Avenida Universidad entre las esquinas de Perico y Monroy. Luego de Puente Victoria, atraviesa la Avenida Bolívar y desde la Esquina de Niquitao continúa entre San Agustín del Norte y El Conde y descarga en el Río Guaire al lado del antiguo stadium de San Agustín.

Desde La Toma hasta el Puente Carlos III, la quebrada Catuche fluye por un cauce prácticamente natural, con restos en algunas zonas de antiguos embaulamientos y canalizaciones. En Carlos III el fondo está recubierto de concreto y se advierte la presencia de unas torrenteras. Luego la quebrada continúa por un cauce con características similares al anteriormente descrito hasta el Puente El Guanábano (Avenida Baralt) donde existe un embaulamiento corto. Desde este embaulamiento hasta puente Victoria, la quebrada fluye por un canal de concreto en muy malas condiciones de mantenimiento, con puentes y embaulamientos sucesivos al cruzar calles y avenidas. Desde Puente Victoria hasta la Avenida Sur 15 de El Conde, la quebrada está embaulada. En la Sur 15 fluye por un canal de concreto y luego por un embaulamiento que atraviesa la Autopista Francisco Fajardo, para descargar en El Guaire.

La quebrada Catuche recibe el aporte de dos colectores principales, a saber: Punceres y Teñidero. En la Esquina de Punceres (Avenida Urdaneta) recibe el aporte del colector Punceres y entre Puente Victoria y Monroy (Avenida Universidad), del colector Teñidero. En la ciudad formal se advierte la presencia de sumideros, en un estado de mantenimiento regular.

Un esquema de la red drenaje se presenta en la Figura 7. 8.

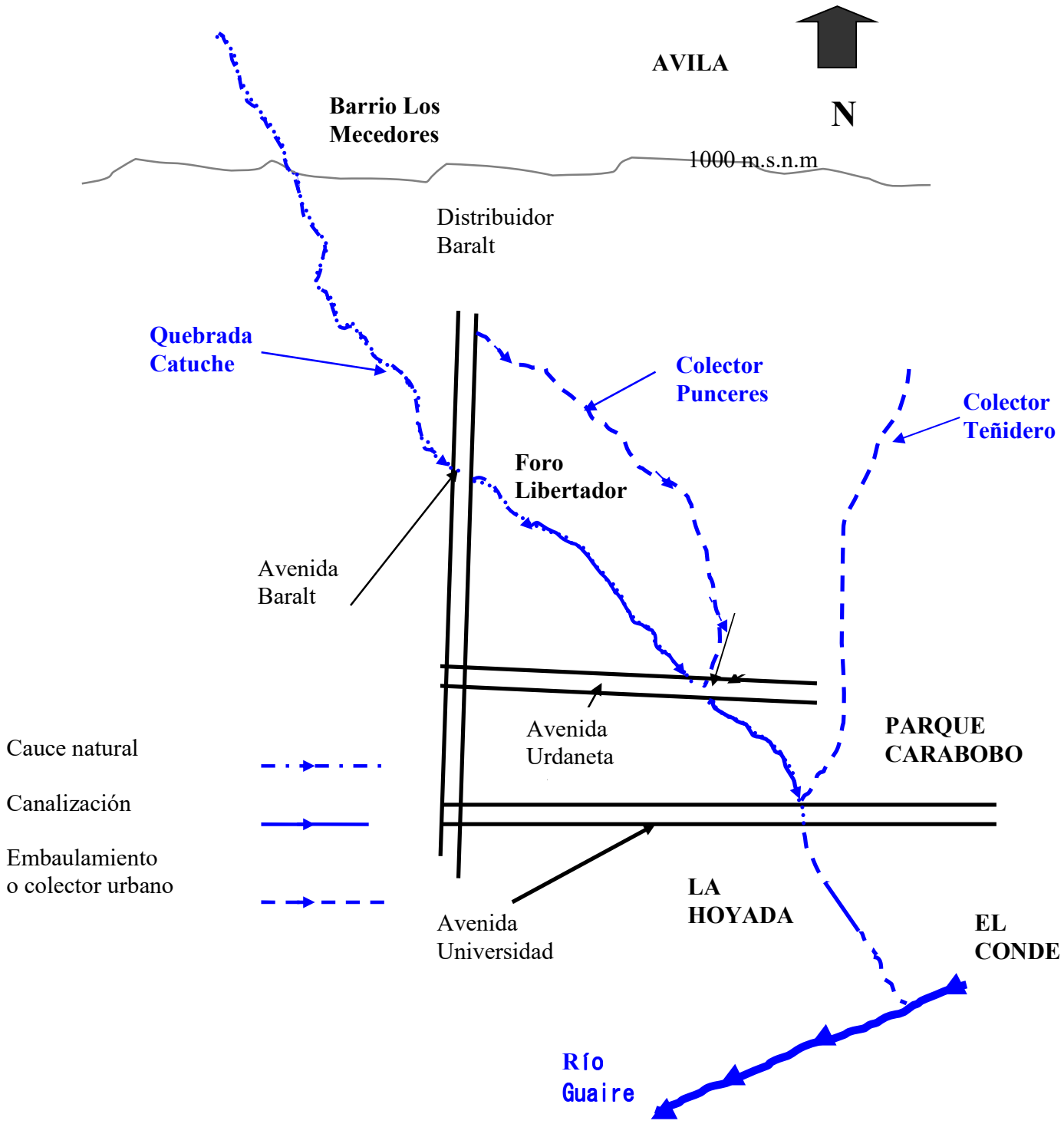

AVILA
N
Barrio Los
Mecedores
1000 m.s.n.m
Distribuidor
Baralt
Quebrada
Catuche
Colector
Punceres
Colector
Teñidero
Foro
Libertador
Avenida
Baralt
Avenida
Urdaneta
PARQUE
CARABOBO
Cauce natural
Canalización
Embaulamiento
o colector urbano
Avenida
Universidad
LA
HOYADA
EL
CONDE
Río
Guaire

Figura 7.8. Catuche. Esquema de la red de drenaje

Las características de los distintos tramos se describen a continuación (Las flechas en las fotos indican el sentido del flujo):

- **Tramo La Toma – Puente Carlos III**

En el sitio de La Toma, la quebrada fluye por un cauce natural, de aproximadamente 25 metros de ancho, flanqueado hacia la izquierda por una elevación de terreno de 15 m y por la derecha por un terraplén de 8 m de alto. Esta zona se denomina Redoma Virgen de Coromoto, (Figura 7.9).

Figura 7.9. Catuche. Cauce a la altura de la Redoma Virgen de Coromoto (Sector La Toma)

La quebrada sigue hacia el sur y pasa por el Barrio Los Mecedores (Figura 7.10). En esta zona el cauce es natural y presenta dimensiones variables. Hay pequeños puentes provisionales que pueden obstaculizar el flujo y convertirse en fuente de escombros. (Figura 7.11).

Figura 7.10. Catuche. Cauce en Los Mecedores

Figura 7.11. Catuche. Puente provisional a la altura de Los Mecedores.

Después del Barrio Los Mecedores, Catuche pasa por los sectores Sabana del Blanco, en su margen izquierda y Portillo en su margen derecha. En esta última zona, en la esquina de Reja, se encuentra un edificio en ubicación peligrosa en caso de eventos hidrológicos de magnitud (Figura 7.12). Este edificio sufrió severos daños durante el evento de 1999.

Figura 7.12. Catuche. Edificio en la Esquina de Reja (Sector Portillo). (Fuente: Martínez Consultores S.A., 1999)

La quebrada continúa hacia La Pastora, donde pasa bajo el Puente Carlos III, construido en el siglo XVIII. La fotografía de la Figura 7.13, muestra dicho puente y parte de la obra de disipación ubicada aguas abajo del mismo. Este puente tiene 5 m de altura, aproximadamente. Desde 100 m aguas arriba del puente aproximadamente y hasta su ubicación, las condiciones generales de la quebrada son las siguientes: canal de concreto de 4,5 m de ancho y 1,50 m de alto con construcciones en ambas márgenes.

- **Tramo Puente Carlos III - Puente El Guanábano**

En este tramo la quebrada atraviesa la Avenida Baralt bajo el Puente El Guanábano. En esta zona el cauce es natural, con un ancho de 5 m y justo bajo el puente El Guanábano, pasa por un embaulamiento de 2,60 m de ancho, 3 m de alto y 25 m de longitud. Al finalizar este embaulamiento, hay un pequeño canal abierto de 2,60 m de ancho, 3 m de alto y 9 metros de longitud. Luego el cauce continúa en un embaulamiento con dimensiones similares al tramo anterior, pero con una longitud de 50 m. Este último tramo de embaulamiento termina en una caída de agua y el cauce continúa natural hacia el puente El

Cuño. Como muestra la fotografía de la Figura 7.14, hay viviendas informales en las márgenes de la quebrada, que forman parte del Barrio La Trilla.

Figura 7.13. Catuche. Puente Carlos III y obra de disipación.

Figura 7.14. Catuche. Cauce aguas abajo del Puente El Guanábano

- **Tramo Puente El Guanábano – Puente El Cuño**

Entre el Puente El Guanábano y el Puente El Cuño hay aproximadamente 200 m. Después del embaulamiento bajo el puente El Guanábano, la quebrada fluye por un cauce natural hasta 100 m aguas arriba de El Cuño, donde comienza una canalización que se extiende hasta la Calle 1 del Barrio la Trilla, perpendicular a la cual pasa el Boulevard Simón Bolívar. Se advierte la presencia de obras de disipación aguas arriba de dicho puente. Imágenes de este tramo se presentan en la Figura 7.15.

Es importante hacer notar que en esta zona se encuentra la Unidad Educativa Nacional Simón Bolívar, cuyas canchas deportivas están en las márgenes de la quebrada.

Figura 7.15. Catuche. Cauce aguas arriba y aguas abajo de Puente El Cuño, respectivamente.

- **Tramo Puente El Cuño – Boulevard Simón Bolívar**

En este tramo existen construcciones informales en las márgenes de la quebrada, correspondientes al Barrio La Trilla. Este tramo fue uno de los más afectados durante el evento de 1999, año para el cual se encontraba embaulado. Para la fecha de la redacción de este informe, aún pueden verse rastros de este evento. (Figura 7.16).

Este tramo tiene aproximadamente 200 m y presenta un canal de concreto de dimensiones variables, a saber:

- Sección 1 (rectangular): desde Puente El Cuño hasta 100 m aguas abajo del mismo: 4,50 m de ancho y 1,50 m de alto.
- Sección 2 (rectangular): desde el final del tramo anterior hasta el paso bajo el Boulevard Libertador: 4,50 m de ancho y 1,50 m de alto.

La fotografía de la Figura 7.17 muestra la sección 2.

Figura 7.16. Catuche. Marca dejada por el lodo durante el evento de 1999 en el Barrio La Trilla. La altura de la marca es de aproximadamente 9 m sobre el cauce.

- **Paso Puente La Trinidad**

Al finalizar el Barrio la Trilla hay un puente que permite el paso de personas y vehículos hacia dicho sector. Este puente se denomina La Trinidad y presenta una sección rectangular a la entrada de aproximadamente 6 m de ancho 6 de alto y 10 de longitud. A la salida la sección es en arco de 6 m de diámetro. Luego de este puente, la quebrada circula por un canal natural sobre una distancia de 50 m, para entrar luego en un embaulamiento que permite al flujo atravesar el Boulevard Libertador. Las fotografías de la Figura 7.18 muestran el paso por el puente La Trinidad.

Figura 7.17. Catuche. Cauce en el Barrio La Trilla, aguas arriba del Puente La Trinidad.

Figura 7.18. Catuche. Paso Puente La Trinidad

- **Paso Boulevard Libertador**

La quebrada atraviesa el Boulevard Libertador por una alcantarilla rectangular, con una entrada de forma abovedada, como se muestra en la fotografía de la Figura 7.19. La salida

de esta alcantarilla está aguas arriba de las esquinas Santa Bárbara y Maturín, como se muestra en la fotografía de la Figura 7.20.

Figura 7.19. Catuche. Entrada a la alcantarilla en el Boulevard Libertador

Figura 7.20. Catuche. Salida de la alcantarilla, entre las esquinas de Santa Bárbara y Maturín.

- **Tramo Avenida Norte 1 - Avenida Urdaneta**

Hacia aguas abajo del tramo anterior, puede verse un puente en arco con una pila central, (Figura 7.21). Este Puente se denomina Abanico y es, junto con Carlos III, una joya de la ingeniería venezolana del pasado.

En este tramo el canal es de concreto en muy malas condiciones de mantenimiento y en ambas márgenes del mismo hay construcciones consolidadas que no respetan el retiro legal. Merece la pena destacar, la presencia aguas abajo del puente de un edificio cuyas columnas se ubican dentro del cauce de la quebrada, como muestra la fotografía de la Figura 7.22. La quebrada atraviesa la Avenida Este 3 en el Puente Abanico, sigue a superficie libre por detrás de los edificios hasta la esquina de Punceres en la Avenida Urdaneta, donde recibe el aporte del colector Punceres. La quebrada está embaulada para atravesar dicha avenida y la Avenida Fuerzas Armadas. La quebrada reaparece a la altura de la Esquina de Romualda, aguas abajo de la Avenida Este.

Figura 7.21. Catuche. Puente Abanico

Figura 7.22. Catuche. Obstrucción en el cauce.

- **Tramo Avenida Este - Avenida Universidad**

En este tramo, la quebrada atraviesa la Avenida Este 2 en Puente Yánez y continúa por detrás de los edificios (Figura 7.23), hasta un embaulamiento bajo la Avenida Universidad.

- **Tramo Avenida Universidad – Puente Victoria**

Al salir del embaulamiento de la Avenida Universidad (Figura 7.24), la quebrada sigue por un canal abierto de concreto por 100 m hasta Puente Victoria (Figura 7.25), donde nuevamente está embaulada Puente Victoria tiene una altura aproximada de 3 m. Este tramo fue muy afectado por el evento de 1999.

Figura 7.23. Catuche. Cauce aguas arriba del embaulamiento de la Avenida Universidad

Figura 7.24. Catuche. Salida del embaulamiento bajo la Avenida Universidad, (Foto tomada desde Puente Victoria).

Figura 7.25. Catuche. Puente Victoria.

- **Tramo Puente Victoria – Avenida Este 10 (Entre El Conde y San Agustín del Norte)**

La quebrada viene embaulada desde Puente Victoria, atraviesa la Avenida Bolívar, la Avenida Lecuna y sale del embaulamiento en la Avenida Este 10, en el sector El Conde, cerca de la Esquina de Rondón, (Figura 7.26), de donde fluye por un canal rectangular, paralelo a la Avenida Sur 15, entre El Conde y San Agustín del Norte. En zonas aledañas a este tramo se encuentran la Sede de la Policía Técnica Judicial, el Liceo Andrés Bello y el Museo de la Estampa y el Diseño Carlos Cruz Diez y cerca de la Esquina de Rondón un ancianato de la Alcaldía del Municipio Libertador.

- **Tramo Avenida Sur 15 (Entre El Conde y San Agustín del Norte) – Descarga Río Guaire**

Al salir del embaulamiento, la quebrada fluye por un canal de concreto de 4 m de ancho por 2 de alto y 300 m de longitud, paralelo a la Avenida Sur 15, entre El Conde y San Agustín del Norte, (Figura 7.27). Tanto en la margen izquierda como en la derecha se encuentran construcciones consolidadas. Este canal conduce el flujo hacia otro embaulamiento,

(Figura 7.28), que atraviesa la Autopista Francisco Fajardo y permite a la quebrada descargar en el Río Guaire, al lado del antiguo estadium de San Agustín (Figura 7.29).

Figura 7.26. Catuche. Sector El Conde. Salida de embaulamiento en la Avenida Este 10.

Figura 7.27. Catuche. Sector El Conde. Canal a la salida del embaulamiento, Avenida Sur 15.

Figura 7.28. Catuche. Sector El Conde. Entrada al embaulamiento bajo la Autopista Francisco Fajardo

Figura 7.29. Catuche. Descarga al Guaire

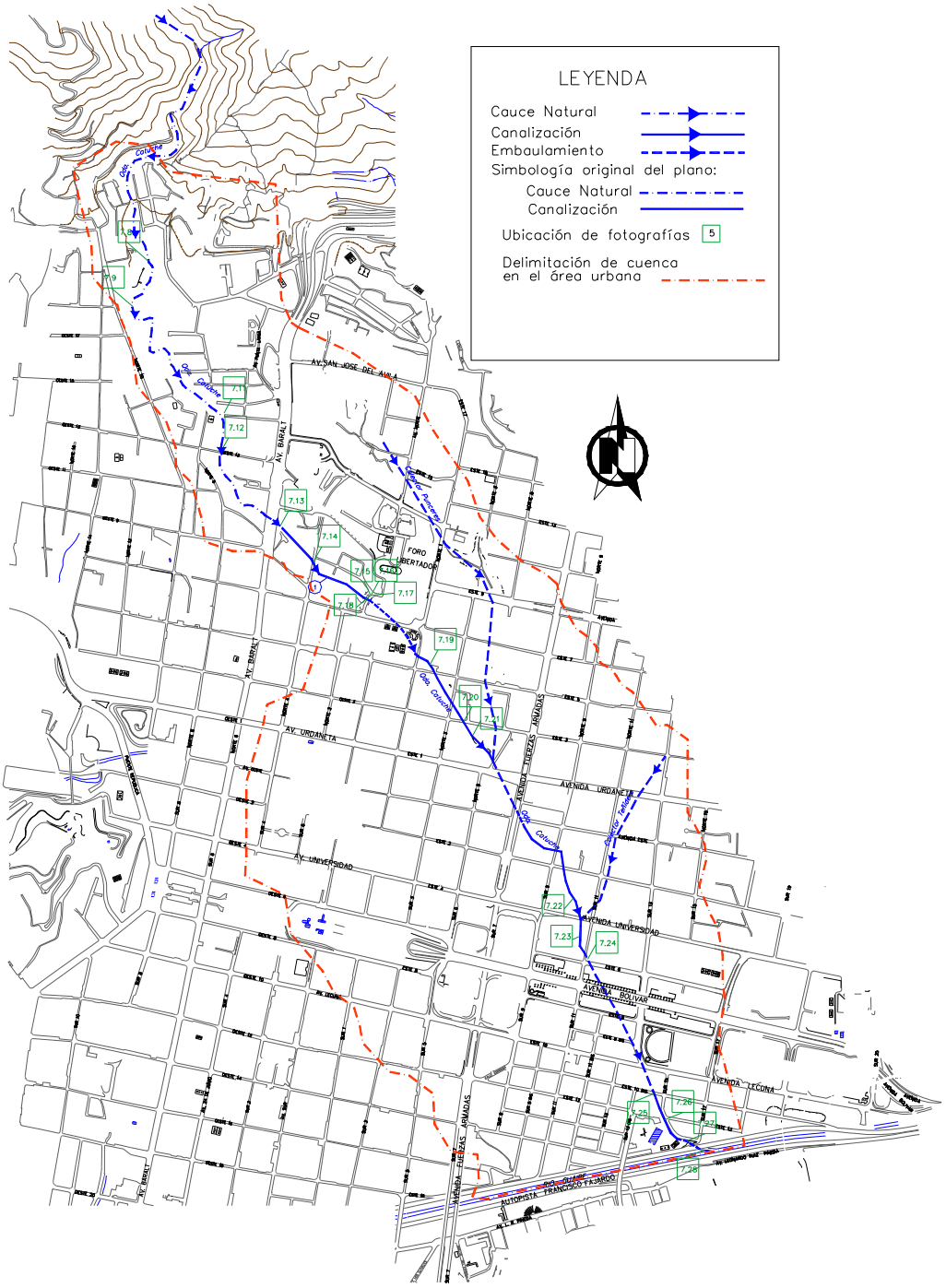


Figura 7.30. Catuche. Ubicación de Fotografías

- **Colector Punceres**

El Colector Punceres corresponde a la antigua Quebrada Aguacatico y fluye por un bóveda hasta la Esquina de Aguacatico, luego continúa en un colector de aguas negras de concreto (BPP, 1992) hasta la Esquina de Punceres. Según el plano " Quebradas Principales del Municipio Libertador", existe un tramo rectangular, desde las inmediaciones del Hospital Vargas hasta la Esquina de Aguacatico, de 1,20 de ancho por 0,80 de alto. En la Esquina de Aguacatico, las dimensiones cambian a 2,40 m de ancho por 2 de alto, hasta la confluencia con Catuche en la Esquina de Punceres.

- **Colector Teñidero**

El Colector Teñidero comienza en la Esquina de Teñidero, luego continúa entre las esquinas de Calero y Desamparados, sigue entre las esquinas de Ánimas y Platanal, luego pasa entre Ferrenquín y La Cruz, hasta descargar en Catuche, entre Puente Victoria y Monroy, (BPP, 1992).

7.2.2 Antecedentes de inundaciones y aludes

El evento más notable y mejor documentado es el de 1999, el cual se describe a continuación.

7.2.2.1 Descripción del evento de 1999

En el año 1999 (15-16 de diciembre) se produjeron inundaciones desvastadoras a lo largo del cauce de la quebrada, en Los Mecedores, Sabana del Blanco, Portillo, Carlos III, La Trilla y Puente Victoria.

Los datos producidos por el USGS a partir del satélite GOES 8 NOAA/NESDIS, reportados en el Estudio sobre el Plan Básico de Prevención de Desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas de JICA, permiten tener una idea de la distribución tanto en el tiempo como en el espacio de las precipitaciones que provocaron el evento de Diciembre 1999. (Los valores absolutos estimados en este estudio parecen en cambio muy bajos y necesitarían ser calibrados con datos efectivamente registrados en tierra como los de Maiquetía)

Las isoyetas resultado del satélite se presentan en la Figura 7.31.

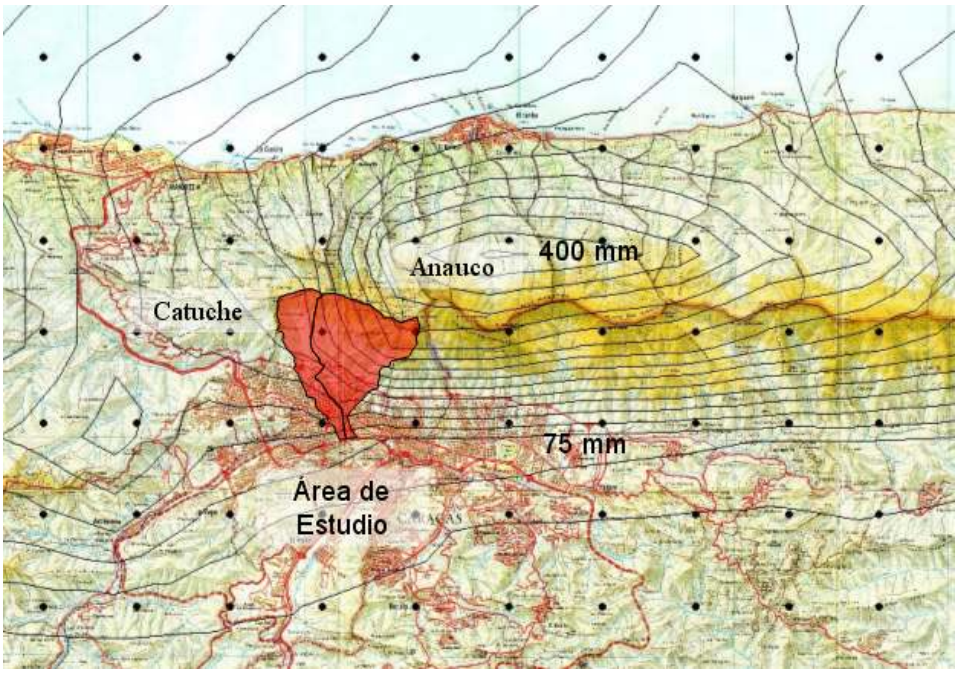


Figura 7.31. Isoyetas representativas de la precipitación de los días 15 y 16 de diciembre de 1999. (Fuente: JICA, 2004).

El valor acumulado y la intensidad de la lluvia analizada se presentan en la Figura 7.32.

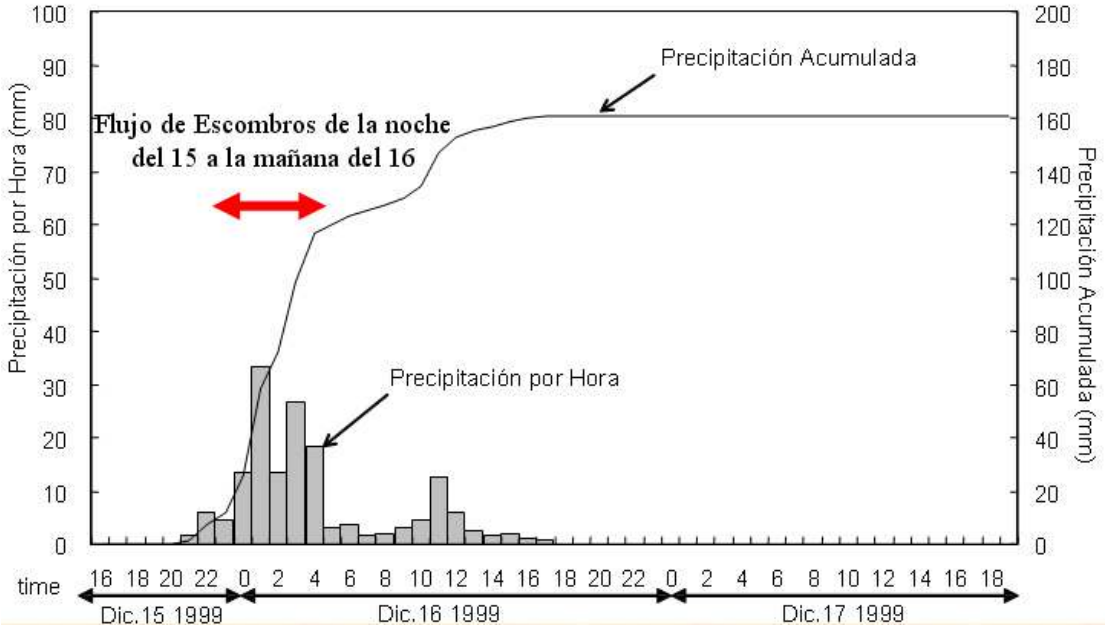


Figura 7.32. Lluvia de los días 15 y 16 de diciembre de 1999 (Fuente: JICA, 2004).

Tal como se puede apreciar en la Figura 7.32 uno de los resultados más interesantes es la existencia de varios picos en las precipitaciones, que pueden haber ocasionado varios picos en los hidrogramas.

Las estructuras hidráulicas que existían para 1999 en Catuche (canalizaciones y embaulamientos) no habían sido diseñadas para un evento de las características del ocurrido (Flujo de barro y escombros). Según el Estudio Hidrológico del Río Guaire de L. Ayala (1982), se estimaba un caudal sin sedimentos de 50 m^3/s para un período de retorno de 100 años en la confluencia con el Guaire. Según estimaciones de Martínez Consultores, el caudal con sedimentos del evento de 1999 pudo variar entre 120 m^3/s y 205 m^3/s.

7.2.2.2 Efectos producidos por el evento de 1999

De las quebradas de la vertiente sur del Ávila, Catuche fue una de las más afectadas por el evento de diciembre 1999, produciéndose a lo largo de su curso pérdida de vidas, heridos, destrucción de viviendas informales y daños considerables en casas y edificios correspondientes a la ciudad formal.

Antes del evento de 1999, existía un dique toma en la parte alta de la cuenca y una pequeña presa de retención de sedimentos al comienzo del barrio Los Mecedores, en el sector conocido como Redoma de La Virgen. Estas obras fueron destruidas por el alud. En su parte media, la quebrada se encontraba embaulada prácticamente en su totalidad, exceptuando unos 300 m después del puente El Millo (calle El Samán de Los Mecedores) y después del Puente Carlos III (Calle Oeste 13 de La Pastora) hasta el Puente El Guanábano. A todo lo largo del curso de la quebrada había casas construidas en las márgenes y sobre los embaulamientos. Durante el evento, todas las casas ubicadas sobre los embaulamientos en este sector fueron arrasadas así como gran parte de las ubicadas en las márgenes. Hasta el presente los embaulamientos no se han reconstruido y el cauce permanece prácticamente en estado natural excepto en el Barrio La Trilla, donde se construyó una canalización de concreto.

El Barrio la Trilla fue la última zona de viviendas gravemente afectada por el evento. Aguas abajo de esta zona, la quebrada se encontraba canalizada y embaulada en buena parte de la ciudad, y en estos sectores se obstruyeron los embaulamientos y se inundaron los sótanos en las zonas aledañas a la quebrada, pero las estructuras no fueron seriamente afectadas.

Algunas viviendas de la Calle Real de Los Mecedores fueron arrasadas por una crecida de la quebrada con piedras, agua y palos, hasta la parte baja del barrio: 200 casas destruidas, 10 vehículos tapiados y 15 personas desaparecidas solo entre la calle El Carmen y la calle Real. A ellas se suman 30 casas arrastradas a la altura del puente Guanábano. En la obstrucción se identifican árboles de 30 metros de largo y de hasta 1,5 metros de diámetro, así como piedras de más de una tonelada.
(Fuente: http://www.pnud.org.ve/archivo/documentos/desastres_naturales)

Según los habitantes de la zona, luego de destruir La Toma (Figura 7.33), el agua se desbordó a la altura del puente El Millo, se desvió por la Calle Real de Los Mecedores (Figura 7.34) y retornó al cauce en la esquina de La Reja (sector Portillo), donde causó numerosos daños a los edificios allí construidos. En las Figuras 7.35 y 7.36 se observan los daños ocurridos en Los Mecedores y en la Figura 7.37 los daños ocurridos en el sector Portillo.

Figura 7.33. Catuche. Daños en el sector La Toma durante el evento de 1999. (Fuente: Martínez Consultores S.A., 1999)

Figura 7.34. Catuche. Barrio Los Mecedores.

Figura 7.35 Catuche. Barrio Los Mecedores. Daños ocurridos en las márgenes de la quebrada por el evento de diciembre de 1999.
(Fuente: Bomberos del Distrito Capital, 2000).

Figura 7.36. Catuche. Marca donde llegó el agua en el evento de 1999 en la Calle Real de Los Mecedores.

Figura 7.37. Catuche. Daños ocurridos en el sector Portillo durante el evento de 1999 (Fuente: Martínez Consultores S.A., 1999).

En la Figura 7.38 se muestran algunos daños causados por el evento de 1999 a la altura del Puente Carlos III y en la Figura 7.39 los causados por el mismo evento en el Barrio La Trilla y Puente El Guanábano.

Figura 7.38. Catuche. Puente Carlos III horas después del evento de 1999. La marca de la creciente alcanzó 7 m aproximadamente sobre el nivel del cauce. (Fuente: Martínez Consultores, 1999)

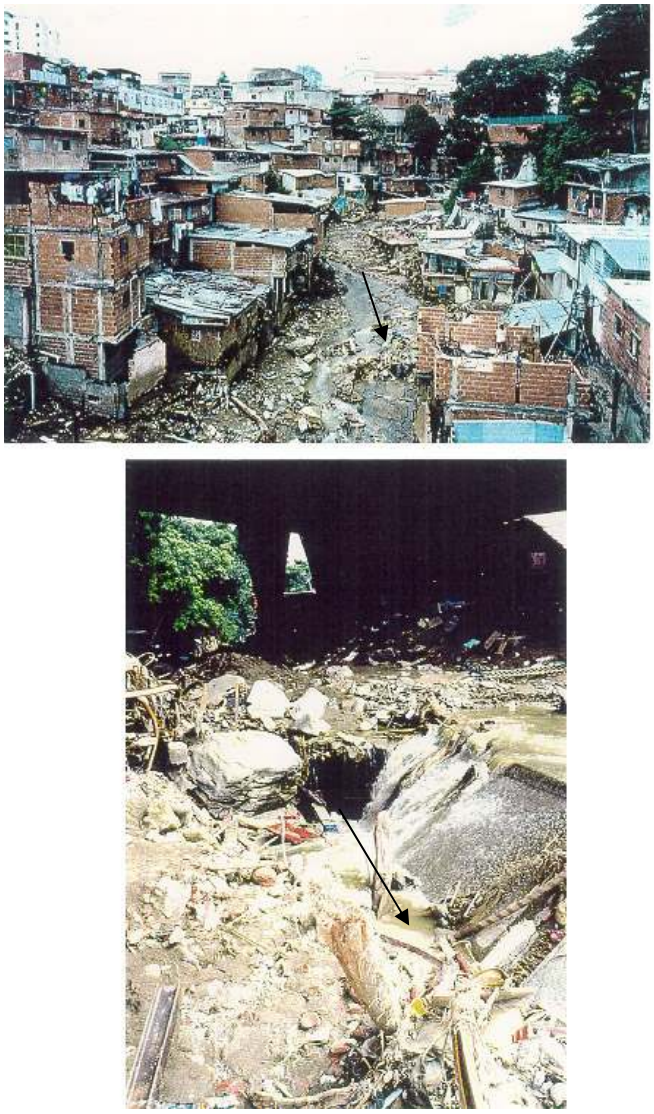


Figura 7.39. Catuche. Cauce en el Barrio La Trilla y el puente El Guanábano, respectivamente, inmediatamente después del evento de diciembre de 1999. (Fuente: Bomberos del Distrito Capital).

En las Figura 7.40 se muestran los daños causados por el evento de 1999 a la altura del Centro Villasmil (Puente Victoria).

Figura 7.40. Daños causados por el evento de 1999 a la altura del Centro Villasmil (Puente Victoria). (Fuente: Martínez Consultores S.A., 1999)

Las destrucciones que se produjeron en la zona urbana alta de Catuche se debieron principalmente a la formación y posterior ruptura de presas naturales formadas por restos vegetales provenientes del área vegetada de El Avila, escombros resultando de la destrucción de la toma y de la presa ubicada aguas arriba, y de la destrucción de las propias viviendas, además de carros y objetos arrastrados por la corriente. La ruptura de estas presas originó olas de gran poder destructivo. El mayor impacto fue recibido por este tramo superior, así que de alguna manera las viviendas informales de Los Mecedores y La Trilla actuaron como diques (Figuras 7.41 y 7.42), reteniendo el flujo de barro y escombros, por lo que se aminoraron los daños en la ciudad formal. Se puede concluir que un objetivo de las obras hidráulicas a construir en la zona será retener en lo posible los sedimentos y escombros antes de su llegada al área urbana, para luego facilitar el tránsito del agua hasta el Río Guaire.

Según información proveniente de vecinos de la zona, estas presas fueron 10 y se ubicaron como sigue:

1. Toma (Presa construida)
2. Final Parque Toma (Presa construida)
3. Pasarela al final de Los Mecedores
4. Millo
5. Calle Medina de Sabana del Blanco (llamada Kinder por los lugareños)
6. Antes de La Ceiba de Catuche
7. Puente Colorado (Después de la Ceiba de Catuche)
8. Esquina de Reja (Frente a los edificios de Portillo)
9. Guanábano (Sector de Esbarrancao)
10. La Trilla

La Figura 7.40 presenta el sitio de la Presa 3. Pueden verse dentro de los círculos algunos restos de la misma.
La Figura 7.41 muestra la Presa 10.

Figura 7.41. Dique natural en el sector Los Mecedores (Fuente: Martínez Consultores S.A., 1999)

Figura 7.42. Dique natural formado por la acumulación de escombros. Sector La Trilla. (Fuente: Martínez Consultores S.A., 1999)

De los diques naturales anteriormente indicados, los que causaron mayor destrucción fueron los 1, 2, 3 y 4. Debido a la Presa 2, el agua se desvió hacia la Calle Real de Los Mecedores y retornó al cauce por la Calle El Kinder de Sabana del Blanco, causando la destrucción casi total de ambos sectores. Sólo entre la calle el Carmen de Los Mecedores y La Calle Real se perdieron 200 casas, hubo 15 vehículos tapiados y 15 personas desaparecidas (PNUD, 2000). En cuanto a la secuencia de los eventos, la información suministrada por testigos presenciales indica que hubo tres grandes olas entre las 9 y las 11 de la noche del día 15 de diciembre; luego pequeñas olas hasta las 3 a.m. del día 16. Las olas causaron la destrucción total de la zona adyacente al río. La narración de algunos sobrevivientes de la tragedia, se presenta a continuación (Narración suministrada por el Arquitecto César Martínez).

"Según Rosaura Gudiño, quién habitaba entre las presas 2 y 3, la primera crecida ocurrió a las 8:30 p.m. del día 15. Ella observó que la Presa 2 se estaba rebosando. A las 10:30 vino una gran ola que llegó hasta la Calle La Toma de Los Mecedores y arrasó con todo.
Según Juvencia Muñoz quién habitaba también entre las presas 2 y 3, la primera crecida ocurrió a las 8.30 p.m. La presa 2 estaba rebosada y el agua se comenzó a represar en la zona de El Millo (Presa 4), a las 11:00 vino una gran ola que llegó hasta la Calle La Toma, destruyendo todo a su paso.
José Arcadio Escalona quién habitaba entre las presas 4 y 5, vió la primera crecida a las 9:00 p.m. y a la misma hora presenció la formación de la Presa Nº 5 en el puente de El Kinder. Debido al represamiento se cayeron algunas casas. A las 10:30 vino una gran ola con palos que parecían misiles.
Mercedes de Oviedo, quién habitaba entre las presas 8 y 9, observó la primera crecida a las 8.30 p.m. con agua que venía desde la Quebrada Catuche y desde la pequeña quebrada que pasa por Sabana del Blanco. Presenció el derrumbe de los puentes peatonales que estaban antes del Puente Carlos III. A las 9:00 vino una gran ola que "se tragó" todas las casas.
La hija de Doris Barreto, quién habitaba entre las presas 9 y 10, debajo del Puente El Guanábano vio la primera crecida a las 9:00 p.m. Observó como se cayeron algunas casas. A las 10:30 vino una gran ola que destruyó todo.
Yudelquis Sánchez, quién habitaba entre la presas 10 y el Foro Libertador en el Sector La Trilla a la orilla del cauce, vio la primera crecida a las 9.30 p.m. cuando las aguas pasaban sobre el embaulamiento. A las 10:30 vino una gran ola destructiva que llegó hasta el piso 2 donde ella habita (9 m sobre el cauce). Hubo un represamiento en La Trilla y luego olas sucesivas hasta las 3 a.m. del día 16, cando empezó a bajar el nivel del agua."
Bajo el Puente El Guanábano desaparecieron todas las casas y el cauce alcanzó un ancho de 40 m aproximadamente. Poco antes de 1999 se había embaulado la quebrada en este sector, pero sin embargo durante el evento de 1999, el agua fluyó superficialmente y arrastró consigo escombros, troncos y rocas que se depositaron en este sector.
Según testigos presenciales, el embaulamiento de La Trilla explotó y el dique natural formado entre las paredes de las viviendas construidas sobre el embaulamiento propició la inundación de las calles aledañas y de los sótanos de la Torre La Prensa.
Otro hecho que merece la pena ser destacado es el comportamiento del Puente Carlos III, el cual no colapsó pero se obstruyó casi hasta su losa, trabajando a presión. Informan testigos que se asemejaba al extremo de una manguera con un chorro a una velocidad de gran magnitud que socavó el lecho aguas abajo y produjo más material de arrastre.

Si bien como se ha dicho anteriormente la mayor destrucción y pérdidas humanas ocurrieron entre Los Mecedores y La Trilla, aguas abajo de La Trilla también hubo inundaciones, como se explica a continuación:
Aguas abajo del puente Abanico hay un edificio cuyas bases están dentro de la quebrada. Este edificio sufrió graves daños estructurales y debió ser desalojado. Puente Victoria (Este 6) se obstruyó con desechos vegetales, mobiliario e incluso automóviles, lo que ocasionó el desbordamiento de la quebrada y la inundación de los sótanos del edificio Centro Villasmil y los sótanos de la sede de la CICPC, anteriormente PTJ. En Puente Yánez (Sur 9) hubo inundaciones en sótanos de varios edificios aledaños a la quebrada.

La mancha de inundación producida por el evento de 1999, desde Mecedores hasta La Trilla se presenta en la Figura 7.43. Las barras representan las presas y los puntos algunas marcas de agua medidas luego del evento. El plano base usado es previo al evento.

La Figura 7.44 muestra en color rojo las viviendas destruidas durante el evento de 1999. Nótese que estaban construidas sobre el cauce y sus márgenes.

Es importante hacer notar que aguas abajo de la Avenida Bolívar no hubo mayor problema porque los desechos quedaron atrapados en Puente Victoria, actuando como un tapón que hizo que el desbordamiento ocurriera allí y la propia avenida actuó como represa, impidiendo que el agua proveniente del desbordamiento de Puente Victoria fluyera hacia aguas abajo. Por tanto las zonas de San Agustín del Norte y El Conde no sufrieron daños.

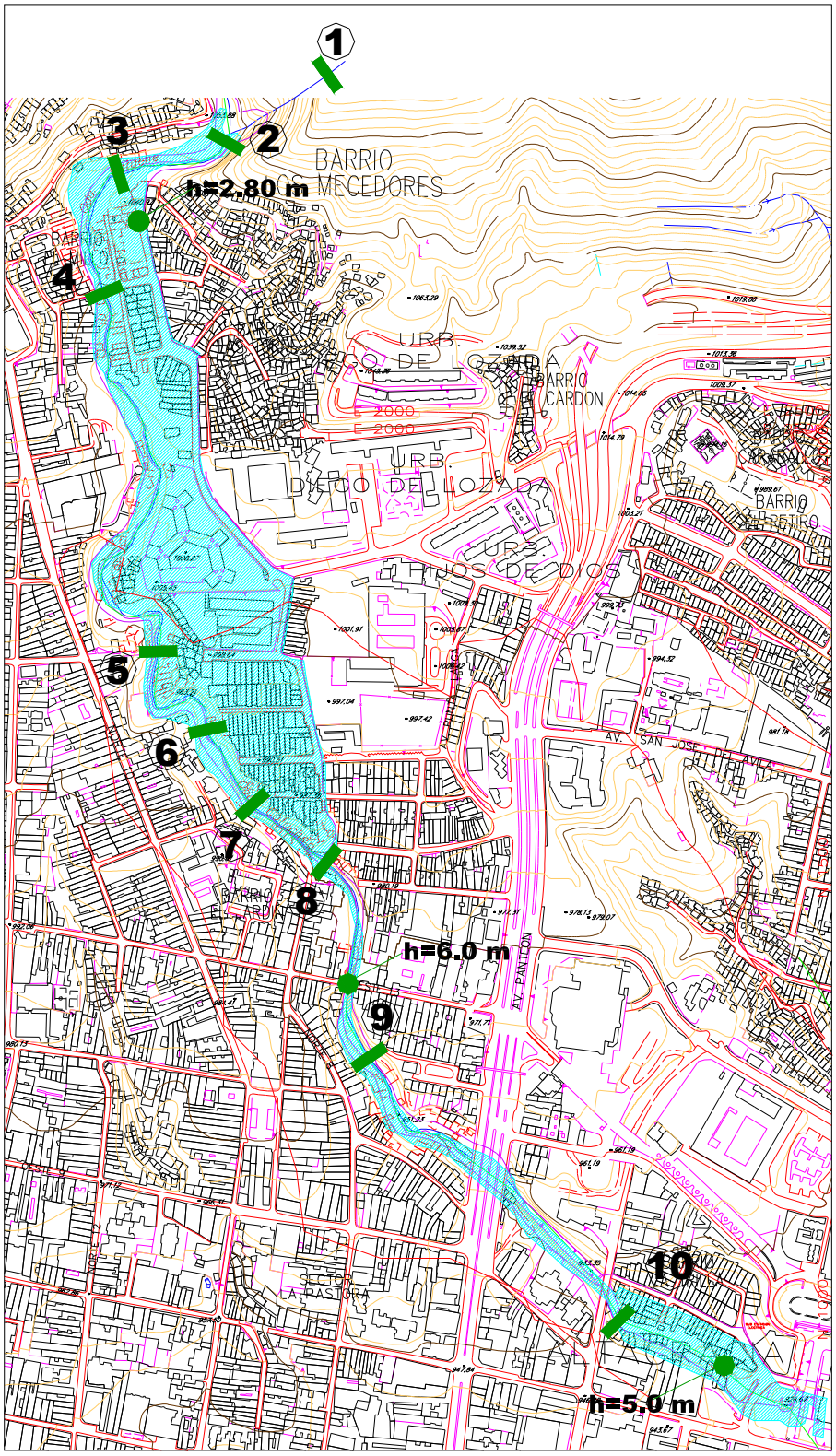


Figura 7.43. Mancha de Inundación producida por el evento de 1999 (Fuente: Arquitecto César Martín).

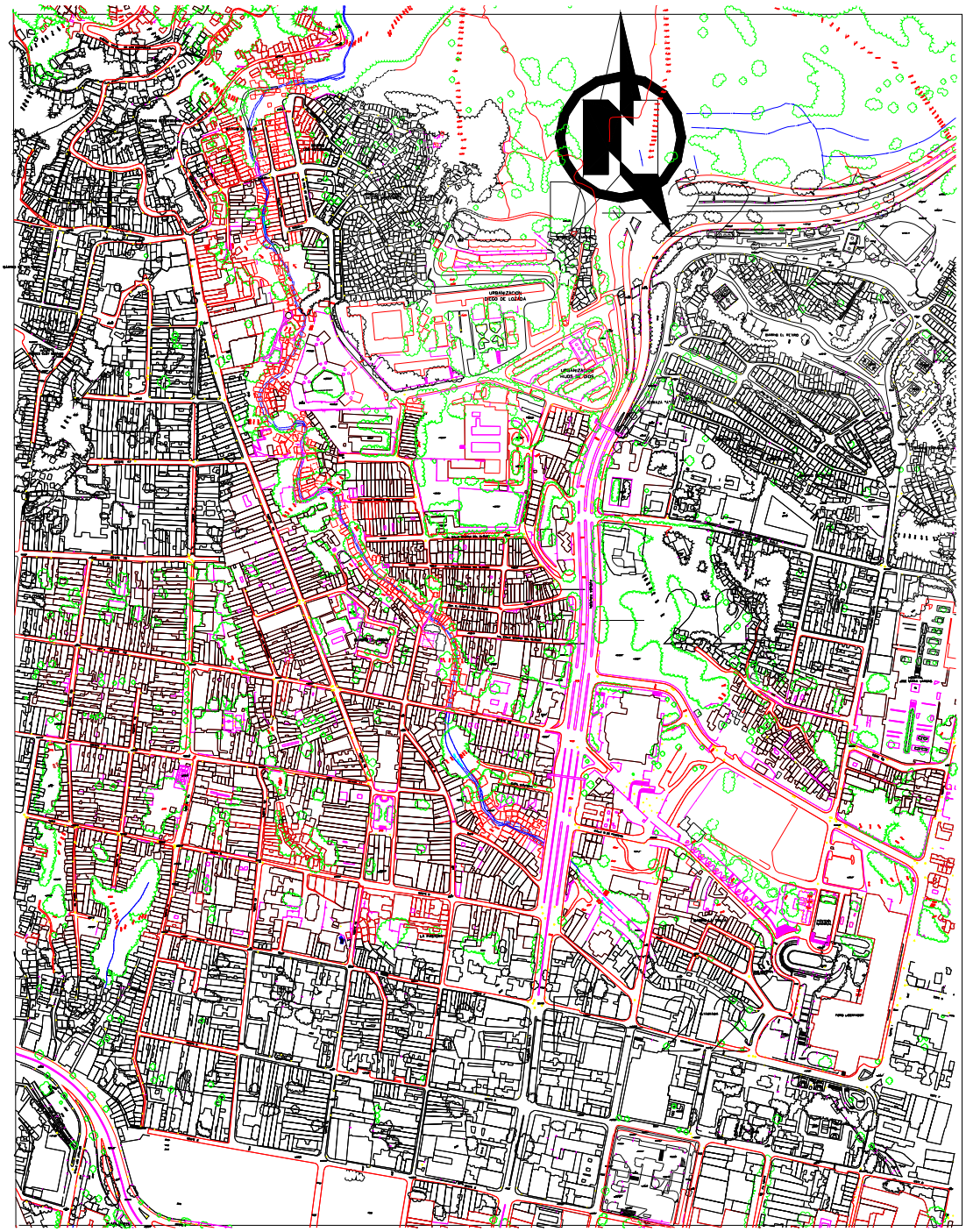


Figura 7.44. Catuche. Casas destruidas por el evento de 1999

7.2.3 Resumen de puntos críticos

Se resumen a continuación los puntos considerados como críticos:

(Se hace notar que en general la presencia de embaulamientos aguas abajo de canales abiertos representa la posibilidad de una obstrucción por la acumulación de escombros a la entrada de los mismos).

1. Puente El Millo. Este es un puente de baja altura
2. Puente Carlos III.
3. Embaulamiento en el Puente El Guanábano. Este embaulamiento representa un estrechamiento del cauce, además de estar lleno de desechos sólidos.
4. Entrada al embaulamiento en el Puente La Trinidad. Se encuentra en muy malas condiciones de mantenimiento
5. Entrada al embaulamiento en el Boulevard Libertador.
6. Puente Abanico. Sus pilas representan una obstrucción en el cauce
7. Edificio en medio del cauce, aguas abajo de Puente Abanico.
8. Entrada al embaulamiento aguas arriba de la Avenida Urdaneta.
9. Entrada al embaulamiento aguas arriba de la Avenida Universidad.
10. Paso bajo la Avenida Bolívar (punto bajo)
11. Entrada al embaulamiento en Puente Victoria. Este puente es de poca altura, además de representar la entrada a un embaulamiento.
12. Entrada al embaulamiento bajo la Autopista Francisco Fajardo.

Algunos factores agravan las condiciones críticas descritas:

- las canalizaciones existentes se encuentran en muy malas condiciones de mantenimiento. Se advierte la presencia de desechos sólidos en el cauce y viviendas informales en el curso de la quebrada, desde Los Mecedores hasta el Puente La Trinidad.
- en las zonas desvastadas por el evento de 1999 las viviendas han sido reconstruidas en las márgenes de la quebrada. Los embaulamientos que existían antes de 1999 no se reconstruyeron, excepto el que se encuentra bajo el Puente El Guanábano, donde además se han construido nuevas viviendas sobre dicho embaucamiento
- . - las viviendas formales no respetan tampoco el retiro legal

La Figura 7.45 muestra la ubicación en un plano del sitio de estudio de los puntos críticos y de los antecedentes de inundaciones. Los embaulamientos cortos para el paso de las calles no se indicaron.

Figura 7.45 Catuche. Ubicación de puntos críticos y antecedentes de inundaciones

7.3 Simulación de inundaciones y aludes

7.3.1 Condiciones Generales de la Simulación

La simulación se ha realizado para 10, 100 y 500 años de periodo de retorno con datos provenientes de un plano a escala 1:5000 con topografía del año 2000. Los hidrogramas y hietogramas utilizados provienen del estudio hidrológico. Los hietogramas corresponden a la Estación Cagigal.

Se consideraron las siguientes condiciones de simulación en todos los periodos de retorno. (Cualquier condición diferente será explicada en el análisis particular de cada periodo de retorno).

Los valores iniciales usados para la *n* de Manning en todas las simulaciones son los siguientes:

- *n* de Manning para calles:=0,28
- *n* de Manning para la planicie:=0,65
- *n* de Manning para los canales: Variable según se indica en la Tabla 7.4

Se consideró una reducción por área (Parámetro ARF) de 0.40 en cada celda de las que representan la planicie. Este valor corresponde a una concentración moderada de edificaciones.
El factor de reducción de ancho de la celda usado, (Parámetro WRF) es de 0.20 en toda la planicie, excepto en las celdas que bordean las calles donde es de 0.80.
Solamente se simularon vías que son susceptibles de conducir flujo en caso de una inundación. Las calles y avenidas simuladas, comunes a todos los periodos de retorno son las siguientes:

- Avenida Bolívar
- Avenida Este 6
- Avenida Universidad y México
- Avenida Este 2
- Avenida Urdaneta
- Avenida Este 3
- Avenida Este
- Avenida Este 5
- Avenida Sur 17
- Calle Real de Los Mecedores y callejón aledaño (Solamente para escenarios con 100 y 500 años de periodo de retorno).

Los puentes simulados son los siguientes:

- Millo
- Carlos III

- Cuño
- Trinidad (Trilla)
- Abanico
- Este2

Las alcantarillas simuladas son las siguientes:

- Avenida Urdaneta a Avenida Fuerzas Armadas
- Puente Victoria a San Agustín del Norte
- Alcantarilla antes de la descarga al Río Guaire.

	Tramo	Tipo		Dimensiones	Pendiente (%)	n
1	TOMA(Redoma de La Virgen)	Canal natural Trapezoidal		B=15m, hizq=15 m, hder=8m	8	0.1
2	Mecedores-100 m a-arriba Carlos III	Canal natural trapezoidal		B=4m, hizq=2 m, hder=2.0m	6.5	0.03
3	100 m a-arriba Carlos III-Carlos III	Canal de concreto		4.50x1.50	5	0.025
4	Puente Carlos III-Guanábano	Canal Natural rectangular		5x2	5	0.03
5	Guanábano	Embaulamiento 2.60x3x25 Canal 2.60x3x9 Embaulamiento 2.60x3x50		2.60x3.00	5	0.025
6	Guanábano-Cuño	Canal Natural Canal de Concreto (ambos rectangulares)	100 m 100 m	6x2	5	0.025
7	Cuño-Puente La Trinidad	Canal de concreto	200 m	4.50x1.50	5	0.025
8	Paso Puente La Trinidad	Embaulamiento rectangular	10 m	6 x 6	5	0.030
9	Canal después de Puente La Ttrinidad-Boulevard Libertador	Canal Natural	50 m	5x6	5	0.030
10	Boulevard Libertador-Aguas arriba de las esquinas Santa Bárbara y Maturín	Embaulamiento rectangular		4x3	5	0.025
11	Puente Maturín-Puente Abanico	Canal de concreto	100 m	2x1	5	0.025
12	Puente Abanico-Esquina de Punceres	Canal de concreto		2x1	5	0.025
13	Avenida Urdaneta (Punceres)-Avenida Fuerzas Armadas (Romualda)	Embaulamiento		4x3	5	0.025
14	Avenida Fzas Armadas-Avenida Sur 9 o Este 2 (Pte Yanez)	Canal de concreto		3x2	1.8	0.025
15	Avenida Sur 9 o Este 2 (Pte Yanez)-Avenida Universidad	Canal de concreto		2x1	1.8	0.025
16	Avenida Universidad	Embaulamiento		2x3	1.8	0.025
17	Avenida Universidad-Puente Victoria	Canal de concreto		2x1	1.8	0.025
18	Puente Victoria-Avenida Este 10	Embaulamiento		2x3	1.8	0.025
19	Tramo Avenida Este-10	Canal de concreto	300	4x2	1.8	0.017
20	Avenida Este 10-Guaire	Embaulamiento		4x2	1.8	0.017

Tabla 7.4. Catuche. Características por tramo

Las calles simuladas se presentan en la Figura 7.46.

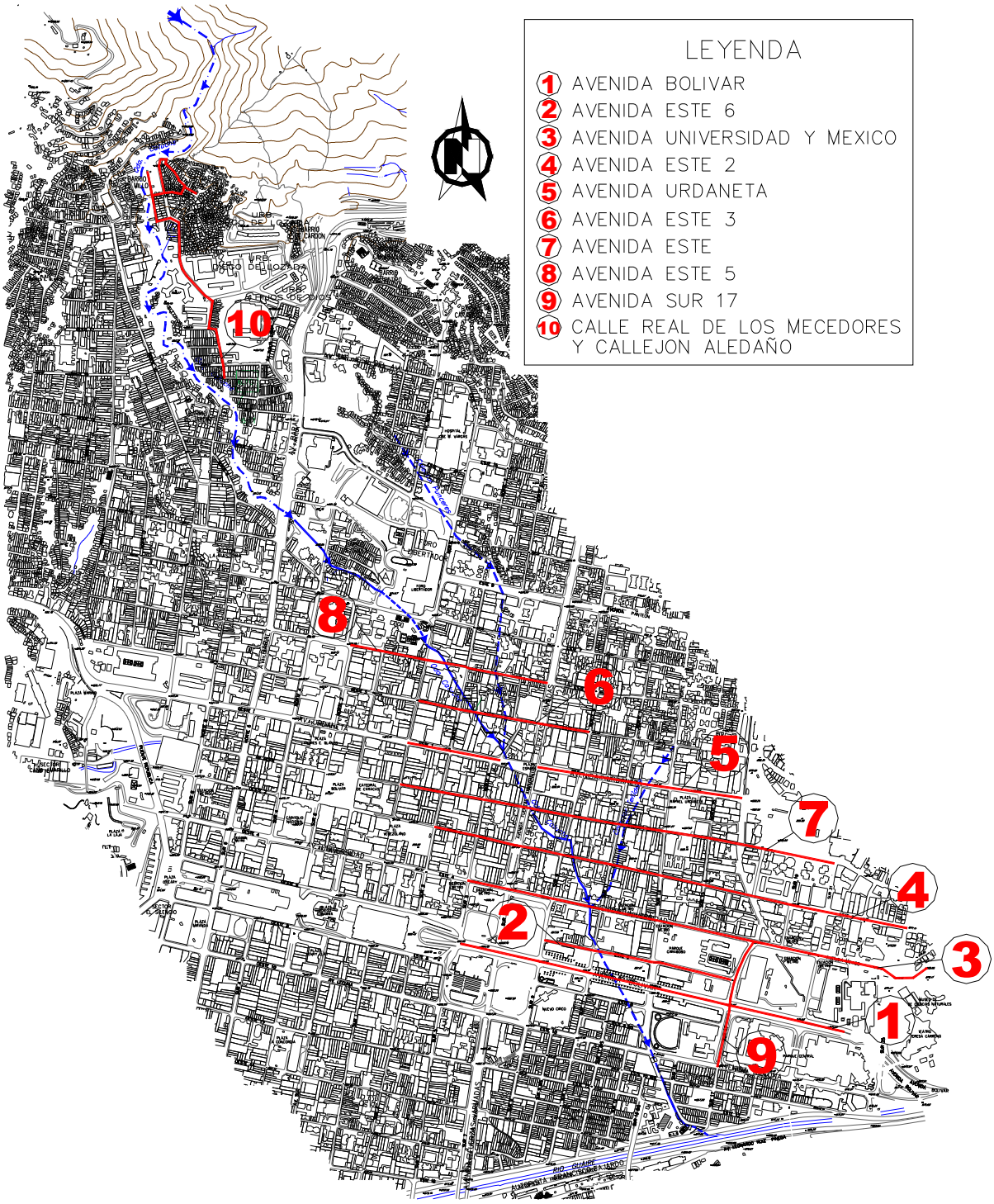


Figura 7.46. Catuche. Calles simuladas

7.3.2 Simulación de aludes para un evento con precipitaciones de Tr=10 años.

7.3.2.1 Condiciones de la simulación

La simulación para un evento con hidrograma de crecientes de Tr=10 años se realizó considerando lluvia sobre toda la cuenca. El pico del hidrograma 20.21 m^3/s y el Bulking Factor de 0.20.

Algunos parámetros y resultados de simulación para Tr=10 años, se presentan en la Tabla 7.5.

QUEBRADA		**Catuche**	
Fecha		**Junio 2004**	
Escenario		**10 años**	
Tamaño celda		30 m	30 m
Número celdas		7377	
Área simulada	km^2	6.6	
n Manning	canal	Variable	
	planicie inundación	Variable	
puentes		6	
alcantarillas		3	
reducción de área		0.4	
calles		9	
caudal pico	m^3/s	20.21	
Lámina de agua	mm	85	
Bulking Factor		0.2	
Volumen Hidrograma	m^3	311.024	
Volumen de lluvia	m^3	522.862	
Volumen de hidrograma+lluvia	m^3	703980.13	
Otros parámetros hidráulicos	dt	0.02 s - 30 s	

Tabla 7.5. Catuche. Tr=10 años, parámetros y resultados de la simulación.

El hidrograma usado para el escenario de hidrograma de crecientes de Tr= 10 años se presenta en la Figura 7.47.

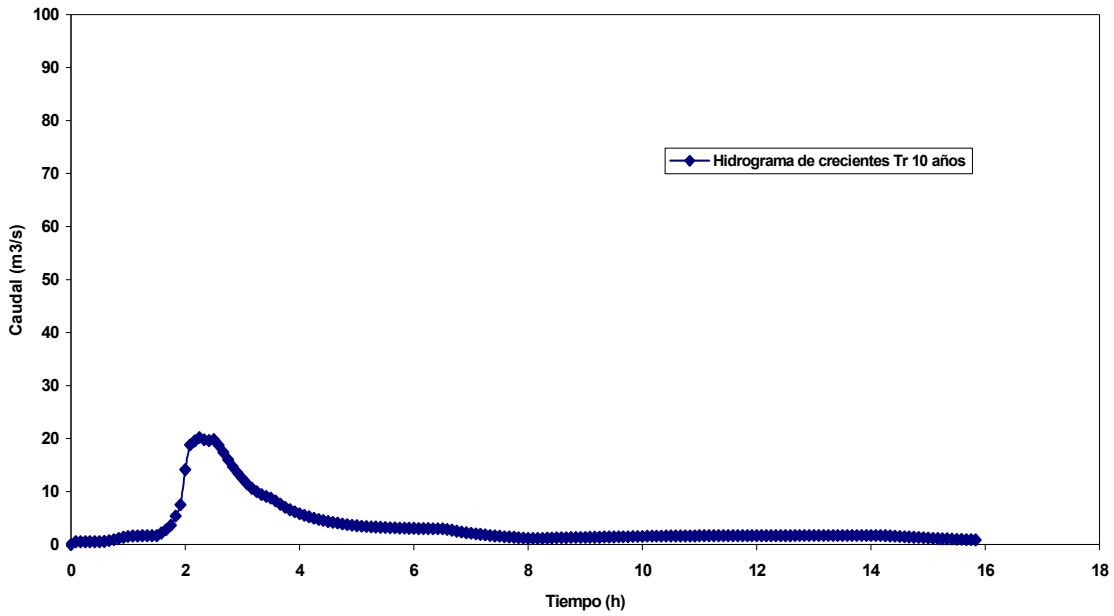


Figura 7.47. Catuche. Tr=10 años. Hidrograma de crecientes

El hietograma usado para 10 años de período de retorno se presenta en la Figura 7.48

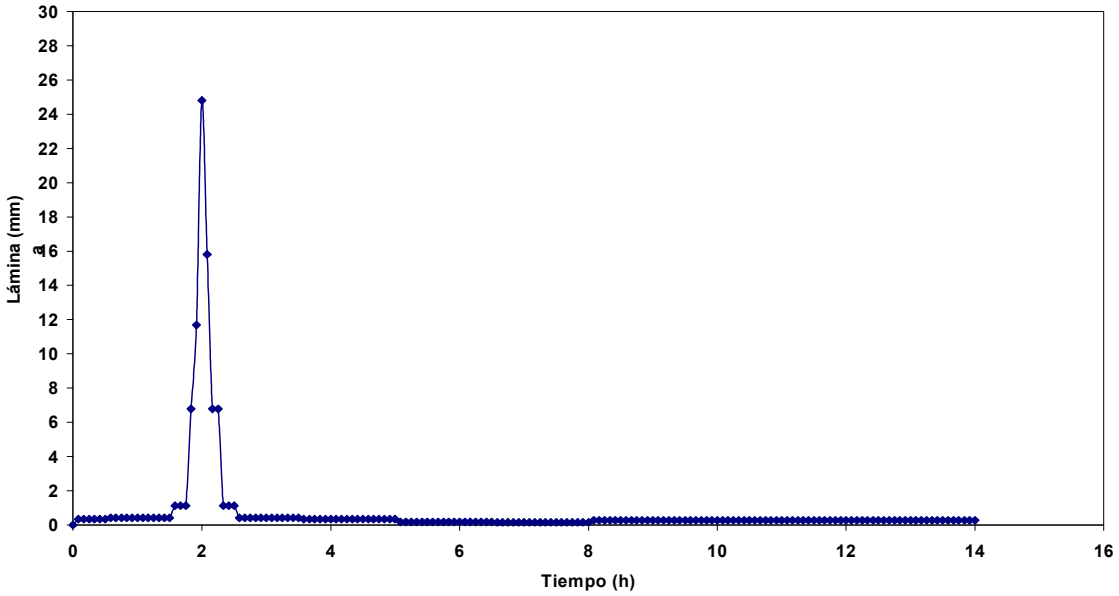


Figura 7.48. Catuche. Hietograma Tr=10 años.

Las calles, puentes, alcantarillas y otros parámetros de simulación son los indicados en el ítem 7.3.1 (Condiciones Generales de Simulación).

7.3.2.2 Resultados

Los resultados de la simulación indican que no hay desbordamiento y las profundidades de agua fuera del cauce de la quebrada son efecto aislado de la lluvia directa. Las profundidades máximas en el canal son de 2.5 m. En la planicie estos valores son en general de 0.5 m, con valores puntuales altos (hasta 6 m) hacia el oeste del cauce. Estos valores corresponden al sector Teñidero, donde existe una zona baja por donde pasa el colector del mismo nombre. Las velocidades en el canal oscilan entre 2.5 y 7 m/s y en la planicie entre 0.5 y 2.5, con una celda de 5 m/s, correspondiente a la Quebrada Punceres (actualmente colector Punceres). Los valores altos de profundidad y velocidad hacia el oeste del cauce corresponden al efecto de la lluvia en la Quebrada Caroata. Los valores de velocidades y profundidades máximas se presentan en las Figuras 7.49 y 7.50, respectivamente.

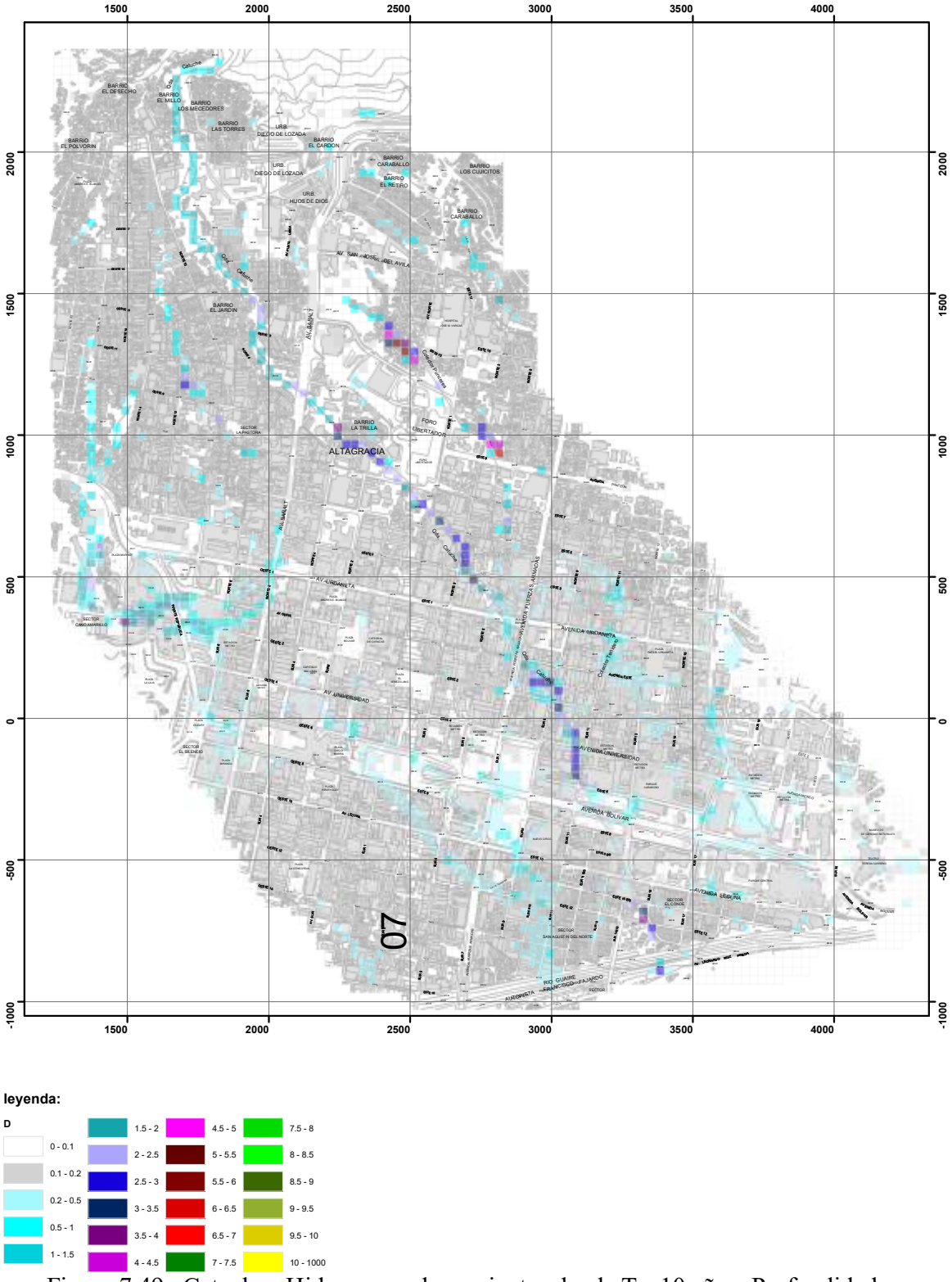


Figura 7.49. Catuche. Hidrograma de crecientes de de Tr=10 años. Profundidades Máximas.

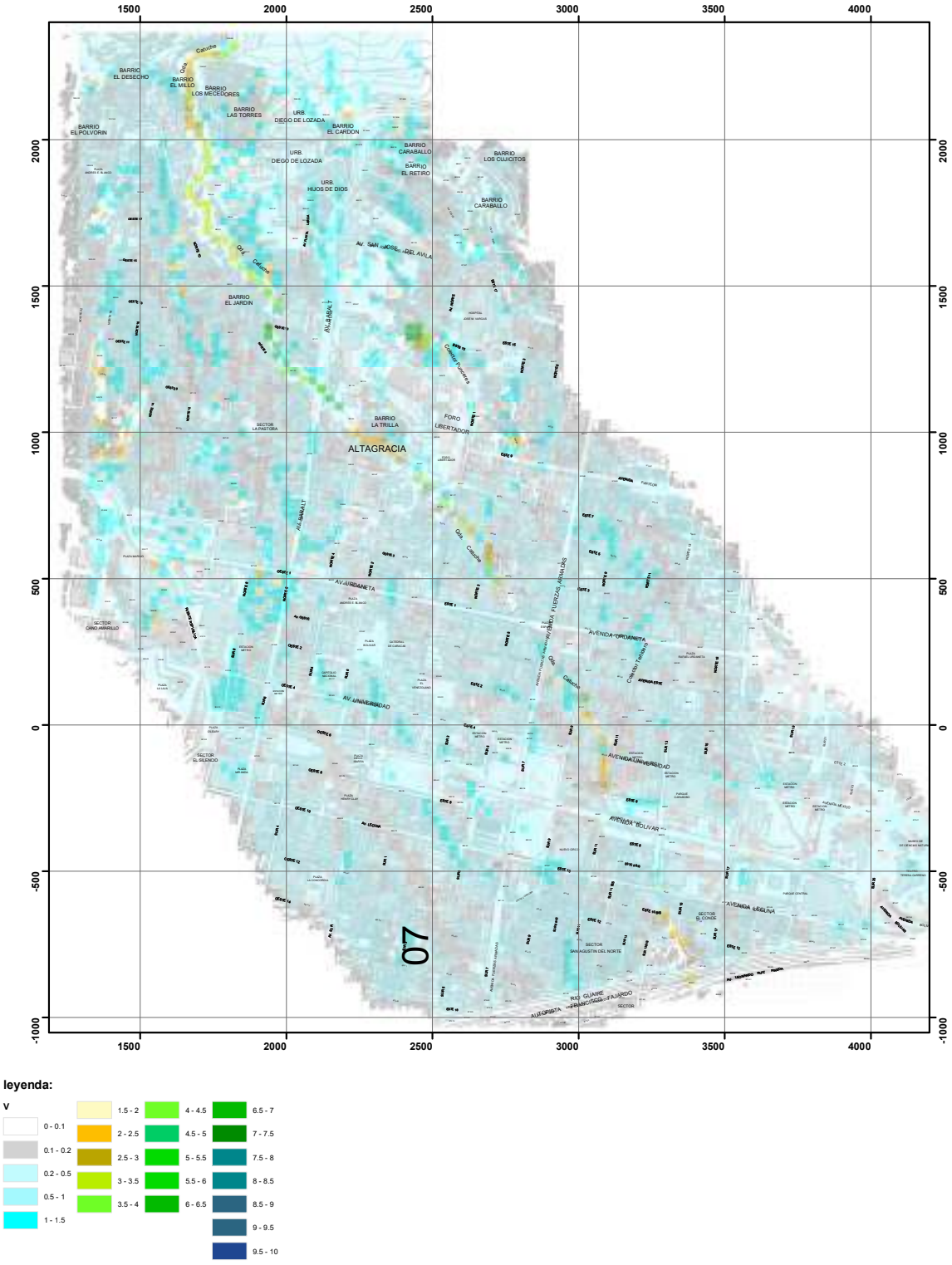


Figura 7.50. Catuche. Hidrograma de crecientes de Tr=10 años. Velocidades Máximas.

7.3.3 Simulación de aludes para un hidrograma de crecientes de Tr= 100 años

7.3.3.1 Condiciones de la simulación

Para la simulación de un evento con un hidrograma de crecientes de Tr=100 años, el pico hidrograma es de 59.08 m^3/s y el de caudal total de 77.7 m^3/s, con una concentración volumétrica de sedimentos que varía entre 0.20 y 0.25.

Los parámetros y resultados de simulación, se presentan en la Tabla 7.6.

QUEBRADA		**Catuche**
Fecha		**Junio 2004**
Escenario		**10 años**
Tamaño celda		30 m
Número celdas		7377
Área simulada	km^2	6.6
n Manning	canal	Variable
	planicie inundación	Variable
puentes		6
alcantarillas		3
reducción de área		0.4
calles		10
caudal pico	m^3/s	59.08
Lámina de agua	mm	123.28
Cv		0.2-0.25
Volumen hidrograma	m^3	311024.03
Volumen de lluvia	m^3	757801.25
Volumen de sedimentos	m^3	90456.57
Volumen total que ingresa al sistema	m^3	1159281.85
Otros parámetros hidráulicos	dt	0.02 s - 30 s

Tabla 7.6. Catuche. Tr=100 años. Algunos parámetros y resultados de la simulación.

Los hidrogramas, de crecientes y total, así como la concentración volumétrica de sedimentos, se presentan en la Figura 7.51.

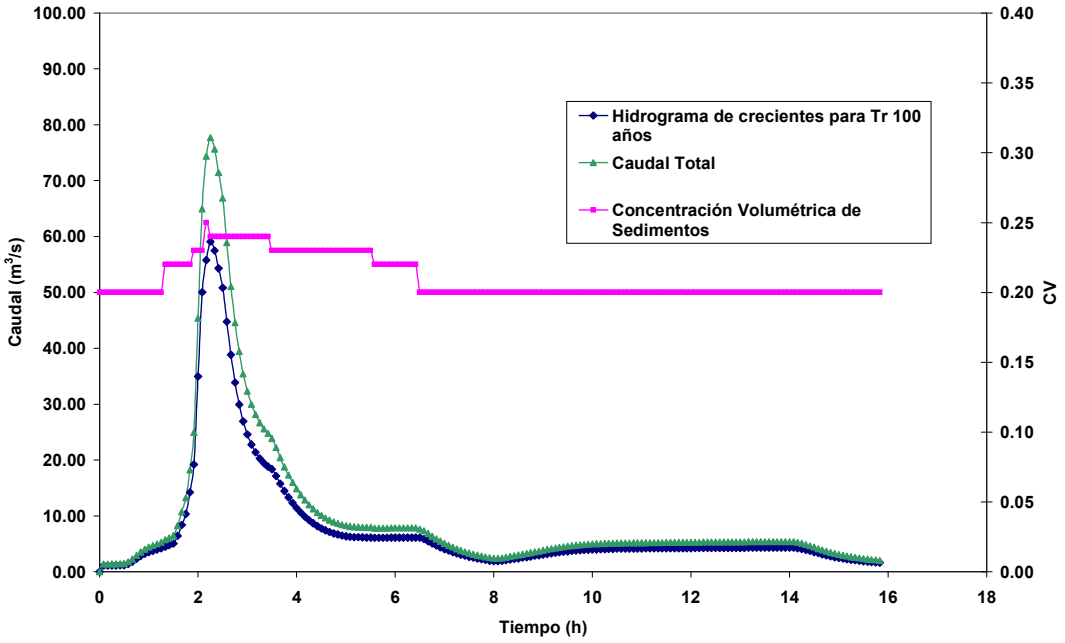


Figura 7.51. Catuche. Hidrograma de crecientes de Tr=100 años, hidrograma total y concentración volumétrica de sedimentos.

El hietograma de 100 años de período de retorno se presenta en la Figura 7.52.

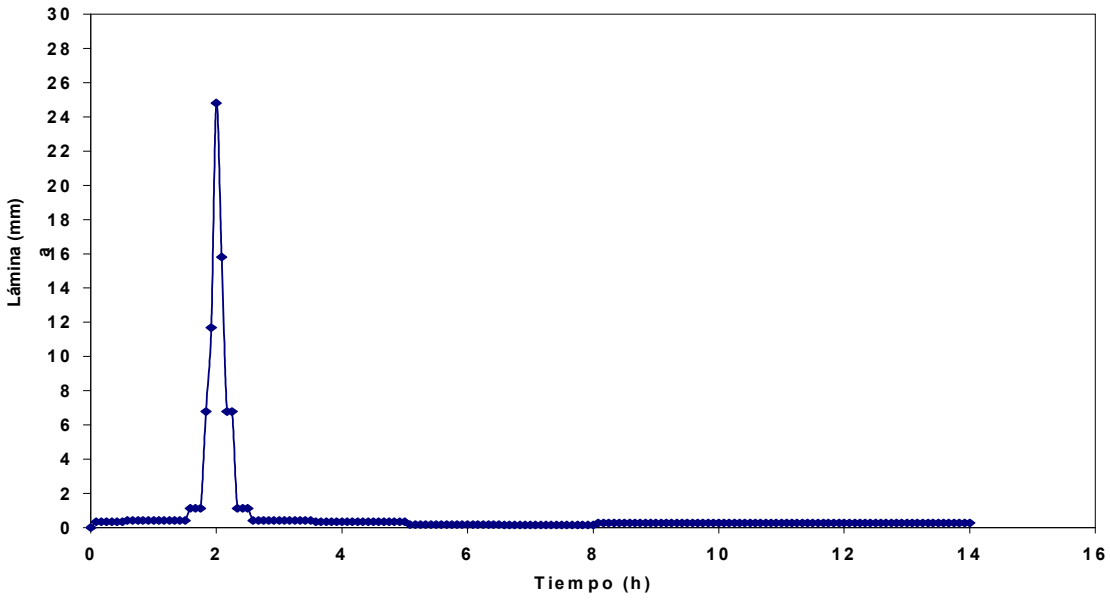


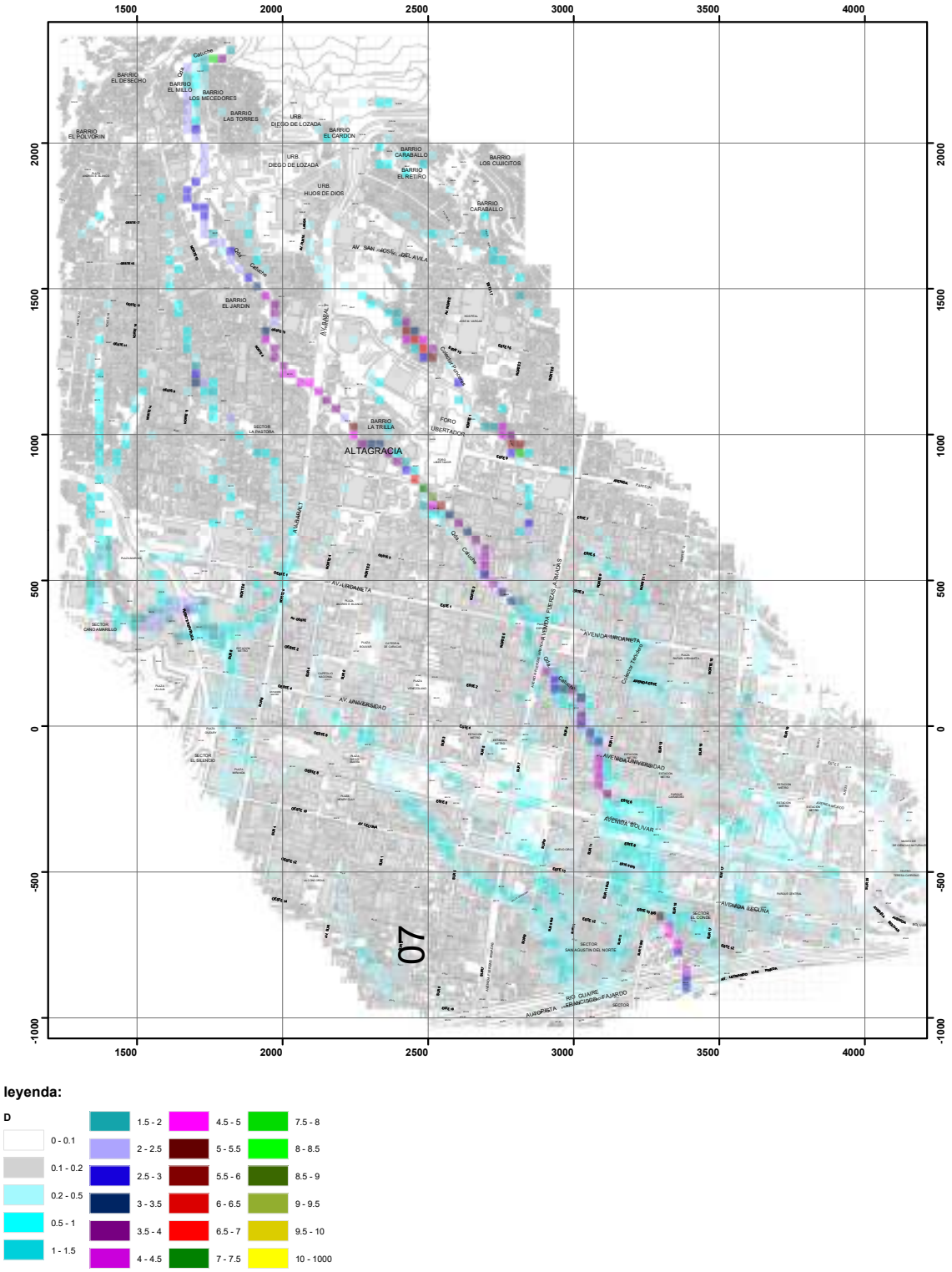
Figura 7.52. Catuche. Hietograma de Tr=100.

Los puentes, alcantarillas y otros parámetros de simulación son los indicados en el ítem 7.3.1 (Condiciones Generales de Simulación). En este caso se considera totalmente obstruida la alcantarilla que va de la Avenida Urdaneta a la Avenida Fuerzas Armadas y la que va de Puente Victoria hasta El Conde. En este periodo de retorno se simuló además la Calle Real de Los Mecedores y un callejón perpendicular a ésta, ya que al incluir en la simulación diques en la Redoma de La Virgen y en el Millo, el flujo se desvía hacia estas calles, como ocurrió en el año 1999.

7.3.3.2 Resultados

En el canal las profundidades oscilan entre 2 m y 9.0 m., con un valor de 7 m a la altura del Barrio Los Mecedores, y de 9 m justo aguas abajo del Puente La Trinidad (Barrio La Trilla).
Se produce un desbordamiento al final del canal antes de la alcantarilla que va de la Avenida Urdaneta a la Avenida Fuerzas Armadas y en el que va hasta Puente Victoria. En la planicie las profundidades alcanzan valores máximos de 8 m. Los valores mayores de 2 m se presentan en Los Mecedores y en el Colector Punceres. También hay un valor puntual de 5 m aguas abajo del Puente La Trinidad. Las velocidades en el canal oscilan entre 2 y 3 m/s y en la planicie entre 0.5 y 5 m/s. Los valores mayores a 2 m/s corresponden al sector Los Mecedores.

La representación gráfica de las profundidades y velocidades máximas se presentan en las figuras 7.53 y 7.54, respectivamente.

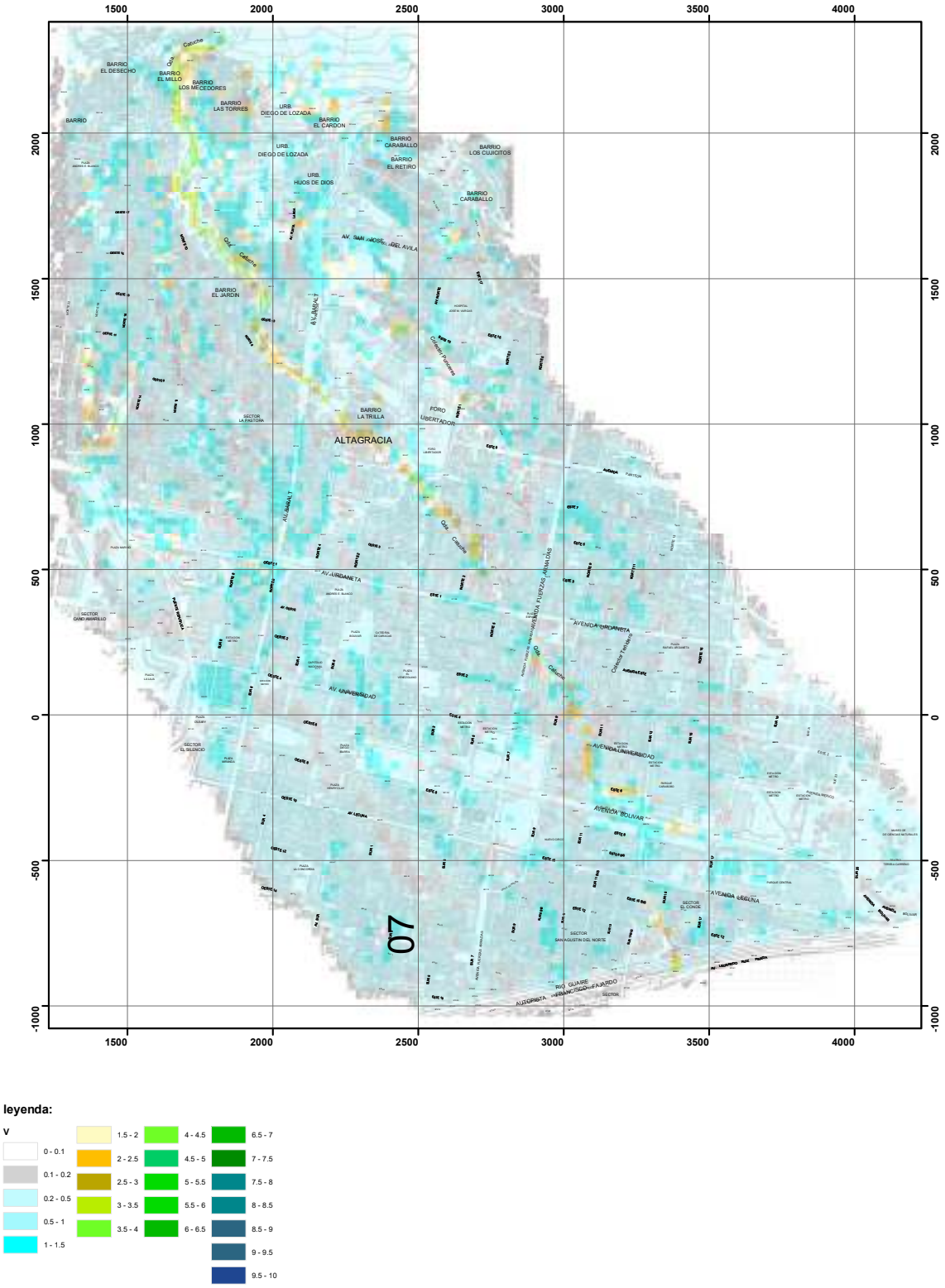


leyenda:

D

0 - 0.1	1.5 - 2	4.5 - 5	7.5 - 8
0.1 - 0.2	2 - 2.5	5 - 5.5	8 - 8.5
0.2 - 0.5	2.5 - 3	5.5 - 6	8.5 - 9
0.5 - 1	3 - 3.5	6 - 6.5	9 - 9.5
1 - 1.5	3.5 - 4	6.5 - 7	9.5 - 10
	4 - 4.5	7 - 7.5	10 - 1000

Figura 7.53. Catuche. Profundidades Máximas para un hidrograma de crecientes de Tr=100 años.



leyenda:

v

0 - 0.1	1.5 - 2	4 - 4.5	6.5 - 7
0.1 - 0.2	2 - 2.5	4.5 - 5	7 - 7.5
0.2 - 0.5	2.5 - 3	5 - 5.5	7.5 - 8
0.5 - 1	3 - 3.5	5.5 - 6	8 - 8.5
1 - 1.5	3.5 - 4	6 - 6.5	8.5 - 9
			9 - 9.5
			9.5 - 10

Figura 7.54. Catuche. Velocidades Máxima para un hidrograma de crecientes de Tr=100 años.

7.3.4 Simulación de aludes para un hidrograma de crecientes de Tr = 500 años

7.3.4.1 Condiciones de la simulación

Para la simulación de Tr=500 años el pico del hidrograma de crecientes es de 87.87 m^3/s con una concentración volumétrica de sedimentos que varía entre 0.20 y 0.35. El caudal total es de 131.6 m^3/s.

Los parámetros y resultados de simulación para Tr=500 años, se presentan en la Tabla 7.7.

QUEBRADA		**Catuche**
Fecha		**Junio 2004**
Escenario		**10 años**
Tamaño celda		30 m
Número celdas		7377
Área simulada	km^2	6.6
n Manning	canal	Variable
	planicie inundación	Variable
puentes		6
alcantarillas		3
reducción de área		0.4
calles		10
caudal pico	m^3/s	87.87
Lámina de agua	mm	148.16
Cv		0.2-0.35
Volumen hidrograma	m^3	450064.10
Volumen de lluvia	m^3	910738.08
Volumen de sedimentos	m^3	170057.4
Volumen total que ingresa al sistema	m^3	1530859.62
Otros parámetros hidráulicos	dt	0.02 s - 30 s

Tabla. 7.7. Catuche. Tr=500 años. Algunos parámetros y resultados de la simulación.

Los hidrogramas, de crecientes y total, así como la concentración volumétrica de sedimentos, se presentan en la Figura 7.55.

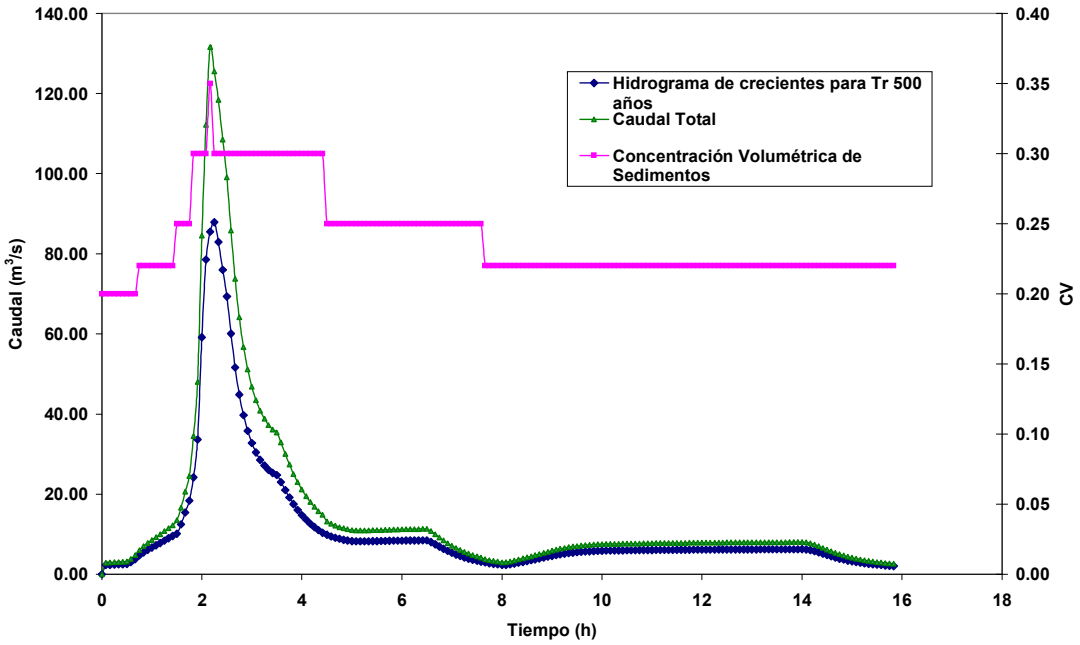


Figura 7.55. Catuche. Hidrograma de crecientes de Tr=500 años, hidrograma total y concentración volumétrica de sedimentos

El hietograma de Tr= 500 años se presenta en la Figura 7.56.

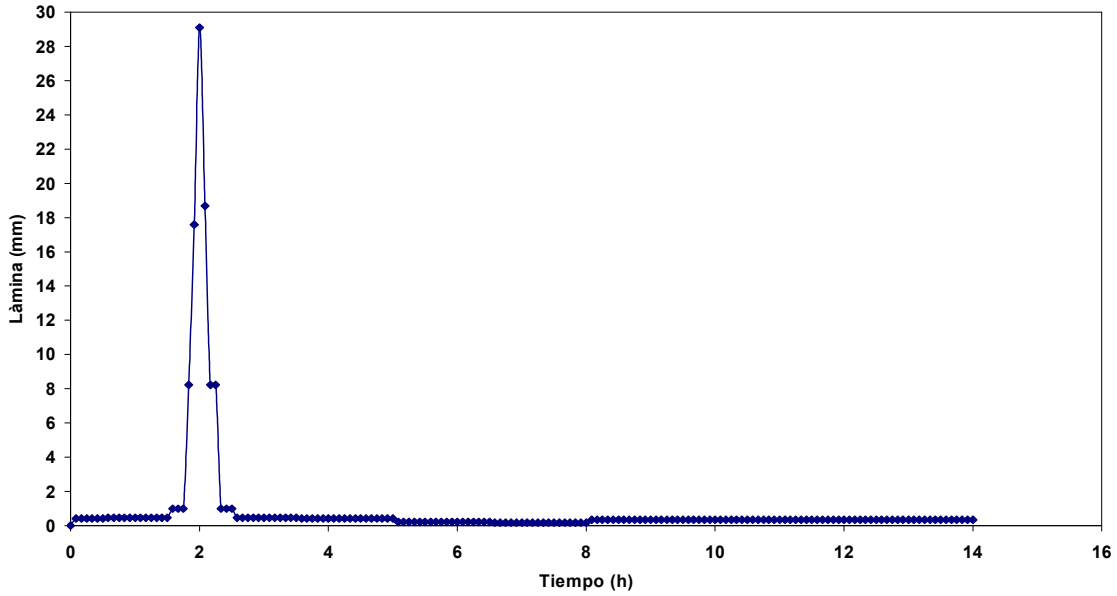


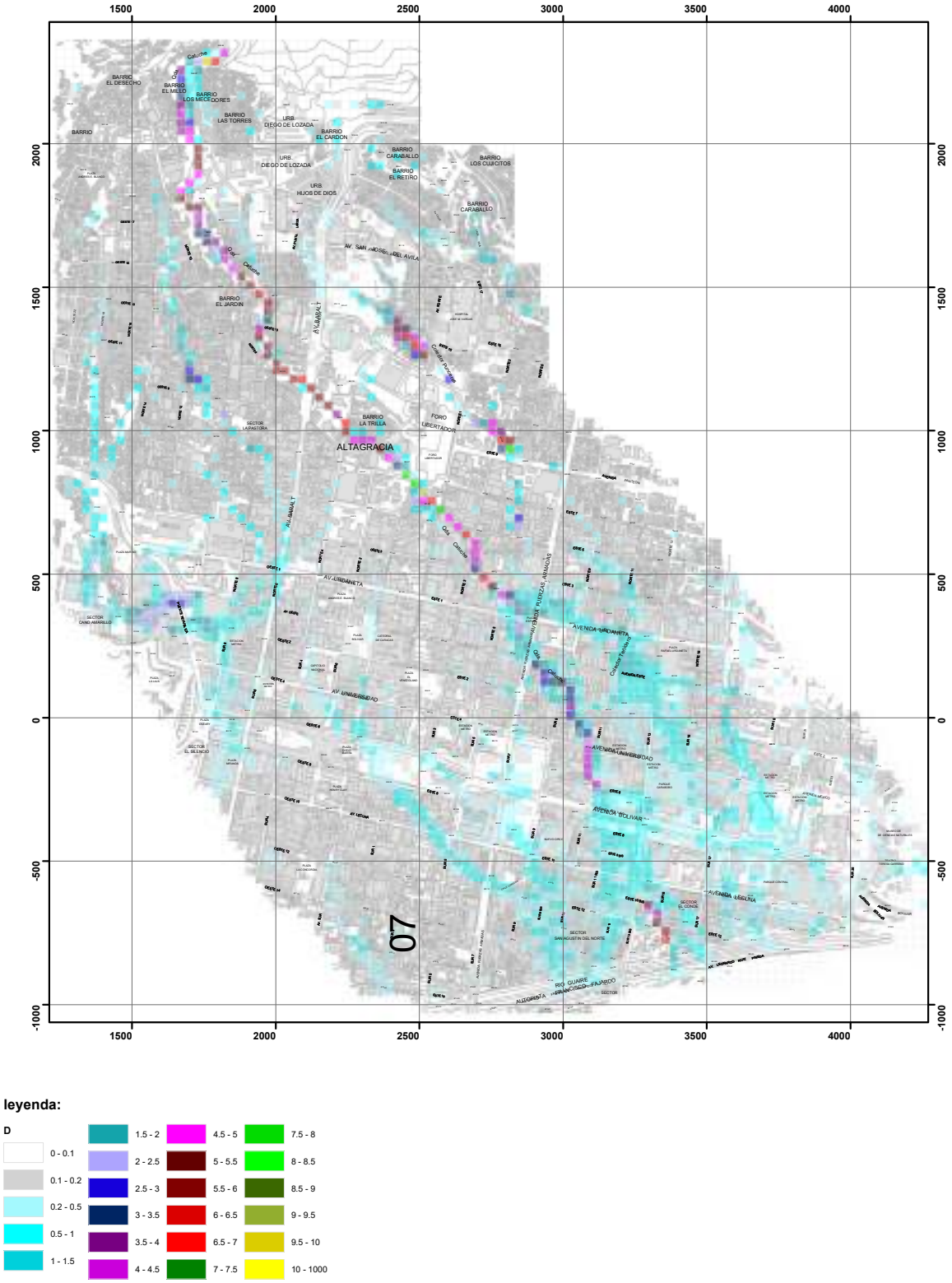
Figura 7.56. Catuche. Hietograma de Tr=500 años

Los puentes, alcantarillas y otros parámetros de simulación son los indicados en el ítem 5.2.2 (Condiciones Generales de Simulación). En este caso se considera totalmente obstruida la alcantarilla que va de la Avenida Urdaneta a la Avenida Fuerzas Armadas y la que va de Puente Victoria hasta El Conde. En este periodo de retorno se simuló además la Calle Real de Los Mecedores y un callejón perpendicular a ésta ya que al incluir en la simulación diques en la Redoma de La Virgen y en el Millo el flujo se desvía hacia estas calles, como ocurrió en el año 1999.

7.3.4.2 Resultados

En el canal las profundidades oscilan entre 2 m y 10.16 m. El valor de 10.16 se presenta en el Puente El Millo, Hay un valor de 8 m a la altura del Barrio Los Mecedores. El agua ingresa nuevamente al canal por la Calle El Kinder de Sabana del Blanco, luego de pasar por Los Mecedores. Hay un desbordamiento al final del canal antes de la alcantarilla que va de la Avenida Urdaneta a la Avenida Fuerzas Armadas y en el que va hasta Puente Victoria. En la planicie las profundidades alcanzan valores máximos de 8 m. Los valores mayores de 2 m se presentan en Los Mecedores y en colector Punceres. Las velocidades en el canal oscilan entre 2 y 3 m/s y en la planicie entre 0.5 y 5 m/s. Los valores mayores a 2 m/s corresponden al sector Los Mecedores.

Los resultados se presentan gráficamente en las figuras 7.57 y 7.58.



leyenda:

D					
	0 - 0.1	1.5 - 2	4.5 - 5	7.5 - 8
	0.1 - 0.2	2 - 2.5	5 - 5.5	8 - 8.5
	0.2 - 0.5	2.5 - 3	5.5 - 6	8.5 - 9
	0.5 - 1	3 - 3.5	6 - 6.5	9 - 9.5
	1 - 1.5	3.5 - 4	6.5 - 7	9.5 - 10
		4 - 4.5	7 - 7.5	10 - 1000

Figura 7.57. Catuche. Profundidades Máximas para un hidrograma de crecientes de Tr=500 años.

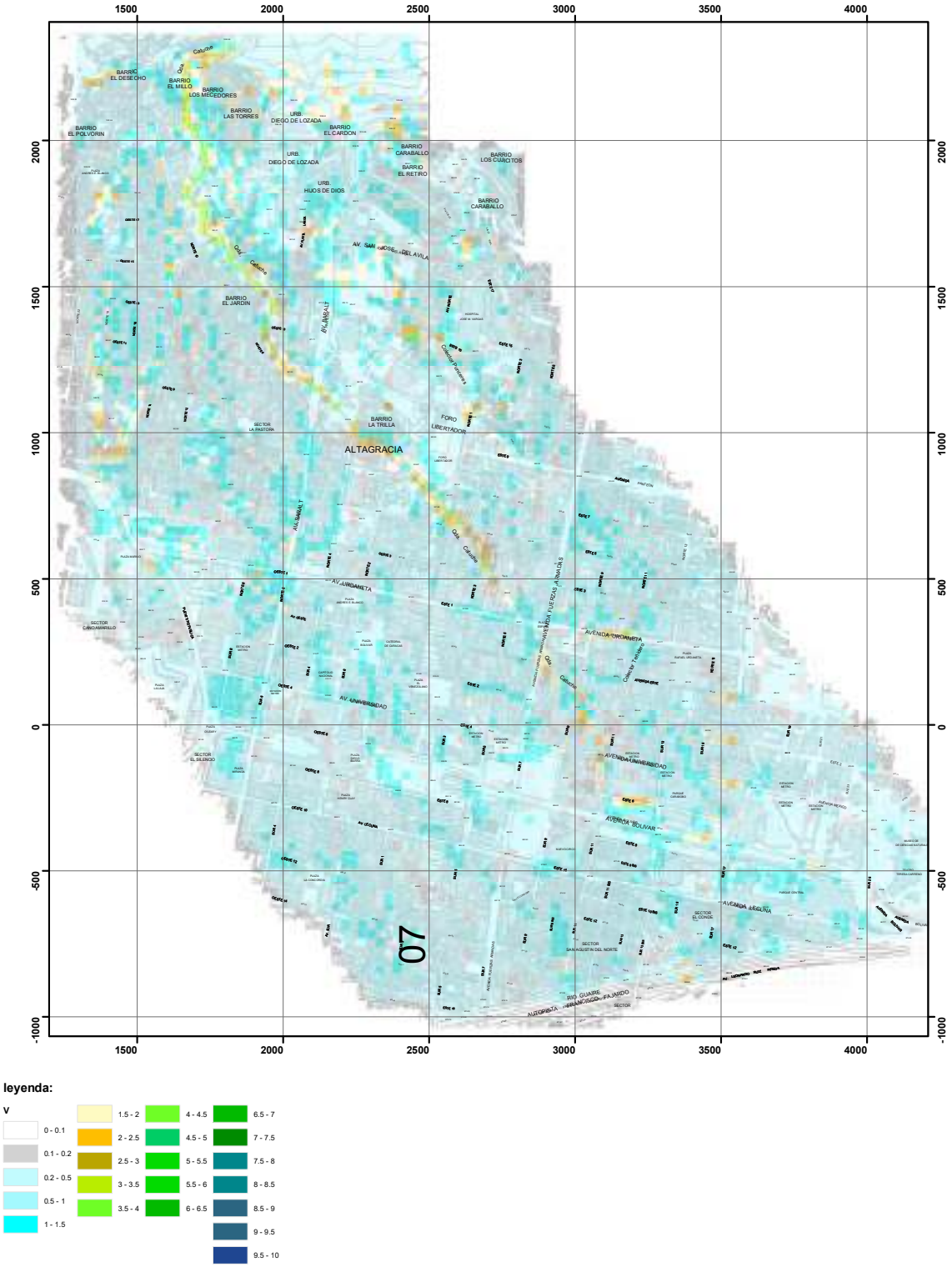


Figura 7.58. Catuche. Velocidades Máximas para un hidrograma de crecientes de Tr=500 años.

7.4 Mapa de Amenaza

7.4.2 Mapa de Amenaza

La Figura 7.59 muestra el mapa de amenaza reticulado, tal como lo genera el programa AMENAZA. Allí puede verse una amenaza alta a todo lo largo de la quebrada y amenaza media aguas abajo de la Avenida Universidad. Nótese una amenaza alta y media a lo largo de los colectores Teñidero y Punceres. Hacia el sureste de la quebrada se presenta amenaza alta y baja, producto del desbordamiento de la alcantarilla que va de la Avenida Urdaneta a la Avenida Fuerzas Armadas.

La Figura 7.60 muestra el mapa de amenaza rectificado. En este mapa se ha corregido la amenaza arrojada por el software en base a las visitas de campo, se han eliminado las celdas, colocado una franja de amenaza alta a 25 metros de cada margen de la quebrada y ajustado los bordes de la mancha.

- Hay amenaza media, aguas abajo de la Avenida Urdaneta y hacia el sureste y baja en la parte baja de la cuenca, hacia ambos lados de la quebrada.
- En la parte baja de la cuenca, la zona de amenaza alta es un poco mayor que los 25 metros desde el margen de la quebrada para ajustarse a los resultados numéricos
- Nótese que los sectores Los Mecedores y La Trilla aparecen con amenaza media en el mapa rectificado. Si bien estos sectores no presentan amenaza según los resultados numéricos, se ha decidido colocarles amenaza media debido a que fueron severamente afectados por el evento de 1999.
- Los colectores Teñidero y Punceres se han colocado con amenaza baja, al igual que el área que comprende el Hospital Vargas.

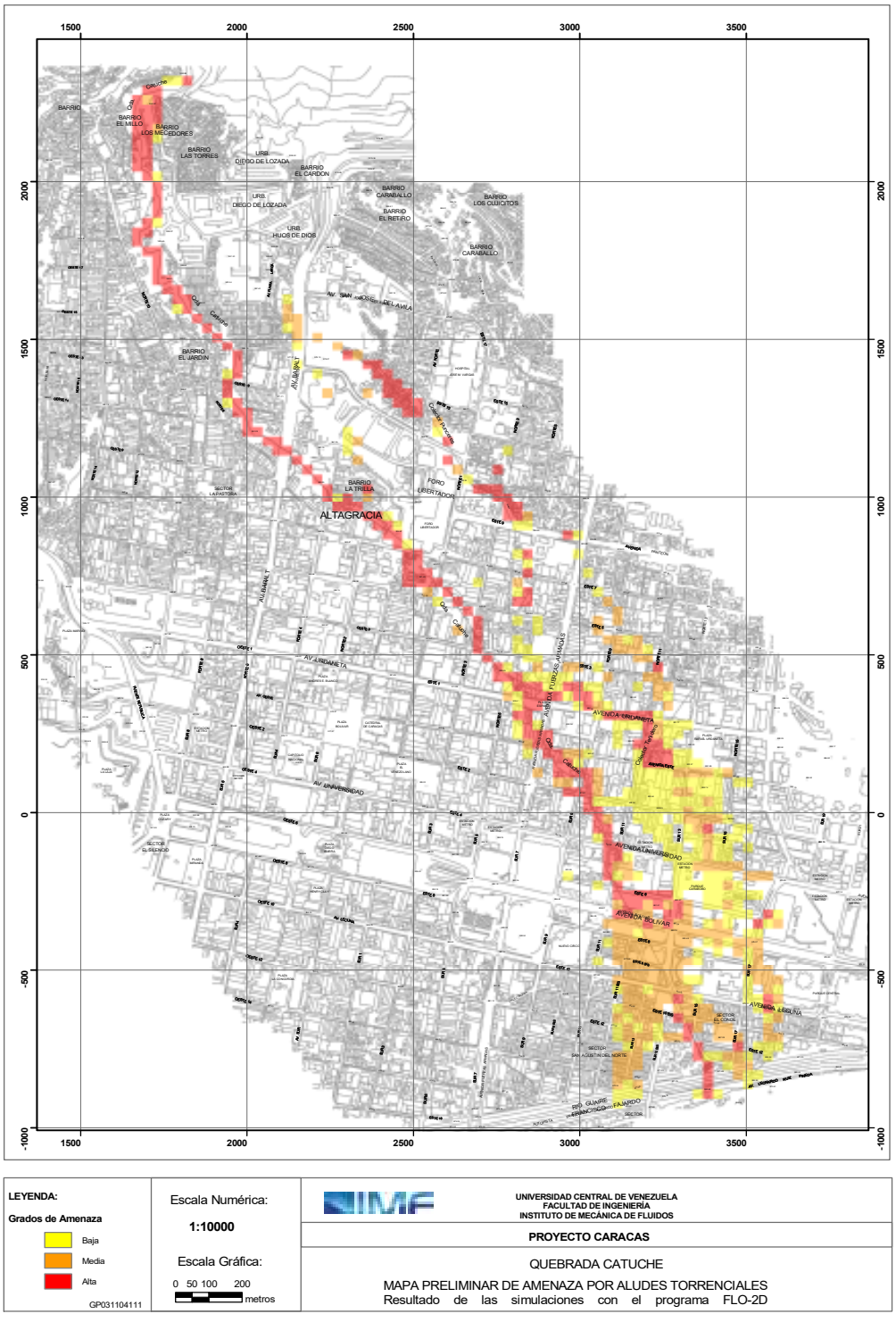


Figura 7.66. Catuche. Mapa de Amenaza resultado de la simulación.

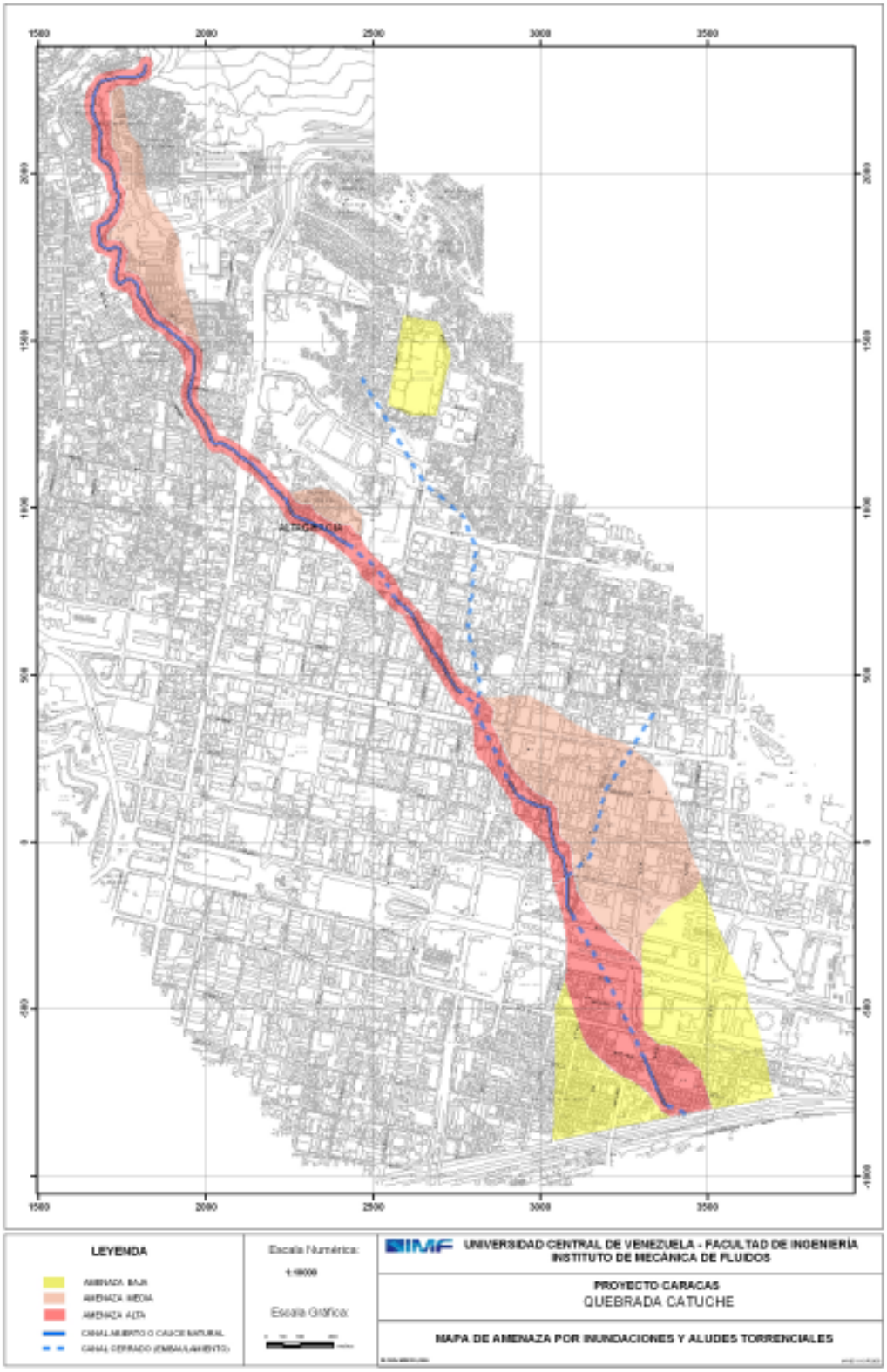


Figura 7.67. Catuche. Mapa de Amenaza definitivo.

7.5 Agradecimientos

Un sincero agradecimiento a las siguientes personas, quienes colaboraron desinteresadamente en las visitas de campo y en el suministro de información:

William Manrique, coordinador de Proyectos para el sector La Trilla
Yudelkys Sánchez, Coordinadora de ASOCITRILLA
Teodora Bustillos, Coordinadora de la Comunidad Cristiana del sector La Trilla
Antonio Guerra, Coordinador del Equipo de Contingencia del sector La Trilla
Jenny Hernández, Promotora del sector Kinder-Quinta
Nora Negrín, Promotora del sector Carlos III-Guanábano
Señor Pedro Serrano
Arquitecto César Martín
Ingeniero Eduardo Martínez
Señor Monterola

8. ANAUCO

8.1 Características del área

8.1.1 Ubicación geográfica

La cuenca de la Quebrada Anauco se encuentra en la vertiente Sur del Macizo El Ávila. Limita al Norte con las cuencas de los ríos Piedra Azul y San José de Galipán, al Oeste con la cuenca de la Quebrada Catuche, al Este con la cuenca de la Quebrada Honda y al Sur con el Río Guaire donde desembocan sus aguas. La subcuenca pertenece en su totalidad al Municipio Libertador del Distrito Capital.

Figura 8. 1 Anauco. Ubicación de la subcuenca

8.1.2 Información disponible

8.1.2.1 Información cartográfica y fotográfica

De la información cartográfica señalada para el Proyecto se utilizaron:

- Plano digital, escala 1:5.000, año 2000, hojas 07
- Plano en papel a escala 1:25.000 del año 1975, hojas 6847-IV-SO, 6847-III-NO.
- Ortofotomapa a escala 1:25.000, año 1994., hojas 6847-IV-SO y 6847-III NO.

Existe además información fotográfica anterior sobre la quebrada, proveniente del Informe de los Bomberos del Distrito Federal (Cuerpo de Bomberos del Distrito Federal, 2000).

8.1.2.2 Información hidrológica

En el estudio del MOP del año 1974 se realizó el estudio hidrológico de la cuenca. Se estimaron la longitud del cauce en 5,4 Km., la superficie de la cuenca en 15 km^2, el área sobre la Av. Boyacá en 11,2 km^2 y el área urbanizada en 3,4 km^2. Se calcularon los valores de las crecientes de diseño para la canalización de la Quebrada Anauco y sus afluentes. Los valores obtenidos se presentan a continuación. Son los gastos máximos anuales de cada quebrada justo antes de la confluencia con la Quebrada Anauco. El gasto señalado como Quebrada Anauco (1) es el gasto justo antes de la confluencia con la Quebrada Cotiza, y Quebrada Anauco (2) el gasto en la Plaza Estrella.

Tabla 8.1 Anauco. Gastos máximos en m^3/s según M.O.P. (1974)

	Período de Retorno (Años)					
	2,33	5	10	25	50	100
Quebrada Cotiza	3,96	5,81	7,32	9,23	10,64	12,05
Quebrada Anauco (1)	7,87	10,62	12,86	15,70	17,80	19,88
Quebrada Caraballo	5,65	7,60	9,18	11,19	12,67	14,14
Quebrada Gamboa	4,14	5,73	7,03	8,68	9,89	11,10
Quebrada Anauco (2)	23,46	31,61	38,24	46,65	52,86	59,03

En el estudio del MOP del año 1975 se calcularon por el método de Gumbel los gastos para diferentes períodos de retorno en el Puente Brión (Av. Méjico) y en la confluencia con el Río Guaire. Los valores obtenidos se presentan a continuación.

Tabla 8.2 Anauco. Caudales máximos en Puente Brión según M.O.P. (1975)

Frecuencia (años)	2,33	5	10	25	50	100
Caudal (m3/s)	22	31	39	49	56	63

Tabla 8.3 Anauco. Caudales máximos en confluencia con el Río Guaire según M.O.P. (1975).

Frecuencia (años)	2,33	5	10	25	50	100
Caudal (m3/s)	23	32	40	50	57	65

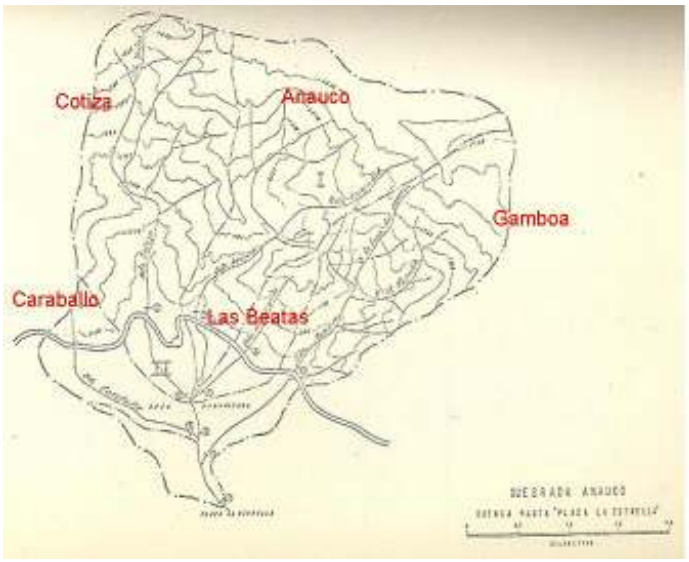


Figura 8. 2 Anauco. Esquema de la Cuenca de la Quebrada Anauco (Fuente: MOP, 1974)

Se presenta por otra parte en el capítulo 3, el estudio hidrológico de la cuenca realizado en el marco del presente Proyecto.

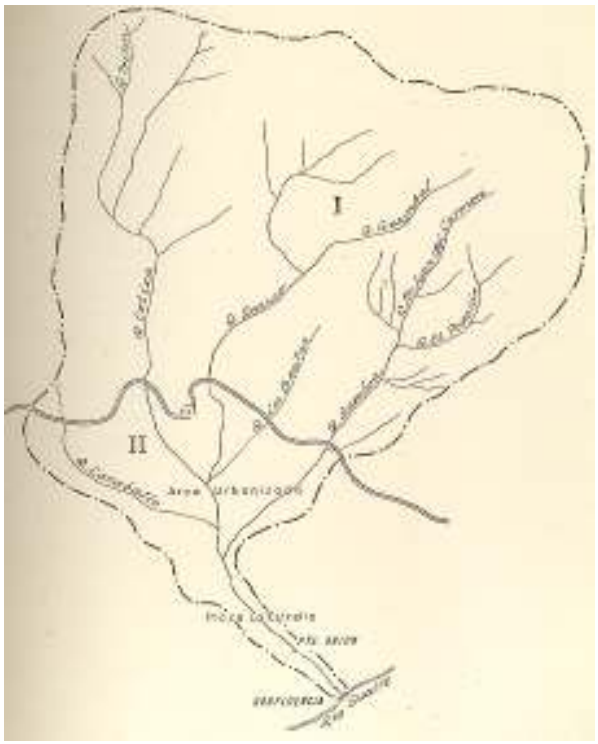


Figura 8. 3 Anauco. Esquema de la Cuenca según MOP, (1975)

8.1.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica

De la información señalada para el proyecto se utilizaron especialmente:

- Plano en papel Quebradas principales del Municipio Libertador. Alcaldía de Caracas, año 1.995, hoja 03 (escala 1:10.000)
- Planos de construcción del Metro de Caracas, año 1.982, Tramo La Hoyada Chacaito. Estación Bella Artes. Colector independiente de descarga de aguas negras y drenajes de la estación. MC-61 SC 001 SP-34.
- Planos de construcción del Metro de Caracas, año 1.975, Tramo Silencio Chacaito. Alineamiento del Metro, Planta y Perfil. SC-001 IC-204
- Planos de construcción del Metro de Caracas, año 1.994, Tramo Capuchinos Plaza Venezuela. Alineamiento del Metro, Planta y Perfil. CV02 IC-205
- Planos de construcción del Metro de Caracas, año 1.994, Tramo Capuchinos Plaza Venezuela, Servicios Públicos existentes, Planta. CV02 SP-208
- BPP Ingenieros consultores S.A. 1992.

8.1.2.4 Estudios previos

La Quebrada Anauco ha sido evaluada en los siguientes estudios:

- Proyecto PREVENE (Basabe et al, 2001)
- Cuerpo de Bomberos, 2000

8.1.3 Hidrografía

La Quebrada Anauco tiene su origen en el Parque Nacional El Ávila, con una altura máxima de 2.153 m.s.n.m. Cruza la Av. Boyacá (Cota Mil) y entra en el área urbanizada de Caracas, atraviesa las urbanizaciones de San Bernardino, La Candelaria y el Conde hasta llegar al río Guaire a 849,30 m.s.n.m. Su régimen es perenne.

La quebrada es conocida en su parte alta por el nombre Anauco, Humboldt y Los Bambúes. Sus afluentes son:

- Quebrada Guayabal, afluente principal en El Ávila
- Quebrada Cotiza, cuyo afluente principal en El Ávila es la Quebrada Tritón
- Quebrada Las Beatas
- Quebrada Caraballo, con los afluentes El Retiro, José Gregorio y El Sapo.
- Quebrada Gamboa o Fermín Toro, con dos afluentes importantes en El Ávila: la Quebrada No Juan del Carmen y Quebrada El Papelón.
- Quebrada Los Erasos.

Sus características principales se resumen en la Tabla 8.4.

La Figura 8.4 presenta el perfil longitudinal del cauce en estudio a partir de la confluencia con el Río Guaire, elaborado a partir del raster 1:25.000 para la parte alta (por encima de los 1.000 m.s.n.m) y el plano digital 1:5.000 para la parte baja.

Área de la cuenca (km^2)	Vegetada: 11,64	Total:14,63
	Urbana: 2,99	
Longitud del cauce principal (Km.)	En área extra-urbana: 3288,63	Total: 7.052,97
	En área urbana: 3.764,34	
Cota (m.s.n.m.)	Superior: 2.153	
	Inferior (confluencia con el río Guaire): 849	
Pendiente del cauce principal (%)	En área extra-urbana: 24,7	Promedio: 13,6
	En área urbana: 2,6	

TABLA 8.1 ANAUCO. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

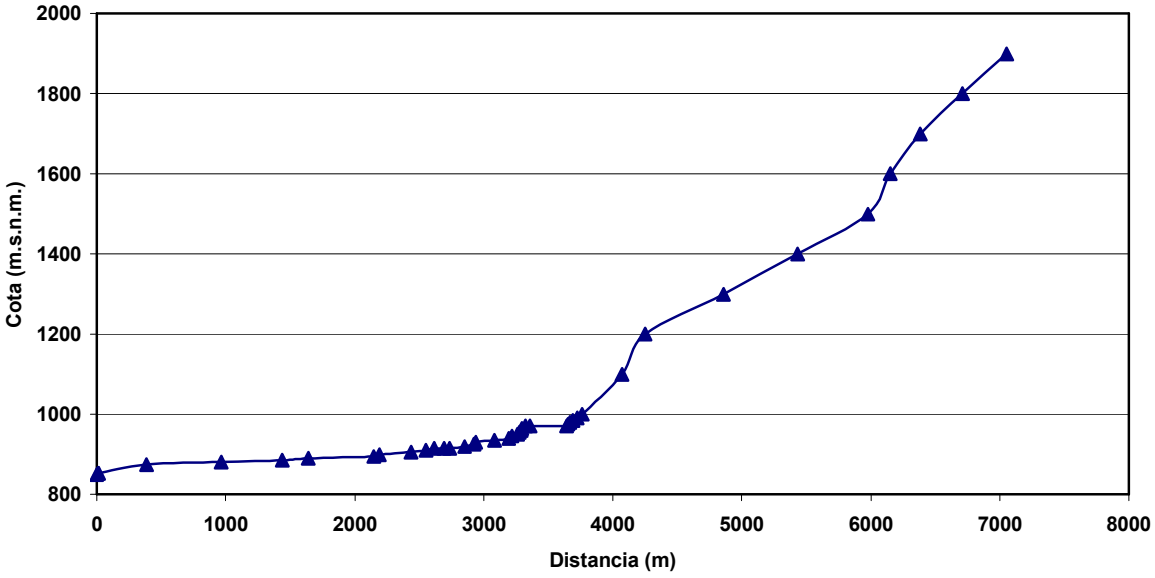


Figura 8. 4 Anauco. Perfil longitudinal

En la cuenca de la Quebrada Anauco existían dos tomas, una en la propia Quebrada Anauco y otra en la Quebrada Gamboa, ambas aguas arriba de la Av. Boyacá. Actualmente sólo está en funcionamiento la toma que se encuentra en la Quebrada Gamboa, ya que la de la Quebrada Anauco fue destruida por la creciente de diciembre de 1999 (ver Figura 8.5)

Figura 8. 5 Gamboa. Sitio de toma de Hidrocapital

8.1.4 Usos del suelo

La subcuenca presenta dos zonas bien diferenciadas, separadas por la avenida Boyacá: una parte alta vegetada en el Parque Nacional El Ávila con 79,6 % de la superficie, y una parte baja urbanizada con 20,4 % de la misma.

El área urbanizada es de uso comercial y residencial, con pequeñas áreas para la recreación. En general existen grandes áreas asfaltadas y recubiertas en concreto. Son pocas las áreas no recubiertas, se limitan principalmente a las áreas de los pequeños parques pertenecientes a las urbanizaciones, a los jardines de las edificaciones y a las áreas contiguas a los tramos naturales del cauce.

La Urbanización San Bernardino ocupa la parte alta del área urbanizada . En esta zona se concentran centros hospitalarios, consultorios médicos, laboratorios clínicos, y en general actividades afines al sector salud. Es además un área residencial, con baja actividad comercial.

La Urbanización La Candelaria se encuentra en la parte media y baja de la cuenca. Su densidad poblacional es alta. Existe gran actividad comercial en la zona (oficinas, clínicas y centros bancarios).

En el área de la desembocadura de la quebrada en el Río Guaire se encuentra la Urbanización el Conde. Es un área residencial de viviendas de pocos niveles, actualmente las plantas bajas de estas viviendas son usadas con fines comerciales. En el área se encuentra Parque Central, un gran complejo habitacional, comercial y cultural, así como el Complejo Cultural Teresa Carreño.

Las vías principales que atraviesan la cuenca son:

- En dirección Este – Oeste las avenidas Boyacá, Panteón, Urdaneta, Universidad, Bolívar y Lecuna.
- En dirección Norte-Sur las avenidas Anauco y La Estrella

Los Centros asistenciales identificados en el área son:

- Hospital Oncológico Luis Razetti, Cotiza
- Hospital Risquez, Cotiza
- Instituto Diagnóstico de San Bernardino, Av. Cajigal con Av. Altamira, San Bernardino
- Maternidad Santa Ana, Av. Anauco, San Bernardino
- Hospital de Clínicas Caracas, Av. Panteón, San Bernardino
- Centro Médico de San Bernardino, Av. Villegas y Av. Sorocaima, San Bernardino
- Clínica la Arboleda, Av. Cajigal, San Bernardino
- Clínica Luis Razetti (Av. Este 2, La Candelaria)
- Clínica Venezuela (Peligro a Alcabala, La Candelaria)
- Clínica Story Ruiz (Peligro a Miguelacho, La Candelaria)
- Ambulatorio de San Bernardino (cerca de Av. Panteón)
- Instituto Otorrino (Av. Cajigal)
- Psiquiátrico (Av. Cristóbal Rojas)
- Clínica (Av. Arístides Rojas)
- Clínica de la PTJ (Av. Arturo Michelena)
- Clínica Eucalipto (Av. Arturo Michelena)
- Ambulatorio de Cotiza
- En Calle Parque Forestal
- Ambulatorio Barrio Adentro (Sector Anauco II)

Otras instalaciones importantes en el área son:

- Brigada Canina de la Policía Metropolitana UEPA en la Quebrada Cotiza
- Centro de Operaciones de Cotiza de la Policía Metropolitana
- Módulos de la Policía Metropolitana:
    - Av. Cristóbal Rojas,
    - Plaza Anauco en Av. Anauco,
    - Brigada Turística, final Av. Manuel Felipe Tovar
- Guardia Forestal de Cotiza (Av. Parque forestal)
- Bomberos de San Bernardino (Av. Alameda frente al Hospital de Clínicas Caracas)
- CANTV (Av. Fermín Toro con Av. Cecilio Acosta)
- Estación del Metro Bellas Artes (Av. Universidad)
- Parque Central (Urbanización El Conde)

A lo largo de las Quebradas Anauco, Cotiza, Las Beatas, Gamboa, Caraballo, Los Erasos y sus afluentes en el área de la Urbanización San Bernardino y la Urbanización San José se encuentran desarrollos no controlados asentados en torno a los embaulamientos e incluso sobre ellos.

Existe un plan especial de ordenamiento para las áreas informales del área norte, ubicadas en orillas de la quebrada y sus afluentes, donde se plantea la sustitución de las viviendas, áreas peatonales, comerciales, deportivas y recreacionales, vialidad.

8.2 Red de drenaje pluvial

8.2.1 Características de la red de drenaje

La quebrada recibe el aporte de otras quebradas en el área urbanizada, las cuales funcionan también como colectores de aguas servidas, debido a empotramientos ilegales en los cursos.

Un esquema de la red drenaje se presenta en la Figura 8.6.

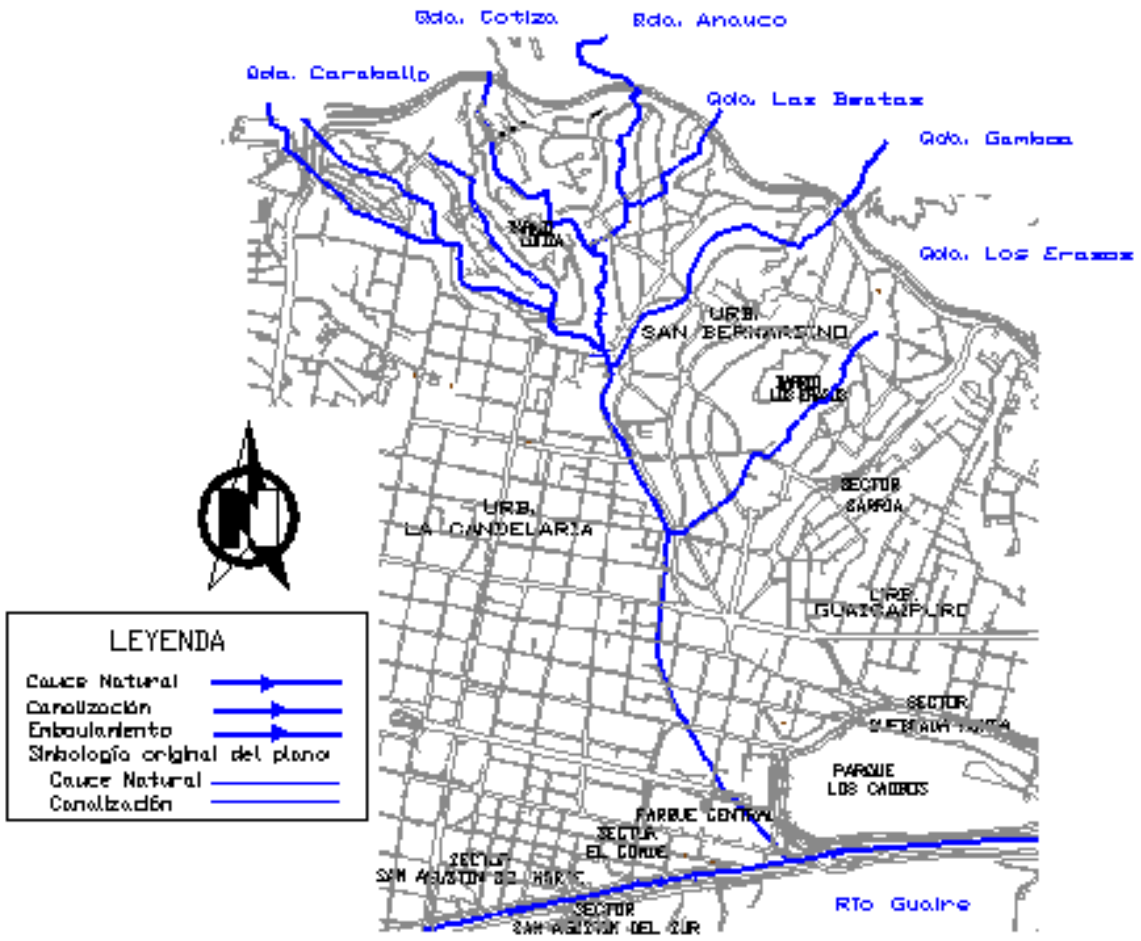


Figura 8. 6 Anauco. Esquema de la red de drenaje

La Quebrada Anauco permanece en su mayor parte embaulada salvo en el tramo entre la confluencia con la Quebrada Caraballo y la Av. Panteón, donde es un canal abierto. Los afluentes de la quebrada se encuentran embaulados en su mayor parte. Mantienen el alineamiento original del cauce.

Las observaciones generales acerca de las condiciones físicas del cauce son las siguientes:

- Durante los trabajos de remoción de escombros de la Quebrada Anauco en el tramo de la canalización abierta, entre la confluencia con la Quebrada Caraballo y el puente de la Av. Panteón, fueron dañadas las losas del fondo del canal en algunos tramos. Se ha infiltrado el flujo bajo casas que están en la margen izquierda del cauce.
- Las Quebradas Caraballo, Cotiza, Beatas, Anauco y Erasos pasan a través del talud de la Av. Boyacá. La Av. Boyacá pasa por encima de la Quebrada Gamboa a través de puentes.
- En el área de San Bernardino, aguas arriba de la Av. Panteón, las márgenes de la Quebrada Anauco y de algunos de sus afluentes, en casi toda su extensión han sido invadidos con construcciones informales.
- Muchas viviendas informales se han construido pegadas a los embaulamientos de las quebradas, incluso se han construido viviendas que llegan a tener un nivel habitado bajo el nivel del techo del embaulamiento. En algunas viviendas no se recuperó este nivel después de la crecida de diciembre de 1999.
- De las viviendas informales que fueron afectadas por el evento del 99 quedaron algunas destruidas completamente, otras quedaron enterradas y recuperables, otras no sufrieron mayor daño. Hubo áreas donde en el interior de las viviendas quedó colmatado de sedimentos y en el exterior no.
- Se encontraron viviendas construidas sobre los embaulamientos y algunas de ellas bloquean completamente el paso superficial sobre ellas.
- Las características de las viviendas informales encontradas en el área son estructura de concreto armado, losas de tablones, paredes de ladrillo generalmente sin frisar por el exterior, techos de zinc y/o acerolit. Descargan las aguas servidas directamente al cauce. Tienen electricidad y agua potable.

Las características de los distintos tramos se describen a continuación.

- **Área Av. Boyacá – Parque Nacional El Ávila**

La Quebrada Anauco y sus afluentes principales nacen en el Parque Nacional El Ávila. Desde el nivel de la Av. Boyacá se puede subir por el lecho rocoso de la Quebrada Anauco, se observan peñones que pueden ser movidos por el flujo en futuras crecientes. Los saltos de agua forman pequeños pozos en donde las personas se bañan. En esta área se encontraba una toma de agua que fue destruida con la creciente de diciembre de 1999.

Cuando se construyó la Av. Boyacá, también se construyó el paso de la quebrada para mantener su curso original. Este paso es un embaulamiento que se encuentra a algo más de diez metros de profundidad con respecto al nivel de la avenida. Con crecidas posteriores a la construcción, este paso se obstruyó, quedando enterrado con los escombros y sedimentos que arrastraba el flujo. En esta área la depresión del terreno y el flujo de agua formaron una

laguna. Estas aguas se infiltraban en el terreno hasta el embaulamiento, y afloraban superficialmente aguas abajo de la Av. Arístides Rojas.

En el evento de diciembre de 1999 la obstrucción que había en el embaulamiento bajo la Av. Boyacá cedió. El flujo de barros y escombros pasó a través del embaulamiento y descargó aguas abajo de la Av. Arístides Rojas. En algún momento de la crecida se obstruyó nuevamente la entrada de la alcantarilla y la depresión fue completamente sedimentada para luego rebosar el flujo a través de un colector de aguas de lluvia de la Av. Boyacá y por dos túneles viales, construidos con la Av. Boyacá, y que nunca fueron habilitados. Estos túneles conducen directamente a una parcela donde se encuentra un módulo policial en la Av. Arístides Rojas. A través de estos túneles viales pasó agua con sedimentos. Los troncos de árboles y peñones no llegaron hasta aquí porque quedaron depositados en la depresión aguas arriba, así que no hubo mayores destrozos de la reja perimetral de la parcela del módulo policial.

En la Figura 8.77 se muestra una vista desde el Parque Nacional el Ávila en la que se puede observar los túneles viales abandonados, el área sedimentada y la Av. Boyacá.

Figura 8.7 Anauco. Vista de cauce de la Quebrada Anauco con la Av. Boyacá. (Fuente: PREVENE-2001)

Desde el evento de 1999 hasta febrero del 2005, la depresión del terreno está al nivel de dos bocas de visita pertenecientes al colector urbano. Cuando crece la quebrada, parte del flujo se desvía por las bocas de visita. Una de estas recoge las aguas de lluvia que caen sobre la Av. Boyacá. La otra se encuentra aguas abajo del talud de la Av. Boyacá y recoge las aguas que escurren a través de los túneles viales y la torrentera. La otra parte del flujo se infiltra a través del embaulamiento que está enterrado y obstruido, y continúa en el cauce de la quebrada.

En febrero del 2005, tras fuertes precipitaciones se observó en el área del depósito de sedimentos como el cauce había erosionado su curso dejando cárcavas de aproximadamente 1,50 metros de profundidad por 2 metros de ancho. En el mes de junio hubo fuertes precipitaciones, aguas abajo se observaron en el cauce restos de vegetación y sedimentos. Al explorar el cauce en esta área se observó que se había erosionado en el área un tramo de aproximadamente 5 metros de profundidad dejando a la vista las tuberías de acero galvanizado colocadas allí. En la vista aérea de la Figura 8. se observa una alteración en la vegetación en el área afectada.

El área erosionada es un punto donde convergen tres tuberías. Una de ellas sigue el cauce de la Quebrada Anauco, se le une otra que viene del Este que se supone trae las aguas que han sido desviadas de la Quebrada Las Beatas. La tercera recoge las aguas de estas dos y las lleva en dirección a la entrada del embaulamiento de la Quebrada Anauco que pasa bajo la Av. Boyacá.

En la Figura 8.8 se esquematiza lo anteriormente descrito para el caso de las crecidas de 1999 y 2005.

La Figura 8.9 es una vista del cauce donde se observa la depresión en el terreno debido a la erosión del flujo.

Después de las lluvias de julio del 2005, se realizó un movimiento de tierra para despejar el cauce y la entrada del embaulamiento de escombros, sedimentos y vegetación. A principio del ano 2006 se efectuó una inspección del área y se observó el crecimiento de la vegetación y algunos deslizamientos en los taludes laterales del cauce.

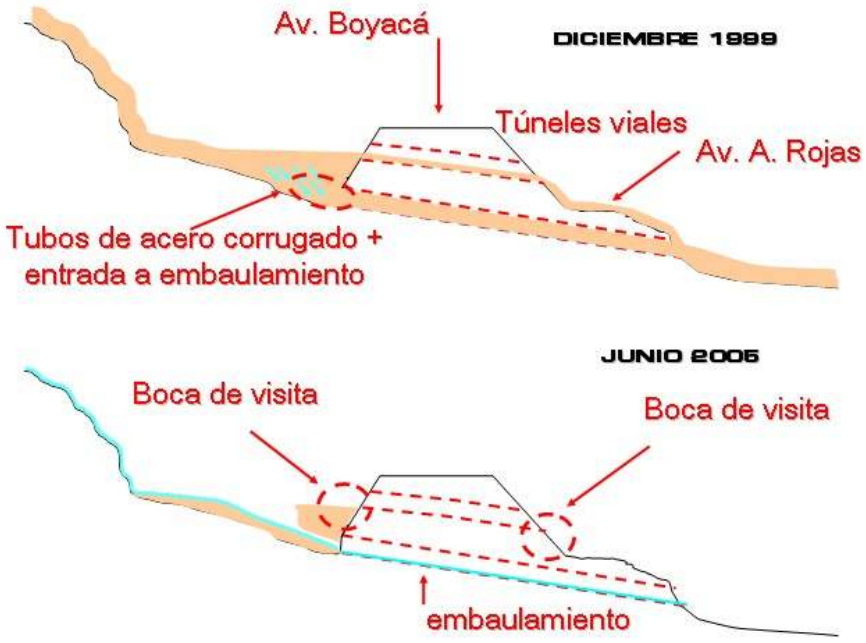


Figura 8.8 Anauco. Esquema del paso de la quebrada en Av. Boyacá.

Figura 8.9 Anauco. Vista de cauce de la Quebrada Anauco con la Av. Boyacá. (Junio 2005)

- **Tramo Av. Boyacá – Av. F. Peñalver**

Bajo el Módulo Policial en la Av. A. Rojas pasa el embaulamiento que conduce el flujo desde aguas arriba de la Av. Boyacá, cruza la avenida y una parcela donde termina el embaulamiento. Llega a un tramo del cauce con sección natural, en el área urbanizada. (ver Figura 8.10).

Figura 8.10 Anauco. Salida del embaulamiento aguas abajo Av. Boyacá y Av. Rojas.

La crecida de diciembre 99 arrastró sedimentos y escombros de vegetación, que llegaron a través del embaulamiento. Cuando éste se obstruyó con los escombros aguas arriba de la Av. Boyacá, el flujo de barro se desvió por los túneles viales, el flujo rebasó la torrentera, pasó por el estacionamiento del módulo de la Policía Metropolitana en la Av. A. Rojas, cruzó esta avenida y una parcela hasta reincorporarse al cauce original.

Parte del flujo se canalizó a través de las calles hacia el Este por la Av. A. Rojas y bajó por la Av. Licenciado Aranda. Al llegar al cruce con la Av. Alejandro Humboldt el flujo bajó por esta calle, parte de este se incorporó al cauce por la entrada del sector Dos Túneles y otra parte siguió por la calle hacia la Av. Cecilio Acosta.

Al superar la capacidad de la sección parte del flujo que salió del embaulamiento e iba por la quebrada se desvió por una casa que está en la margen izquierda del cauce, la inundación afectó la planta baja de la vivienda (Figura 8.11). El flujo llegó a la Av. Licenciado Aranda a través de la entrada del garaje de la vivienda.

Figura 8.11 Anauco. Entre la Av. Rojas y el sector Los Bambúes

(Año 1999, Fuente: María Gabriela Vaca)

En este tramo existe una antigua canalización de la quebrada (ver Figura 8.12). El área se sedimentó con la crecida de diciembre de 1999. Para el momento de la remoción de sedimentos y escombros se consideró que el alineamiento de la canalización no favorecía la entrada del flujo en el embaulamiento más aguas abajo. Fueron removidos entonces los sedimentos y escombros del área dejando la canalización colmatada de sedimentos. Excavaron en el lateral del canal y el flujo pasó por fuera de la canalización.

Figura 8.12 Anauco. Cauce natural y construcción de canal abandonada

Para inicios del año 2005 ya estaba construida la obra de captación del flujo para la entrada del embaulamiento en el Sector Los Bambúes (ver Figura 8.14). Durante la construcción, se hizo el movimiento de tierra desde la salida del embaulamiento que pasa bajo la Av. Boyacá hasta la entrada de los Bambúes, despejando a lo largo del cauce parte de los sedimentos depositados en este tramo.

Figura 8.13 Anauco. Cauce natural y entrada a embaulamiento del Sector Los Bambúes.

- **Tramo Av. F. Peñalver – Av. Alejandro Humboldt: Sector Los Bambúes**

El sector comprendido entre la Av. Peñalver y la Av. Humboldt, es conocido como "Los Bambúes". A la altura de la Av. Peñalver comienza el embaulamiento (ver Figura 8. y Figura 8.1515). Aguas abajo las áreas próximas al embaulamiento están invadidas con viviendas informales, dejando libre el área superficial sobre el embaulamiento salvo en dos puntos donde las viviendas estrechan el paso.

En el evento de diciembre del 99, al ser la entrada del embaulamiento de los Bambúes obstruida por escombros vegetales y sedimentos, el flujo pasó por encima del embaulamiento, afectando y destruyendo viviendas (ver Figura 8.26 y Figura 8.7).

Figura 8.14 Anauco. Inicio del embaulamiento.

Figura 8.15 Anauco. Detalle del inicio del embaulamiento.

Figura 8.16 Anauco. Estado del inicio del embaulamiento tras la crecida de diciembre de 1999 (Fuente: Ing. José Luis López - Diciembre 1999).

Figura 8.27 Anauco. Inicio del embaulamiento en Febrero de 2003.

Aguas abajo, en los Bambúes, el cauce es llamado localmente Quebrada Humboldt, nombre que toma de la avenida que atraviesa. La quebrada pasa varios metros por debajo del nivel de la avenida, las viviendas tienen hasta tres niveles, estando el más alto a nivel de la calle y el más bajo sobre el tope del embaulamiento. En este punto el embaulamiento mide 2,00 metros de ancho por 2,50 metros de profundidad.

Durante el evento del 99, la Av. Alejandro Humboldt funcionó como un dique que represó el flujo superficial en los Bambúes. En esta área el embaulamiento explotó (ver Figura 8.38) actualmente ya está reparado. Cuando el flujo alcanzó el nivel de la calle, la cruzó y entró en Dos Túneles.

Figura 8.38 Anauco. Daños en embaulamiento por explosión durante la crecida de diciembre 99.

- **Tramo: Av. Alejandro Humboldt – confluencia con Quebrada Las Beatas – Av. Cecilio Acosta: Sector Dos Túneles**

Entre las avenidas Humboldt y Cecilio Acosta, se encuentra el sector "Dos Túneles". También tiene dos niveles de viviendas bajo el nivel de la calle. Aquí se unen las Quebradas Anauco y Las Beatas. El sector tiene cuatro entradas, dos por la Avenida Alejandro Humboldt, una por la Cecilio Acosta y la cuarta es por la Av. Licenciado Aranda. Esta última sigue el cauce de la Quebrada Las Beatas. El alineamiento del cauce cambia de dirección casi en 90 grados, cruza la Av. Cecilio Acosta y entra en el sector Los Lanos donde confluye con la Quebrada Cotiza.

En el evento del 99 en el Dos Túneles también se represó el flujo y quedó completamente enterrado el sector hasta aproximadamente 60 centímetros sobre el nivel de la calle (Figuras 8.19 y 8.20). Al quedar colmatado de sedimentos este sector, el flujo salió por las escaleras que dan a la Av. Cecilio Acosta. Parte de este flujo cruzó la avenida continuando por el cauce de la quebrada y otra parte se fue por la Av. Cecilio Acosta hasta el cruce con la Av. Fermín Toro, en donde el flujo cambió su dirección y al bajar por esta última avenida se reincorporó nuevamente al cauce.

El 34 % de las viviendas fueron destruidas, un 36 % gravemente dañadas y un 30 % fueron consideradas como habitables.

Ha este sector no llegaron restos de árboles ni grandes rocas. Fueron removidos los sedimentos. Hay algunas viviendas que no han sido recuperadas.

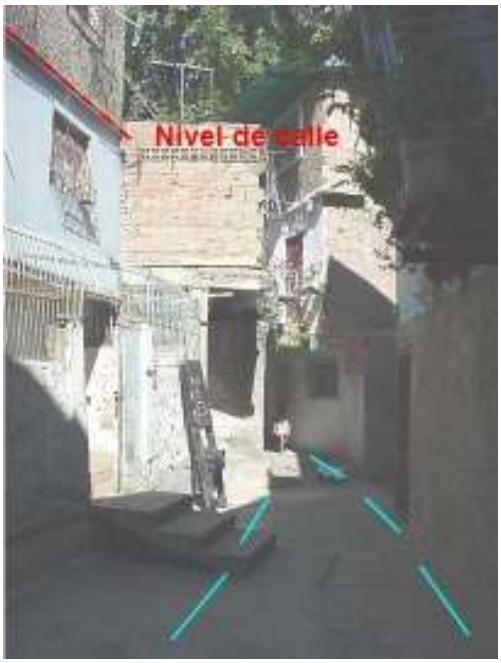


Figura 8.19 Anauco. Embaulamiento en sector Dos Túneles.

Figura 8.20 Anauco. Marcas del flujo en sector Dos Túneles.

- **Tramo Av. Cecilio Acosta – confluencia con Quebrada Cotiza (Sector Los Lanos) - confluencia con Quebrada Caraballo**

La Quebrada Anauco entra en el sector "Los Lanos", con un ancho exterior de 2,30 metros, allí confluye con la Quebrada Cotiza. El embaulamiento de la Quebrada Cotiza tiene continuidad aguas abajo de la confluencia con Anauco. Es esta última la que descarga su flujo en el embaulamiento de la Quebrada Cotiza.

En este tramo se observa que el nivel de muchas casas está por debajo del tope del embaulamiento (Figura 8.21).

En diciembre de 1999, el 50 % de las viviendas del sector fueron arrasadas con la crecida, dejando totalmente desvastada el área aguas abajo de la confluencia de Cotiza y Anauco junto a la Chivera. El 10 % de las viviendas del sector tuvo serios daños y el 40 % fueron consideradas como habitables. Quedaron viviendas sepultadas de escombros y sedimentos en su primer nivel y considerablemente afectados el segundo.

Durante el movimiento de tierra efectuado para retirar los sedimentos y escombros, en el terreno vecino a la Chivera se encontraron peñones. Este terreno está siendo utilizado como estacionamiento para vehículos de los vecinos del sector, como área de juego y en él se ha construido un ambulatorio médico. El embaulamiento sobresale de la superficie del terreno en casi todo el sector. En su mayoría las viviendas que fueron arrasadas no han sido reconstruidas. Las que habían quedado parcialmente destruidas han sido reconstruidas o restauradas y habitadas. No han sido removidos los sedimentos de algunas viviendas cuyo nivel inferior está bajo el tope del embaulamiento.

La Quebrada Caraballo se une a la Quebrada Anauco por el Oeste, llega embaulada hasta unos pocos metros antes de la confluencia. Igual ocurre con la Quebrada Anauco cuyo embaulamiento termina justo antes de la confluencia, para iniciar una canalización abierta (Figuras 8.22 y 8.23).

El cajón de la Quebrada Anauco llega con aproximadamente 4,70 metros de ancho por 3 metros de alto. La Quebrada Caraballo tiene 1,50 metro de alto por 3,50 metros de ancho en la confluencia.

Figura 8.21 Anauco. Casas bajo el nivel del embaulamiento.

Figura 8.22 Anauco. Confluencia de las Quebradas Anauco y Cotiza

Figura 8.23 Anauco. Confluencia de las Quebradas Anauco y Caraballo

-Tramo confluencia con Quebrada Caraballo – confluencia con Quebrada Gamboa - Av. Panteón: Sector Gamboa

Termina el embaulamiento de la quebrada dentro del Barrio Anauco, y continúa la canalización hasta llegar a la Av. Panteón, con un ancho de 5,00 metros por algo más de 2 metros de profundidad. Existen saltos o escalones cuya función es la de disipar la energía del flujo. A cada lado de la quebrada hay colectores marginales de aguas servidas que se hacen visibles bajo el puente de la Av. Panteón. Hay descargas directas a la quebrada de colectores de aguas de lluvia y aguas servidas. Se han construido puentes de estructura metálica para comunicar las viviendas de la margen izquierda con la margen derecha del cauce.

En la margen izquierda del canal existen viviendas que están completamente pegadas a la canalización, no hay paso peatonal. Para comunicarse con la margen derecha, algunas de las viviendas, tienen puentes de estructura metálica. En la margen derecha hay viviendas y galpones donde funcionan talleres de herrería, mecánicos, etc. Existe además una vía que les da servicio, cuyo acceso es por la Av. Panteón. Esta va paralela a la canalización y, aproximadamente a 120 metros de terminar la canalización, la calle se separa de esta.

La descarga de aguas servidas en la quebrada es debida en parte al colapso del sistema por el evento de 1999, al quedar sedimentado y no haber recibido mantenimiento. Se puede observar esta situación en la figura 8.24, en la confluencia con la Quebrada Caraballo, donde la torrentera proviene de la Av. Fermín Toro. La fotografía fue tomada fuera de la temporada de lluvias.

Las marcas dejadas por la crecida de 1999 están de 6 a 8 metros por encima del nivel del flujo, dependiendo del ancho del área (Figura 8.25). El sector quedó cubierto por encima del canal, de sedimentos y escombros tanto de vegetación como de las viviendas arrasadas.

Los vecinos del sector dicen que la quebrada avisa. Ellos reportan una primera crecida, la cual los puso en alerta y muchos decidieron salir de sus viviendas. Más tarde vino la segunda crecida de la quebrada, mayor que la anterior. Es un patrón que presenta la quebrada cuando llueve fuerte.

Durante el trabajo de limpieza y remoción de sedimentos en el sector, las maquinas empleadas rasparon el fondo del canal debilitando y en parte rompiendo la losa de fondo. Esto ha ocasionado filtraciones debajo de las viviendas de la margen izquierda del cauce y en algunos puntos socavación. Las viviendas están siendo afectadas. Es de hacer notar que este es un punto crítico ya que en el futuro pueden ocurrir deslizamientos del terreno y de las casas, ocasionando daños a las viviendas del área. El deslizamiento podría represar el flujo y subir el nivel de este hasta inundar el sector.

Debajo del puente de la Av. Panteón la canalización de la quebrada entra a un nuevo embaulamiento después de un desnivel, posiblemente un disipador de energía. El ancho libre del área bajo el puente está cerca de los 16 metros y una luz libre de aproximadamente 6 metros desde el fondo del canal. A cada lado del cauce se observan colectores marginales laterales dañados.

En diciembre del 99 la entrada al embaulamiento se obstruyó parcialmente con escombros de vegetación, de las casas destruidas, muebles, neveras, vehículos, etc. Al taponar la entrada al embaulamiento, parte del flujo pasó por el embaulamiento descargando directamente en el Río Guaire y parte superficialmente por el Paseo Anauco.

El colector del lado derecho esta seco y colmatado de sedimentos. El colector del lado izquierdo esta roto y el flujo cae a la quebrada. Se observan restos de vehículos y sedimentos arrastrados por la creciente en el 99 (ver Figura 8.26).

Figura 8. 24 Anauco. Confluencia de quebradas y colectores.

Figura 8. 25 Anauco. Vista hacia aguas arriba de la Av. Panteón (Observar las marcas del flujo en las edificaciones)

Figura 8. 26 Anauco. Bajo el puente de la Av. Panteón. . (Observar sedimentos y vehículos arrastrados por la creciente de diciembre del 999)

- **Tramo Av. Panteón – Av. México: Paseo Anauco**

En este tramo, la quebrada sale de la Urbanización San Bernardino y atraviesa la Urbanización La Candelaria.

Luego del cruce de la quebrada con la Av. Panteón vuelve a estar embaulada en un cajón de concreto de 6,00 metros de base por 2,50 metros de alto.

El área sobre el embaulamiento entre las avenidas Panteón y México ha sido aprovechada para construir el Paseo Anauco. Pasa por debajo de los puentes del Distribuidor La Estrella, de Avilanes, de la Av. Urdaneta, y los Puentes: Anauco, República y Brión. Existen escaleras metálicas para subir desde el nivel del paseo al nivel de la calle en cada uno de estos puentes. El área peatonal es de concreto, generalmente enmarcada a todo lo largo del paseo entre jardineras de grama y árboles, ubicadas al nivel del tope del embaulamiento o elevadas en estructuras de concreto. Hay rejillas perpendiculares a la dirección del embaulamiento que sirven para que el agua de lluvia que escurre superficialmente por el paseo entre al embaulamiento. Muchas de ellas se encuentran parcialmente obstruidas por acumulación de sedimentos.

Al nivel del puente del Distribuidor La Estrella se han incorporado al cauce de la Quebrada Anauco el flujo de todos sus afluentes con cuenca en el Ávila. Para las crecientes de diseño de 10, 100 y 500 años de período de retorno el caudal pico de la tormenta que pasa por este punto es mostrado en la siguiente tabla, no incluye los aportes por lluvia caída en el área urbana.

Tabla 1 Caudal máximo para las crecientes de diseño.

	Período de retorno (años)		
	10	**100**	**500**
Caudal máximo (m3/s)	96.31	201.58	299.23

El puente del Distribuidor La Estrella tiene un ancho de 9,40 metros y 3,40 metros de luz libre. El caudal máximo aproximado que puede pasar superficialmente es 200 m3/s y el estimado que puede pasar por el embaulamiento es 116 m3/s.

El tramo del Paseo Anauco entre el Distribuidor La Estrella y el Puente San Felipe es una sección rectangular de 8,70 a 10,00 metros de ancho y 3,50 metros de alto, recubierto en concreto con áreas de jardineras a diferentes niveles de altura. Aguas arriba del Puente San Felipe existe una escalera metálica y jardineras en concreto que ocupan la mitad de la sección del paseo, dejando aproximadamente 4,00 metros de ancho libre. La luz libre bajo el puente es de 2,50 metros con dos pilas centrales.

Entre el Puente San Felipe y el Puente de la Av. Urdaneta la sección es más amplia, las paredes del paseo son definidas por las paredes de los edificios y parcelas colindantes. El área para el paso peatonal es de concreto con jardines a nivel del piso y árboles.

El Puente de la Av. Urdaneta no representa un obstáculo para el flujo superficial en el paseo. Aguas abajo, el puente tiene una escalera metálica que comunica el paseo con la avenida.

Entre la Av. Urdaneta y Puente Anauco el paseo se mantiene con características similares al tramo anterior. La sección tiene un ancho de 17 metros. Se observa una canaleta lateral en concreto en la margen derecha, que recoge las aguas que rebosan de una tanquilla de aguas negras.

Las bases del Puente Anauco forman dos arcos de aproximadamente 3,80 metros de alto, el ancho libre en su base es de 8,10 y 7,00 metros, para el arco oeste y este, respectivamente. Existe una pila central de 2 metros de ancho. Delante del arco este, el límite de la parcela se adelanta 2,50 metros dejando paso libre de 4,50 metros, hay un escalón de aproximadamente 1,50 metros de altura. Ver Figura 8.27 y Figura 8.28.

Figura 8.27 Puente Anauco. Estado del cauce antes de ser embaulado, años 70 (Fuente: V.S.S. Sardimar C.A.)

Figura 8.28 Puente Anauco. Paseo Anauco.

El tramo entre Puente Anauco y Puente República mide aproximadamente 17 metros de ancho con jardineras en la margen izquierda en concreto de 0,50 metros de alto de ancho variable, entre 1,00 a 5,00 metros. Igualmente hay jardines a ambos lados que definen el área peatonal, llegan a tener hasta 5 metros de ancho.

La sección del Paseo Anauco cercana a Puente República tiene 21,00 metros de ancho, de los cuales 5,70 metros corresponden al Callejón San Luis, 8,00 metros de jardineras y 6,90 metros de paso peatonal (Figura). El ancho del puente es de 21 metros, bajo el cual pasa el Paseo Anauco y el Callejón San Luis. En la parte central del puente fue construida un estructura que ha pasado por diferentes usos desde sede de módulo policial hasta actualmente vivienda de indigentes. Ocupa 4,30 metros por el ancho del puente.

Figura 8.29 Paseo Anauco. Vista hacia Puente República desde el Callejón San Luis.

Figura 8.30 Paseo Anauco. Área próxima a la Av. México.

El área del paseo se bifurca antes de llegar a la Av. México, quedando en el medio un edificio cuya base tiene forma triangular. Adosado a este edificio hay unos locales comerciales con estructura metálica. La avenida está ligeramente más alta que el último tramo del paseo. El embaulamiento va por la bifurcación izquierda del paseo, donde los locales comerciales adosados al edificio y unas jardineras altas y de gran volumen estrechan el paso peatonal (ver Figura 8.30).

Las calles paralelas al Paseo Anauco están de 3 a 5 metros por encima del tope del embaulamiento.

En el Distribuidor La Estrella confluyen las avenidas: Anauco, Cajigal, Gamboa, Caracas, La Estrella, Del Parque y cruzando un puente sobre el Paseo Anauco con la Av. Este 5. En el área se pueden observar rejillas y sumideros. Desde la Av. Gamboa llega al Distribuidor

La Estrella el alcantarillado que conduce el flujo proveniente de la Quebrada Los Erasos y que va hacia la Quebrada Anauco.

La Av. Anauco entre la Av. Panteón y el Distribuidor La Estrella, es una calle con cuatro canales de circulación, colinda con el Paseo Anauco por su acera oeste donde funciona un mercadito de frutas y verduras. Cuando ha llovido fuerte los camiones de los vendedores y carros estacionados en la Av. Anauco han sido movidos por la corriente de la calle.

Las aguas de lluvia que escurren superficialmente llegan al Distribuidor la Estrella y son captadas por los colectores de drenaje. Al superar su capacidad una parte del flujo pasa por el puente y cruza hacia la otra margen de la quebrada, otra se va por la Av. Del Parque llegando hasta la Av. Urdaneta – Andrés Bello, donde si el sumidero está tapado se inunda la calle con profundidades de aproximadamente 50 centímetros.

La primera calle paralela al cauce de la quebrada, que se encuentra en la margen derecha de esta, entre el Puente del Distribuidor La Estrella y Puente San Felipe, es un sector con construcciones formales de uso residencial y comercial. En este informe es llamada Calle Paralela. En su extremo sur, en la acera Este, existe una estación de servicio y en la entrada de esta hay un drenaje para las aguas de lluvia, siendo este el punto bajo de la calle. En época de lluvias se tapa principalmente por basura y escombros.

En el año 2.000 fuertes precipitaciones y la obstrucción del drenaje hicieron que el nivel de las aguas alcanzara los 30 cm. sobre el nivel de la calle. Los dueños de la Estación de Servicio reportan que en numerosas ocasiones se ha inundado la calle y su área de trabajo. Es importante señalar que este es otro punto crítico.

Entre las esquinas de Peligro y Pele el Ojo se entra al Callejón San Luis. Se aproxima perpendicularmente al Paseo Anauco y al llegar junto a él va paralelo 175 metros por la margen derecha del cauce, también pasa por debajo de Puente República. La calle está separada del paseo por un pequeño brocal de altura variable. Este brocal y la jardinera son interrumpidos por pasos peatonales diagonales, que comunican el paseo con el callejón.

Existen dos callejones además, que son extensiones del callejón San Luis. En este trabajo son identificados como callejón SL Sur y callejón SL Norte. El callejón SL Sur va paralelo a la Av. Universidad, está cerrado a los vehículos por una reja. Por este callejón se tiene acceso a los sótanos del Edificio Tequendama, cuya entrada principal es por la Av. Universidad. El callejón SL Norte se encuentra del lado norte de Puente República y es paralelo a la Av. Este 2. Da servicio a los sótanos de los edificios del área donde funcionan cartoneras, depósitos de equipos médicos, estacionamientos, etc.

En diciembre del 99, cuando fue bloqueado con escombros la entrada del embaulamiento bajo la Av. Panteón, el flujo que no entró en el embaulamiento escurrió superficialmente parte sobre el paseo y parte por la Av. Anauco. El flujo que escurrió por la Av. Anauco al llegar al Distribuidor la Estrella entró por los sumideros y al taparse estos cruzó el puente hasta la Calle Paralela. Al taparse la rejilla de drenaje se inundó la calle quedando una capa de barro y escombros de hasta aproximadamente 50 centímetros de profundidad.

En diciembre de 1999, parte de la crecida de la Quebrada Anauco la condujo el embaulamiento descargando directamente en el Río Guaire. Parte pasó por encima del Paseo Anauco inundando el área con profundidades que llegaron hasta los 2,50 metros,

dependiendo del ancho de la sección y de los obstáculos existentes como escaleras, pilas de puentes, etc. El flujo cargado de sedimentos finos y pocos escombros, arrastró algunos indigentes que dormían bajo los puentes.

El flujo que viajó superficialmente por el Paseo Anauco no se salió hasta el Callejón San Luis y la Av. México, en su tramo más aguas abajo. Pasó bajo los puentes en el paseo y no llegó a sobrepasarlos.

En el Paseo Anauco aguas arriba del Puente San Felipe se observa las marcas dejadas por el flujo en la crecida del 99 de 2,30 metros de profundidad (Figura 8.31). Es difícil estimar el caudal que pasó por aquí ya que se encuentran obstáculos como escaleras y otras construcciones bajo el puente que reducen la sección a la mitad y remansan el flujo. Haciendo un cálculo sencillo el caudal que pudo pasar por la sección libre del puente está alrededor de los 22 m3/s. Si se considera la sección del paseo y 2 metros de profundidad del flujo el caudal estaba alrededor de los 100 m3/s.

Figura 8.31 Paseo Anauco. Vista desde aguas arriba del Pte. San Felipe, en la parroquia La Candelaria.

Entre Puente Anauco y Puente República se observan marcas del flujo del 99 de 1,10 metros de profundidad. El caudal estimado para esta sección está sobre los 50 m3/s.

Aguas abajo de Puente República se encontraron marcas del flujo de 0,50 metros de profundidad. Se estima un caudal alrededor de 20 m3/s.

Entre Pte. República y la Av. México el flujo que escurría sobre el embaulamiento se desvió a través de los pasos peatonales y luego al subir el nivel del flujo este pasó por encima del brocal y de los jardines hacia el callejón San Luis, afectando principalmente el Callejón SL Sur. El flujo inundó los sótanos de los edificios que se encontraban al nivel del

paso o más abajo, siendo el más dañado el Edificio Tequendama donde además hubo pérdida de vidas humanas. En el callejón SL Norte fueron afectados los sótanos de dos edificios dejando profundidades de 30 cm. de lodo. No se adentró más ya que este callejón está más alto que el Paseo.

El escurrimiento sobre el paseo está obstaculizado en parte por las jardineras elevadas y por las estructuras metálicas comerciales, además de la diferencia de altura entre la avenida y el paseo represaron el flujo, aunque no impidió que pasara a la Av. México.

El embaulamiento no fue limpiado ya que está diseñado para la "auto limpieza" de los aportes de sedimentos del flujo. Todavía se puede observar un vehículo "encajado" en la entrada del embaulamiento bajo la Av. Panteón, que fue arrastrado por la creciente. Los vecinos del sector Gamboa creen que hay vehículos atascados dentro del embaulamiento.

- **Tramo Av. México – Río Guaire**

En este tramo, la quebrada sale de la Urbanización La Candelaria y atraviesa la Urbanización El Conde.

La quebrada continúa embaulada hasta su desembocadura en el Río Guaire, cerca del Puente Mohedano. Se desconocen sus dimensiones a lo largo de este último trayecto, se supone debe ir aumentando sus dimensiones a medida que recibe aportes de los colectores de drenaje. En planos de la Línea 1 del Metro de Caracas la representación del embaulamiento de la quebrada tiene 4 metros de profundidad.

La Av. México esta unos centímetros por encima del Paseo Anauco. El embaulamiento cruza la avenida diagonalmente y atraviesa en dirección sureste los terrenos del Parque Vargas, donde para la fecha se desarrollan los cultivos organopónicos y está parada la construcción de la nueva sede de la Galería de Arte Nacional. El embaulamiento se hace visible en este sector, para luego pasar bajo la Av. Bolívar y bajo la Torre Este de Parque Central (según información suministrada por el Ing. Eduardo Martínez), hasta descargar en el Río Guaire a la altura del Puente Mohedano.

En diciembre 99, el flujo al llegar a la Av. México inundó la Estación del Metro de Bellas Artes y los túneles de los trenes, a través de la entrada oeste en la Esquina de Pte. Brión, e inundó la Av. México llegando hasta los sótanos del Hotel Hilton. Ver Figura 8.32.

Figura 8.32 Estación del Metro Bellas Artes. Diciembre 1999. (Fuente: El Nacional)

Figura 8.33 Av. México. Diciembre 1999. (Fuente: desconocida)

En lluvias más recientes, ocurridas en abril del 2003, se inundaron nuevamente los sótanos del edificio Tequendama y la Estación del Metro de Bellas Artes así como parte de la Av. México.

El Metro de Caracas realizó pequeñas obras en las entradas de las estaciones para evitar que futuras inundaciones afecten el sistema del Metro. Las obras consistieron básicamente en aumentar la elevación de la entrada a la estación en dos escalones con respecto al nivel de la acera.

Por la Av. Lecuna pasa la Línea 4 del Metro de Caracas. Los túneles de los trenes están aproximadamente 10 metros bajo el embaulamiento de la quebrada.

El tramo de canal del Río Guaire necesita ser evaluado y reparado ya que perdió la losa de fondo de la canalización y se cree que la margen derecha del río está socavada por debajo de la losa de concreto.

Figura 8.34 Anauco. Descarga en el Río Guaire.

- **Tramo Quebrada Cotiza**

La Quebrada Cotiza nace en el Parque Nacional el Ávila, al Oeste de la Quebrada Anauco. Antes de entrar en el área urbana, junto a la carretera que va al pueblo de Galipán, la quebrada llega a una gran depresión, formada por un dique toma de más de 10 metros de altura. El flujo se infiltra a través de los sedimentos acumulados allí, hasta llegar a un par de tuberías paralelas de acero corrugado de 3,20 metros de diámetro, que pasan por debajo de este dique. Actualmente, son visibles únicamente por su extremo aguas abajo (ver Figura 8.35).

Antes del evento del 99, el flujo pasaba libremente a través de las tuberías, entonces no se encontraban enterradas. Durante el evento el flujo continuó pasando con sedimentos, troncos de árboles, etc., hasta que se obstruyó la entrada de las alcantarillas y represó el flujo aguas arriba. Después del evento al infiltrarse el agua, los sedimentos y escombros quedaron depositados en esta área, se podían observar desde la carretera de Galipán antes que la vegetación cubriese esta área (ver Figura 8.36). Tras cada lluvia fuerte el cuenco se inunda quedando acumulado el flujo allí hasta que este se seca por infiltración y evaporación (ver Figura 8.).

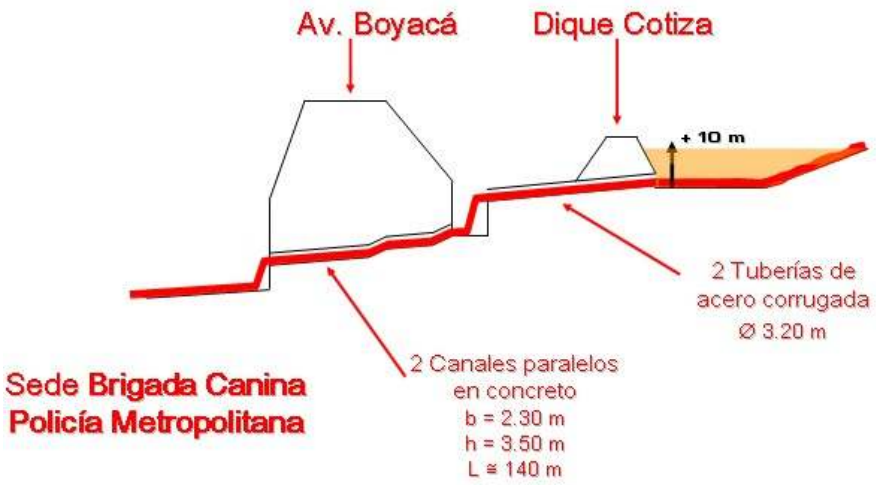


Figura 8.35 Cotiza. Esquema del paso de la quebrada en Av. Boyacá.

Figura 8.36 Cotiza. Vista hacia dique desde carretera de Galipán, año 2000, (Fuente: desconocida).

Figura 8.37 Cotiza. Vista hacia dique desde carretera de Galipán, junio 2005.

En enero de 2006 ocurrió una inundación de la quebrada, en circunstancias que se describen a continuación. Los últimos días del mes de diciembre y los primeros del mes de enero habían sido días lluviosos. En la madrugada del 4 de enero del 2006, aunque no había llovido esa noche, cedió el tapón que obstruía el paso del flujo por las tuberías que están debajo del Dique Cotiza. Aguas arriba del dique Cotiza el área funciona como un cuenco de sedimentación, al liberarse la obstrucción el flujo arrastró parte de los sedimentos allí almacenados desde diciembre de 1999 hasta entonces. En la Figura 8.38438 se observa parte del área erosionada, así como también las marcas del nivel que fue alcanzado por el flujo.

Para el mes de febrero del 2006 se habían iniciado los trabajos de excavación y remoción de escombros del área que funcionaba como cuenco de sedimentación. Se observa que las máquinas han llegado a la entrada de las tuberías que pasan bajo el dique (ver Figura 8.39539).

Figura 8.384 Cotiza. Vista de área erosionada

Figura 8.395 Cotiza. Vista hacia dique desde carretera de Galipán, febrero 2006.

A la salida de las tuberías existe una caída de aproximadamente 5 metros que conduce a un par de túneles rectangulares, paralelos, en concreto, que atraviesan el talud de la Av. Boyacá. Cada túnel tiene 2,30 metros de ancho por 3,50 metros de alto y aproximadamente 140 metros de largo, desembocan en el cauce natural de la quebrada en los terrenos de la Brigada Canina de la Policía Metropolitana CEPA (ver Figura 8.4140).

Aguas abajo de la salida de los túneles, el lecho del canal estaba cubierto con losas de concreto armado que hacían las veces de puente muy ancho. Este puente fue destruido con el flujo y los escombros que el cauce arrastró en la crecida del 99.

Cuenta un policía que fue testigo de la creciente consistió en una ola de agua con barros y escombros que disminuyó rápidamente.

Actualmente las aguas que se acumularon detrás del dique drenan infiltrándose a través de estas alcantarillas, el flujo que pasa son aguas claras. La capacidad de almacenamiento del dique es mayor de 26.500 m^3, suficiente como para amortiguar la creciente de diseño de 500 años, en caso de mantenerse la obstrucción en la entrada de las alcantarillas. Se destaca que este es otro punto crítico.

Unos 120 metros abajo empieza el embaulado de la quebrada. Pasa por debajo del puente de la Calle Parque Forestal, iniciándose el área de construcciones informales. En diciembre de 1999 cuando la entrada del embaulamiento fue rebasada y/o obstruida el flujo y los escombros que esta transportaba pasaron bajo este puente. En la Figura 8.41 se observa cómo quedó el puente tras el paso de la crecida.

.

Figura 8.41 Cotiza. Salida de túneles bajo Av. Boyacá.

Figura 8.42 Cotiza. Vista hacia aguas arriba del embaulamiento desde Puente en Av. Parque Forestal.

Figura 8.43 Cotiza. Puente en Av. Parque Forestal (Fuente: Protección Civil, año 1999)

Figura 8.44 Cotiza. Embaulamiento y área destruida por la creciente de diciembre de 1999.

Aguas abajo de la Av. Parque Forestal las márgenes del cauce han sido invadidas por construcciones informales, hasta la confluencia con la Quebrada Anauco. Algunas viviendas tienen el nivel inferior por debajo del tope del embaulamiento.

El Sector "Los Aliados" parte de la Av. Parque Forestal y colinda con el Hospital Luis Razetti con la margen derecha del cauce y con el sector López Méndez en su extremo aguas abajo de la margen derecha. Existen viviendas de 1 a 5 pisos.

En diciembre 99 en Los Aliados, el 51 % de las casas fueron destruidas por la creciente, el 9 % tuvo graves daños y el 40 % habitable. Las viviendas que colindaban con el Hospital Vargas fueron arrasadas con graves daños y pérdidas económicas en el hospital. En los terrenos del hospital se encontraron peñones arrastrados por la corriente.

Después de Diciembre del 99 se construyó un muro perimetral al Hospital Luis Razetti en concreto armando de aproximadamente 5 metros de alto de manera que futuras crecidas no afecten el área del hospital. No ha sido permitida la construcción de viviendas en el área que fueron desvastadas (ver Figura 8.45).

El sector "López Méndez" corresponde a las viviendas informales de 1 a 5 pisos en la margen izquierda del embaulamiento que tienen acceso desde la Av. López Méndez. En este sector, en diciembre 99, el 60 % de las viviendas fueron consideradas habitables, el 36% fueron destruidas o enterradas y el 4 % seriamente dañadas. Todavía hay viviendas a las que no se le han retirado los sedimentos acumulados en su nivel inferior.

El Sector "11 de Agosto" está en la margen derecha del cauce entre los sectores Los Aliados y Los Lanos, frente a López Méndez. Las viviendas tienen entre 1 y 4 pisos. Algunas de ellas colindan con la Calle Real de Cotiza.

En 11 de agosto el 14 % de las viviendas fueron destruidas durante la creciente y el 5 % sufrió graves daños.

El último tramo antes de llegar a la confluencia con la Quebrada Anauco es parte del Sector Los Lanos.

En el evento ocurrido el 4 de enero del 2006, al ceder el tapón en el Dique, hacia aguas abajo viajo una ola de agua con sedimentos y escombros de vegetación. El aumento brusco del caudal duró aproximadamente 15 minutos, afectando los taludes de la margen derecha. El flujo no pudo entrar en su totalidad por el embaulamiento de la quebrada, ubicado entre la salida de los embaulamientos de la Av. Boyacá y el puente de la Av. Parque Forestal, y viajó por encima del embaulamiento. Entre la Av. Parque Forestal hasta la confluencia con la Quebrada Caraballo, el flujo superficial destruyó algunas viviendas y afectó a algunas otras que están al nivel del embaulamiento o en un nivel inferior. El flujo arrastró vehículos estacionados sobre el embaulamiento, que se amontonaron, formando un dique que obstruyó el flujo. Esto ocasionó que en una casa vecina fuera arrasada en el nivel de planta baja, perdiendo las paredes y los enseres (ver Figura 8.).

Figura 8.45 Cotiza. Vehículos arrastrados por el flujo torrencial, enero 2006.

- **Tramo Quebrada Caraballo**

La Quebrada Caraballo nace en el Parque Nacional El Ávila, cerca de la Urb. Diego de Losada, pasa embaulada bajo la unión de la Av. Várala con la Av. Boyacá, atraviesa los Barrios El Retiro, Caraballo y Santa Elena hasta la confluencia con la Quebrada Anauco. El área de la Quebrada en su parte alta ha sido modificada por los movimientos de tierra efectuados por el desarrollo del urbanismo del área y por la construcción de la Av. Boyacá. Existía una Quebrada llamada El Sapo que era afluente de la Quebrada Caraballo al Norte del Hospital José María Vargas que hoy en día no existe debido a que se rellenó el área. Existen áreas con fuertes pendientes que son salvadas con escaleras que dan acceso a los barrios por distintas calles (ver Figura 8.).

Figura 8.46 Caraballo. Escaleras de acceso a las calles y avenidas principales.

A la altura del Barrio el Retiro han ocurrido deslizamientos de casas en épocas no lluviosas, producto de la infiltración de las aguas negras en el suelo.

En la intersección de la Calle Pelayo con Caraballo se observa muro deslizado desde su posición original (ver Figura 8.47), así como casas semi destruidas por deslizamientos que han ocurrido en el talud del terreno (ver Figura 8.48) Es importante señalar que la disposición de las aguas servidas no es la más adecuada, ya que estas son orientadas hacia el talud y no son llevadas directamente hacia el embaulado.

Figura 8.47 Caraballo. Vista de muro deslizado y casas semi destruidas en el fondo.

Figura 8.48 Caraballo. Casas dañadas por deslizamientos.

Aguas arriba de la Calle Machado, antiguamente se encontraban las cuadras donde se guardaban los burros que subían al pueblo de Galipán. En este sitio el embaulamiento de la Quebrada se encuentra más alto que algunas casas pegadas a este (ver Figura 8.49), también se observa un hueco efectuado en una de las paredes laterales del embaulamiento donde hay acumulación de basura y restos de vegetación.

Figura 8.49 Caraballo. Vista del embaulamiento elevado.

Por el lindero Oeste del Mercado de Cotiza, se encuentra la confluencia de la Quebrada con la Quebrada José Gregorio y cruza perpendicularmente la Calle Cotiza. Aguas abajo, el sector que atraviesa la Quebrada hasta la confluencia con la Quebrada Anauco es llamado Anauco III. El tramo más aguas arriba del embaulamiento en esta área, está roto debido a que para la crecida de diciembre de 1999 ocurrió un derrumbe en el talud lateral derecho al embaulamiento. El gran peso del terreno deslizado y el delgado espesor de la placa de techo del embaulamiento hicieron que este cediera y se rompiera. Hubo inundaciones por encima del embaulado. Otra versión es que hubo una explosión años atrás dentro del embaulamiento debido a acumulación de gases por agua contaminada con gasolina proveniente de una estación de servicio que está aguas arriba (ver Figura 8.50).

El cauce continúa embaulado, a medida que se acerca a la confluencia con la Quebrada Anauco se observa que la profundidad va aumentando.

Figura 8.50 Caraballo. Vista del embaulamiento dañado

Figura 8.516 Caraballo. Vista del embaulamiento

- **Quebrada José Gregorio**

La Quebrada José Gregorio nace en el Barrio Los Cujicitos, aguas abajo de la Av. Boyacá, atraviesa el Barrio Los Dos Cerritos hasta llegar a la confluencia con la Quebrada Caraballo aguas arriba de la Calle Cotiza, en todo su recorrido está embaulada.

En el Barrio Los Dos Cerritos, se encuentra el embaulamiento con dos escaleras que dan acceso al barrio hacia la Calle Parque Forestal. En época de lluvias, las aguas conducidas por las escaleras se encuentran de frente, perpendicular a ellas está el embaulamiento, que al no tener cerca rejillas o sumideros y al existir un estrechamiento del paso superficial debido a las construcciones sobre el embaulamiento, se inundan las casas unos cuantos centímetros (ver Figura 8.5252, Figura 8.53 y Figura 8.54).

Figura 8.52 José Gregorio. Escalera Margen izquierda.

Figura 8.53 José Gregorio. Escalera Margen derecha.

Figura 8.54 José Gregorio. Aguas abajo de encuentro de escaleras.

- **Tramo Quebrada Gamboa**

En la Quebrada Gamboa, en el Parque Nacional EL Ávila está en funcionamiento una toma de agua de HidroCapital, que surte a las edificaciones del área. Es un dique toma que desvía las aguas por medio de un canal en concreto hasta un estanque donde son potabilizadas por cloración. En época de lluvia el exceso de turbidez obliga a interrumpir el abastecimiento

(ver Figura 8.55755 y Figura 8.56). En época seca el cauce permanece sin agua después de la toma.

La quebrada entra al área urbanizada con cauce natural, pasa bajo los viaductos de la Av. Boyacá, atravesando el antiguo Club de La Contraloría General de La República. En esta área el cauce fue canalizado con sección trapecial paredes en piedra y fondo de concreto. Recibe aportes laterales que son conducidos a través de tuberías hasta el cauce.

En Diciembre del 99 la creciente socavó las bases de la canalización, que está dentro del club de la Contraloría, destruyéndolo (ver Figura 8.57).

En esta área hay acumulados sedimentos, restos de vegetación, rocas, escombros del canal destruido y la margen izquierda presenta socavación. Pasa bajo la Av. Cota Mil de San Bernardino, por una alcantarilla de concreto de 1,55 metros de alto por 2,10 metros de ancho (ver Figura 8.58).

Figura 8.557 Gamboa. Toma de agua.

Figura 8.56 Gamboa. Detalle de la toma de agua.

Figura 8.57 Gamboa. Canalización destruida por la crecida de diciembre 1999

Figura 8.58 Gamboa. Paso bajo la Av. Cota Mil

Figura 8.598 Gamboa. Aguas arriba de Av. Manuel Felipe Tovar

La quebrada continúa con cauce confinado entre muros, con aproximadamente 2 metros de ancho. Se observan muros reconstruidos tras la crecida del 99 (ver Figura 8.59860).

Al aproximarse al cruce con la Av. Manuel Felipe Tovar, el flujo se ve cristalino, lo que podría explicarse por un afloramiento de aguas subterráneas. En el lecho del cauce se encuentran escalones construidos con pequeñas rocas.

El cauce pasa bajo la Av. Manuel Felipe Tovar a través de un embaulamiento en concreto de 2,10 metros de ancho por 1,65 metros de alto (ver Figura 8.). Aguas abajo de este punto se observa acumulación de rocas (ver Figura 8.).

Figura 8.60 Gamboa. Alcantarilla bajo la Av. Manuel Felipe Tovar

Figura 8.61 Gamboa. Aguas bajo de la Av. Manuel Felipe Tovar

Aguas abajo de la Av. Manuel Felipe Tovar el cauce está invadido por algunas construcciones informales.

En esta área confluye un zanjón en forma de torrentera de 1, 30 metros de ancho por 1,90 metros de alto, que presenta problemas estructurales ya que sus bases están socavadas y están inclinadas con respecto al eje vertical (ver Figura 8.). Las aguas que conducen este zanjón vienen del Ávila, pasa por debajo de la Av. Agustín Codazzi y de la Av. Boyacá con una tubería de aproximadamente 1 metro de diámetro, la cual descarga en la torrentera inclinada.

En diciembre 99 esta área se vió afectada con inundaciones de más de 1 metro de altura. Algunas de las viviendas informales sufrieron daños estructurales y pérdidas en bienes muebles (ver Figura 8.6363). Hay tramos donde todavía se pueden observar los depósitos de los sedimentos arrastrados por la corriente.

Figura 8.62 Gamboa. Zanjón afluente de la Quebrada

Figura 8.63 Gamboa. Marcas de agua.

El cauce pasa de ser cauce natural a una canalización trapezoidal de concreto de 1 metro de altura con un ancho en la base de 1,30 metros y ancho superior de 3,30 metros, en un área de aproximadamente 10 metros de ancho. En la canalización existen dos rejillas que funcionan como presas abiertas para retener sedimentos y pequeños escombros. La rejilla más aguas arriba ha retenido tantos sedimentos y escombros que ha enterrado la sección trapecial del canal hasta el nivel del terreno y tiene acumulado pantano contaminado con aguas servidas. Aguas abajo de esta rejilla el cauce está limpio, salvo por algunos desperdicios arrojados por los vecinos. En el lateral derecho existen pequeños cilindros de concreto, se cree son para la retención de escombros y disipadores de energía. A la altura del Seminario que se encuentra en la Av. Manuel Felipe Tovar se encuentra unas canchas bajo las cuales pasa la quebrada embaulada en un cajón de 1,90 metros de ancho por 1,75 metros de alto (ver Figura 8.64).

En diciembre 99 el patio trasero del Seminario fue inundado y las canchas que se encuentran sobre el embaulamiento fueron severamente dañadas.

Figura 8.64 Gamboa. Entrada del embaulamiento a la altura del Seminario

Figura 8.65 Gamboa. Entrada de la quebrada al Sector Fermín Toro

La quebrada sigue embaulada, cruza la Av. Francisco Javier Ustariz, pasa por parcelas con construcciones formales y llega a al Sector Fermín Toro (al cual se accede por la avenida del mismo nombre). El sector Fermín Toro es un área de viviendas informales de hasta tres niveles, están construidas pegadas al embaulamiento y algunas de ellas construidas sobre él.

El sector es dividido en dos debido a que una construcción bloquea completamente el paso superficial. La tapa del embaulamiento es de concreto armado y es usada como paso peatonal. Hay pequeñas áreas no cubiertas (ver Figura 8.65).

En diciembre 99 la crecida de la quebrada inundó el sector dejando como saldo una vivienda caída, que representa el 2,27 %, el 25 % tuvo daños y el 73 % fueron calificadas como habitables. La inundación no salió por las entradas de acceso al sector, si no por el punto más aguas abajo. La casa caída está en este sitio, donde termina el embaulamiento del sector y comienza otro que pasa bajo las parcelas y las calles hasta la confluencia con la Quebrada Anauco. Los mismos vecinos limpiaron el área de escombros y sedimentos.

Aguas abajo de este sector y tras cruzar la Av. Cecilio Acosta la quebrada vierte sus aguas en la Quebrada Anauco entre la Av. Fermín Toro y la Plaza Anauco. Llega con una tubería de concreto de 2 metros de diámetro (ver Figura 8.66 y Figura 8.67)

Figura 8.66 Gamboa. Aguas arriba de la confluencia con la Quebrada Anauco

Figura 8.67 Gamboa. Confluencia con la Quebrada Anauco

- **Tramo Quebrada Las Beatas**

La Quebrada Las Beatas está canalizada aguas arriba de La Av. Boyacá dentro del Parque Nacional El Ávila. Ha sido encauzada en una canaleta de 1,50 metro de ancho por aproximadamente 2 metros de alto. Al llegar a la Av. Boyacá va paralela a esta en dirección hacia el oeste y se une a otros dos afluentes de la quebrada, uno de ellos es la subcuenca 40, la otra es un cauce menor. El flujo de estos afluentes pasa a través de una alcantarilla bajo la Av. Boyacá para unirse al cauce principal de la Quebrada Anauco, a través de tuberías de acero corrugado, a la altura de la entrada del embaulamiento que pasa bajo la Av. Boyacá.

Aguas abajo de la Av. Boyacá el cauce original de la quebrada cruza la Av. La Palmita, cerca de la caseta de vigilancia de dicha calle, evidenciándose por la depresión en la avenida. Continúa embaulada a través del terreno del Colegio Tirso de Molina. En el Colegio existe un plano de planta, previo a la construcción del colegio que se inició en el año 1975, donde se indica el paso del embaulamiento mas no las dimensiones de este u otras características. Como referencia fue indicado que el embaulamiento está bajo la biblioteca y la capilla del Colegio.

En planos se ha observado que en este punto el embaulamiento gira aproximadamente 90° su dirección, paralelo a la Av. Cristóbal Rojas, unos 65 metros hacia el Este cruza esta vía, atraviesa por lo menos dos parcelas edificadas y la Av. Licenciado Aranda hasta llegar al sector Dos Túneles, donde se puede ver el embaulamiento, de 1 metro de ancho por 60 centímetros de profundidad.

En este tramo no fueron reportados daños provocados por la quebrada Las Beatas. Sólo el tramo de esta que se encuentra en el sector Dos Túneles sí, pero debido a la crecida en la Quebrada Anauco.

- **Tramo Quebrada Los Erasos**

Figura 8.689 Erasos. Embaulamiento en terreno de la Asociación de Boy Scout.

La Quebrada Los Erasos nace en el Parque Nacional el Ávila, cruza la Av. Boyacá. Pasa embaulado a través de las parcelas construidas, de los jardines de la Casa Humboldt, llega a un terreno que

pertenece a los Boys Scout de Venezuela en la Av. Los Próceres. Aquí el embaulamiento de la quebrada aflora y gira hacia el oeste. Tras una aparente disminución en la altura de la sección por un escalón en el embaulamiento desaparece enterrado. Las dimensiones son de 1.20 metro de ancho por aproximadamente 1.40 metro de alto (vecino del sector que caminó por allí (ver Figura 8.689).

El embaulamiento vuelve a girar para cruzar perpendicularmente la Av. Los Próceres. En la acera sur, a ambos lados existen sumideros que recogen las aguas de lluvia y las conducen al embaulamiento. Cuando uno de estos dos sumideros se tapa por acumulación de desechos sólidos, colchones, etc., el nivel de las aguas sube sobre la acera y desborda sus aguas hacia el Barrio Los Erasos ubicado en una depresión por donde pasaba el cauce natural originalmente, ahora embaulado. Inicialmente se construyó un colector rectangular, con el tiempo se construyó otro colector circular paralelo, ya que con las lluvias el colector original no era suficiente.

El primer embaulamiento construido continúa a través del Barrio Los Erasos hasta llegar a la Av. Panteón donde gira hacia el sur. Desde este punto se supone que toma la calle Gamboa y desemboca en la Quebrada Anauco a la altura del Distribuidor la Estrella y que el segundo colector en algún punto fuera del barrio se conecta a la red de drenaje hacia la Quebrada Anauco.

En las lluvias que se registraron en el abril del 2003 el nivel de las aguas subieron aproximadamente 30 cm sobre el pavimento de la calle interna del Barrio Los Erasos. El desbordamiento y caos ocurrido en el sector en esa oportunidad se debe a que colchones dejados en la basura taparon uno de los sumideros de la calle y el agua de lluvia al acumularse desbordó por las paredes del barrio, lavando los sedimentos la corriente.

En el año 2005, para el mes de junio se descubrió en el terreno de los Boys Scout un hueco con más de 10 metros de diámetro por 15 metros de profundidad. Se observa en la actualidad que parte del embaulamiento ha quedado en volado y que la losa de fondo tiene filtraciones. El embaulamiento llega a una “torre” hecha con tuberías de concreto. El flujo al llegar a este punto cae verticalmente aproximadamente 10 metros y va en línea recta hacia el sur, hacia el Barrio Los Erasos. Al parecer, parte del terreno de los Boys Scout y el tramo de vía de la Av. Los Próceres paralelo al terreno están sobre relleno, visto que existe un desnivel de varios metros con el Barrio Los Erasos . Este fenómeno mencionado puede tener su origen en alguna fractura del embaulamiento aguas abajo, la corriente del flujo puede estar “lavando” los sedimentos del relleno. Es importante monitorear la evolución del hueco ya que puede afectar la Av. Los Próceres, incluso desplomarse el embaulamiento al no tener apoyo y ser un riesgo para las personas que se encuentren en el área.

Figura 8.69 Erasos. Embaulamiento y “torre” en terreno Boys Scout.

8.2.2 Antecedentes de inundaciones y aludes

- Entre los años 1100 y 1500 de nuestra era, la intensa actividad sísmica en la Cordillera de la Costa combinada con fuertes lluvias provocó uno o varios aludes torrenciales que cambiaron dramáticamente los cursos de agua y la topografía en el Valle de Caracas. Evidencias de ello son los yacimientos arqueológicos encontrados en la Quebrada Anauco en el área de lo que se conocía como “Complejo el Conde” o Parque El Conde, cuatro a cinco metros bajo los depósitos de aluviones de otras crecidas del río (Singer, 1977)
- 1773: las lluvias torrenciales del mes de junio arrastran árboles, barro y materiales en el río Guaire, la Quebrada Anauco y otras. Destrucción de pequeñas viviendas (Pacheco, 2002).
- 1784: la ciudad de Caracas sufre de pérdidas económicas y humanas y problemas de comunicación por las crecidas de los ríos. Se decidió entonces la construcción del Puente Anauco, entre otros (Pacheco, 2002).
- 1812: Difluencia (Basabe et al, 2001)
- 1830: daños en el Puente Anauco debido al incremento en el caudal de la quebrada.
- 1848: una fuerte tempestad produce aludes torrenciales en las quebradas de Caracas, con destrucción de bienes (Pacheco, 2002).
- 1854: destrucción de la tercera parte de un dique lateral aguas abajo de Puente Anauco, el cual protegía a un cementerio localizado en el sureste de la ciudad de las crecientes de la quebrada (Pacheco, 2002).
- 1951: el Dr. Sucre Alemán reporta la crecida de las Quebradas Anauco y Caraballo con los consiguientes daños materiales.

- 17 de febrero de 1951: Destrucción del Puente Brión y 100 casas anegadas en San Bernardino (Basabe et al, 2001).
- 1951: derrumbes por socavación en la quebrada (archivo (fuente: portal del PNUD)
- 1º de Octubre de 1974: edificio dañado (Basabe et al, 2001).
- 11 de Octubre de 1976: 60 familias damnificadas (Basabe et al, 2001)
- 21 de noviembre de 1977: 80 casas dañadas (Basabe et al, 2001).
- 08 de octubre de 1978: Ranchos destruidos (Basabe et al, 2001).
- 03 de septiembre de 1979: Puente Avilanes destruido y subestación eléctrica Avilanes dañada. En el lugar del puente fue encontrado un peñón de más de 2 metros de diámetro, el cual había impedido el paso de las aguas por el canal (Basabe et al, 2001).
- 1985: flujos hiperconcentrados (Basabe et al, 2001).
- 1993: inundaciones debidas a las lluvias de la Tormenta Brett
- 15 y 16 de diciembre de 1999 (ver figura):

- Av. México: la avenida quedó cubierta de barro, el cual penetró en la estación Bellas Artes del Metro de Caracas, que permaneció fuera de servicio el 16. Los sótanos del edifico Tequendama, ubicado en esa avenida, quedaron anegados tapiando 520 vehículos (Grases et al, 2000)
- Urbanización La Candelaria: esta urbanización sufrió los embates de la Quebrada Anauco. El barro alcanzó espesores de hasta medio metro en estacionamientos de algunos edificios que están a nivel del Paseo Anauco, ubicado sobre el embaulamiento de la quebrada (Grases et al, 2000).
- Brisas de Gamboa: en el sector residían más de mil familias y sólo han retornado 40 (para el día 26), no se tienen datos sobre el grado de afectación (Grases et al, 2000).
- Cotiza: colapso del embaulamiento (Grases et al, 2000).
- Camino a Cotiza: fueron visto los bordes de los cerros convertidos en cataratas, desprendimientos de las laderas y de los caudales que no existían antes (Grases et al, 2000).
- Barrio Los Erasos: afectado por desbordamiento de la quebrada Anauco. En esta área de San Bernardino y otras aledañas se habla de 5.000 viviendas destruidas y 1500 afectadas" (Grases et al, 2000).
- Quebrada Anauco: desbordamiento de la quebrada. Destrucción de viviendas. Destrucción del barrio López Méndez. Por las marcas dejadas en las paredes de los restos de viviendas, el agua sobrepasó los 10 metros. Un reloj se detuvo a 10 para las 4; posiblemente fue la segunda de las olas, ya en la madrugada. "La noche del día 15 notamos que la quebrada iba creciendo,… se estaba llevando el puente y el otro que sigue. Cuando los carros fueron arrastrados se tapó y comenzó a subir el nivel de las aguas." Para el día 20, la prensa informa que el agua de esta quebrada bajaba con fuerza por la Av. Cajigal. Las avenidas Cecilio Acosta, López Méndez y Humboldt también estaban afectadas." (Grases et al, 2000).
- Afectación de la Maternidad Santa Ana (Grases et al, 2000)
- Quebrada Cotiza: inundó de lodo el Hospital Oncológico Luis Razetti (parroquia San José) (Grases et al, 2000).

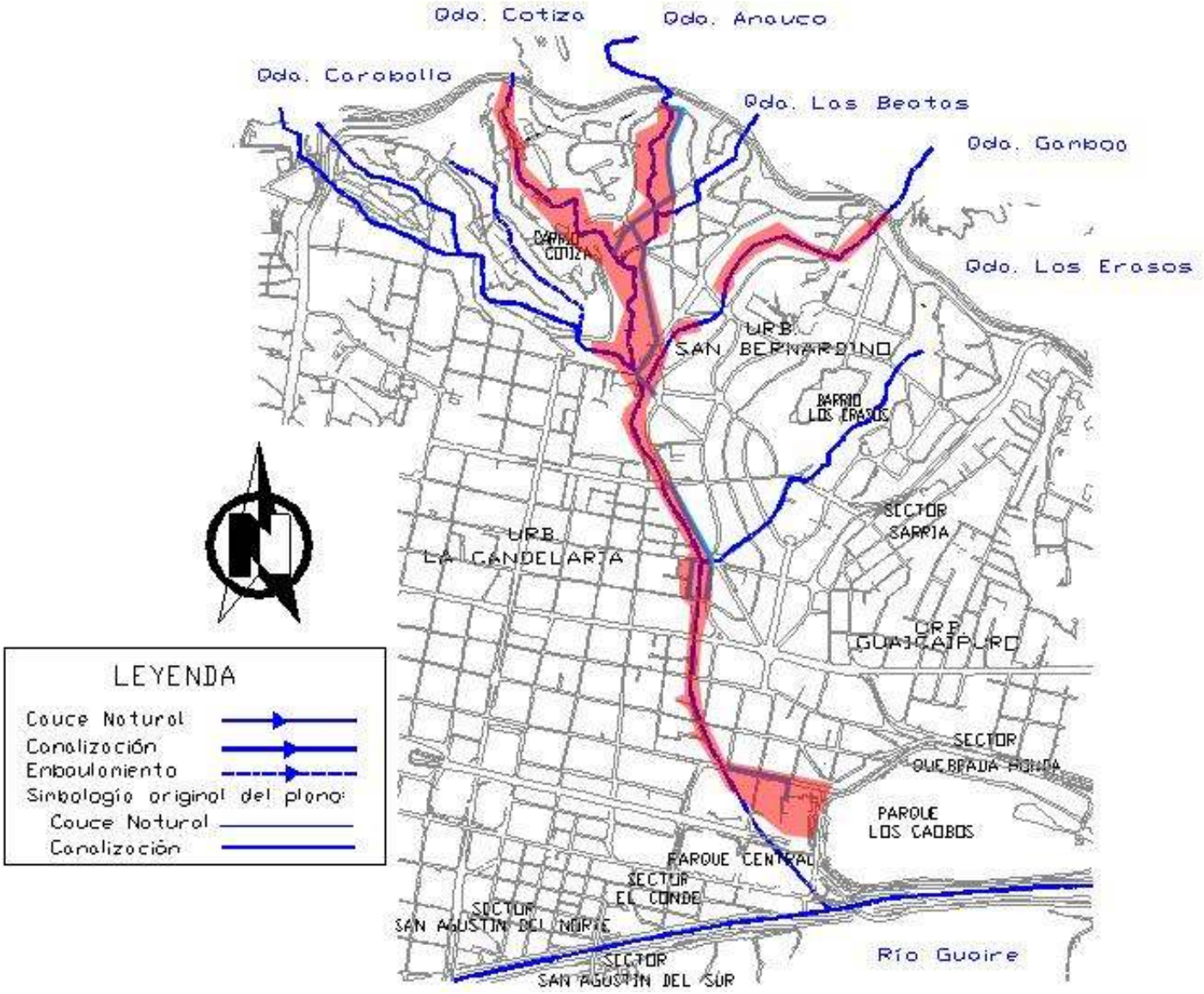


Figura 8.70 Anauco. Área afectada por evento de diciembre de 1999.

- A**bril 2003:** en la Av. Los Próceres una de las alcantarillas que conduce las aguas de lluvia hacia el embaulamiento de la Quebrada Los Erasos quedó bloqueada por un colchón y otros desperdicios en la calle. El agua escurrió por los muros, socavó parte de este. El nivel de las aguas subieron aproximadamente 30 cm sobre el pavimento de la calle interna del Barrio Los Erasos y sedimentando parte del sector. Aguas abajo en la Quebrada Anauco al final del Paseo Anauco se inundaron nuevamente los sótanos del edificio Tequendama.

- **2005**. Las lluvias ocurridas desde febrero hasta junio del año 2005 tuvieron las siguientes consecuencias:

- Precipitaciones ocurridas en el mes de junio de corta duración y gran intensidad generó la alarma en el Sector Gamboa de la Quebrada Anauco al desbordarse el flujo en el tramo abierto de la canalización y al cambiar las características del flujo en cuanto olor y color a las presentadas en la creciente de diciembre de 1999.
- Desde febrero se observan las evidencias de erosión de los sedimentos acumulados aguas arriba de la Av. Boyacá en la Quebrada Anauco. Meses después, durante una creciente, el paso de restos de vegetación alarmó a la comunidad del barrio y se encontró que el proceso de erosión había evolucionado alcanzando una profundidad de aproximadamente 5 metros de profundidad y dejó al descubierto parte de la obra de captación de las aguas de la entrada del embaulamiento que pasa bajo esta avenida.
- En la Quebrada Los Erasos, en el terreno que pertenece a los Boys Scout, ha evolucionado un hueco que tiene aproximadamente 10 metros de diámetro por 15 metros de profundidad.

- Enero 2006 Se produce una inundación en el sector Los Lanos de la Qda Cotiza, debido al destape brusco de una laguna llena de agua existiendo aguas arriba de la Cota Mil (ver descripción en la sección relativa a esta quebrada)

8.2.3 Resumen de puntos críticos

Durante el proyecto en las diferentes visitas de campo realizadas, se efectuaron observaciones destinadas a determinar aspectos críticos que tiendan a favorecer las inundaciones y aumentar sus consecuencias.

- Estado de los cursos de agua: los tramos al aire libre contienen en general muchos desperdicios, hasta vehículos arrastrados por la creciente del 99. Es posible que existan todavía obstáculos dentro de los tramos embaulados. El fondo y los bordes de los canales están en mal estado en muchos tramos.
- Estado del agua: el agua presenta el aspecto de aguas servidas.
- Estado de sumideros de colectores en las calles: muchos están fracturados, obstruidos y secos.
- Avance de la reconstrucción: después del evento de diciembre de 1999 los escombros y sedimentos fueron removidos del cauce, y muchos moradores volvieron a reconstruir sus viviendas en la orilla. Pero varias áreas ocupadas antes de 1999, están todavía sin reconstruir ya que la comunidad del Barrio Arauco está trabajando en impedir su ocupación.

Se identifican a continuación los puntos considerados de manera preliminar como críticos desde el punto de vista hidráulico:

- Todas las entradas a los embaulamientos, sobre todo las más próximas al Parque Nacional El Ávila, ya que las crecidas pueden arrastrar escombros de vegetación y sedimento grueso que obstaculizan las entradas.
- Los sectores Los Bambúes y Dos Túneles al estar deprimidos con respecto al nivel de la calle, cuando se inundan el flujo no sale si no que se acumula ahí.
- Tramo de canal abierto en concreto, entre la confluencia de la Quebrada Anauco con la Quebrada Caraballo y la Av. Panteón, la losa de fondo de la canalización está rota, existen filtraciones en la margen izquierda del cauce, con socavación del terreno.
- Calle Paralela, es la primera calle paralela al cauce de la quebrada Anauco hacia el Oeste, entre el Distribuidor La Estrella y Puente Avilanes. El drenaje se encuentra en esta calle en un punto bajo, al obstruirse por acumulación de basura y escombros, inundan la vía y las áreas comerciales. Además cuando llueve fuerte las aguas que no logra captar las alcantarillas en el Distribuidor La Estrella cruzan sobre el puente hacia la Calle Paralela.
- En el cruce con la Av. Urdaneta, bajo el puente elevado, hay acumulación del flujo que escurre por las calles, se debe a obstrucción en el drenaje de la ciudad. Durante la construcción del centro comercial Galerías Ávila este problema aparentemente fue solventado, ya que con las lluvias del año 2005 no se han observado la “laguna” que allí se formaba.
- En el Paseo Anauco al haber un escurrimiento superficial atípico sobre el embaulamiento, el flujo no tiene forma eficiente de entrar a la canalización cerrada e inunda los sótanos de los edificios que están a nivel del paseo. Vecinos del sector proponen como solución muros que separen la calle de servicio del área del paseo.

- Av. México a la altura de Puente Brión en la entrada del Paseo Anauco se acumulan las aguas de lluvia en el pavimento y la pendiente no ayuda a que drenen hacia ningún desagüe.
- Extremo Este de la Av. Bolívar, se ha presentado acumulación de aguas de lluvia en punto bajo de la vía que impide la circulación de vehículos cuando caen fuertes precipitaciones.
- Tuberías paralelas en Quebrada Cotiza, aguas arriba de Av. Boyacá. Están obstruidas en su extremo aguas arriba. Sólo pasa agua en poca cantidad. En base a lo que ocurrió en Quebrada Anauco en el área de la Av. Boyacá que se destapó el embaulamiento o túnel que lleva las aguas hasta aguas abajo de la Av. Arístides Rojas, donde con la creciente del 99 se destapó y por allí pasaron el flujo de barros y escombros, se puede prever que en futuras precipitaciones se "lave" el tapón que obstaculiza el paso del flujo de agua, sedimentos y escombros.

8.3 SIMULACIONES

8.3.1 CONDICIONES DE LA SIMULACIÓN.

Para elaborar el Mapa de Amenaza de la Quebrada Anauco se consideran las profundidades y velocidades máximas del flujo de los eventos de 10, 100 y 500 años de período de retorno. Las condiciones generales del modelo son las que se describen a continuación y más adelante se describen las condiciones particulares a cada evento.

Se construyó el modelo de la cuenca en el área urbana, en base a planos con topografía digital esc. 1:5.000 suministrados por ESTEREOFOTO. En base a la topografía digital se generó una malla de 8.692 celdas rectangulares de 30 metros de lado. A cada celda se le asoció un valor de elevación y de rugosidad n de Manning.

La rugosidad mínima empleada para la topografía en general es 0,050; 0,020 en sitios cuya área sin construcciones y revestimiento en concreto o asfalto es mayor a 900 m^2. Valor que se empleó para las calles y avenidas. En los embaulamientos y canalizaciones se emplearon valores de Manning que estuvieran de acuerdo a la geometría del canal, material de revestimiento, número de Froude y velocidades del flujo.

La pendiente del área modelada disminuye en dirección Sur. Esto es considerado en el modelo para establecer las características de las calles y avenidas, y de las obstrucciones y reducciones de área.

Las calles en el modelo funcionaron como canales cuya profundidad es la asignada como alto de la acera. En la parte alta de la cuenca, la pendiente de las calles generalmente se aproxima a la pendiente del terreno. El flujo en las calles con estas características tiende a seguir por la calle y alcanzar altas velocidades, debido a esta tendencia se consideraron mayores alturas para la acera.

No se simuló como calle la Av. Bolívar por tener más de 30 metros de ancho, por tanto se hicieron los correspondientes ajustes de rugosidad en el área. Igualmente ocurrió en algunos puntos de las vías, donde el área pavimentada era mayor al elemento de la malla. Se simularon las siguientes calles y o avenidas:

- Lecuna
- Parque Central
- México
- Urdaneta
- Panteón
- Callejón San Luis
- El Parque
- Anauco
- Anauco (Santa Ana)
- Galipán
- Ávila
- Cajigal
- Altamira
- Estrella
- Gamboa
- Paraíso
- Volmer
- Manuel Felipe Tovar
- José Félix Rivas
- Fermín Toro
- Alejandro Humboltd
- Cecilio Acosta
- C. Soublette
- Juan Germán Roscio
- R. Seijas
- Francisco Javier Ustariz
- Licenciado Aranda
- Cristóbal Rojas
- Este
- Este 2
- Caracas
- Sur 17
- Sur 19
- Sur 21
- Sur 23
- Sur 25
- Rafael Baralt
- Francisco J. Yanez
- José Ángel Lamas
- Agustín Codazzi
- F. Blanco
- Marqués Toro
- M. Montilla
- George Washington
- Los Próceres
- C. Mendoza
- Calle BaCaraballo
- Los Cujicitos
- Arturo Michelena

Se emplearon factores de obstrucción de área ARF de hasta 0,40 y reducción de paso WRF de hasta 1. Dentro del Barrio Anauco se emplearon valores para el ARF de 0,40 y de WRF de 0.80 para simular la complejidad del escurrimiento superficial en el área. Se consideró como una obstrucción total el muro perimetral que separa al Hospital Razetti del embaulamiento de la Quebrada Cotiza, ya que por sus características constructivas y su altura no permite intercambio del flujo superficial en esa área.

En la parte baja de la cuenca, al ser menor la pendiente del terreno se considera que el flujo pierde velocidad y su tendencia será a quedar almacenado en los puntos bajos de las parcelas, como los sótanos y locales comerciales en las plantas bajas, sin mucha posibilidad de intercambio con parcelas vecinas. Por tanto en el modelo para simular esta característica se manipularon los valores de WRF de manera que el intercambio de flujo en el interior de las manzanas fuera el mínimo posible.

Al complejo residencias de Parque Central se le dió un tratamiento especial: fueron consideradas las profundidades de los sótanos ya que una vez que el flujo entra en el recinto no puede salir, siendo almacenado allí durante el resto del evento. Es de observar que en

peligro por inundación estarían las áreas por las cuales penetraría el flujo y los sótanos inferiores, más no así los niveles superiores al nivel Bolívar.

El gasto máximo por afluente y por evento son los mostrados en la Tabla 2.

El sistema de drenaje de la cuenca en el área urbana consiste casi en su totalidad en sistemas de alcantarillados y embaulamientos o canalizaciones cerradas. Para cada elemento hidráulico se consideraron sus características geométricas, físicas y topográficas, por ejemplo se consideraron las dimensiones de la sección: ancho y alto o diámetro, longitud, material de recubrimiento de la canalización, obstáculos, pendiente del lecho, etc.

Se modelaron los embaulamientos de las quebradas y las alcantarillas. No se conoce exactamente en que porcentaje se disminuye la capacidad de un embaulamiento al ser obstruida su entrada por escombros y sedimentos. En diciembre del 99 los embaulamientos no se bloquearon en un 100 %, parte del flujo pasó por el estos y después del evento se observó que no estaban sedimentados. Pudo ser debido a que la obstrucción filtró parte de los sedimentos y a que la velocidad del flujo dentro de los embaulamientos tenía la suficiente energía como para arrastrar los sedimentos. Para modelar este efecto se usó como criterio que la capacidad máxima del embaulamiento es disminuida en un 30 %, para eventos de flujo hiperconcentrado donde se esperan escombros.

Tabla 2 Gastos máximos de la cuenca de la Quebrada Anauco.

CUENCA	CAUDAL (m^3/s) PERÍODO DE RETORNO (años)		
	10	**100**	**500**
Caraballo		10.4	14
Cotiza	19.54	56.37	83.08
Anauco	21.61	50.14	74.58
Subcuenca 40	3.19	6.35	8.44
Beatas	4.73	10.30	14.64
Zanjón	3.21	6.39	8.88
Gamboa	23.85	52.78	83.30
Erasos	4.44	8.85	12.31

En cada evento se considera el aporte de la cuenca que pertenece al área del Parque Nacional el Ávila y la lluvia en el área de la ciudad. Existen ocho puntos de entrada del flujo, que corresponden a los tributarios de la cuenca: Caraballo, Cotiza, Anauco, Subcuenca 40, Beatas, Zanjón, Gamboa y Los Erasos. Para la lluvia se emplean los hietogramas de diseño para 10, 100 y 500 años de período de retorno de la estación Cajigal.

Período de retorno (años)	10	100	500
Lámina total de lluvia (mm)	85.06	123.28	148.16

Para cada evento se evaluarán los siguientes casos:

1. Aporte del flujo del Parque Nacional el Ávila (hidrogramas de entrada) más lluvia caída en el área urbana.
2. Aporte del flujo del Parque Nacional el Ávila (hidrogramas de entrada)
3. Lluvia caída en el área urbana

El evaluar cada evento en tres casos permite observar el efecto de los aportes de la lluvia en el Parque Nacional el Ávila y de la lluvia en el área urbana, juntos y por separado.

8.3.2. SIMULACIÓN PARA PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS

8.3.2.1 Condiciones de la simulación

Para este evento se emplea los hidrogramas de lluvia de cada quebrada (Figura 8.71 y Figura 8.72) y el hietograma de lluvia correspondientes a 10 años de período de retorno (Figura 8.73). La concentración volumétrica de sedimentos es 0,20, constante durante todo el evento.

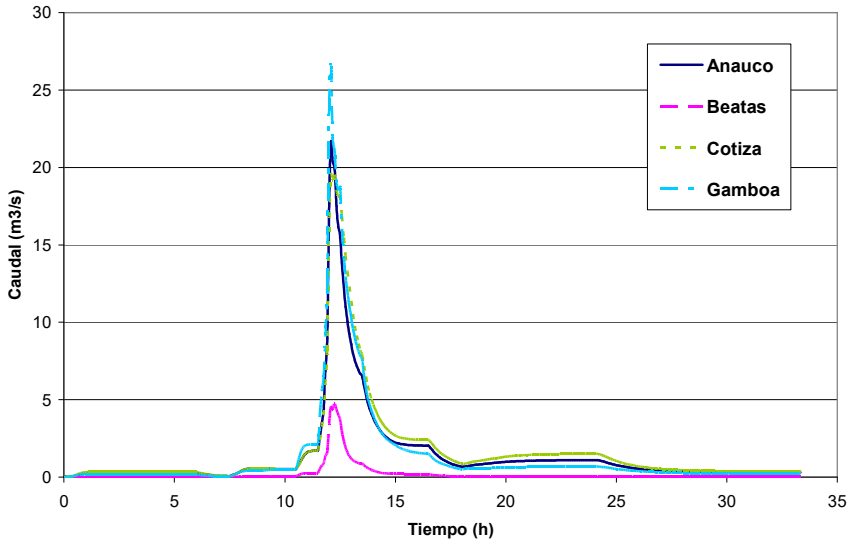


Figura 8.71 Anauco. Hidrogramas de afluentes de la Cuenca Anauco (Tr = 10 años).

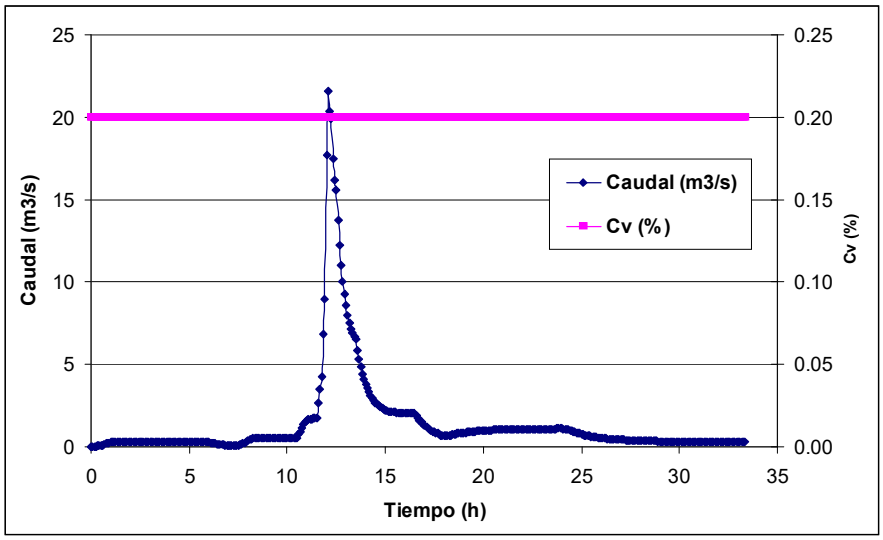


Figura 8.72 Quebrada Anauco. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 10 años).

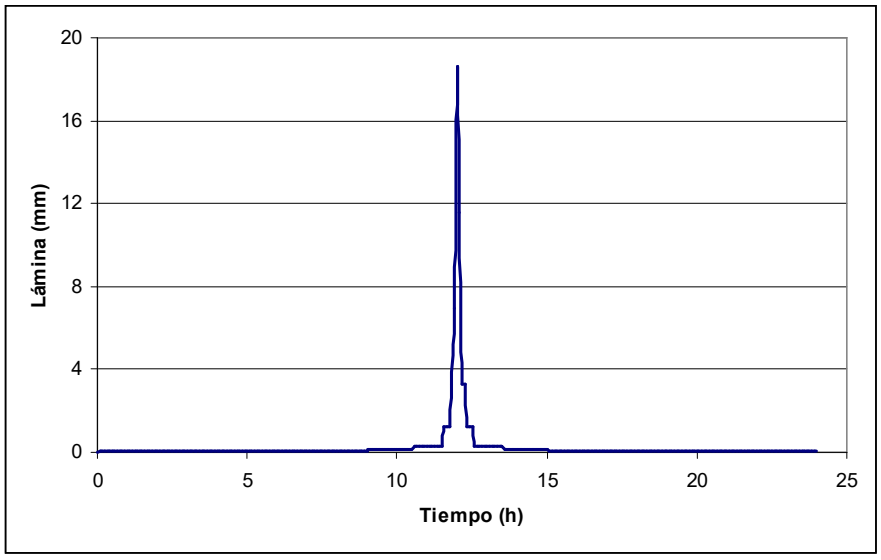


Figura 8.73 Anauco. Hietograma estación Cajigal (Tr = 10 años).

8.3.2.2. Resultados

Para el evento de 10 años de período de retorno se evaluaron los tres casos mencionados y se obtuvieron profundidades y velocidades máximas para cada evento:

Las profundidades máximas se pueden observar en las respectivas figuras. Se producen las máximas profundidades en la entrada de los embaulamientos. Las calles funcionan como canales que conducen el agua de lluvia, en especial aquellas con fuertes pendientes en la parte alta de la cuenca. En general conducen una lámina de flujo entre 0,10 y 0,50 metros.

Caso 1: **Hidrogramas más lluvia** (ver Figura 8.74 y Figura 8.75)

En la entrada del embaulamiento del Paseo Anauco se produce la profundidad mayor en el cauce, alcanzando el flujo aproximadamente 9 metros de altura, casi 4,50 metros por encima de la canalización. Las máximas velocidades se registran en los sitios de confluencia de las quebradas Anauco y Cotiza, y Anauco y Gamboa. En la Quebrada Cotiza hay escurrimiento superficial por encima del embaulamiento, al igual que en la Quebrada Anauco. Se observa en el sector Dos Túneles profundidades máximas de hasta casi 4 metros, es una depresión sin salida salvo por el mismo embaulamiento, el flujo aquí se represa. Las aguas que son conducidas superficialmente por el Paseo Anauco llegan a la Av. México. En la Quebrada Gamboa hay tramos del cauce natural y otro de concreto, las inundaciones se confinan al lecho, la mancha de inundación señala como punto de desbordamiento la entrada del embaulamiento que está a la altura del seminario de la Av. Manuel Felipe Tovar. La lluvia definió el cauce de la Quebrada Caraballo y sus afluentes.

El volumen de entrada del hidrograma es de 484.560,65 m^3 y el volumen por lluvia es 617.064,82 m^3. El área máxima de inundación en el área de estudio es de 474,74 ha, el área máxima de inundación del terreno es 472,3 ha, y de la canalización 2,2 ha.

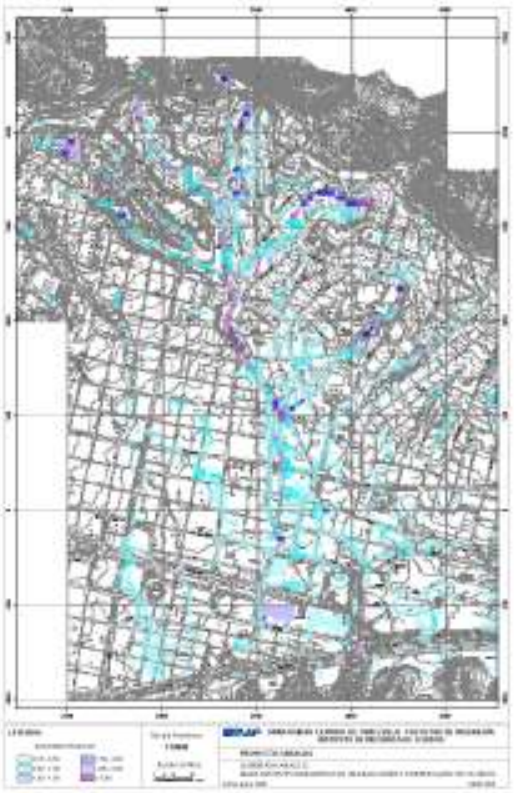


Figura 8.74 Anauco. Caso 1 (hidrogramas más lluvia), Profundidades Máximas para Tr = 10 años.

Figura 8.75 Anauco. Caso 1 (hidrogramas más lluvia), Velocidades Máximas para Tr = 10 años.

Caso 2: Hidrogramas (ver Figura 8.76 y Figura 8.77)

Se producen inundaciones en toda el área de la Quebrada Cotiza, no superando los 30 centímetros de profundidad, y 1,86 m/s la velocidad máxima.

En la Quebrada Anauco se desborda el flujo aguas arriba del Sector Los Bambúes, afectando la Av. Lic. Aranda con profundidades menores a los 20 centímetros. Desde el sector los Dos Túneles se desborda el flujo hasta la confluencia con la Quebrada Cotiza. Los Sectores Los Lanos, La Chivera y Anauco II son afectados con profundidades máximas de flujo de 1 metro. En la canalización abierta la profundidad y la velocidad máxima observadas es de 3,74 m/s y 6 m/s, respectivamente.

En la Quebrada Gamboa se observan dos puntos críticos de desbordamiento. Uno es la alcantarilla bajo la Av. Manuel Felipe Tovar y el otro es el embaulamiento que está detrás del seminario en la misma avenida.

Aguas abajo de la canalización abierta no ocurren desbordamiento del flujo.

El volumen de entrada del hidrograma es de 484.550,50 m^3. El área máxima de inundación en el área de estudio es de 11,45 ha, el área máxima de inundación del terreno es 10,75 ha, y de la canalización 0,70 ha.

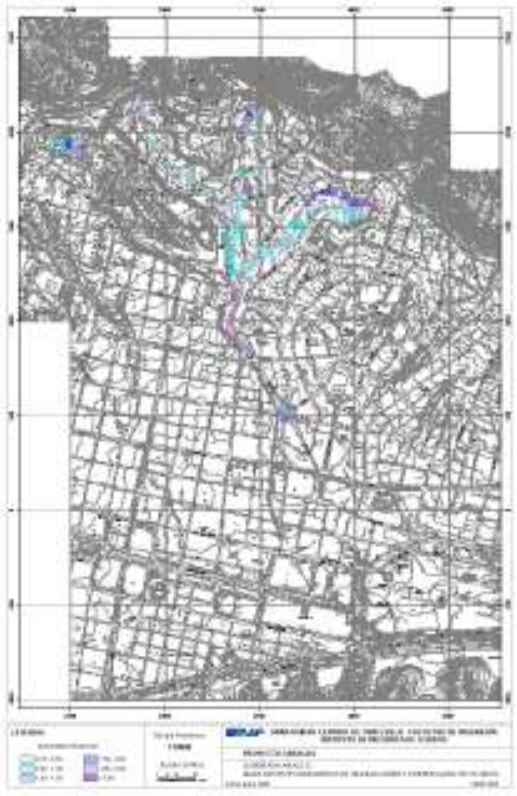


Figura 8.76 Anauco. Caso 2 (hidrogramas), Profundidades Máximas para Tr = 10 años.

Figura 8.77 Anauco. Caso 2 (hidrogramas), Velocidades Máximas para Tr = 10 años.

Caso 3: Lluvia sobre el área (ver Figura 8.78 y Figura 8.79)

Las aguas de lluvia definen los patrones de drenaje superficial, se canalizan parte de esta agua a través de los cauces de las quebradas y a través de las avenidas. En la topografía la profundidad de las aguas están entre los 0,10 a 0,50 metros en general.

En general se observan las calles con profundidades menores a los 0,50 metros y es en la Av. México, en la entrada del Metro de Bellas Artes donde se observan profundidades mayores del flujo.

El volumen por lluvia es 617.064,82 m^3. El área máxima de inundación en el área de estudio es de 474,55 ha, el área máxima de inundación del terreno es 473,30 ha, y de la canalización 2,14 ha.

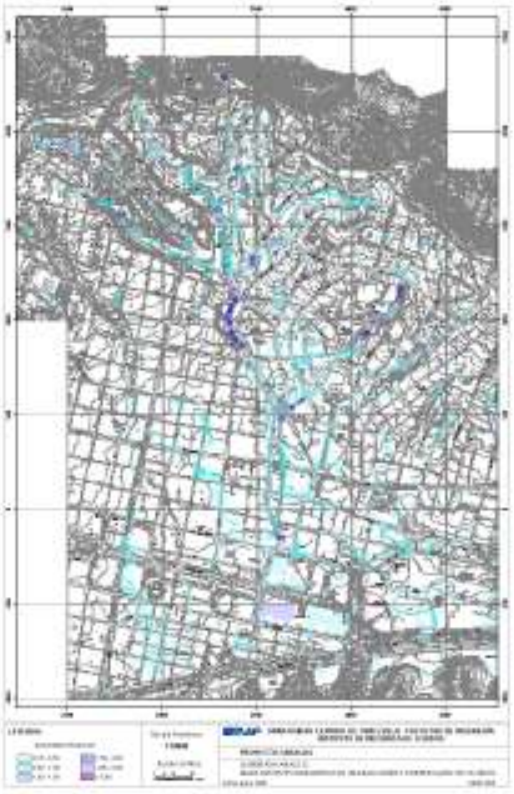


Figura 8.78 Anauco. Caso 3 (lluvia), Profundidades Máximas para Tr = 10 años.

Figura 8.79 Anauco. Caso 3 (lluvia), Velocidades Máximas para Tr = 10 años.

8.3.3. SIMULACION PARA PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS

8.3.3.1 Condiciones de la simulación

Para este evento se emplea los hidrogramas de lluvia de cada quebrada (Figura 8.80 y Figura 8.81) y el hietograma de lluvia correspondientes a 100 años de período de retorno (Figura). La concentración volumétrica máxima de sedimentos es 0,25 para todos los tributarios de la cuenca. En la Figura 8.8310 se muestra la distribución de Cv para el hidrograma de entrada de la Quebrada Anauco.

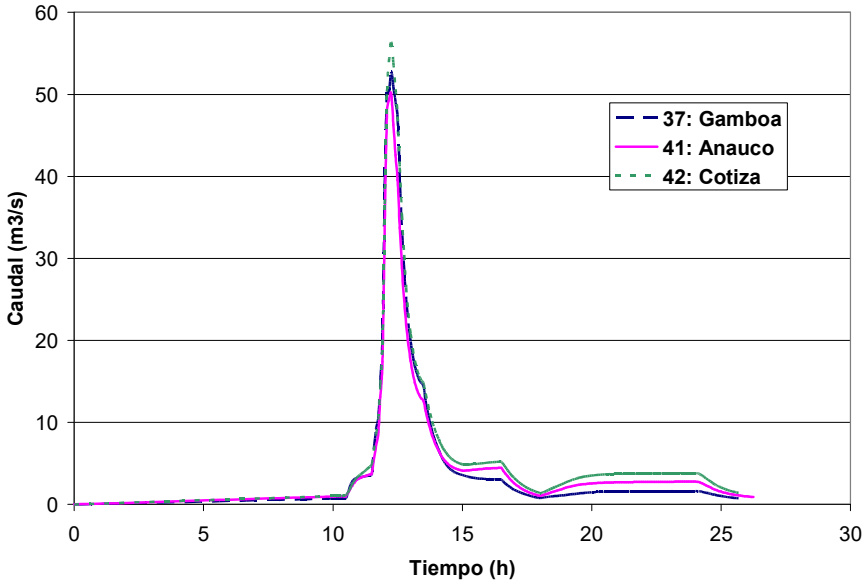


Figura 8.80 Anauco. Hidrogramas de afluentes principales de la Cuenca Anauco (Tr = 100 años).

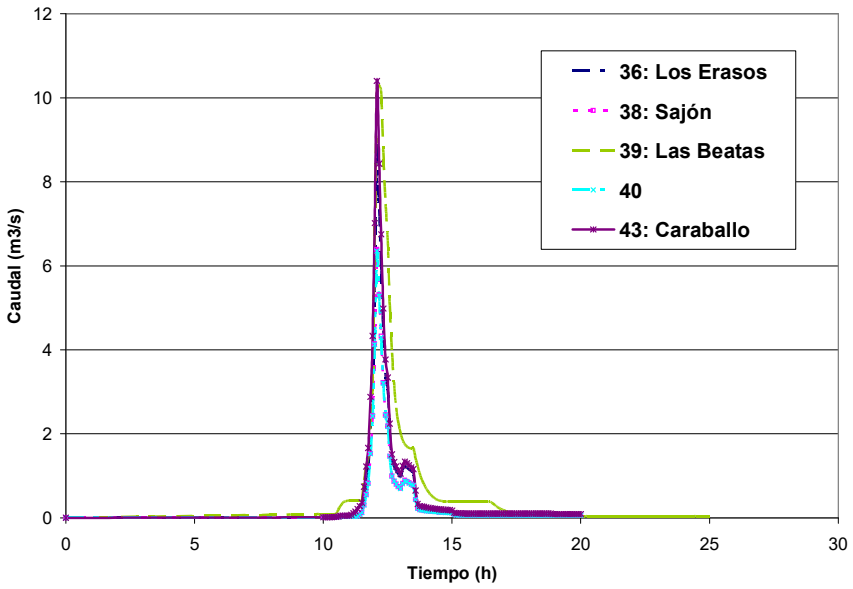


Figura 8.81 Anauco. Hidrogramas de afluentes secundarios de la Cuenca Anauco (Tr = 100 años).

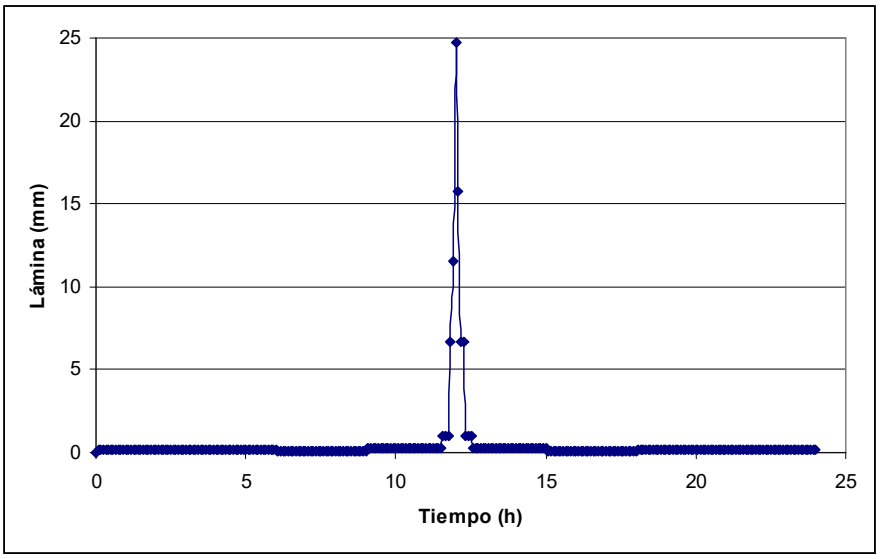


Figura 8.82 Anauco. Hietograma estación Cajigal (Tr = 100 años).

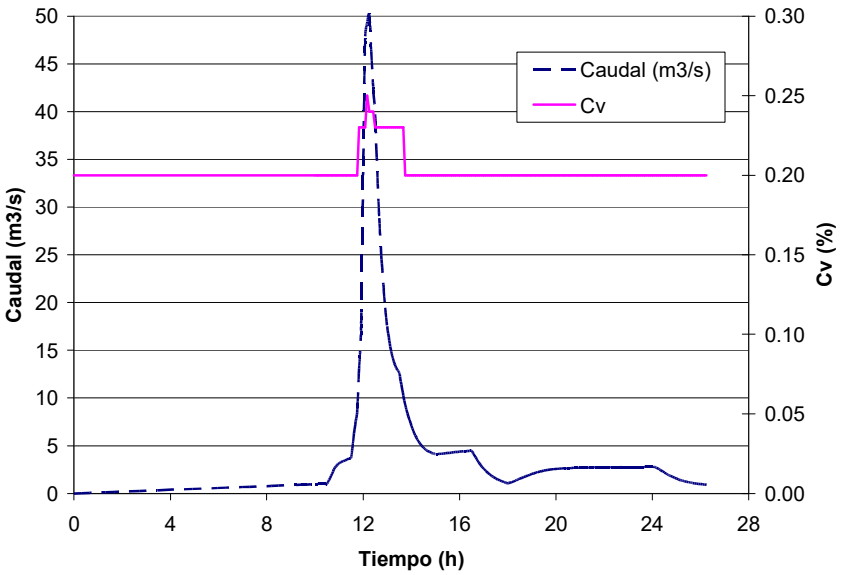


Figura 8.8310 Quebrada Anauco. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 100 años).

8.3.3.2. Resultados

Las profundidades máximas se pueden observar en las respectivas Figuras. Con respecto a los resultados del evento anterior se nota que las profundidades del flujo y las áreas de inundación en general aumentaron.

Caso 1: Hidrogramas más lluvia (ver **Figura 8.84** y Figura 8.8511)

En general la profundidad máxima de la superficie de escurrimiento de la cuenca no supera los 0,50 metros, salvo en los cauces y las zonas cercanas a este.

En la parte alta de la Quebrada Anauco, aguas arriba de los Bambúes, la profundidad máxima promedio es inferior a los 2 metros. El flujo se acumula y eleva en la parte baja del Los Bambúes e inunda el sector Dos Túneles, aquí la profundidad máxima es de 4,66 metros. El flujo toma la Av. Alejandro Humboltd para reincorporarse aguas abajo al cauce.

Sobre el embaulamiento de la Quebrada Cotiza escurre un flujo mayor a 1 metro de profundidad, hay tramos donde esta se aproxima a los 2 metros.

En la entrada al embaulamiento del Paseo Anauco se calculan profundidades máximas de 12,26 metros. Las profundidades en el paseo son menores a los 3 metros, a medida que se desciende aumenta la profundidad del flujo hasta alcanzar los 4,50 metros cercanos a la Av. México. El flujo sigue por la avenida alcanzando el metro de profundidad.

Las calles no alcanzan el medio metro de profundidad a excepción de las que se encuentran cercanas a los cauces y son afectadas por estos, en la parte alta de la cuenca conducen aguas con profundidades máximas cercanas al metro de altura. Las calles más afectadas son la Avenidas Cecilio Acosta, Anauco, El Parque, y Manuel Felipe Tovar.

Se observa profundidades cercanas a los 6 metros de profundidad en Parque Central, aquí ocurre almacenamiento del flujo, ya que al área donde se encuentra se le asignaron valores de elevación menores a las de las zonas contiguas. En el Parque Vargas la profundidad es de 1,50 metros, aquí se desarrollan los cultivos hidropónicos.

Las mayores profundidades en el terreno se consiguen sobre el embaulamiento siguiendo el cauce de las quebradas, se alcanzaron profundidades de hasta casi 8,5 metros.

El volumen de aguas de entrada del hidrograma es de 847.902,59 m^3, el volumen de agua más sedimentos del hidrograma es 1.097.952,02 m^3 y el volumen por lluvia es 791.048 m^3. El área máxima de inundación en el área de estudio es de 644,2 ha, el área máxima de inundación del terreno es 612,0 ha, y de la canalización 2,3 ha.

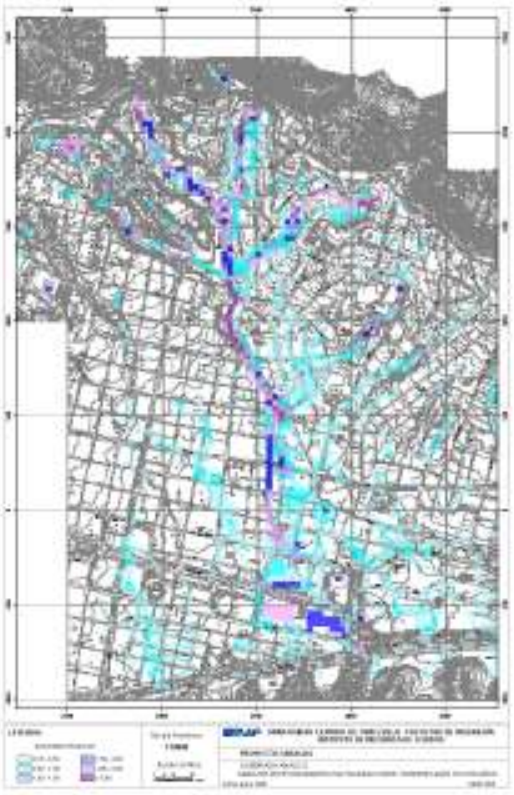


Figura 8.84 Anauco. Caso 1 (hidrogramas más lluvia), Profundidades Máximas para Tr = 100 años.

Figura 8.8511 Anauco. Caso 1 (hidrogramas más lluvia), Velocidades Máximas para Tr = 100 años.

Caso 2: Hidrogramas (ver **Figura 8.** y **Figura 8.**)

Al separar la inundación producida por los hidrogramas de la generada por la lluvia, se observa que la sección de inundación de los cauces se hace más ancha. En general la inundación mantiene el alineamiento del cauce, pero a la altura del Distribuidor la Estrella, el flujo que va por las calles tiende a irse hacia el Sur-Este, hacia Quebrada Honda, alejándose del cauce y una parte de este flujo se orienta hacia el sur y se reincorpora aguas abajo al cauce de la Quebrada Anauco.

Sobre el embaulamiento de la Quebrada Cotiza se obtienen profundidades máximas de hasta 3,30 metros, en el sector La Chivera hasta 2,85 metros, en el sector Dos Túneles alrededor de 8 metros.

En el Paseo Anauco la profundidad máxima es menor a 2,30 metros, a medida que se acerca a la Av. México esta aumenta hasta 4,30 metros; la velocidad máxima del flujo tiene valores entre los 3 y 4 m/s, aguas abajo la velocidad disminuye. Las velocidades del flujo sobre el terreno en general están bajo los 2 m/s.

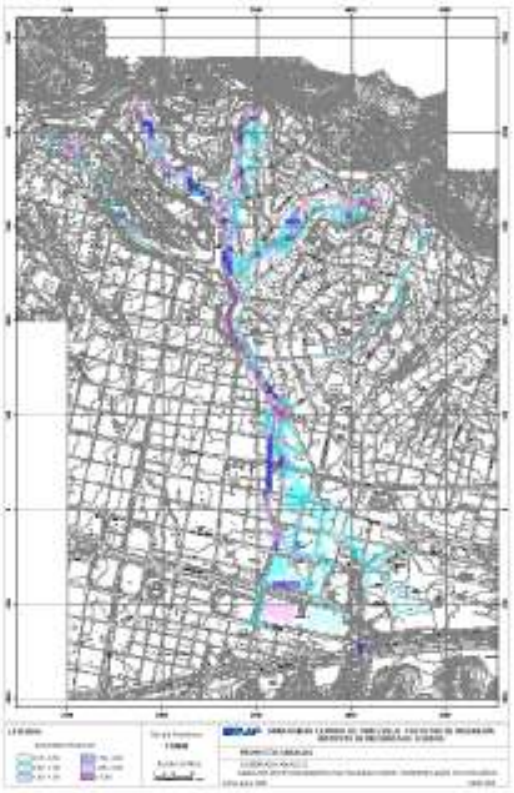


Figura 8.86 Anauco. Caso 2 (hidrogramas), Profundidades Máximas para Tr = 100 años.

Figura 8.87 Anauco. Caso 2 (hidrogramas), Velocidades Máximas para Tr = 100 años.

Caso 3: Lluvia sobre el área (ver Fig 8.88 y 8.89)

La lluvia directa genera profundidades máximas menores a los 0,50 metros en la superficie de la cuenca en el área urbana y en las calles, hasta 3 metros en el canal abierto en el Sector Gamboa y cercanas al metro sobre el embaulamiento de las quebradas Anauco y Cotiza.

Se generan velocidades de hasta 4,5 m/s en calles y avenidas de mayor pendiente. En general las velocidades máximas son menores a los 3 m/s.

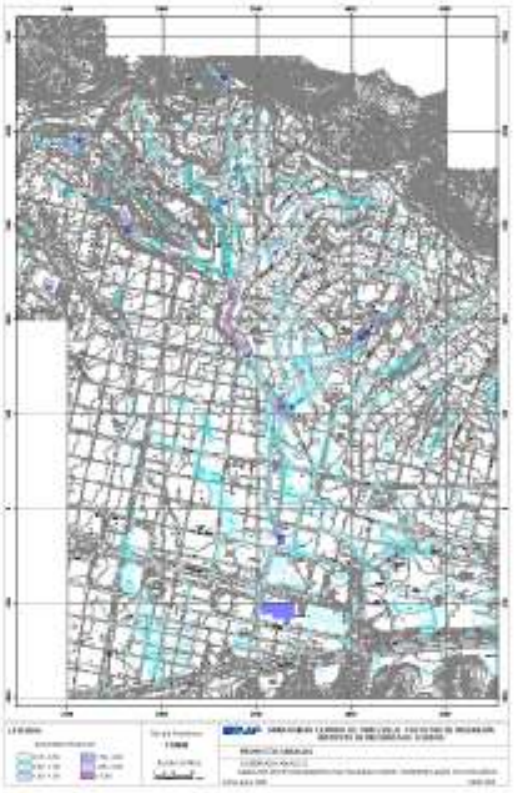


Figura 8.88 Anauco. Caso 3 (lluvia), Profundidades Máximas para Tr = 100 años.

Figura 8.89 Anauco. Caso 3 (lluvia), Velocidades Máximas para Tr = 100 años.

8.3.4 SIMULACION PARA PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS

8.3.4.1. Condiciones de la simulación

Para este evento se emplea los hidrogramas de lluvia de cada quebrada (Figura 8.9090 y Figura 8.) y el hietograma de lluvia correspondientes a 500 años de período de retorno (Figura 8.). La concentración volumétrica máximo de sedimentos es 0,30 para todos los tributarios de la cuenca. En la Figura 8.93 se muestra la distribución de Cv para el hidrograma de entrada de la Quebrada Anauco.

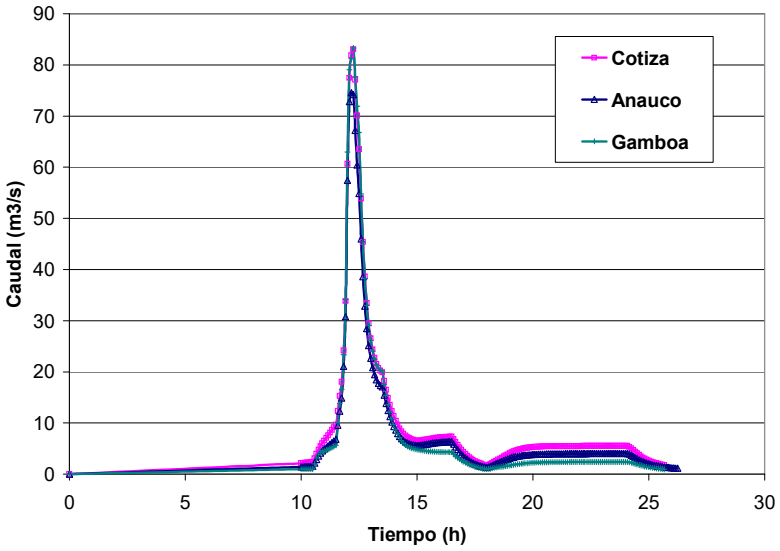


Figura 8.90 Anauco. Hidrogramas de afluentes principales de la Cuenca Anauco (Tr = 500 años).

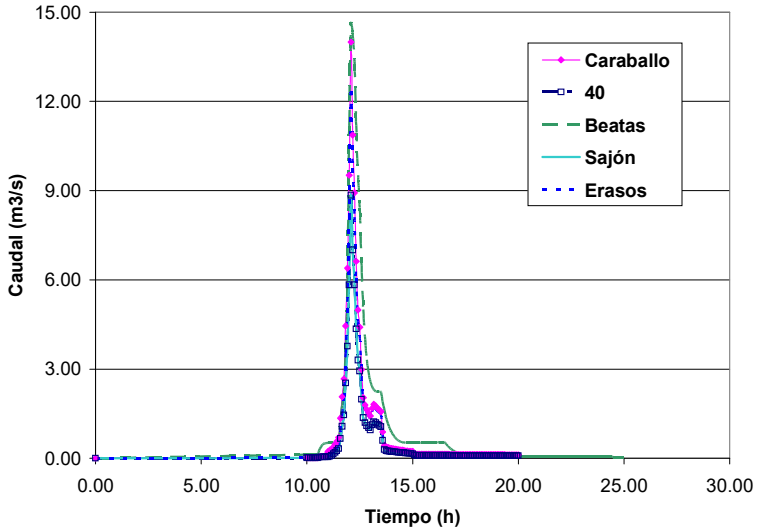


Figura 8.91 Anauco. Hidrogramas de afluentes secundarios de la Cuenca Anauco (Tr = 500 años).

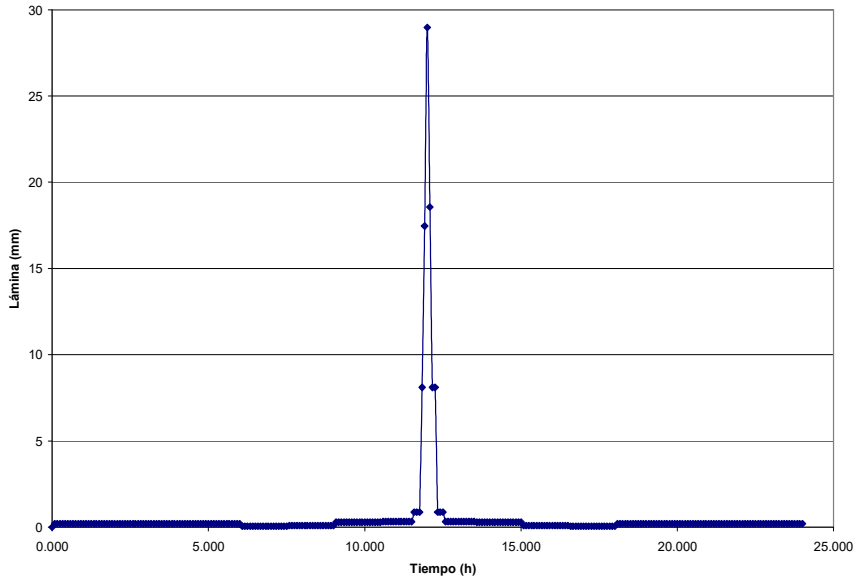


Figura 8.92 Anauco. Hietograma estación Cajigal (Tr = 500 años).

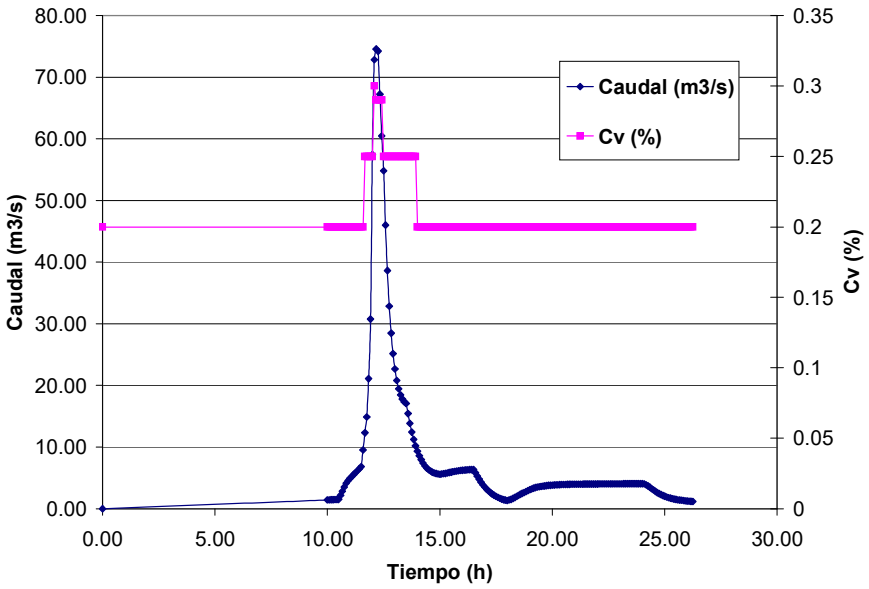


Figura 8.93 Quebrada Anauco. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 500 años).

8.4. RESULTADOS

Caso 1: Hidrogramas más lluvia (ver Figura 8.9494 y Figura 8.95)

La mayor acumulación del flujo ocurre en los sótanos de Parque Central, con profundidades de hasta 4,66 metros. Los terrenos del Parque Vargas y del Hotel Hiltón también son inundados.

Las profundidades máximas sobre el terreno en general no superan los 0,50 metro. Aguas abajo del Distribuidor La Estrella las profundidades del flujo aumentan en algunas áreas hasta los 1,5 metros. Las mayores profundidades del flujo se observan en el canal abierto, sector Gamboa, llegando a la entrada del embaulamiento del Paseo Anauco. En el Paseo Anauco se observan profundidades máximas alrededor de los 4 metros.

Se observa que el flujo que no entra en el área del Paseo Anauco a la altura del Distribuidor La Estrella se desvía hacia el sureste alcanzando la Plaza Morelos. Este flujo tiende a irse hacia Quebrada Honda. Las aguas de lluvia aportadas por el alimentador de la Av. Boyacá de San Bernardino llegan a la cuenca de Anauco y se une a este flujo a la altura de la Av. Andrés Bello – Urdaneta.

Las velocidades en el terreno están bajo los 3 m/s con algunas excepciones que llegan hasta los 5,5 m/s.

Las profundidades máximas en las calles son menores a los 3 metros y las velocidades máximas son menores a los 3 m/s, aunque hay tamos de calles con velocidades de 5 m/s llegando hasta 7,0 m/s. Las calles con mayores profundidades máximas son las avenidas Cecilio Acosta, Manuel Felipe Tovar, R. Seijas, El Parque, Humboltd, lic. Aranda y Anauco. Así mismo son estas las que presentan mayor velocidad del flujo. A la entrada de la estación del Metro Bellas Artes la profundidad del flujo es superior al metro.

El volumen de aguas de entrada del hidrograma es de 1.231.584,72 m^3, el volumen de agua más sedimentos del hidrograma es 1.655.852,46 m^3 y el volumen por lluvia es 1.140.539,51 m^3. El área máxima de inundación en el área de estudio es de 631,4 ha, el área máxima de inundación del terreno es 629,3 ha, y de la canalización 2,4 ha.

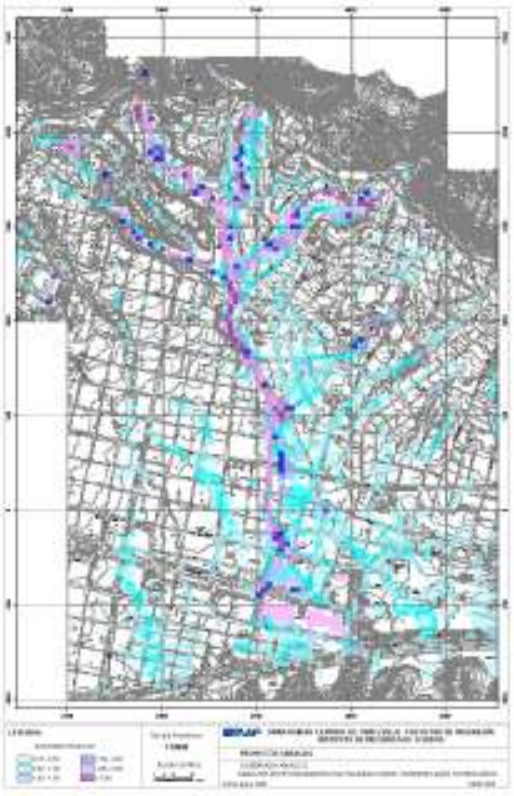


Figura 8.94 Anauco. Caso 1 (hidrogramas más lluvia), Profundidades Máximas para Tr = 500 años.

Figura 8.95 Anauco. Caso 1 (hidrogramas más lluvia), Velocidades Máximas para Tr = 500 años.

Caso 2: Hidrogramas (ver Figura 8.96 y Figura 8.971297)

En este caso se observa que las manchas de inundación debidas al flujo aportado por la cuenca vegetada, es más ancho y las profundidades y velocidades son mayores que para los eventos de 10 y 100 años de período de retorno. En este caso se hace evidente lo que se explicaba en el caso anterior, aguas abajo del Distribuidor La Estrella el flujo se desvía hacia el Este, llegando al cauce de Quebrada Honda.

Sobre el embaulamiento de la Quebrada Cotiza se observan profundidades máximas de hasta 4,20 metros y velocidades de hasta 2,20 m/s.

En el sitio donde la Quebrada Anauco llega al área urbana de la cuenca se observa que una parte del flujo se desvía hacia el Este por la Av. Lic. Aranda, aguas abajo el flujo se reintegra al cauce de la q. por la Av. Alejandro Humboltd.

Las profundidades máximas del flujo en el Paseo Anauco están sobre los 3 metros alcanzando en algunos tramos los 4 metros. Las velocidades se encuentran entre 4 y 5 m/s.

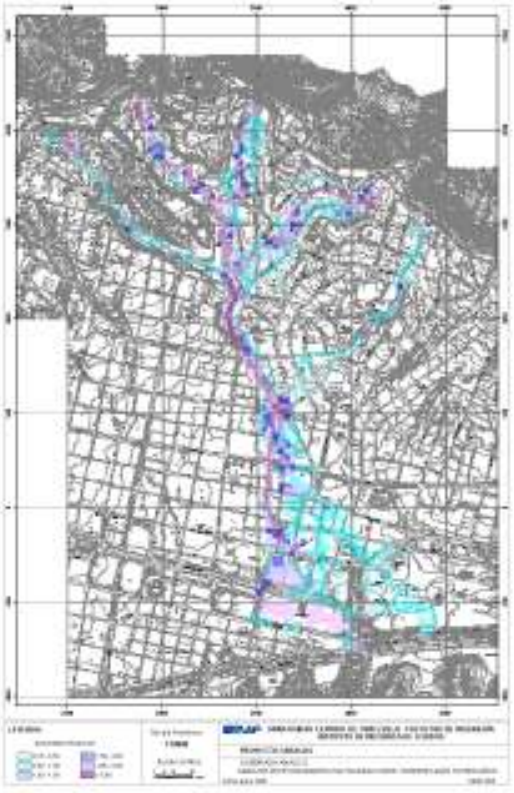


Figura 8.96 Anauco. Caso 2 (hidrogramas), Profundidades Máximas para Tr = 500 años.

Figura 8.9712 Anauco. Caso 2 (hidrogramas), Velocidades Máximas para Tr = 500 años.

Caso 3: Lluvia (ver Figura 8.98 y Figura 8.99)

En el terreno y en las calles la lluvia produce flujo menor a los 0,50 metros de profundidad. En algunos tramos de calles el flujo llega hasta 1,50 metros de profundidad; las velocidades son menores a los 2 m/s y en determinados lugares se aproximan a los 5 m/s.

En el canal abierto las profundidades máximas que se observan están alrededor de los 4 metros, siendo la mayor profundidad 8,47 metros a la entrada del embaulamiento del Paseo Anauco.

En el Paseo Anauco el flujo es menor al metro de profundidad salvo en el tramo aguas abajo donde aumenta. La velocidad es menor a 3 m/s.

El área de Parque Central y el Parque Vargas son afectados por la acumulación del flujo en su área.

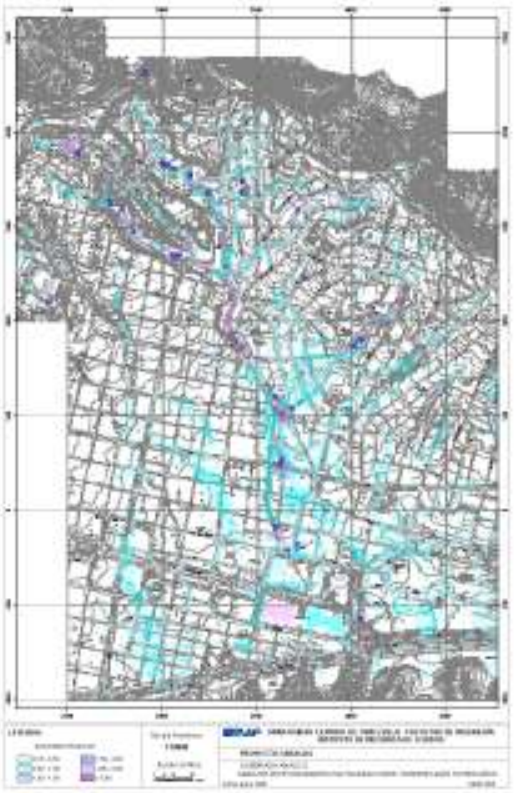


Figura 8.98 Anauco. Caso 3 (lluvia), Profundidades Máximas para Tr = 500 años.

Figura 8.99 Anauco. Caso 3 (lluvia), Velocidades Máximas para Tr = 500 años.

8.5 MAPAS DE AMENAZA

Para la evaluación de la amenaza por inundaciones y aludes torrenciales se utilizó el caso 1, considerando conjuntamente el hidrograma de flujo proveniente del área vegetada y la lluvia que cae en el área urbana de la cuenca, para eventos de 10, 100 y 500 años de período de retorno.(ver Figura 8.100100)

Se consideró en efecto que era el caso más significativo, ya que contempla el aporte de toda la cuenca.

Básicamente la amenaza resultante en la cuenca es una mancha de amenaza alta a lo largo de los cauces, completada con áreas de amenaza media y baja, debidas principalmente al efecto de las calles incluidas en la simulación. El considerar la lluvia añade áreas de amenaza que siguen principalmente a aquellas calles cuya pendiente es aproximadamente igual a la del terreno y que canalizan las aguas de lluvia caídas en el área o encauzan el flujo que se desbordó del cauce.

En la parte alta del área urbana de la cuenca, las áreas bajo amenaza incluyen muchas viviendas informales de 1 a 5 niveles, donde generalmente vive una familia por nivel. En el área "formal" de la ciudad son pocas las estructuras y calles afectadas.

En general los centros hospitalarios más importantes no son afectados por la amenaza ya que no se encuentran cercanos al cauce o están elevados con respecto a este. El Hospital Luis Razetti construyó por su parte muros perimetrales de concreto armado que reducen al mínimo el riesgo de inundación por aludes torrenciales

Están amenazadas las sedes de la Brigada Canina de la Policía Metropolitana, el módulo policial de la Av. Arístides Rojas, el ambulatorio de Barrio Adentro construido en el sector Los Lanos. Estos se encuentran en el cauce de las quebradas.

Las avenidas Lic. Aranda, Humboltd, Manuel Felipe Tovar, Anauco, El Parque, Cecilio Acosta, R. Seijas y la parte baja de Fermín Toro son las vías con mayor amenaza.

El Distribuidor La Estrella es un punto muy crítico, donde confluyen la Quebrada Anauco, la Quebrada Los Erasos, además de 7 calles. En este punto parte del flujo proveniente de las calles afecta ambas márgenes de la quebrada. Se observa un cambio de la pendiente del terreno: la pendiente de la topografía del lado norte de este punto tiene dirección suroeste y aguas abajo dirección sureste. El flujo escurre entonces en esta dirección hacia el cauce de Quebrada Honda. El flujo en esta área es canalizado por las calles y al entrar en las parcelas tiende a inundar los sótanos.

Areas de amenaza media existen en los alrededores del Parque Vargas y de Parque Central. El flujo en esta área ha perdido energía y su capacidad de destrucción de estructuras, pero afecta plantas bajas, sótanos, vehículos y peatones. Entra a nivel de la Av. Bolívar o por la Av. Sur 17 e inunda el área, pero sin necesidad de evacuar el complejo completo, sino las áreas inferiores, poniendo las personas a salvo en los niveles superiores. Una situación similar se produce en el Hotel Hilton y el complejo Teresa Carreño.

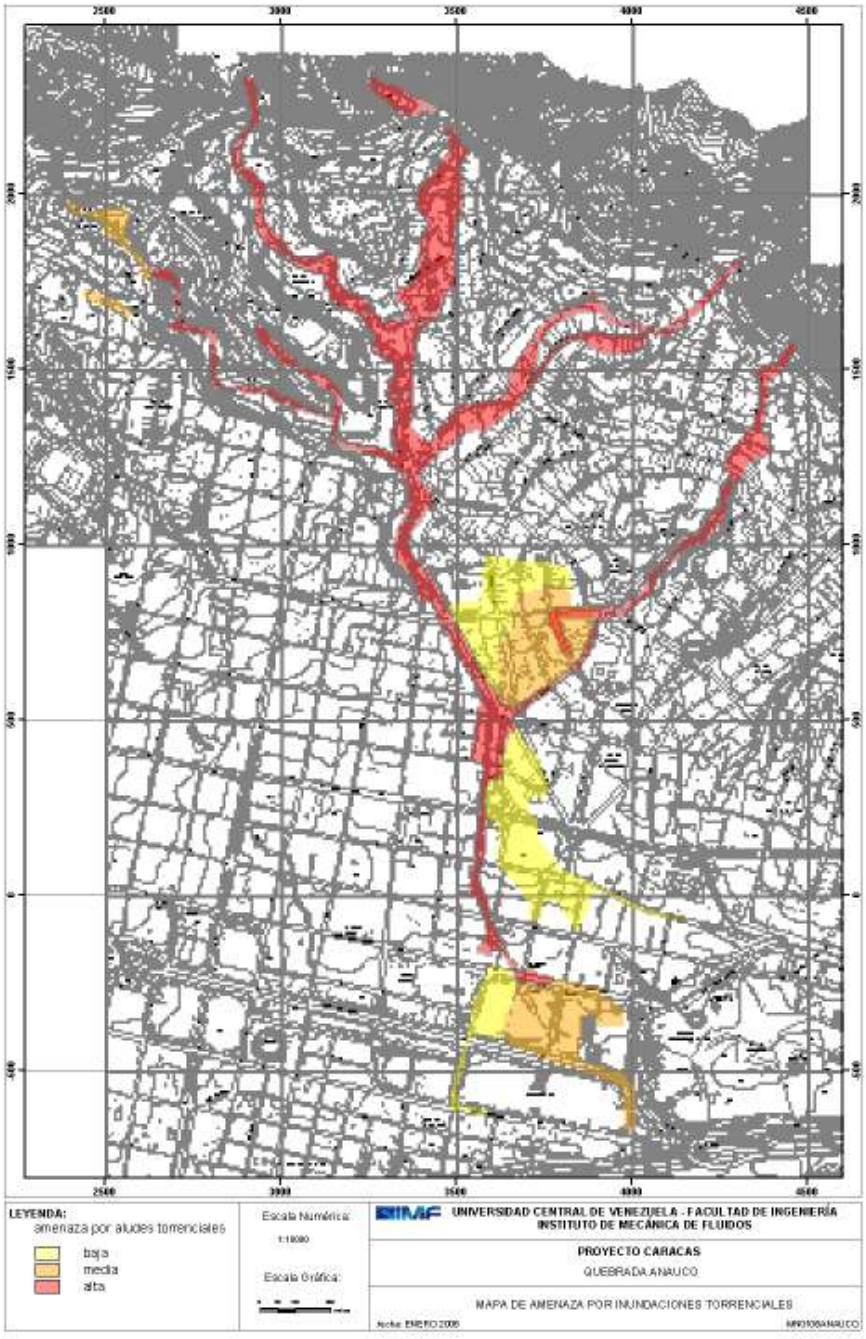


Figura 8.100 Mapa de amenaza por aludes torrenciales de la cuenca de la Quebrada Anauco.

8.6 CONCLUSIÓN

El estudio de la amenaza de la Cuenca de la Quebrada Anauco pone en evidencia algunos sectores previamente afectados por el evento de diciembre del 99 y revelan nuevas áreas susceptibles a la amenaza por inundaciones.

El haber considerado las calles y la lluvia en el área urbana permitió definir áreas de amenaza confinadas a las calles, donde la permanencia durante un evento adverso es peligroso para las personas, los vehículos y ciertos bienes.

La mancha de la amenaza se concentra en los cauces y sus inmediaciones. Es evidente que si estas áreas no tuvieran una ocupación permanente por parte de viviendas, los daños producidos serían mucho menores. Igualmente un gran beneficio se produciría al evitar la obstrucción por escombros en la entrada de los embaulamientos.

8. ANAUCO 1

8.1 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA 1
8.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA 1
8.1.2 INFORMACIÓN DISPONIBLE 1
8.1.2.1 Información cartográfica y fotográfica 1
8.1.2.2 Información hidrológica 2
8.1.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica 3
8.1.2.4 Estudios previos 4
8.1.3 HIDROGRAFÍA 4
8.1.4 USOS DEL SUELO 6
8.2 RED DE DRENAJE PLUVIAL 8
8.2.1 Características de la red de drenaje 8
8.2.2 ANTECEDENTES DE INUNDACIONES Y ALUDES 58
8.2.3 RESUMEN DE PUNTOS CRÍTICOS 62

8.3.1 CONDICIONES DE LA SIMULACIÓN. 63

8.3.2. SIMULACIÓN PARA PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS 66

8.3.2.1 CONDICIONES DE LA SIMULACIÓN 66
8.3.2.2. RESULTADOS 67
8.3.3.1 CONDICIONES DE LA SIMULACIÓN 71
8.3.3.2. RESULTADOS 73
8.3.4 SIMULACION PARA PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS 77
8.3.4.1. CONDICIONES DE LA SIMULACIÓN 77
8.4. RESULTADOS 79

8.5 MAPAS DE AMENAZA 83

8.6 CONCLUSIÓN 85

9. ESTUDIO DE LA QUEBRADA MARIPEREZ

9.1 Características del área

9.1.1 Ubicación Geográfica

La quebrada Maripérez se ubica en la vertiente sur del macizo Ávila, al centro norte del área en estudio y fluye en dirección norte-sur hasta descargar en el Río Guaire, a la altura del Paseo Colón (Sector Plaza Venezuela). La subcuenca pertenece en su totalidad al Municipio Libertador del Distrito Capital.

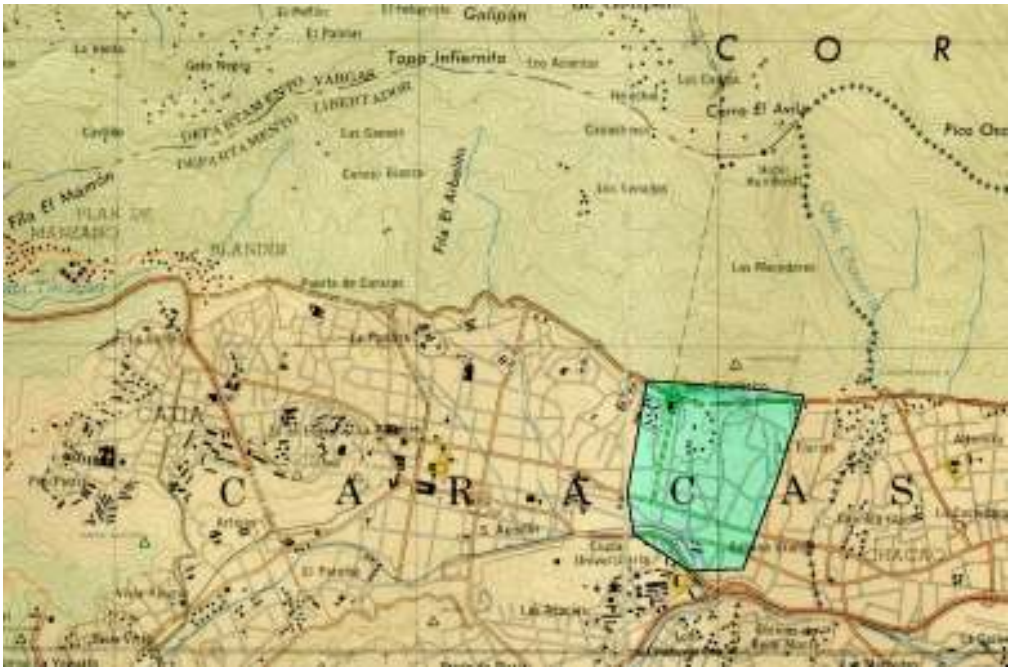


Figura 9.1. Maripérez. Ubicación de la subcuenca

9.1.2. Información disponible

9.1.2.1 Información cartográfica y fotográfica

Para el estudio de la Quebrada Maripérez se utilizó la siguiente información cartográfica y fotográfica.

- Plano digital "Ciudad de Caracas", formato CAD, escala 1:5.000, elaborado por Estereofoto C.A., año 2000, hoja 07.
- Ortofotomapa de la República de Venezuela a escala 1:25.000, año 1994. Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional, hojas 6847-IV-SO y 6847-III NO.
- Plano en papel a escala 1:25.000 del año 1975, Ministerio del Ambiente. Dirección de Geografía y Cartografía Nacional, hoja 6847-III-NE.

- Raster a escala 1:25.000, correspondiente a la vertiente sur del Ávila y Valle de Caracas. Procedencia y fecha de elaboración desconocidas.

Existe además una información fotográfica anterior sobre la quebrada, proveniente de visitas de campo realizadas en el marco del Proyecto *Mapas de Amenaza por Aludes Torrenciales en las zonas del Estado Vargas y el Valle de Caracas, definidas en el Proyecto Ávila*, (I.G.N.S.B, 2002) y fotografías de visitas de campo realizadas en el marco de este proyecto.

9.1.2.2 Información hidrológica

Los hietogramas e hidrogramas utilizados provienen del estudio hidrológico realizado para el presente proyecto. Estos se presentan gráficamente en la Figura 9.2 y 9.3, respectivamente. La Tabla 9.1 muestra los valores de los caudales máximos.

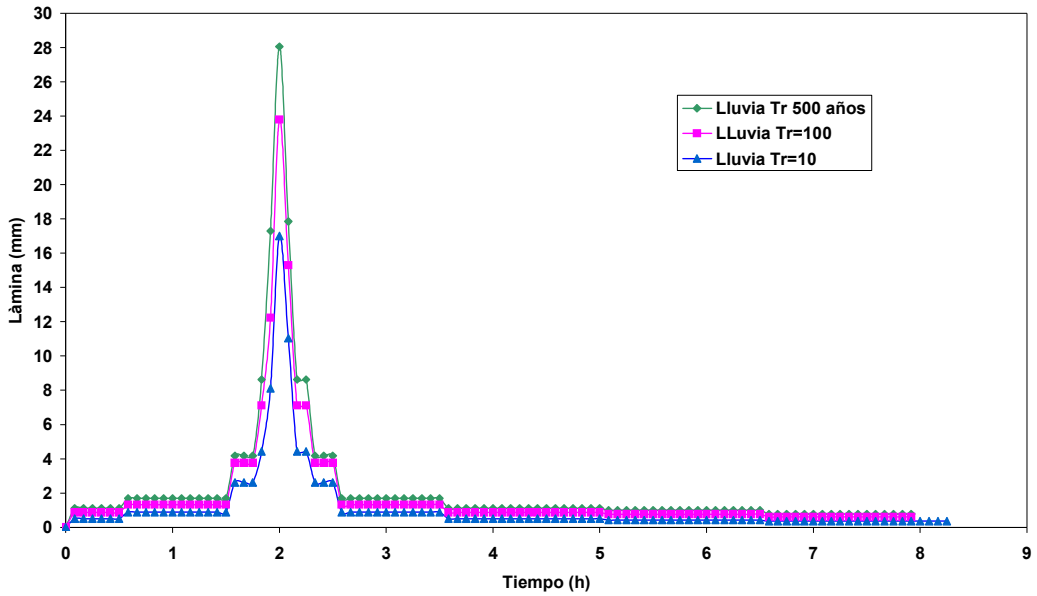


Figura 9.2. Maripérez. Hietogramas para diferentes períodos de retorno.

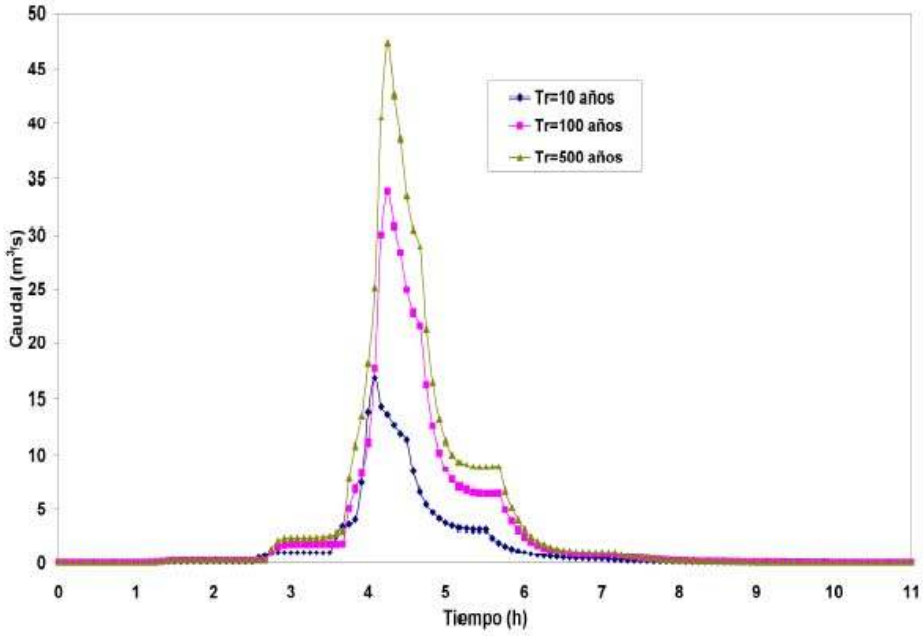


Figura 9.3. Maripérez. Hidrogramas de crecientes en la Avenida Boyacá

Quebrada	**Caudal máximo (m^3 /s)**		
Maripérez	Tr=10 años	Tr=100 años	Tr=500 años
	16,89	33,94	47,28

Tabla 9.1. Maripérez. Caudales máximos

9.1.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica

Se utilizaron los siguientes planos:

- Plano en papel Quebradas Principales del Municipio Libertador. Alcaldía de Caracas, escala 1:10.000, año 1995, hoja 03.
- Plano en papel Quebradas Principales del Municipio Libertador. Alcaldía de Caracas, escala 1:5.0000 año 1995, hoja F-44.
- Plano Metro de Caracas, tramo Capuchinos-Plaza Venezuela. Servicios Públicos existentes. Escala 1:250, Mayo 1994, Hoja SP-204.

9.1.2.4 Estudios previos

La Quebrada Maripérez ha sido incluida en el estudio ya citado: *Mapas de Amenaza por Aludes Torrenciales en las zonas del Estado Vargas y el Valle de Caracas, definidas en el Proyecto Ávila*, (I.G.N.S.B, 2002)

9.1.3. Hidrografía

La subcuenca se extiende desde el Cerro Papelón en El Ávila (1.500 m.s.n.m.) hasta su descarga en el Río Guaire (845 m.s.n.m.), con una forma alargada muy estrecha y una extensión aproximada de 1,86 km^2. La Quebrada Maripérez es el único curso de agua importante de la subcuenca. Tiene una longitud aproximada de 3,29 km y una pendiente promedio de 22,4%. Sus características principales se resumen en la Tabla 9.2.

La Figura 9.4 presenta el perfil longitudinal del cauce en estudio a partir de la confluencia con el Río Guaire, elaborado a partir del raster 1:25.000 para la parte alta (por encima de los 1.000 m.s.n.m) y el plano digital 1:5.000 para la parte baja.

Área de la cuenca (km^2)	Vegetada: 0,70 (38%)	Total:1,86
	Urbana: 1,16 (62%)	
Longitud del cauce principal (km)	En área extra-urbana: 1.36 (41%)	Total: 3,29
	En área urbana: 1,93 (59%)	
Cotas (m.s.n.m.)	Superior: 1.500	
	Inferior (confluencia con el río Guaire): 865	
Pendiente del cauce principal (%)	En área extra-urbana: 42,7	Promedio:22,4
	En área urbana: 8	

Tabla 9.2. Maripérez. Características de la subcuenca

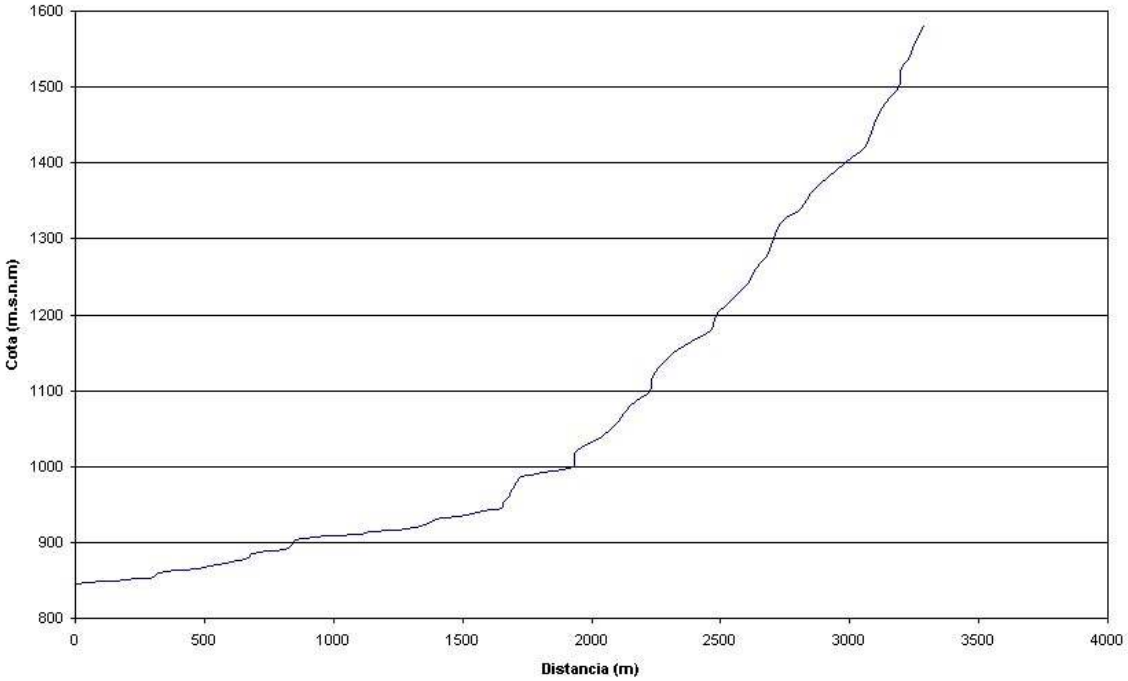


Figura 9.4. Maripérez. Perfil longitudinal del cauce de la quebrada

9.1.4. Usos del suelo

La subcuenca presenta dos zonas bien diferenciadas, separadas por la avenida Boyacá (Cota Mil): una parte alta vegetada, correspondiente al 38% de la superficie total y una parte baja urbanizada, correspondiente al 62% de la misma.

La Figura 9.5 muestra una vista general de la cuenca de la quebrada en El Ávila.

Figura 9.5. Maripérez. Vista general de la cuenca en el Ávila

El área vegetada pertenece al Parque Nacional El Ávila, donde se observa la vegetación típica de una selva tropical húmeda, compuesta por helechos, musgos, gramíneas y árboles de gran altura.

Aguas arriba del paso de la quebrada por la Avenida Boyacá, existe una presa sedimentada hasta aproximadamente unos 40 m aguas arriba. La Figura 9.6 muestra una fotografía de la misma y la 9.7 una sección transversal.

Figura 9.6. Maripérez. Presa aguas arriba de la Avenida Boyacá

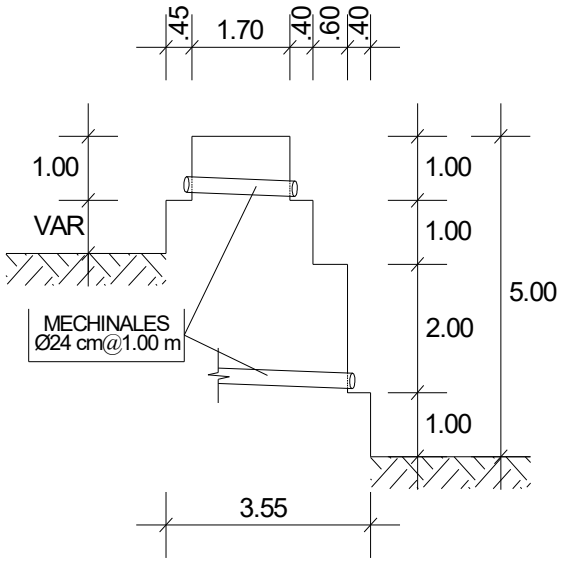


Figura 9.7. Maripérez. Sección transversal de la presa aguas arriba de la Avenida Boyacá.

El área urbana presenta una densidad poblacional media. En su curso hacia su desembocadura en el Río Guaire, la quebrada atraviesa la urbanización Maripérez, un sector de la urbanización La Colina y el Paseo Colón, zonas esencialmente residenciales. Existen algunos pequeños comercios y centros educacionales. Cerca de la Avenida Boyacá se encuentra el Colegio La Salle, las sedes de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales y de la Oficina Central de Estadística e Informática, (OCEI) y la sede de la Policía Metropolitana.

La quebrada cruza algunos ejes viales importantes: Avenida Boyacá, Avenida Andrés Bello, Avenida Libertador. El sector de la Plaza Venezuela es contiguo, pero no pertenece a la subcuenca en condiciones normales.

Antes del cruce de la Avenida Andrés Bello con la quebrada, se encuentra el parque Arístides Rojas, cuya localización y características, como se explicará más adelante, pueden ser importantes para el funcionamiento hidráulico de la quebrada en caso de crecidas excepcionales.

9.2 Red de drenaje pluvial

9.2.1 Características de la red de drenaje

Debido a la forma estrecha de la subcuenca, el principal colector de aguas de lluvia es la propia quebrada, complementada por algunos colectores secundarios cortos que descargan en ella.

Un esquema de la red drenaje se presenta en la Figura 9.8.

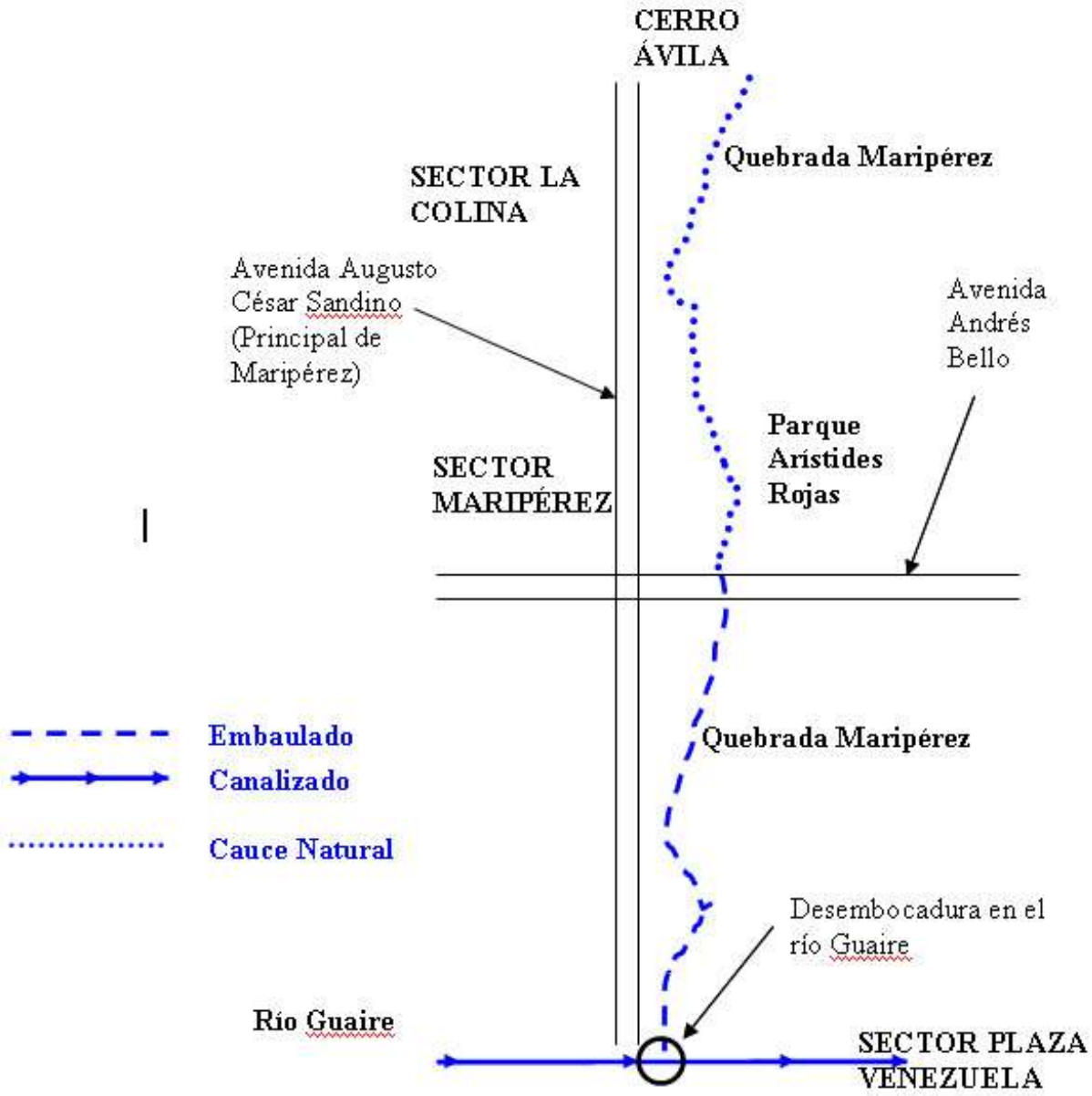


Figura 9.8. Maripérez. Esquema de la red de drenaje

La Quebrada Maripérez, al salir del Parque Nacional Ávila, cruza la Avenida Boyacá por una alcantarilla de 3.10 m de diámetro, como se indica en el esquema de la Figura 9.9.

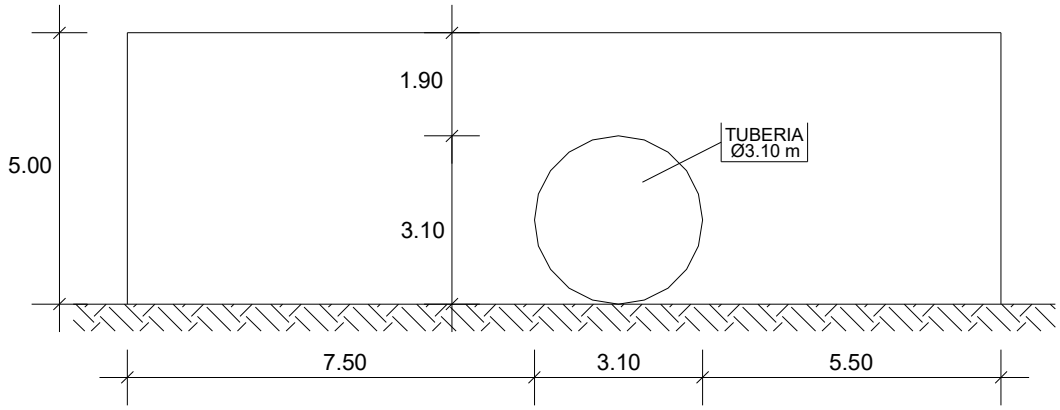


Figura 9.9. Maripérez. Esquema de la entrada de la alcantarilla bajo la Avenida Boyacá

La alcantarilla se encuentra libre en su entrada y en su salida, aguas abajo de la Avenida Boyacá, presenta un enrejado que puede propiciar la acumulación de restos de árboles y rocas y por consiguiente la obstrucción de dicha alcantarilla. La Figura 9.10 muestra la entrada y la salida de la alcantarilla.

Figura 9.10. Maripérez. Entrada y salida de la alcantarilla, respectivamente.

Entre el lecho de la quebrada y la Avenida Boyacá hay un desnivel de 7.60 m, como puede verse en la Figura 9.11.

Figura 9.11. Maripérez. Desnivel entre el lecho de la quebrada y la Avenida Boyacá

Luego de pasar la Avenida Boyacá, la quebrada fluye por un cauce natural muy profundo hasta el parque Arístides Rojas, atraviesa embaulada la avenida Andrés Bello y luego fluye por un canal poco profundo hasta 200 m arriba de la avenida Libertador, donde está nuevamente embaulada hasta su desembocadura. Las características de los distintos tramos se describen a continuación.

- **Tramo Av. Boyacá – Parque Arístides Rojas**

La quebrada se encuentra embaulada bajo la avenida Boyacá hasta la calle Bella Vista de la urbanización La Colina. Desde la calle Bella Vista de la urbanización La Colina y hasta el parque Arístides Rojas, la quebrada fluye en su cauce natural (Figura 9.12).

Las fotos de las Figura 9.13 muestran la quebrada en el Parque Arístides Rojas y las condiciones de la margen izquierda, que se encuentra a aproximadamente 8 m. de altura del fondo de la quebrada. La margen derecha en este sitio se encuentra a aproximadamente 2 m. del fondo de la quebrada. La diferencia de altura entre la margen derecha de la quebrada (canchas del parque Arístides Rojas) y la rasante de la avenida Andrés Bello es de aproximadamente 6 m,. por lo que es importante hacer notar que en caso de un alud torrencial, el parque se comportará como una laguna de amortiguación, reteniendo gran cantidad del flujo, impidiendo su paso hacia aguas abajo y por consiguiente mitigando las consecuencias del evento sobre bienes y personas. El área de almacenamiento es de 2 Ha, aproximadamente.

En este tramo la quebrada está embaulada en una estructura rectangular de 1.60 m x 1.60 m, (Figura 9.14).

- **Paso Avenida Andrés Bello**

Alcantarilla de sección circular, de 1.80 m. de diámetro, (Figura 9.15). La alcantarilla se encuentra parcialmente obstruida por vegetación y escombros.

- **Tramo Av. Andrés Bello- Av. Santiago de Chile**

A la salida de la alcantarilla (Figura 9.16), la quebrada sigue en un canal rectangular de concreto en muy malas condiciones de mantenimiento, con unas dimensiones aproximadas de 1.50 m x 1.50 m, (Figura 9.17). Este canal continúa hasta la avenida Santiago de Chile, donde nuevamente se presenta un embaulamiento, 200 m aproximadamente aguas arriba de la avenida Libertador.

- **Tramo Av. Santiago de Chile – Descarga Río Guaire**

Este tramo está embaulado y las dimensiones están por determinarse, ya que las informaciones documentales disponibles son ambiguas. Según el plano 1:10.000 de la Alcaldía de Caracas, el colector es una tubería circular de Φ=83" y según el plano del Metro de Caracas, el colector es una tubería circular de Φ=96" y 100 m antes de desembocar en el Río Guaire, cambia a una sección rectangular de 2,50 m x 2,50 m. La quebrada desemboca en el Río Guaire a la altura del Paseo Colón. La desembocadura es una estructura rectangular de aproximadamente 1,50 m de ancho por 2 m de alto. (Figura 9.18). En todas las fotografías la flecha indica el sentido del flujo.

Figura 9.12. Maripérez a la altura del Parque Arístides Rojas, aguas arriba del embaulamiento.

Figura 9.13. Maripérez en el parque Arístides Rojas y estado del talud en margen izquierda

Figura 9.14. Maripérez. Embaulamiento a la altura del parque Arístides Rojas.

Figura 9.15. Maripérez. Entrada a la alcantarilla en el parque Arístides Rojas.

Figura 9.16. Maripérez. Salida de la alcantarilla aguas abajo del Parque Arístides Rojas.

Figura 9.17. Maripérez. Curso hacia su desembocadura en el Guaire. Foto tomada desde la avenida Andrés Bello.

Figura 9.18. Maripérez. Desembocadura a la altura del Paseo Colón en el sector Plaza Venezuela.

9.2.2 Antecedentes de inundaciones

No se señalan antecedentes de inundaciones para esta cuenca

9.2.3 Resumen de Puntos Críticos

Se identifican a continuación los puntos considerados como más críticos:

1. Entrada al embaulamiento bajo la avenida Boyacá. Este punto es crítico por el cambio de condiciones del cauce: en la parte alta, el cauce es natural y bajo la Cota Mil fluye por un embaulamiento.

2. Entrada a embaulamiento bajo la Avenida Andrés Bello. La entrada a este embaulamiento se encuentra obstruida por material vegetal.

3. Entrada a embaulamiento 200 m aguas arriba de la avenida Libertador. El cambio de sección favorece la acumulación de escombros.

Como se ha destacado en párrafos previos, la depresión correspondiente al Parque Arístides Rojas puede contribuir a amortiguar la crecida aguas arriba del embaulamiento de la Avenida Andrés Bello.

La Figura 9.19 muestra la ubicación, en un plano del sitio de estudio, de las imágenes presentadas en las Figuras de 9.10 a 9.18, así como los puntos críticos y los antecedentes de inundaciones.

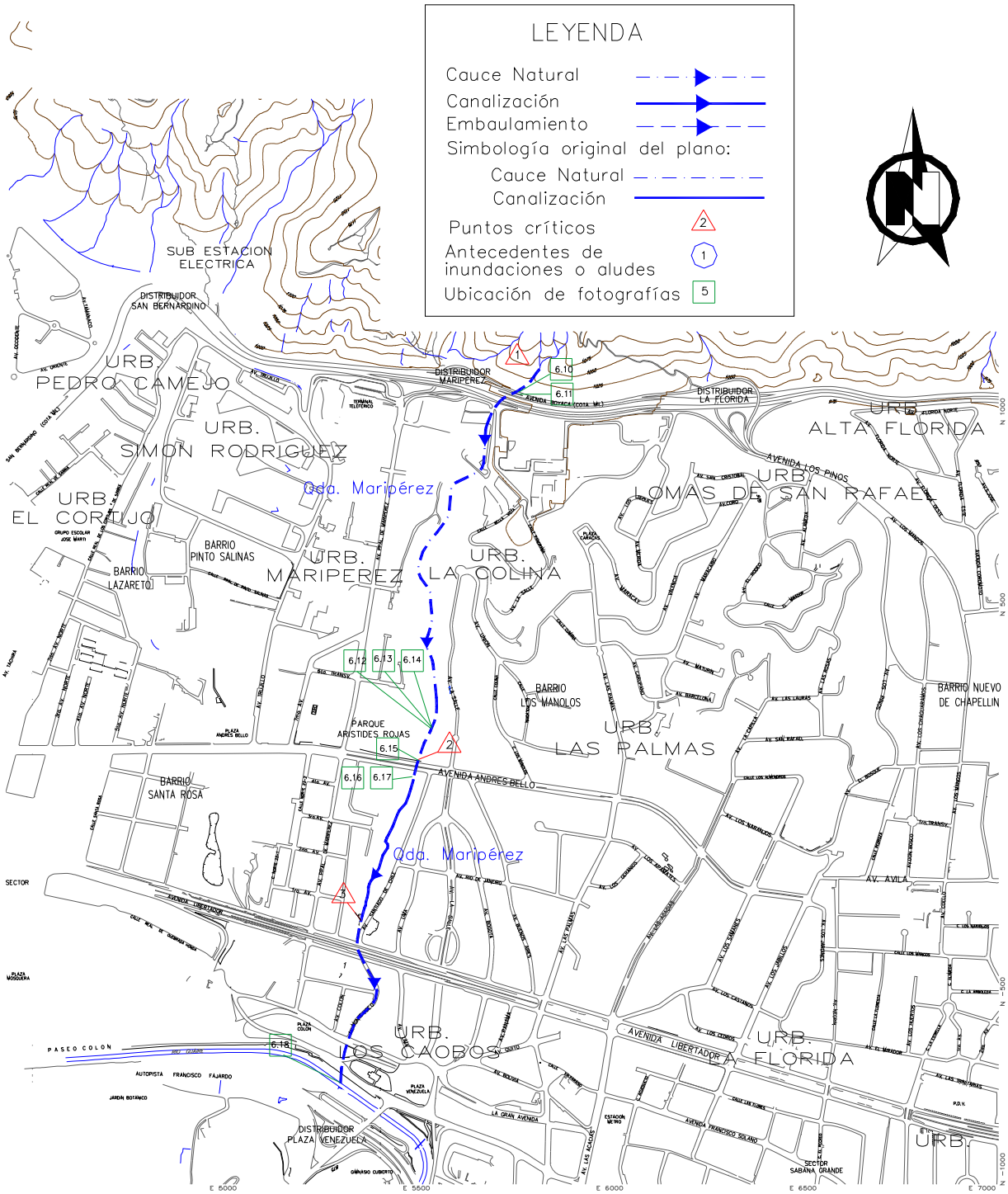


Figura 9.19. Maripérez. Red de drenaje

9.3. Simulación de inundaciones

9.3.1 Condiciones generales de simulación

A continuación se presentan las condiciones de simulación que son comunes para los tres períodos de retorno del hidrograma de crecientes analizados (10, 100 y 500 años), a fin de evitar la repetición de los mismos datos.

- Para la simulación realizada mediante el software FLO-2D se utilizó un levantamiento topográfico realizado en el año 2.000 proporcionado por Estereofoto en escala 1:5.000.

- Los hidrogramas y hietogramas provienen del estudio hidrológico.

- El hietograma utilizado en la Quebrada Maripérez, para cada caso, es un promedio de los hietogramas correspondientes a los Chorros y Cagigal, provenientes también del estudio hidrológico.

- Los valores de la *n* Manning usados inicialmente en la simulación son los siguientes:

  n Manning = Variable para los canales (dependiendo del revestimiento).
  n Manning = 0.065, para la planicie de inundación.
  n Manning = 0.028, para todas las calles.

  Los valores de la *n* Manning en cada tramo del canal se presentan en la Tabla 2.1 a continuación:

	Tramo	Tipo	Dimensiones	Pendiente (%)	n
1	Paso bajo Avenida Boyacá	Alcantarilla circular	D=3	19.34	0.1
2	Calle BellaVista (La Colina)-Comienzo Parque Arìstides Rojas	Canal natural Trapezoidal	B=1 H=10 M=1	8	0.1
3	Parque Arístides Rojas I	Canal natural trapezoidal	B=2,H=2, m=1	3.4	0.03
4	Parque Arístides Rojas II	Embaulamiento rectangular de concreto	1.60x1.60	3.4	0.03
5	Paso Avenida Andrés Bello	Embaulamiento circular (ARMCO)	D=1.80	3.4	0.035
6	Aabajo. Avda. Andrés Bello-Avda Sgo. de Chile	Canal de concreto	1.50x1.50	8	0.025
7	Avda. Sgo de Chile-Aantes de la descarga en el Río Guaire	Embaulamiento Circular	D=2.44	5	0.03
8	Descarga en el Río Guaire	Estructura rectangular	B=1.50, H=2	5	0.025

Tabla 9.3. Quebrada Maripérez. Valores de la *n* Manning.

- Los factores de reducción de área (ARF) considerados dependen de la densidad de edificaciones, como se indica a continuación:
  - 40% en zonas urbanas con una concentración de edificaciones y viviendas moderada.
  - 20% en zonas cercanas al Parque Arístides Rojas, donde la existencia de edificaciones es baja.
  - 0% en las zonas verdes del Parque Arístides Rojas y en todos los canales y calles.

- A lo largo de todas las calles se utilizó un factor de reducción de ancho de la celda (WRF) para el intercambio de flujo igual a 60%.

- Las calles consideradas fueron las siguientes (Figura 9.20):

  1. Avenida Principal de Maripérez, con un ancho igual a 10.00 m.
  2. Avenida Andrés Bello, con un ancho igual a 20.00 m.
  3. Avenida Santiago de Chile, con un ancho igual a 10.00 m.
  4. Avenida La Salle, con un ancho igual a 20.00 m.
  5. 3ª Avenida, con un ancho igual a 10.00 m.

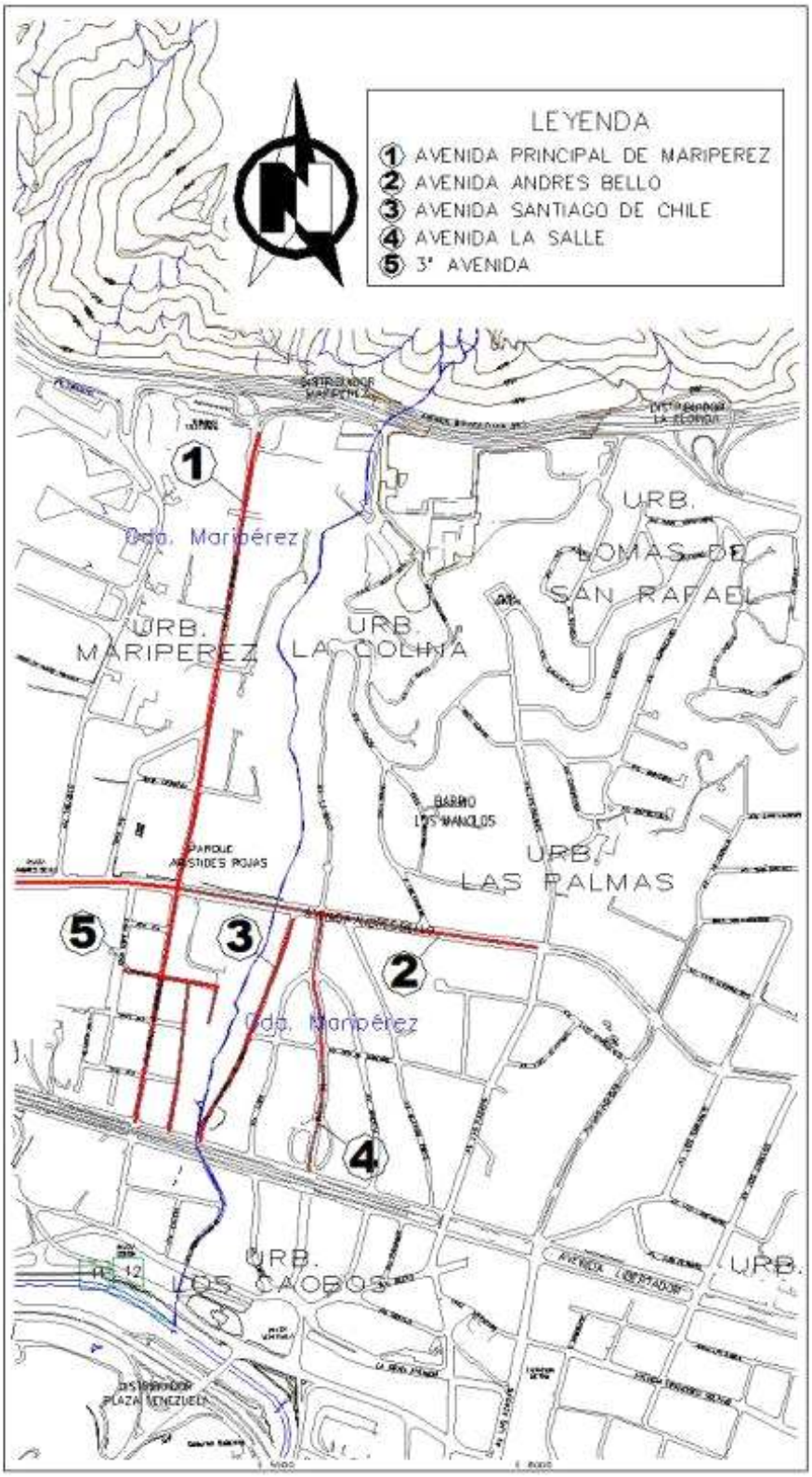


Figura 9.21. Quebrada Maripérez. Calles consideradas en la simulación.

- Las alcantarillas consideradas para los tres períodos de retorno son las siguientes:
    1. Tramo Cota Mil / Urbanización La Colina.
    2. Tramo Avenida Libertador / Río Guaire.

  Las dos alcantarillas fluyen a sección plena. La alcantarilla existente en el paso bajo la Avenida Andrés Bello, después del Parque Aristides Rojas, por tener dimensiones muy pequeñas se considera obstruida y no se toma en cuenta en ningún escenario de simulación.

9.3.2. Simulación para el escenario con un hidrograma de crecientes de Tr= 10 Años.

- Para este escenario no se consideró la presencia de sedimentos; sin embargo, se adoptó un Bulking Factor igual a 0.20. En la Figura 9.22. se presenta el hidrograma utilizado y en la 9.23 el hietograma. La lámina total de lluvia es de 112.33 mm. La Tabla 9.4. resume parámetros usados y resultados obtenidos.

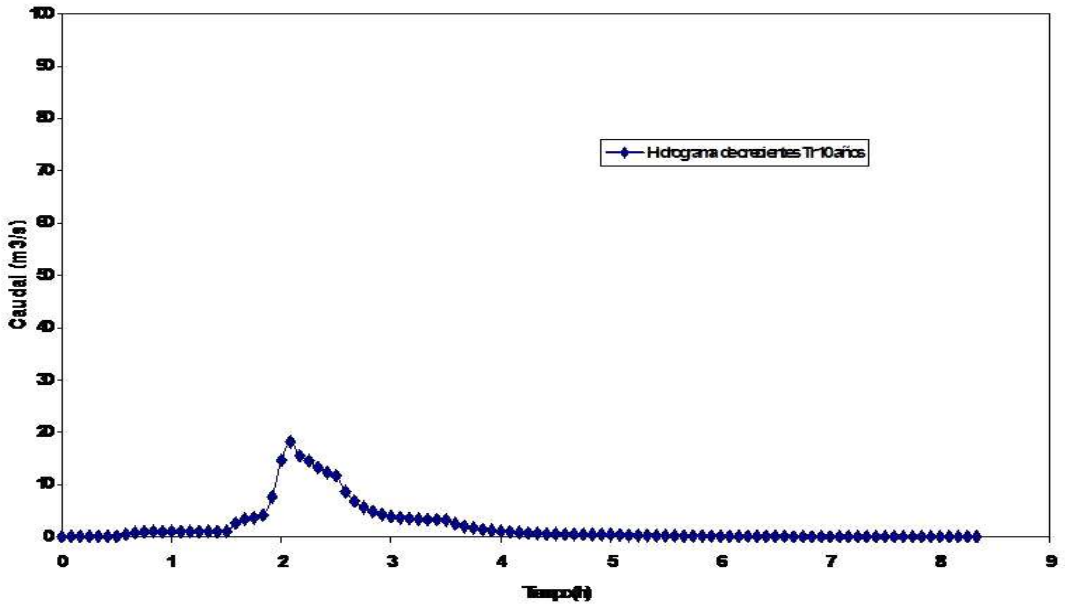


Figura 9.22. Quebrada Maripérez. Hidrograma para Tr= 10 años

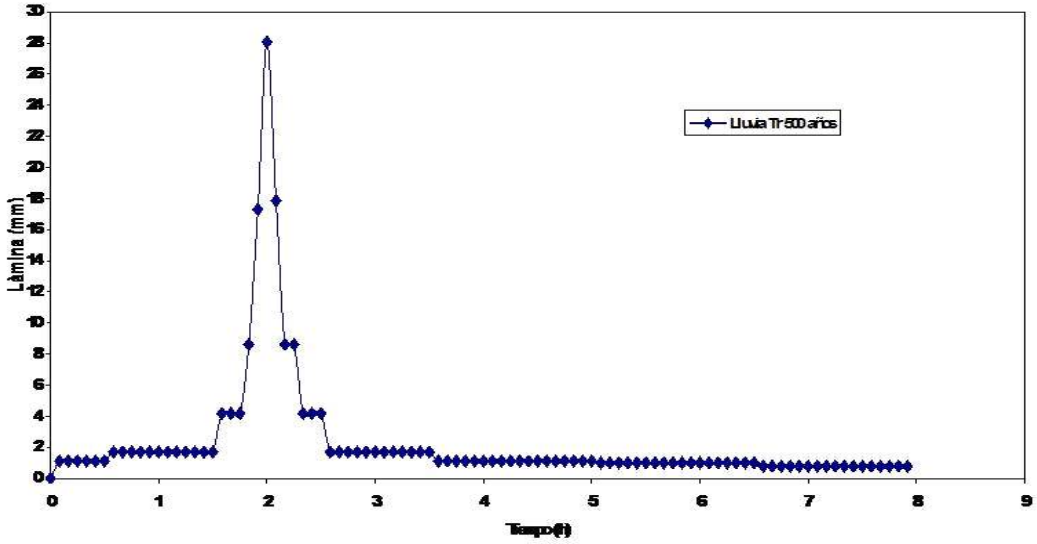


Figura 9.23. Maripérez. Hietograma para un escenario con caudal de crecientes de Tr=10 años.

QUEBRADA		**Maripérez**
Fecha		**Junio 2004**
Escenario		**10 años**
Tamaño celda		30 m x 30 m
Número celdas		2336
Área simulada	km2	2.1
n Manning	canal	Variable
	planicie inundación	Variable
Puentes	número	---
Alcantarillas	número	3
Reducción de área		20-40%
Calles	número	5
Caudal pico	m3/s	18.23
Bulking Factor		0.20
Vol. hidrograma	M3	57573.47
Vol. lluvia	M3	214224.16
Vol hidrograma + lluvia	M3	271797.62
Área inundada con profundidades mayores de 0.50 m	ha	5.94
Otros parámetros hidráulicos	dt	0.01 s - 30 s

Tabla 9.4. Maripérez. Parámetros usados en el escenario con caudal de crecientes de Tr=10 años

9.3.2.1. Resultados

En las Figuras 9.24 y 9.25 se presentan los resultados obtenidos de profundidades y velocidades máximas, respectivamente.

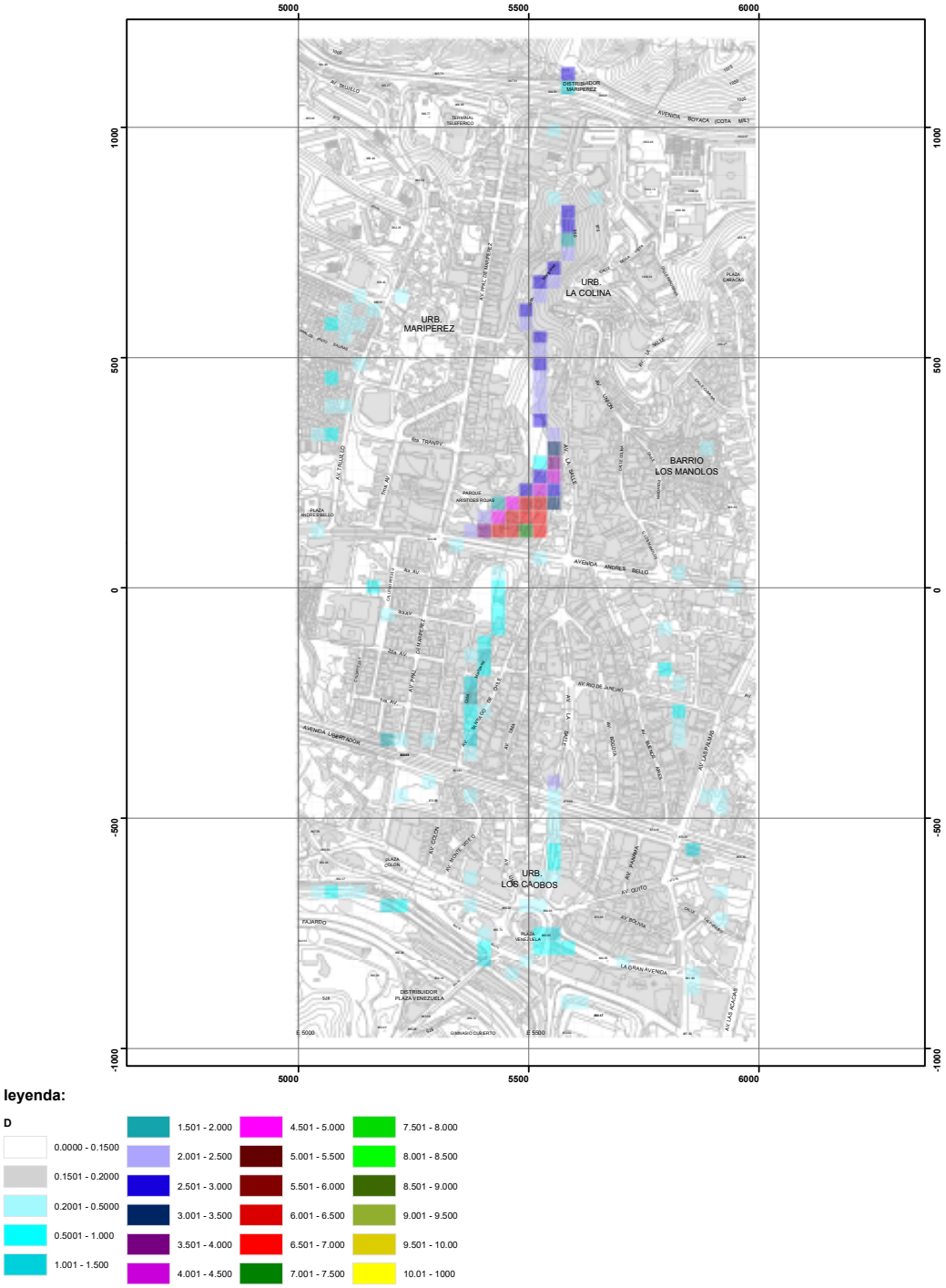


Figura 9.24. Maripérez. Profundidades Máximas para el escenario con hidrograma de crecientes de Tr=10 años.

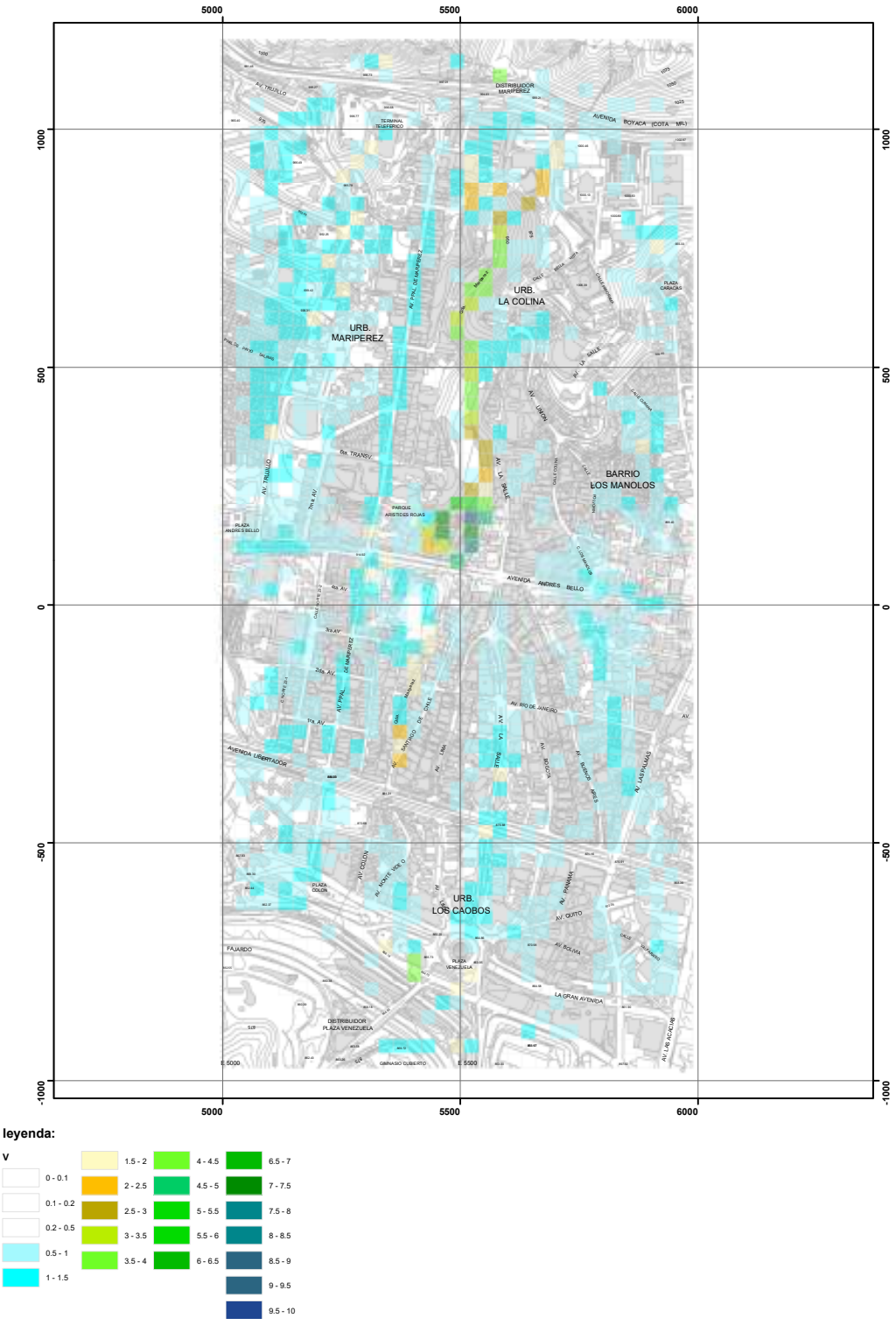


Figura 9.24. Maripérez. Velocidades Máximas para el escenario con hidrograma de crecientes de Tr=10 años.

Los resultados obtenidos de las simulaciones indican que no hay ningún desbordamiento en la planicie de inundación. Las profundidades de agua observadas en dicha planicie corresponden al efecto local de la lluvia.

A lo largo de todo el canal las profundidades están comprendidas entre 0.5 y 4.5 m, alcanzándose el mayor valor en la parte final del tramo que va desde la calle Bella Vista de la urbanización La Colina hasta el parque Arístides Rojas.

En las calles simuladas las velocidades van de 0.50 m/s a 2.00 m/s; y la profundidad obtenida es de 0.50 m en la mayoría de ellas, exceptuando el final de la Avenida La Salle, justo en Plaza Venezuela, donde se alcanzan 2.50 m de profundidad.

9.3.3. Simulación para un escenario con hidrograma de crecientes de Tr= 100 Años.

- Se consideró una concentración volumétrica de sedimentos comprendida entre 20% y 25%. En la Figura 9.26 se presentan el hidrograma de crecientes utilizado, la concentración volumétrica de sedimentos y el hidrograma total. La Figura 9.27 presenta la lluvia utilizada para este escenario. La lámina total de lluvia es igual a 171.40 mm. La Tabla 9.5 resume parámetros usados y resultados obtenidos.
-

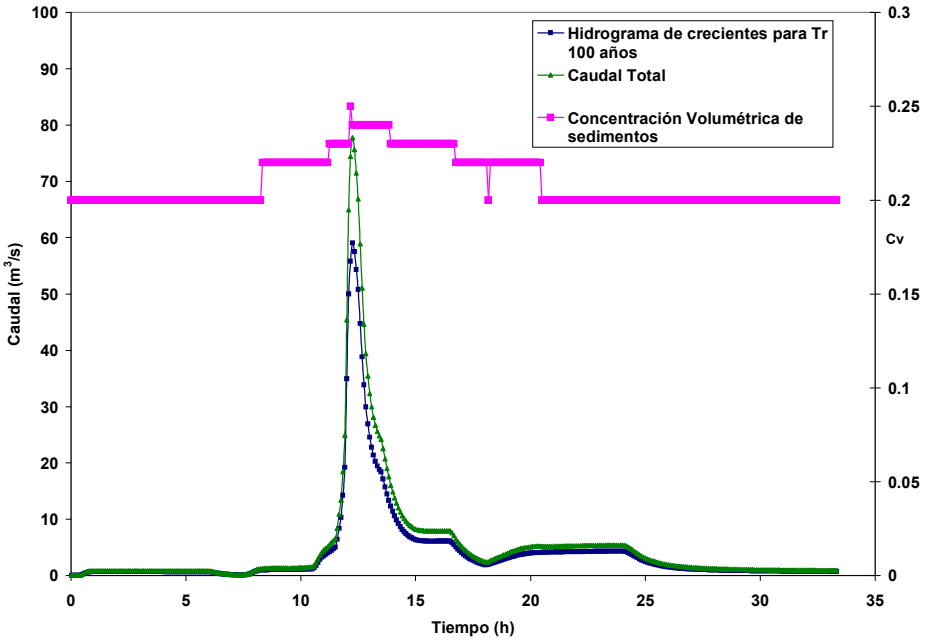
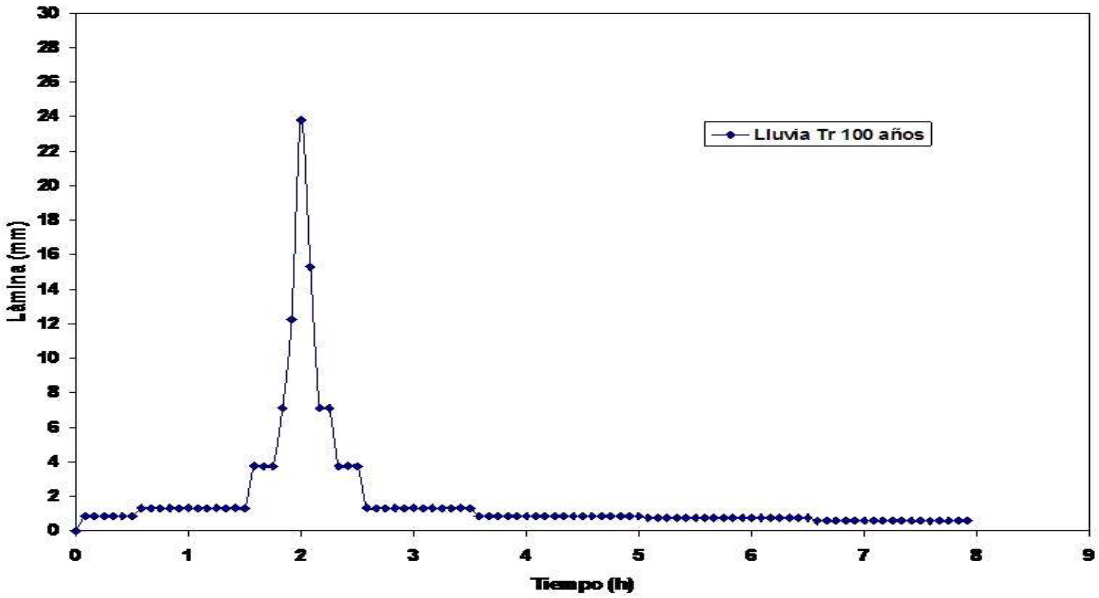


Figura 9.26. Maripérez. Hidrogramas y concentración volumétrica de sedimentos para el escenario con hidrograma de crecientes de Tr=100 años.



6.27. Maripérez. Hietograma para un escenario con caudal de crecientes de Tr=100 años.

QUEBRADA		Maripérez
Fecha		**Junio 2004**
Escenario		**100 años**
Tamaño celda		30 m x 30 m
Número celdas		2336
Area simulada	km2	2.1
N Manning	canal	Variable
	planicie inundación	Variable
Puentes	número	---
Alcantarillas	número	2
Reducción de área		20-40%
Calles	número	5
Caudal pico	m3/s	36.59
Cv		0.20-0.25
Vol. hidrograma	m3	91856.12
Vol. lluvia	m3	326874.71
Vol. sedimentos	m3	28345.84
Vol hidrograma + lluvia + sedimentos	m3	447076.67
Área inundada con profundidades mayores de 0.50 m	ha	7.38
Otros parámetros hidráulicos	a1(poises)	6.02*10^(-4)
	b1	33.1
	a2(dyne/cm2)	1.72*10^(-3)
	b2	29.5
	dt	0.01 s - 30 s
	densidad sedimento	2.74
	resistencia flujo laminar	2285

Tabla 9.5. Maripérez. Parámetros usados en la simulación del escenario con caudal de crecientes de Tr=100 años

9.3.3.1 Resultados

En las Figuras 9.28 y 9.29 se presentan los resultados obtenidos de profundidades y velocidades máximas, respectivamente.

Al igual que en el caso anterior, los resultados obtenidos de las simulaciones indican que no hay ningún desbordamiento en la planicie de inundación. Las profundidades de agua observadas en dicha planicie corresponden al efecto local de la lluvia.

A lo largo de todo el canal las profundidades están comprendidas entre 0.5 y 6.00 m, alcanzándose el mayor valor en la parte final del tramo que va desde la calle Bella Vista de la urbanización La Colina hasta el parque Arístides Rojas.

En las calles simuladas las velocidades van de 0.50 m/s a 2.00 m/s; y la profundidad obtenida es de 0.50 m en la mayoría de ellas, exceptuando el final de la Avenida La Salle, justo en Plaza Venezuela, donde se alcanzan 2.50 m de profundidad.

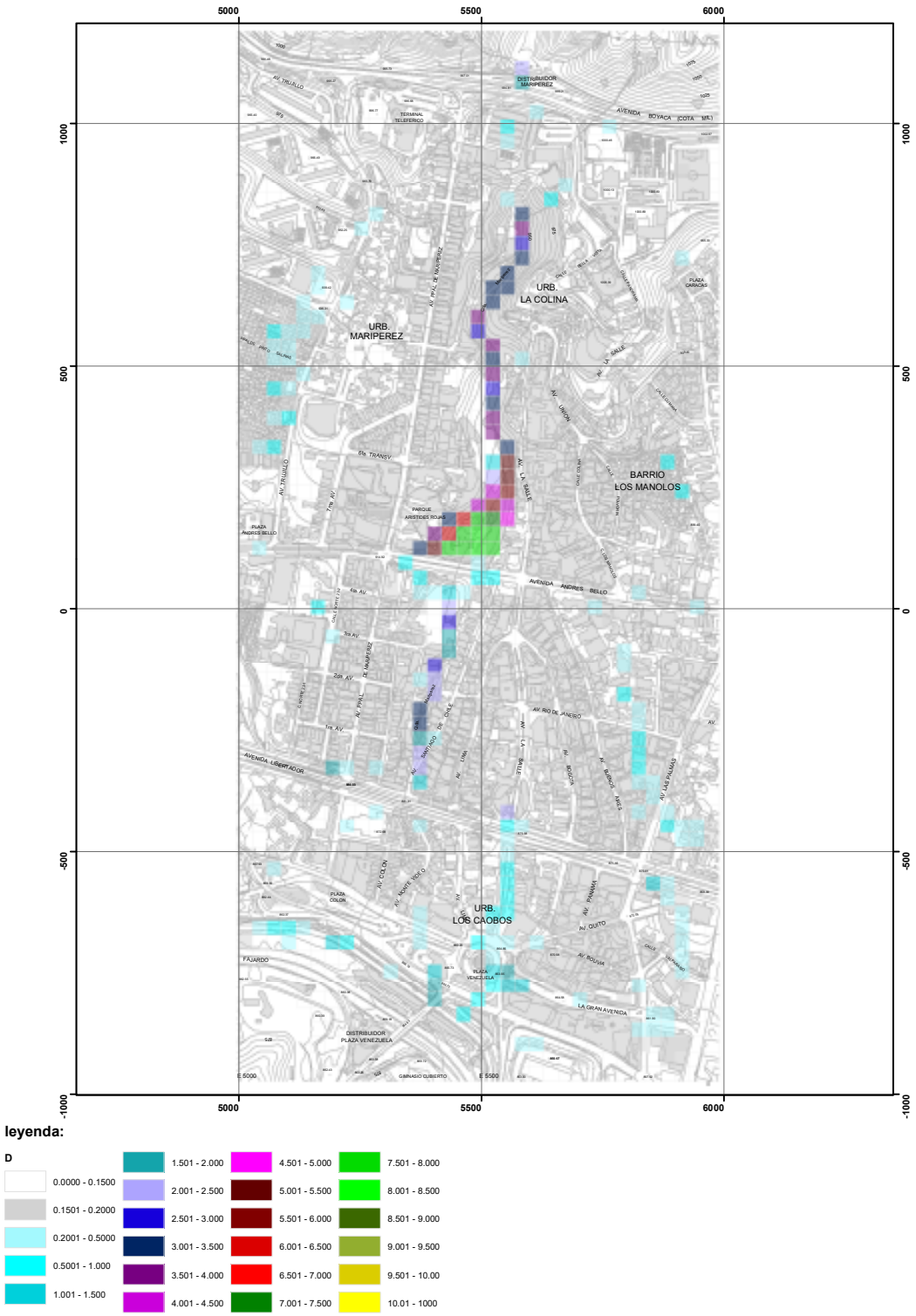


Figura 9.28. Maripérez. Profundidades Máximas para el escenario con hidrograma de crecientes de Tr=100 años.

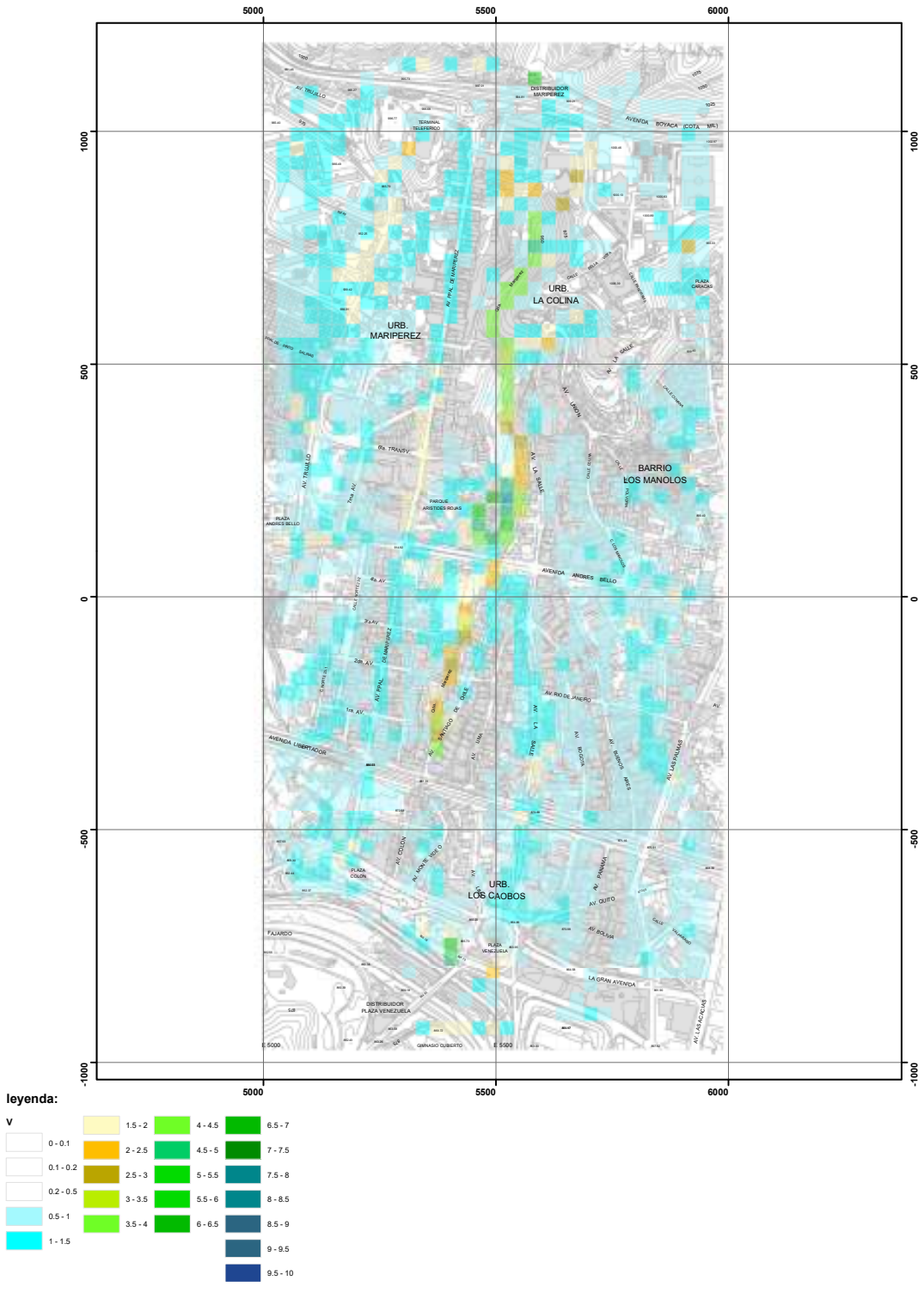


Figura 9.29. Maripérez. Velocidades Máximas para el escenario con hidrograma de crecientes de Tr=100 años.

9.3.4. Simulación para el escenario con un hidrograma de crecientes de Tr= 500 Años.

- Se consideró una concentración volumétrica de sedimentos comprendida entre 20% y 35%. En la Figura 9.30. se presentan el hidrograma de crecientes utilizado, la concentración volumétrica de sedimentos y el hidrograma total. La Figura 9.31 presenta el hietograma. La lámina total de lluvia es igual a 212.14 mm La La Tabla 9.6 resume parámetros usados y resultados obtenidos.

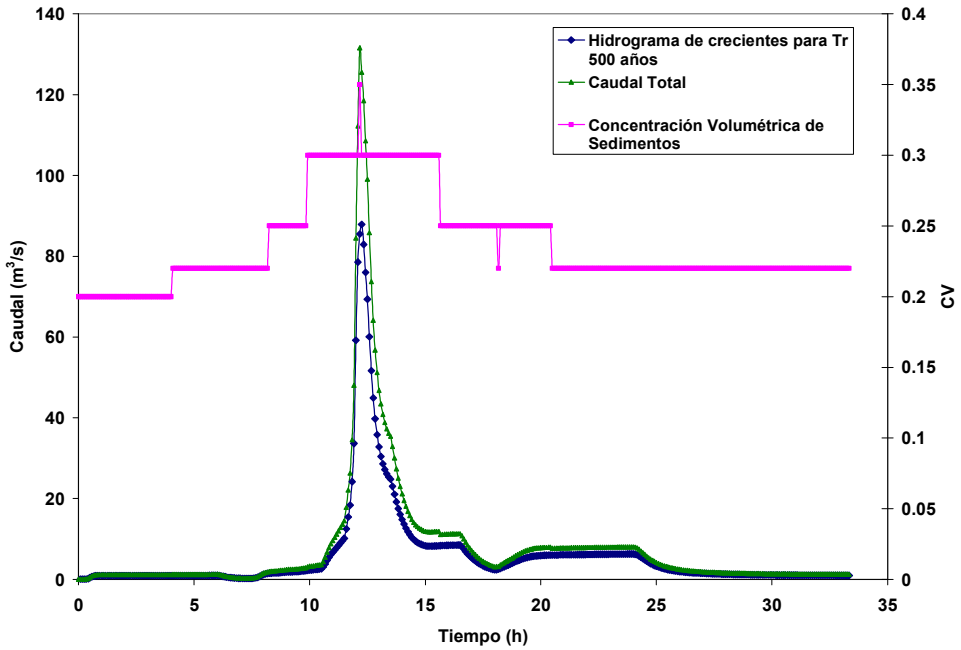
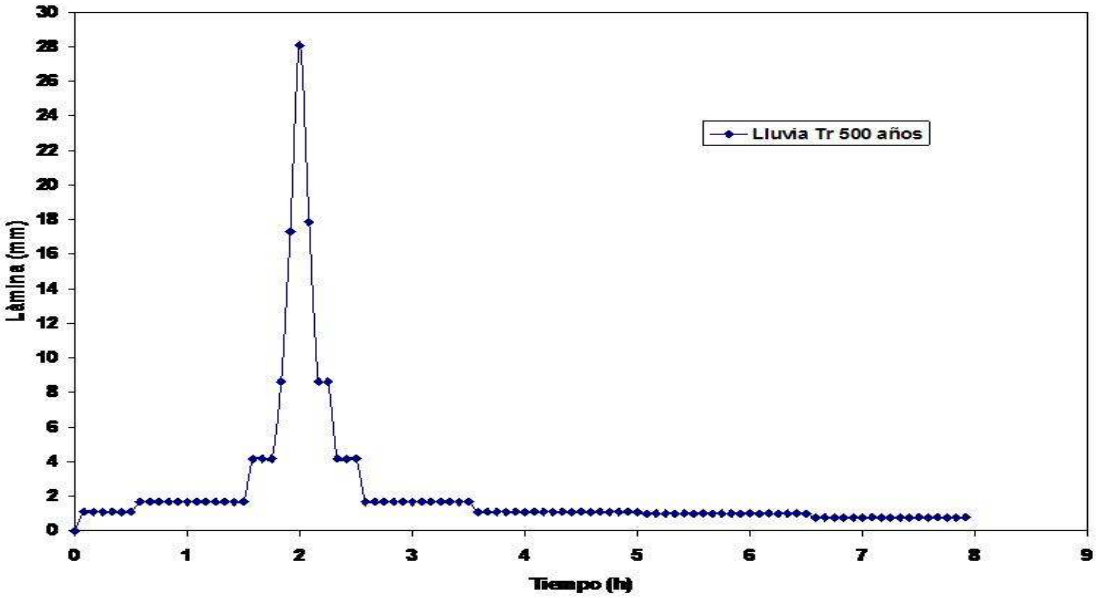


Figura 9.30. Maripérez. Hidrogramas y concentración volumétrica de sedimentos para el escenario con hidrograma de crecientes de Tr=500 años.

QUEBRADA		**Maripérez**
Fecha		**Junio 2004**
Escenario		**500 años**
Tamaño celda		30 m x 30 m
Número celdas		2336
Area simulada	km2	2.1
n Manning	canal	Variable
	planicie inundación	Variable
Puentes	número	---
Alcantarillas	número	2
Reducción de área		20-40%
Calles	número	5
Caudal pico	m3/s	50.80
Cv		0.20-0.35
Vol. hidrograma	m3	124766.50
Vol. lluvia	m3	368161.82
Vol. sedimentos	m3	51549.79
Vol hidrograma + lluvia + sedimentos	m3	544478.11
Área inundada con profundidades mayores de 0.50 m	ha	8.46
Otros parámetros hidráulicos	a1(poises)	6.02*10^(-4)
	b1	33.1
	a2(dyne/cm2)	1.72*10^(-3)
	b2	29.5
	dt	0.01 s - 30 s
	densidad sedimento	2.74
	resistencia flujo laminar	2285

Tabla 9.6. Maripérez. Parámetros usados en la simulación del escenario con caudal de crecientes de Tr=500 años



9.31. Maripérez. Hietograma para un escenario con caudal de crecientes de Tr=500 años.

9.3.4.1 Resultados

En las Figuras 9.32. y 9.33 se presentan los resultados obtenidos de profundidades y velocidades máximas, respectivamente.

Al igual que en los casos anteriores, las profundidades de agua observadas en la planicie de inundación corresponden al efecto local de la lluvia.

A lo largo de todo el canal las profundidades están comprendidas entre 0.5 y 7.00 m, alcanzándose el mayor valor en la parte final del tramo que va desde la calle Bella Vista de la urbanización La Colina hasta el parque Arístides Rojas.

En las calles simuladas las velocidades van de 0.50 m/s a 2.50 m/s; y la profundidad obtenida es de 0.50 m en la mayoría de ellas, exceptuando el final de la Avenida La Salle, justo en Plaza Venezuela, donde se alcanzan 2.50 m de profundidad.

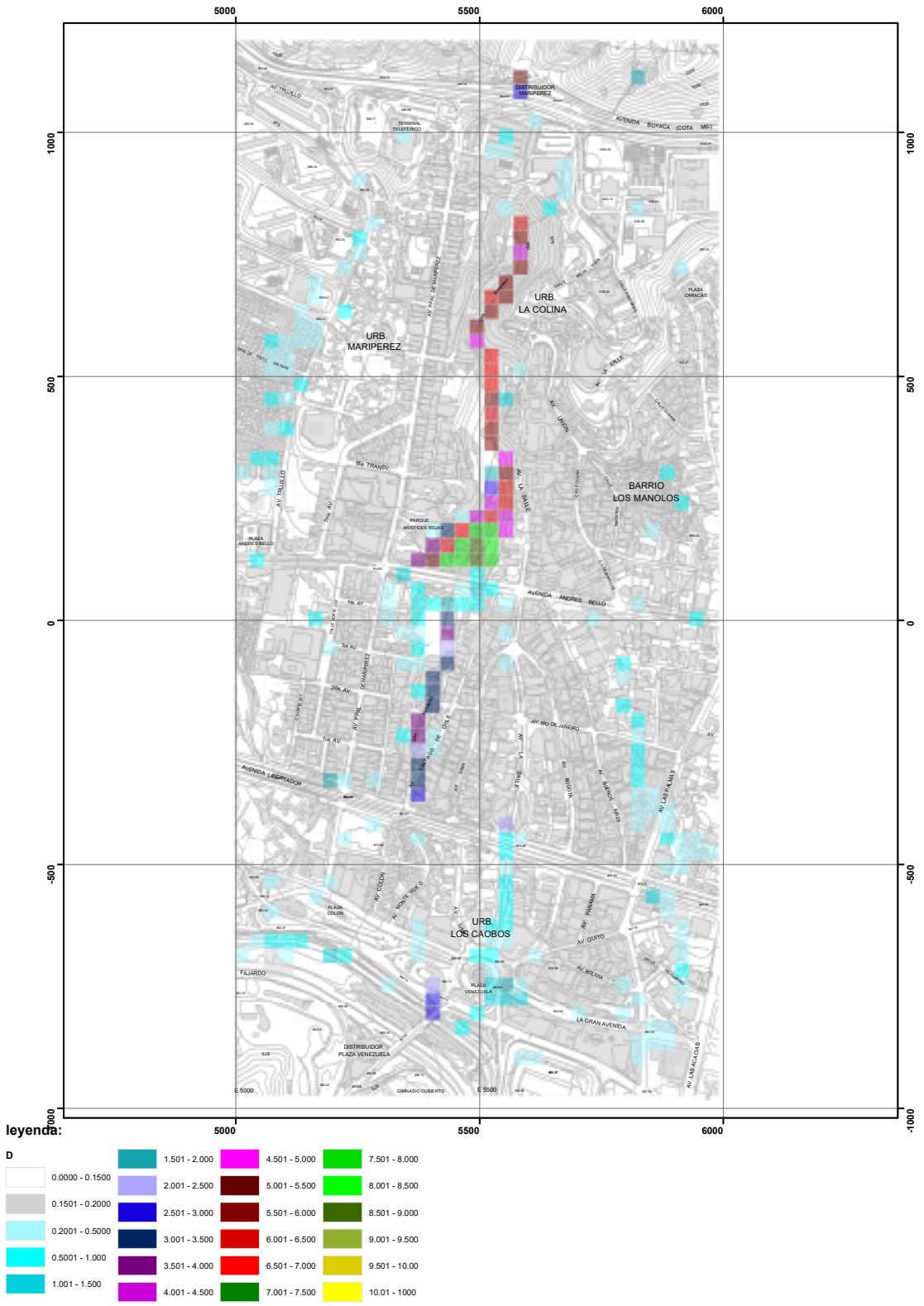


Figura 9.32. Maripérez. Profundidades Máximas para el escenario con hidrograma de crecientes de Tr=500 años.

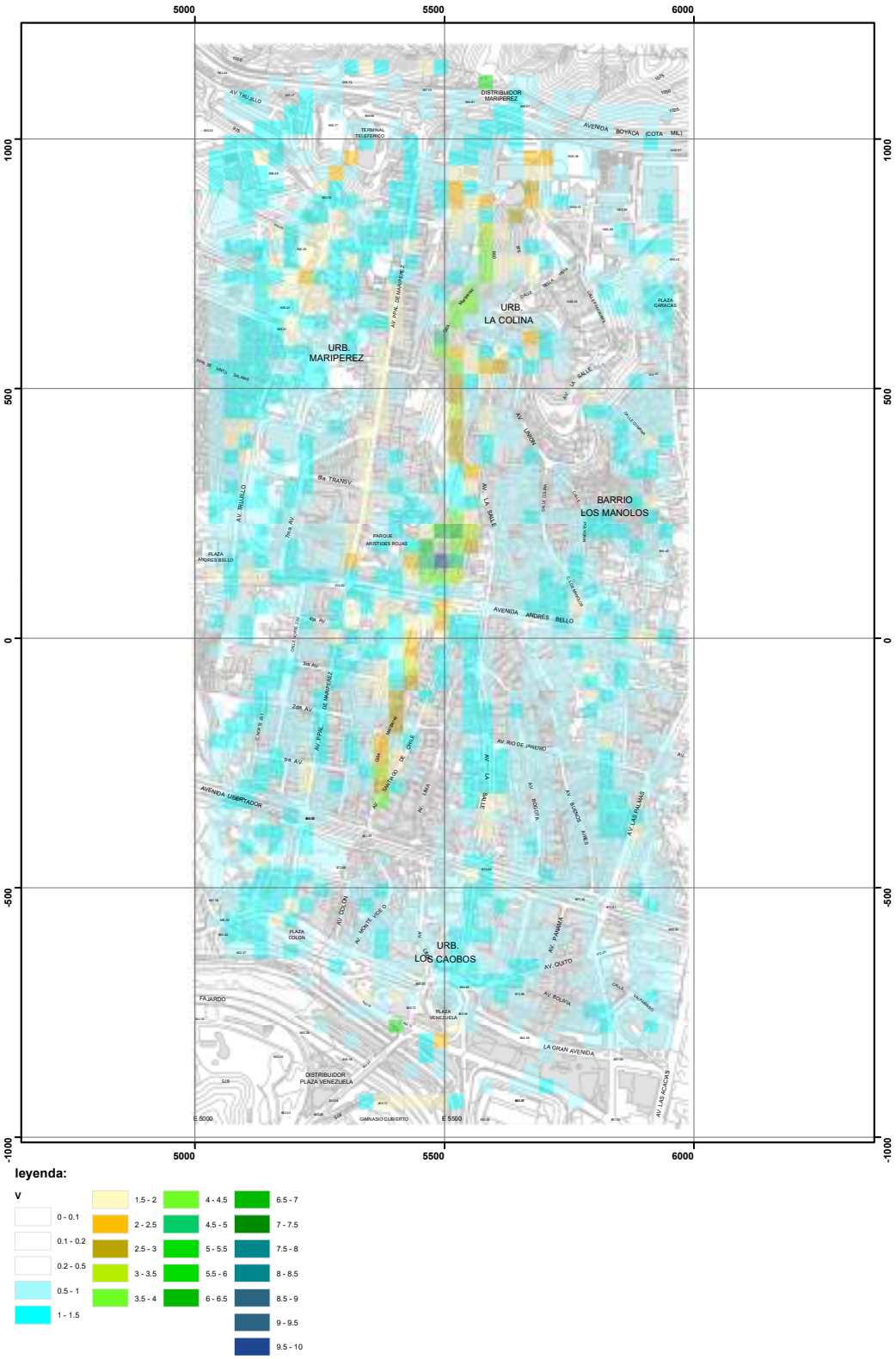


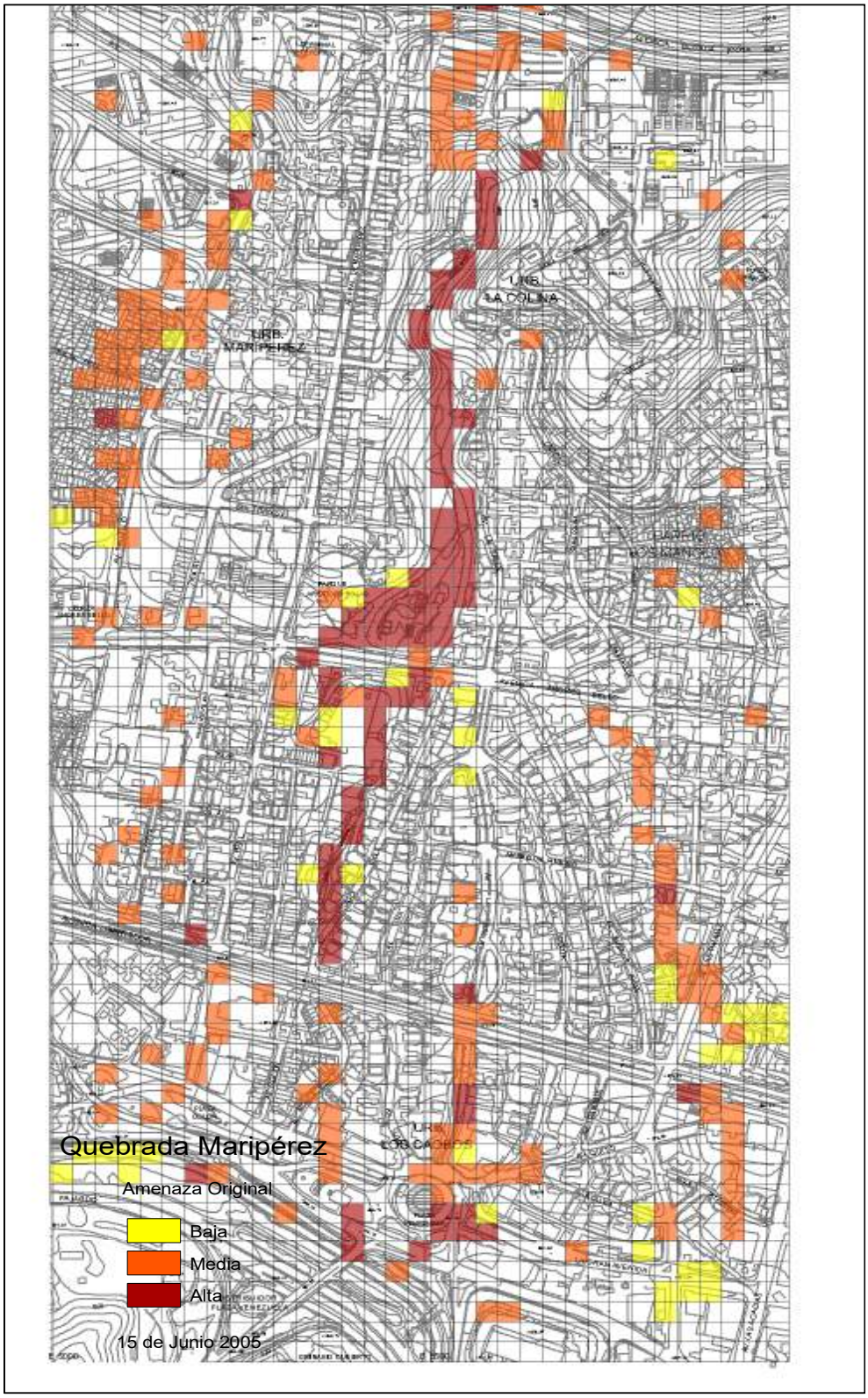
Figura 9.33. Maripérez. Velocidades Máximas para el escenario con hidrograma de crecientes de Tr=500 años.

9.4. Mapa de Amenaza

El mapa de amenaza resultando de las simulaciones se presenta en la Figura 9.34. Puede observarse que las zonas de mayor peligro son las próximas a la Quebrada de Maripérez, el Parque Arístides Rojas, la Avenida la Salle y Plaza Venezuela.

A lo largo del tramo de la quebrada comprendido entre la Avenida Boyacá y el Parque Arístides Rojas, incluyendo al mismo, no existen edificaciones que puedan sufrir algún tipo de daño, a diferencia del tramo existente entre la Avenida Andrés Bello y la Avenida Libertador, y la Avenida La Salle, donde es evidente la presencia de varias edificaciones que pueden ser afectadas en caso de un alud torrencial.

El mapa anterior ha sido luego llevado a su versión definitiva, independiente de la retícula de simulación. (Fig. 9.35)



9.34. Maripérez. Mapa de Amenaza resultado de las simulaciones

Figura 9.35. Maripérez. Mapa de Amenaza Modificado

10. ESTUDIO DE LA QUEBRADA CHACAITO

10.1 Características del Área

10.1.1 Ubicación Geográfica

La Quebrada Chacaíto y sus tributarios (Ávila, Cuño, Chapellín y otros afluentes menores), se ubican en la vertiente sur del macizo Ávila, al centro-este del área en estudio. Chacaíto fluye en dirección norte-sur hasta descargar en el Río Guaire frente al hotel Aladín de Bello Monte. La subcuenca pertenece a los municipios Libertador del Distrito Capital y Chacao del Estado Miranda y la quebrada es el límite entre ambos. La Figura 10.1 muestra la ubicación geográfica de la cuenca.

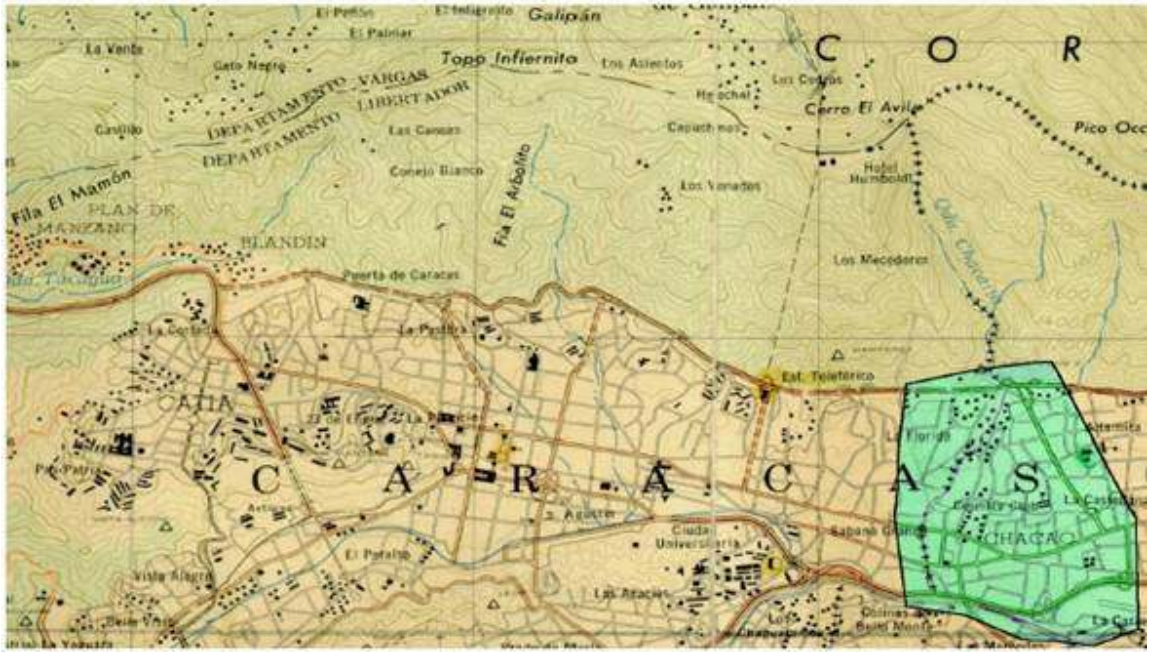


Figura 10.1. Chacaíto. Ubicación geográfica de la cuenca

10.1.2 Información disponible

10.1.2.1 Información cartográfica y fotográfica

De la información cartográfica señalada para el proyecto, se utilizó específicamente para la subcuenca Chacaíto la siguiente:

- Plano digital "Ciudad de Caracas", formato CAD, escala 1:5.000, elaborado por Estereofoto C.A., año 2000, hojas 07, 08 y 15.

- Ortofotomapa de la República de Venezuela a escala 1:25.000, año 1994. Servicio autónomo de Geografía y Cartografía Nacional, hojas 6847-IV-SO y 6847-III NO.
- Plano de Caracas, Guía de Calles y Avenidas, escala aproximada 1:15.000. Electricidad de Caracas, Caracas, 1990, planos 05 y 14.
- Plano en papel a escala 1:25.000 del año 1975, Ministerio del Ambiente. Dirección de Geografía y Cartografía Nacional, hoja 6847-III-NE.
- Raster a escala 1:25.000, correspondiente a la vertiente sur del Ávila y Valle de Caracas.

Se disponen por otra parte de fotos aéreas, tanto en formato digital como en papel fotográfico y sus respectivos mosaicos, como se indica en la Tabla 10.1.

Año	Misión	Fotos	Formato	Escala original
1.936	Sin Código	391, 393, 395, 397, 580, 582, 584	Digital	Desconocida
Mayo 1.954	B-8	039B, 041B, 043B, 045B, 047B, 679C, 681C, 683C, 916B, 918B, 920B, 922B, 924B, 958B, 960B, 979B, 981B, 983B, 985B	Papel Fotográfico	1:8.000
Noviembre 1.983	0304167	038, 039, 040, 041, 042, 057, 058, 059, 060	Digital	1:20.000
Febrero 1.994	0304185	0036	Digital	1:25.000

Tabla 10.1. Chacaíto. Fotos aéreas disponibles.

Existe además una información fotográfica anterior sobre la quebrada, recopilada en el Proyecto *Mapas de Amenaza por Aludes Torrenciales en las zonas del Estado Vargas y el Valle de Caracas, definidas en el Proyecto Ávila*, (I.G.N.S.B, 2002) y fotografías de visitas de campo realizadas en el marco de este proyecto.

10.1.2.2 Información hidrológica

Se dispone de hidrogramas de crecientes de 10, 100 y 500 años de período de retorno provenientes del estudio hidrológico realizado para el Proyecto. Estos hidrogramas se presentan en las figuras 10.2, 10.3 y 10.4. Los hidrogramas *otros afluentes* corresponden a la suma para cada período de retorno de los de las cuencas denominadas 26, 27, 29, 30 y 31, según el estudio mencionado. Estos hidrogramas se han agrupado en uno para cada período de retorno por condiciones de simulación.

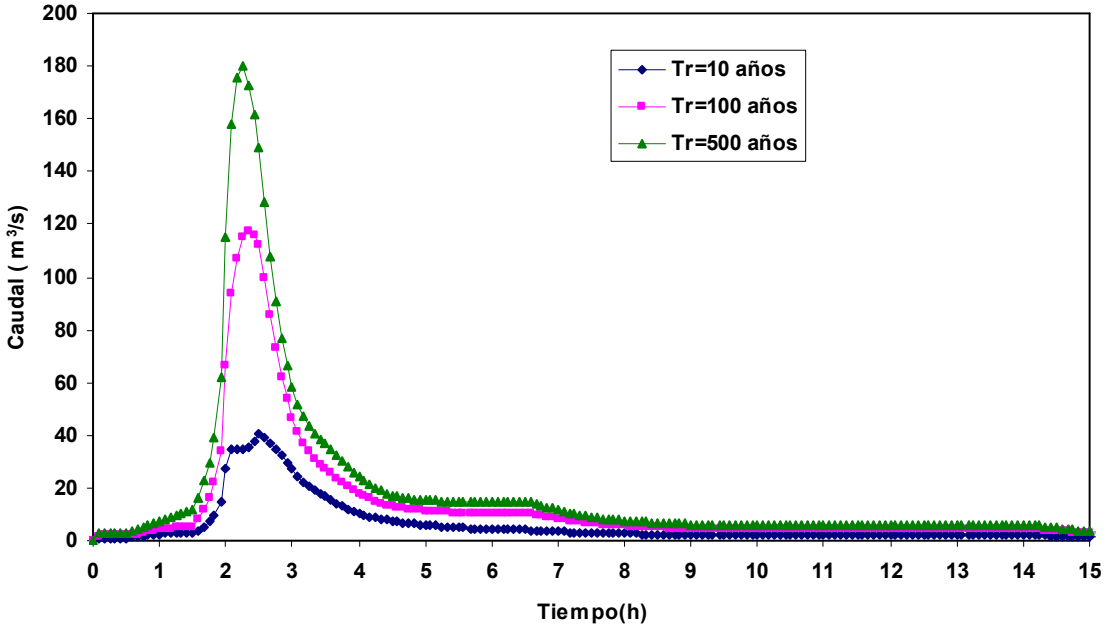


Figura 10.2. Chacaíto. Hidrogramas de crecientes de 10, 100 y 500 años de período de retorno.

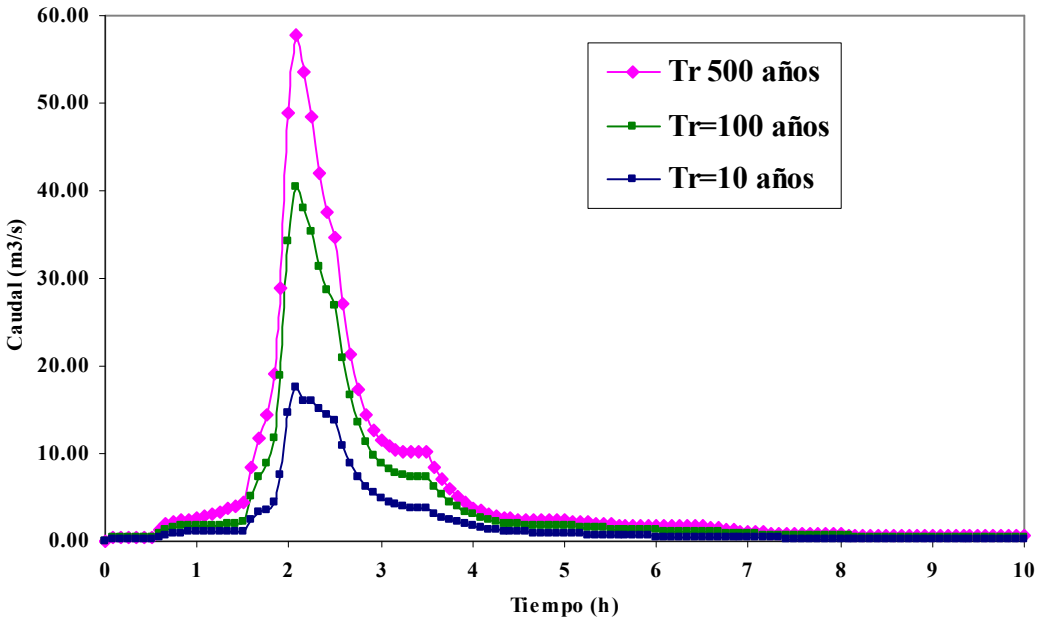


Figura 10.3. Ávila. Hidrogramas de crecientes de 10, 100 y 500 años de período de retorno.

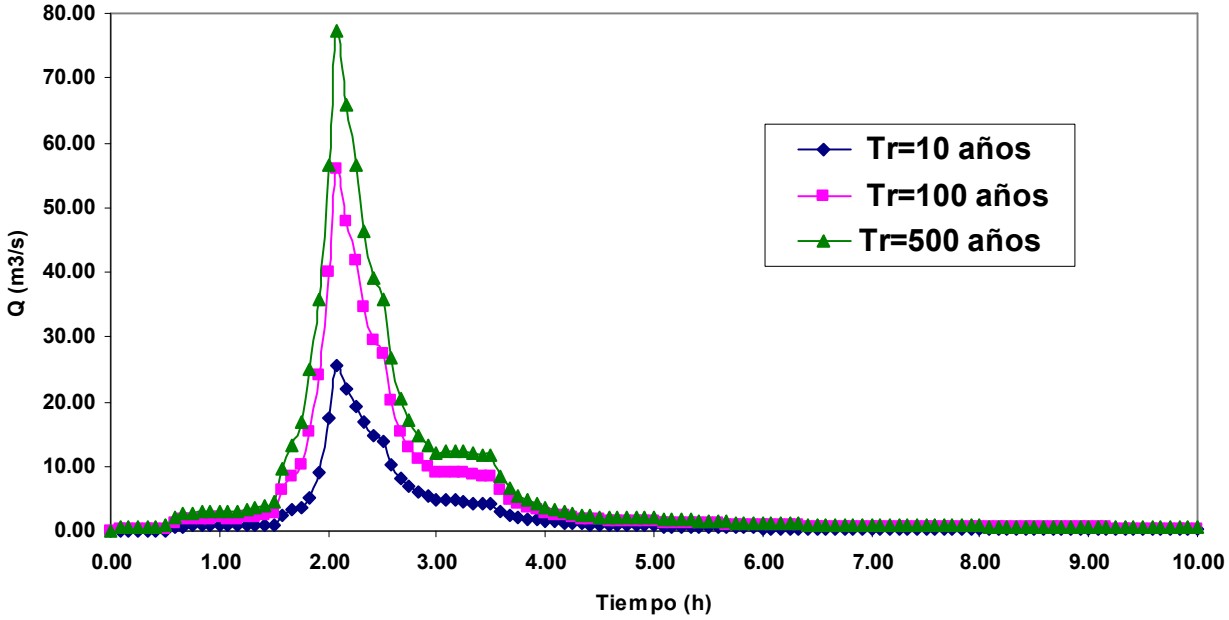


Figura 10.4. Otros afluentes. Hidrogramas de crecientes de 10, 100 y 500 años de período de retorno.

10.1.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica

Para el estudio de Chacaíto se utilizó la siguiente información sobre obras de infraestructura hidráulica:

- Plano en papel Quebradas Principales del Municipio Libertador. Alcaldía de Caracas, escala 1:10.000 año, 1995, hoja 03.
- Plano en papel Quebradas Principales del Municipio Libertador. Alcaldía de Caracas, escala 1:5.0000 año 1995, hoja F-43 y F-44.

10.1.2.4 Estudios previos

La Quebrada Chacaíto ha sido incluida en el estudio anterior: *Mapas de Amenaza por Aludes Torrenciales en las zonas del Estado Vargas y el Valle de Caracas, definidas en el Proyecto Ávila*, (I.G.N.S.B, 2002)

10.1.3 Hidrografía

La cuenca se extiende desde la Fila del Ávila (2400 m.s.n.m.) hasta el Río Guaire (860 m.s.n.m.). Su área aproximada de 11 km^2.
La Quebrada Chacaíto es el curso principal y tiene una longitud aproximada de 8,2 km y una pendiente promedio de 19,6 %. El principal afluente de Chacaíto es la Quebrada

Chapellín, con un área aproximada de 1,19 km^2, una longitud de 3,5 km hasta su confluencia con Chacaíto y una pendiente promedio de 12,5 %. Confluye en Chacaíto a 875 m.s.n.m, a la altura de Residencias Sans Souci. (Se debe señalar que a veces están invertidos los nombres de esta quebrada y el de otra afluente de Chacaíto, la quebrada Avila)

Las características principales de Chacaíto y Chapellín se resumen en la Tabla 10.2.

La Figura 10.5 presenta el perfil longitudinal de Chacaíto, a partir de su confluencia con el Río Guaire, elaborado a partir del raster 1:25.000 para la parte alta (por encima de los 1.000 m.s.n.m.) y el plano digital 1:5.000 para la parte baja.

Área de la cuenca (km^2)	Vegetada: 6 (55 %)	Total:11
	Urbana: 5 (45 %)	
Longitud del cauce principal (km)	En área extra-urbana: 3,73 (45,5 %)	Total: 8,2
	En área urbana: 4,47 54,5 %)	
Cotas (m.s.n.m.)	Superior: 2.400	
	Inferior (confluencia con el río Guaire): 860	
Pendiente del cauce principal (%)	En área extra-urbana: 51,9	Promedio:19,6
	En área urbana: 5	

Tabla 10.2. Chacaíto. Características de la subcuenca

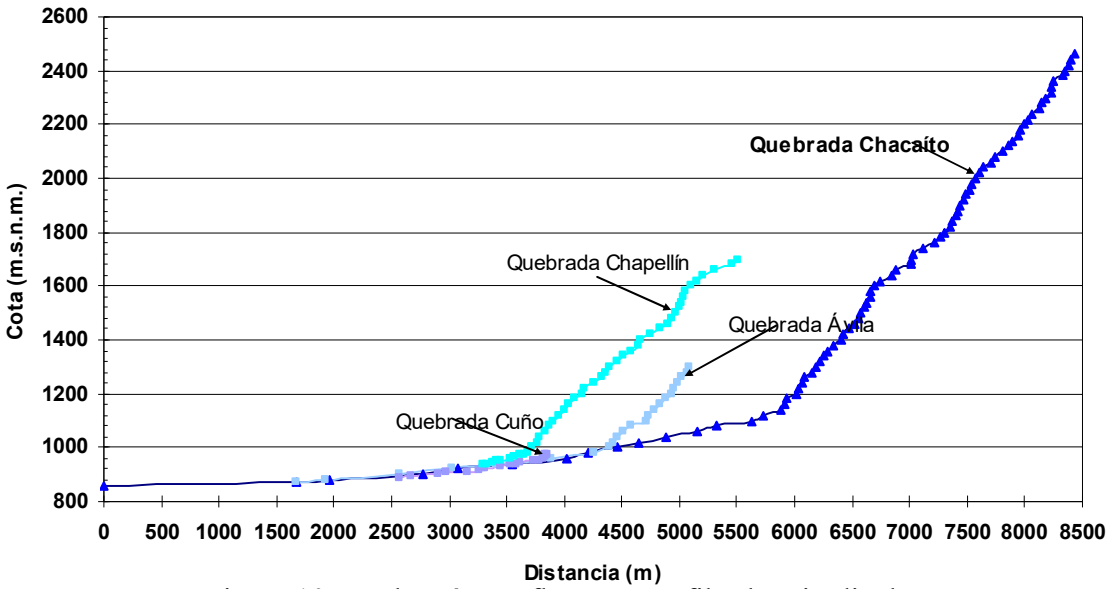


Figura 10.5. Chacaíto y afluentes. Perfiles longitudinales

Un poco arriba de la Avenida Boyacá existe una toma de HIDROCAPITAL que abastece el sector de La Castellana.

Quebrada	**Caudal máximo (m^3 /s)**		
Chacaíto	Tr=10 años	Tr=100 años	Tr=500 años
	40.35	117.18	179.96
Chapellín	17,49	40,37	57,56
Otros Afluentes	25.61	55.82	77.27

Tabla 10.3. Chacaíto y Chapellín. Caudales máximos

10.1.4 Usos del suelo

La subcuenca Chacaíto presenta dos zonas bien diferenciadas, separadas por la avenida Boyacá (Cota Mil): una parte alta vegetada, que representa el 55 % de la superficie, y una parte baja urbanizada, que representa el 45% de la misma.

La parte alta de la cuenca está ocupada por la vegetación típica de una selva tropical húmeda: árboles de gran altura, arbustos, gramíneas y helechos y pertenece al Parque Nacional el Ávila. La geología de la montaña está compuesta principalmente por gneises y esquistos. Peñones y grandes clastos se encuentran en el cañón y en la parte alta. El régimen de escurrimiento natural es permanente, pero se vuelve intermitente en la zona urbana debido a la toma de agua de HIDROCAPITAL antes mencionada. Las figuras 10.6 y 10.7 muestran la parte alta de la cuenca.

Figura 10.6. Chacaíto. Parte alta.

Figura 10.7. Chacaíto. Rocas en el lecho.

Al pie del Ávila, a la salida de la garganta, la quebrada cruza la Avenida Boyacá y fluye en dirección sur hacia los campos de golf del Country Club, zona de uso residencial. Luego atraviesa la El Bosque, La Castellana, Chacao Chacaíto y Chapellín, zonas de uso residencial-comercial de densidad poblacional media, excepto Chacao y Chapellín, cuya densidad poblacional es alta. Aguas abajo de la Avenida Libertador en el sector Las Delicias, se encuentra la sede de los Bomberos del Distrito Capital.

La quebrada cruza algunos ejes viales importantes: Avenida Boyacá, Avenida Libertador y Avenida Francisco Solano.

Como desarrollos no controlados pueden identificarse el Barrio Chapellín y el Barrio Hoyo de las Delicias, éste último en el sector Las Delicias.

10.2 Red de drenaje pluvial

10.2.1 Características de la red de drenaje

La red de drenaje está constituida por la Quebrada Chacaíto, sus afluentes y algunos colectores urbanos transversales que descargan en ellas.

Quebrada Chacaíto

La Quebrada Chacaíto cruza la Avenida Boyacá bajo un puente, fluye por un cauce natural hasta el límite entre los campos de golf del Caracas Country Club y el Barrio Chapellín, donde hay un cambio de sección a un canal de concreto muy estrecho, luego el cauce se amplía nuevamente en El Bosque, atraviesa la Calle Maturín de El Bosque por un embaulamiento, sigue por un cauce natural hasta aguas arriba de la Avenida Libertador, donde es embaulado nuevamente para cruzar dicha avenida. Luego fluye nuevamente por un cauce natural hasta las Residencias Sans Souci, donde recibe el aporte de Ávila y se embaula hasta desembocar en Bello Monte, frente al Hotel Aladdin. Un esquema de la red drenaje se presenta en la Figura 10.8.

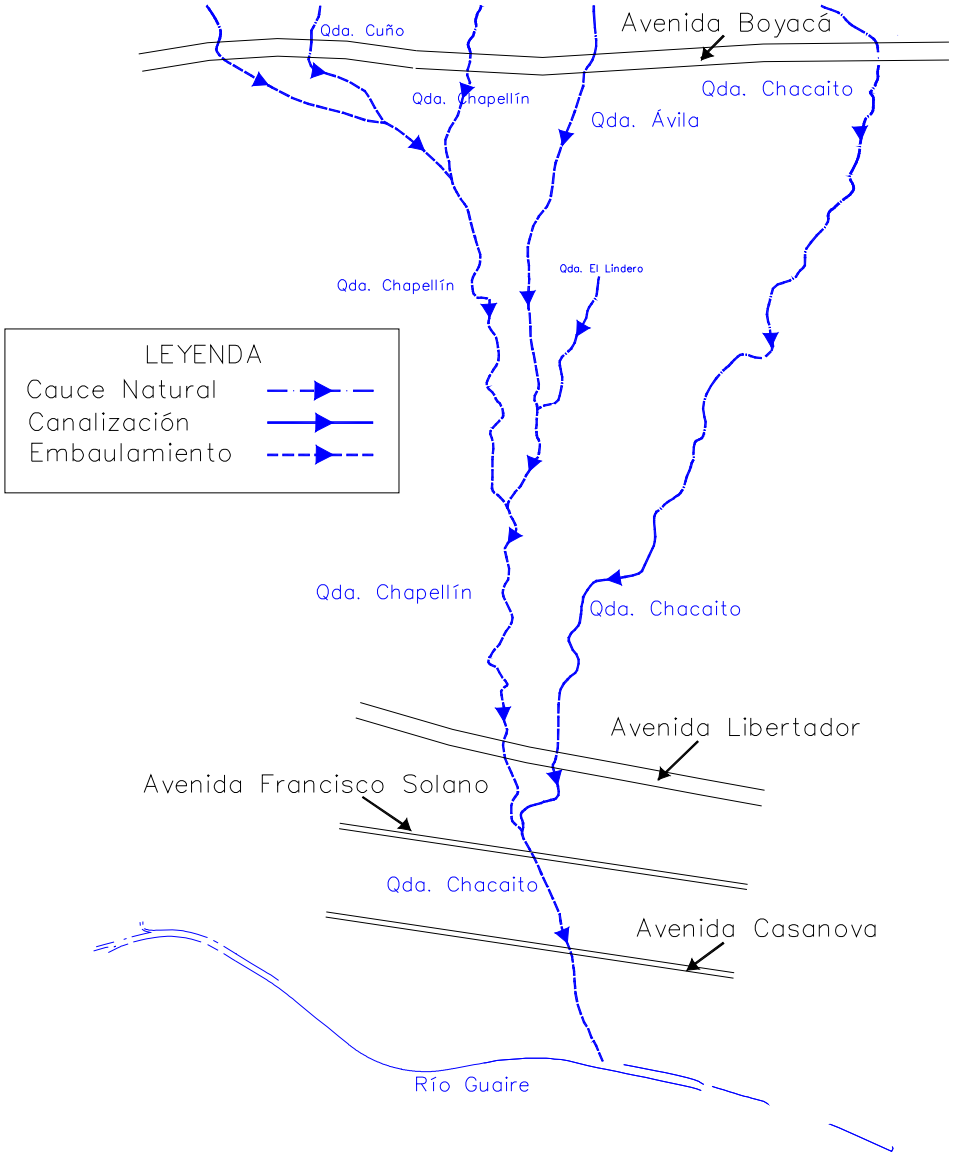


Figura 10.8. Chacaíto. Esquema de la red de drenaje.

Las características de los distintos tramos se describen a continuación. Las flechas en las fotos indican el sentido del flujo.

- **Tramo Av. Boyacá – Propiedad de la Familia Cisneros**

La Quebrada Chacaíto cruza la Avenida Boyacá bajo un puente. La luz libre entre el fondo de la quebrada y el tablero del puente es de aproximadamente 4 m y el ancho del cauce de aproximadamente 14 m. Puede observarse deposición de peñones como consecuencia del evento de 1.999 (Figura 10.9), según información de los habitantes de la zona. Continuando en la zona inmediatamente aguas abajo del puente de la Avenida Boyacá, en la Figura 10.10 pueden verse tuberías que atraviesan el cauce a la altura del Barrio El Pedregal. Estos elementos actúan como obstáculos al flujo en caso de una crecida. Desde El Pedregal hasta la propiedad de la familia Cisneros en la Urbanización Country Club, el canal tiene un ancho que oscila entre 10 y 15 m, con taludes de aproximadamente 5 m en ambas márgenes.

- **Tramo Propiedad de la familia Cisneros**

La propiedad de la familia Cisneros comienza 300 metros aproximadamente aguas abajo de la Avenida Boyacá, en la Urbanización Country Club. Aunque el tramo presente las mismas dimensiones que el anterior, merece una descripción aparte debido a los obstáculos y el uso del agua en el mismo. Al comienzo y final de la propiedad, los propietarios han construido dos rejas sobre la quebrada para evitar el paso, (figuras 12.11 y 12.12) y un puente de poca altura (1.50 m) para circulación interna (Figura 12.13). Obstáculos como éstos pueden interponerse al flujo en momentos de crecientes y aumentar el peligro de inundaciones.

Según lo reportado por el personal de vigilancia de la propiedad, hubo daños en la misma debidos al evento de 1999.

En esta propiedad existe una bomba que toma el agua de la quebrada y la recircula después de almacenarla, por lo que aguas abajo de este sitio la quebrada está muchas veces seca, excepto cuando llueve copiosamente.

Figura 10.9. Chacaíto. Rocas bajo el puente de la avenida Boyacá.

Figura 10.10. Chacaíto. Obstáculos al flujo a la altura del barrio el Pedregal.

Figura 10.11. Chacaíto. Cerca electrificada al comienzo de la propiedad de la familia Cisneros. (Caracas Country Club).

Figura 10.12. Chacaíto. Cerca electrificada al final de la propiedad de la familia Cisneros. (Caracas Country Club).

Figura 10.13. Chacaíto. Puente de poca altura en la propiedad de la familia Cisneros. (Caracas Country Club).

- **Tramo Propiedad de la familia Cisneros – Prolongación Avenida Mohedano del Country Club.**

Al salir de la propiedad de la familia Cisneros, la quebrada continúa con las mismas dimensiones hacia los campos de golf del Caracas Country Club. En la Avenida Principal del Country Club, atraviesa por un puente de 3 m de alto por 8, 60 de ancho (Figura 10.14). Al pasar este puente, el canal va disminuyendo su profundidad hasta desaparecer para dar paso a un camino para carros de golf. Luego hay un canal de piedra de 5 m de longitud, 2,60 m de ancho y 2 m de alto, con un puente que lo cruza. El puente tiene 3 m de alto por 2,60 m de ancho. Esta situación se muestra en la Figura 10.15.

Aguas abajo de este canal, la quebrada fluye en un cauce natural de aproximadamente 10 m de ancho, hasta 200 m aguas arriba del final de la prolongación de la Avenida Mohedano, donde hay un cambio brusco de sección.

Figura 10.14. Chacaíto. Puente Avenida Principal del Country Club.

Figura 10.15. Chacaíto. Cauce aguas abajo de la Avenida Principal del Country Club.

- **Prolongación Avenida Mohedano del Country Club – Campos de Golf del Caracas Country Club.**

Desde la prolongación de la Avenida Mohedano, siguiendo su curso, la quebrada atraviesa los campos de golf del Country Club en un canal cuadrado de concreto de 1,5 m x 1,5 m Sobre este canal hay una serie de puentes de poca altura, como puede verse en la Figura 10.16.

Es importante hacer notar que lo que fluye hacia aguas abajo de los campos de golf son aguas servidas provenientes de colectores marginales rotos, ya que el agua de la quebrada ha sido tomada aguas arriba.

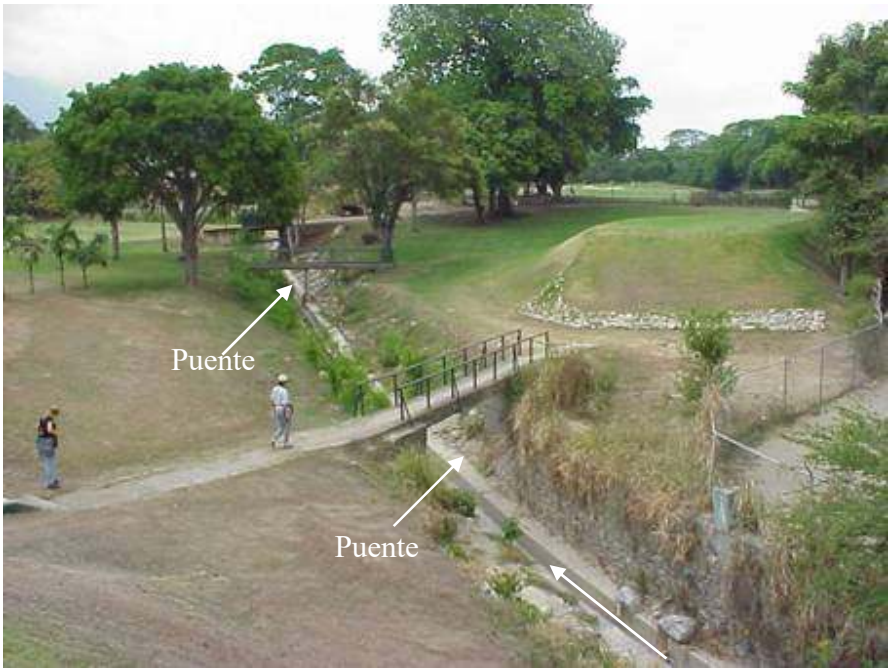


Figura 10.16. Chacaíto. Curso de la quebrada en el campo de golf del Country Club.

- **Tramo Campos de golf del Country Club - Barrio Chapellín.**

Luego de pasar por los campos de golf del Country Club, la quebrada atraviesa el barrio Chapellín. Justo donde termina la urbanización Country Club y comienza el barrio Chapellín, comienza también un canal de concreto completamente encajonado en ambas márgenes por muros de edificaciones, como muestra la Figura 10.17. El canal tiene 1,50 m. de ancho. El canal descrito anteriormente continúa hasta la calle Maturín de la urbanización El Bosque.

Figura 10.17. Chacaíto a la altura del Barrio Chapellín.

- **Tramo Calle Maturín (Urbanización El Bosque) - Avenida Libertador.**

La quebrada atraviesa la Calle Maturín en un cajón de paso con dimensiones de 1,50 x 1,50 (Figura 10.18). Luego la quebrada fluye a superficie libre (Figura 10.19) en un canal rectangular de concreto en malas condiciones de mantenimiento hasta el Instituto Universitario de Caracas, donde comienza un embaulamiento con dimensiones desconocidas. Este embaulamiento atraviesa la Avenida Libertador.

Figura 10.18. Chacaíto. Cajón a la altura de la Calle Maturín en la Urbanización El Bosque.

Figura 10.19. Chacaíto. Curso aguas abajo del cajón de la Calle Maturín (Urbanización El Bosque).

- **Tramo Bomberos del Distrito Capital- Residencias Sans Souci.**

Al atravesar la Avenida Libertador, la quebrada sale del embaulamiento en las inmediaciones de la sede de los Bomberos del Distrito Capital y fluye nuevamente a superficie libre por un canal de concreto de 1,50 m x 1,50 m (Figura 10.20), pasando por el Barrio Hoyo de las Delicias (Municipio Libertador). Aguas arriba de la Avenida Francisco Solano, a la altura de las Residencias Sans Souci, Chacaíto confluye con Chapellín.

Figura 10.20. Chacaíto. Aguas arriba y aguas abajo, respectivamente del Cuartel de Bomberos del Distrito Capital.

- **Tramo Residencias Sans Souci - Descarga en el Río Guaire.**

Chapellín descarga en Chacaíto a la altura de las Residencias Sans Souci. Allí comienza un embaulamiento de 3 m x 3 m, aproximadamente, (Figura 10.21), que conduce la quebrada hasta su descarga en el Guaire a la altura del Hotel Aladín de Bello Monte. Esta descarga es rectangular, de 5,20 m de alto y 3 m de ancho (Figura 10.22).

Figura 10.21. Chacaíto. Entrada al embaulamiento que conduce la quebrada hasta su descarga en el Río Guaire. (Foto tomada desde Residencias Sans Souci).

Figura 10.22. Chacaíto. Descarga en el Río Guaire.

- **Quebrada Chapellín**

La quebrada Chapellín, principal afluente de Chacaíto, nace en el Ávila, aproximadamente a 1.300 m.s.n.m., cruza la avenida Boyacá, fluye en dirección sur entre las urbanizaciones La Florida y Barrio Nuevo de Chapellín. Cruza la Calle Real de Chapellín, donde recibe el aporte de la quebrada Ávila. Luego continúa por la urbanización La Campiña, cruza la avenida Libertador y desemboca en la quebrada Chacaíto a la altura de residencias Sans Souci. Las quebradas Chapellín y Avila se encuentran completamente embauladas, desde sus cruces con la avenida Boyacá hasta la confluencia con Chacaíto y sus antiguos cauces están poblados de viviendas informales, como se muestra en la Figura 10.23.

Figura 10.23. Antiguo cauce de la quebrada Ávila a la altura del puente de la Avenida Ávila .

10.2.2 Antecedentes de inundaciones y aludes

La ocurrencia de aludes torrenciales en la Quebrada Chacaíto no es muy frecuente, aunque hay evidencias en la zona de ocurrencia de aludes en épocas remotas. Estudios realizados (Singer, 1977), muestran que un alud torrencial de grandes magnitudes ocurrió en la zona entre el 1100 y el 1500 D.C.

La Figura 10.24 es una foto aérea del cono de deyección de Chacaíto tomada en 1954. Allí pueden verse cauces a ambos lados del cono, lo cual indica que había tal cantidad de sedimentos depositados en la dirección de la linea roja, que la quebrada cambió de dirección. Este comportamiento es típico en un cono formado por depósitos provenientes de aludes torrenciales (Wei, 2001).

Como muestra la Figura 10.25, hay depósitos de material que evidencian la ocurrencia de aludes torrenciales en el pasado.

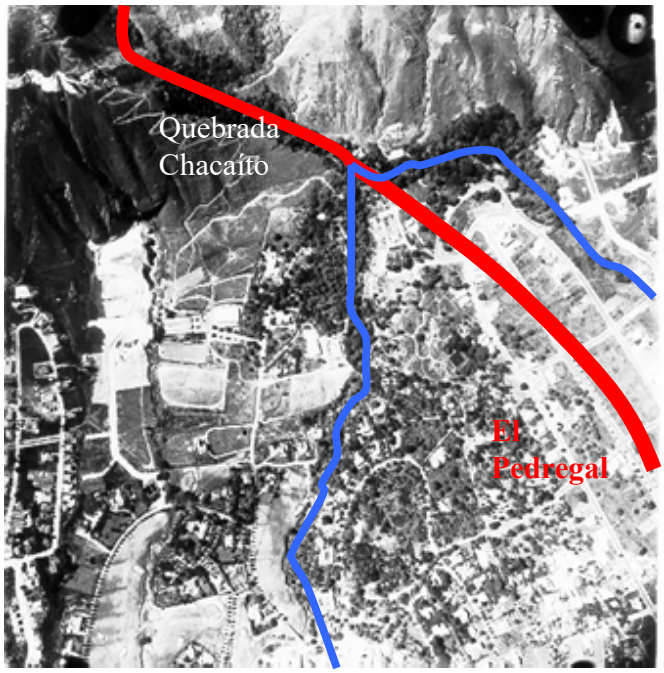


Figura 10.24. Chacaíto. Cono de deyección. Foto aérea tomada en 1954 (Fuente: Estereofoto C.A.).

Figura 10.25. Chacaíto. Depósitos de material en la margen derecha de la quebrada a la altura del barrio El Pedregal. Estos depósitos evidencian la ocurrencia de aludes torrenciales en el pasado.

A continuación se presenta un resumen de los eventos de inundaciones y aludes ocurridos en Chacaíto:

1. Entre 1100 y 1500 D.C: Producción de un alud torrencial que causó la desviación del cauce de Chacaíto, afectando zonas donde posteriormente se asentarían urbanizaciones como El Pedregal, El Country Club y La Castellana (Singer, A., 1974).
2. Año 1951 (17 de Febrero): Ocurrieron inundaciones torrenciales en el área de Chacao-La Campiña, reportándose un muerto como consecuencia del evento, (Municipio Autónomo Chacao, 2001).
3. Año 1976 (10 de octubre): Inundaciones torrenciales causaron daños en 15 viviendas en el Barrio El Pedregal, (Municipio Autónomo Chacao, 2001).
4. Año 1961: crecida de la quebrada Chacaíto durante el evento del 15 al 17 de febrero de 1961, Sucre A., Oscar A., en: http://www.pnud.org.ve/archivo/documentos/desastres_naturales).
5. Año 1999 (15 y 16 de diciembre): la quebrada Chacaíto se desbordó a la altura del barrio El Pedregal y las urbanizaciones Country Club y el Bosque afectando el campo de golf del Caracas Country Club, la calle Mohedano del Country Club, la propiedad de la familia Cisneros, el barrio Chapellín, la Urbanización el Bosque (Calle Maturín), los bomberos del Distrito Capital y el área de estacionamiento de Residencias Sans Souci.

10.2.3 Resumen de puntos críticos

Se identifican a continuación los puntos considerados como más críticos:

1. Propiedad de la familia Cisneros.
2. Campos de golf del Caracas Country Club.
3. Canal en el límite entre le campo de golf del Caracas Country Club y El Barrio Chapellín.
4. Entrada al embaulamiento en la Calle Maturín de la Urbanización El Bosque
5. Entrada al embaulamiento aguas arriba de la Avenida Libertador.
6. Entrada al embaulamiento en residencias Sans Souci (Confluencia de Chapellín con Chacaíto).

Como se ha señalado previamente, la parte baja de la Avenida Libertador puede actuar como una laguna de amortiguación en caso de crecida, al igual que el campo de golf del Caracas Country Club.

También debe considerarse una zona crítica, la avenida principal de La Castellana, ya que en las simulaciones numéricas realizadas en el Proyecto Ávila (IMF, 2002), se evidenció que en eventos de período de retorno alto puede ocurrir un desbordamiento hacia esta avenida, la cual actuaría como canal.

La Figura 10.26 muestra la ubicación, en un plano del sitio de estudio, de las imágenes presentadas en las figuras de la 10.6 a la 10.25, así como de los puntos críticos y de los antecedentes de inundaciones.

Se pueden efectuar algunas observaciones adicionales en cuanto a los problemas de escurrimiento en la cuenca

- La parte alta de la cuenca presenta rocas de gran tamaño y desechos arbóreos que pueden formar (y forman actualmente), presas naturales que podrían romperse y causar daños aguas abajo, en caso de un evento hidrológico de dimensiones considerables.
- Aguas abajo de la Avenida Boyacá, la quebrada está bastante intervenida, notándose la presencia de tuberías que pasan sobre el cauce (Barrio El Pedregal), rejas que lo obstruyen (Propiedad de la familia Cisneros) y puentes bajos (Propiedad de la familia Cisneros, prolongación Calle Mohedano y campos de golf del Caracas Country Club). Estas situaciones favorecen la formación de presas naturales, con las consabidas consecuencias.
- Aguas abajo del puente de la Avenida Principal de la Urbanización Country Club, al lado de la entrada al Club, el cauce desaparece como tal y da paso a una planicie, que sería inundada en caso de una crecida.
- Hay cambios de sección bruscos. Es especialmente notable el que ocurre donde termina el campo de golf del Caracas Country Club y comienza el Barrio Chapellín.
- Las viviendas que están en las riberas del cauce no respetan los retiros normativos
- Los sumideros y colectores están en buen estado de mantenimiento, sobre todos los que se encuentran en zona residencial.
- La parte del barrio El Pedregal que fue afectada por el evento de 1999, ha sido reparada y no se han hecho arreglos para evitar que el barrio se afecte de nuevo en caso de otro evento.
- Todo el cauce de la Quebrada Chapellín se encuentra embaulado, exceptuando pequeños tramos en la parte alta, con viviendas sobre el embaulamiento directamente amenazadas por un creciente que rebase la capacidad de éste.

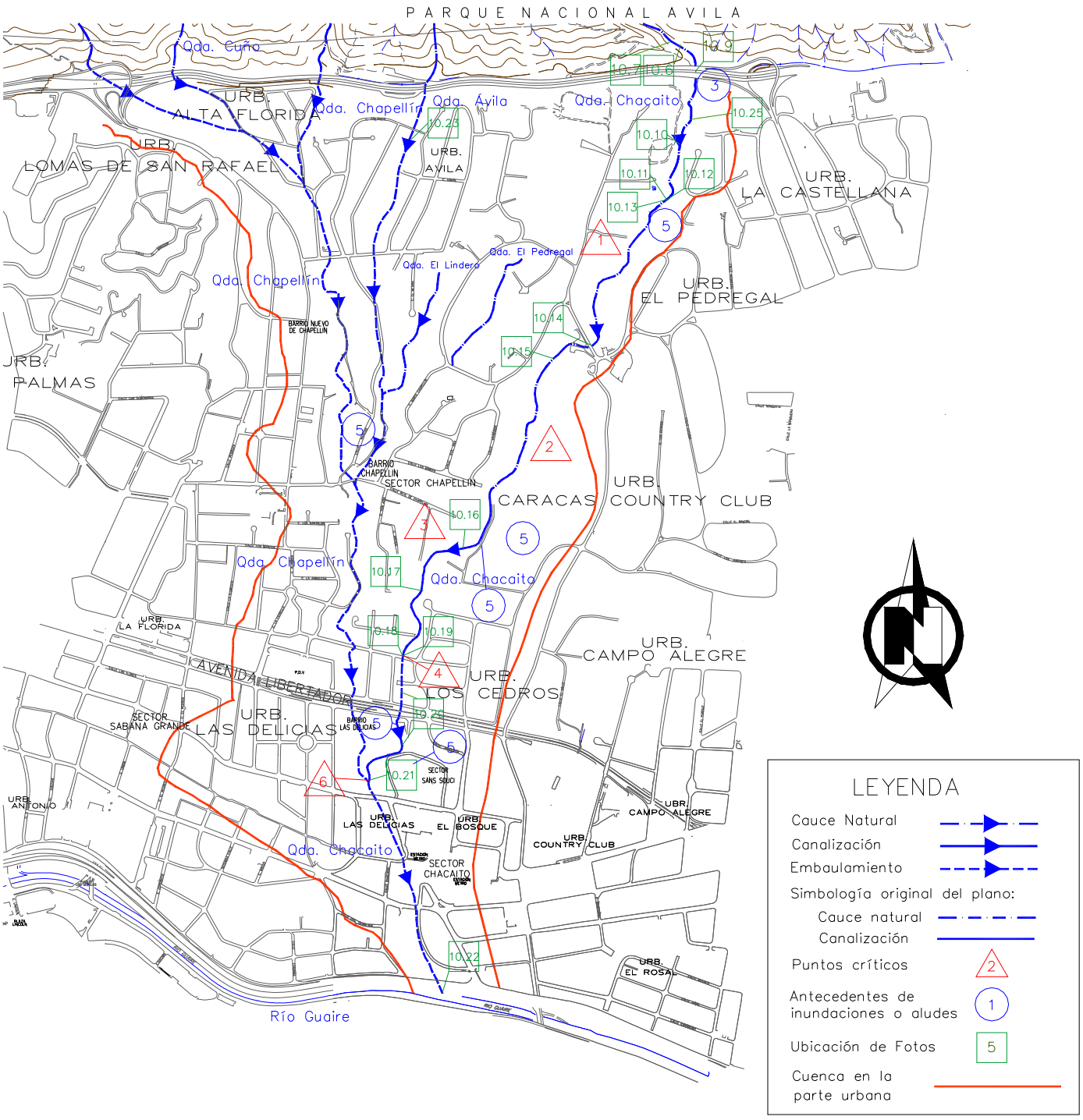


Figura 10.26. Chacaíto. Ubicación de fotografías, puntos críticos y antecedentes de inundaciones y aludes

10.3. Simulación de Inundaciones y Aludes

10.3.1. Condiciones Generales de la Simulación

Las siguientes condiciones de simulación son comunes a todos los escenarios simulados. Se consideraron hidrogramas en la Avenida Boyacá y se hicieron pruebas con lluvia directa sobre el área. Los hietogramas correspondíann a un promedio entre la Estación Los Chorros y la Estación Cagigal.

Las secciones del canal y algunas características de la quebrada se presentan en la Tabla 10.4.

Los valores usados para la *n* de Manning son los siguientes:

- *n* de Manning para calles = 0,030.
- *n* de Manning para la planicie = 0,07.
- *n* de Manning para los canales: variable según se indica en la Tabla 10.4.

Se consideró un Factor Reducción de Área variable (Parámetro ARF) con los valores siguientes:

- ARF = 0.40, en las zonas donde existe una alta concentración de edificaciones.
- ARF = 0.30, donde la concentración de edificaciones en la planicie es moderada.
- ARF = 0.15, en zonas donde existe una baja concentración de edificaciones.
- ARF = 0, en toda la extensión de los campos de golf del Country Club.

A lo largo de todas las calles se utilizó un factor de reducción de ancho de la celda para el intercambio de flujo (Parámetro WRF) igual a 60%.

Solamente se simularon vías que son susceptibles de conducir flujo en caso de una inundación. Las calles y avenidas simuladas (Figura 10.30), son las siguientes:

1. Avenida Principal del Country Club.
2. Calle El Pedregal.
3. Avenida Mohedano.
4. Calle Santa Teresita del Niño Jesús.
5. Avenida Principal de la Castellana.
6. 1° Transversal.
7. Avenida Libertador.
8. Avenida Francisco de Miranda.
9. Avenida Sorocaima.
10. Avenida Sojo.
11. Avenida Alameda.
12. Avenida El Retiro.

Las alcantarillas simuladas son las siguientes:

1. Ávila

2. Chapellín y otros afluentes.
3. Paso Avenida Libertador.
4. Residencias Sans Souci-Guaire.

La Quebrada Chapellín se simula como receptora del hidrograma correspondiente a esta quebrada y los otros hidrogramas correspondientes a las cuencas 26, 29, 30 y 31 según el estudio hidrológico se agrupan en uno solo

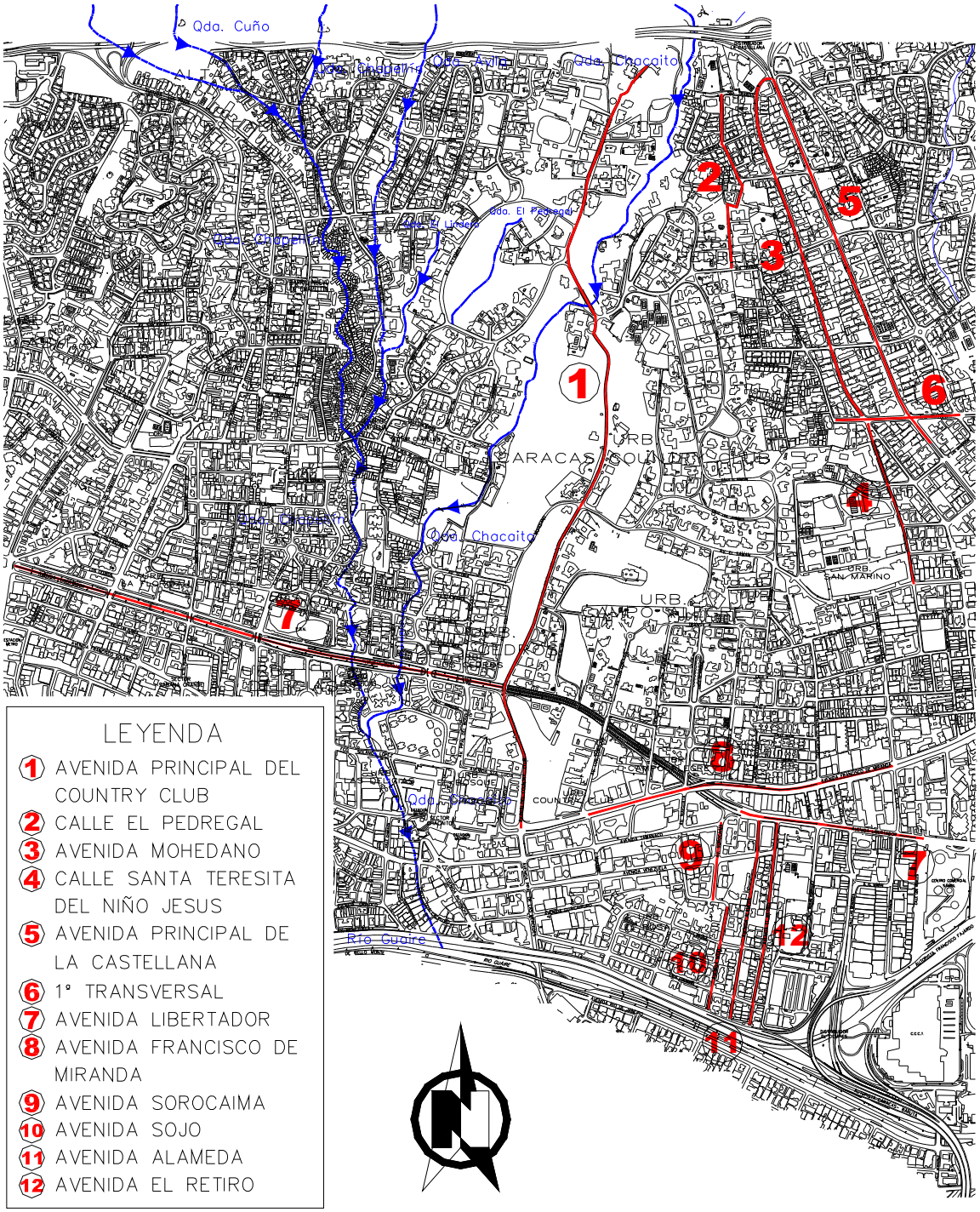


Figura 10.30. Chacaíto. Calles consideradas en la simulación

Tramo	Tipo	Dimensiones	Pendiente (%)	n
Paso bajo Avenida Boyacá	Puente	6x12	8	0.1
Avenida Boyacá-Propiedad Familia Cisneros	Canal natural Trapezoidal		8	0.1
Propiedad Familia Cisneros	Canal natural trapezoidal		8	0.1
Propiedad Familia Cisneros-Puente Avda Ppal Country Club	Canal de concreto		4.2	0.025
Puente Avda Ppal Country Club	Puente	B=8.60 H=3	4.2	0.025
Puente Avda Ppal Country Club-Puente de Piedra	Canal natural con paso de carritos en concreto		4.2	0.025
Puente de Piedra	Puente	B=2.60, H=3	4.2	0.023
Puente de Piedra-Final	Canal de piedra	B=2.60, H=2	4.2	0.023
Final Canal de piedra-200 m aar Prolongación Avda Mohedano	Canal Natural trapezoidal		4.2	0.025
Prolongación Avenida Mohedano del Country Club-Campos de Golf	Canal rectangular de concreto		3.6	0.017
Final Campos de Golf-Barrio Chapellín	Canal rectangular de concreto		3.6	0.023
Barrio Chapellín-Calle Maturín (El Bosque)	Canal rectangular de concreto		3.6	0.023
Paso Calle Maturín	Cajón Calle Maturín		3.6	0.025
Calle Maturín (El Bosque)-Colegio Universitario de Caracas	Canal de concreto		3.6	0.025
Colegio Universitario de Caracas-Bomberos de Caracas	Embaulamiento rectangular		1	0.025
Bomberos-Residencias Sans Souci	Canal rectangular de concreto		1	0.025
Residencias San Souci-Descarga en el Guaire	Canal rectangular de concreto		1	0.025
Descarga		B=5.2, H=3.0	1	0.025

Tabla 10.4. Quebrada Chacaíto. Características por tramo

10.3.2 Simulación de aludes para un evento con hidrograma de crecientes de Tr=10 años.

10.3.2.1 Condiciones de la simulación

Para la simulación de un evento con hidrograma de crecientes de Tr=10 años se consideró un flujo de agua con un Bulking Factor de 0.20.

Algunos parámetros y resultados de simulación para este escenario, se presentan en la Tabla 10.5.

QUEBRADA		**Chacaíto**	**Chapellín**	**Otros Afluentes**
Fecha		**Julio 2004**		
Escenario		**10 años**		
Tamaño celda		30 m	30 m	
Número celdas		10131		
Área simulada	km^2	9.12		
n Manning	canal	Variable		
	planicie inundación	Variable		
Puentes	número	---		
Alcantarillas	número	4		
Reducción de área		15% - 40%		
Calles	número	12		
Caudal pico		40.35	17.49	25.61
Bulking Factor		0.20		
Vol. hidrograma	m3	576309.30		
Vol. lluvia	m3	796957.75		
Vol hidrograma + lluvia	m3	1373267.05		
Otros parámetros hidráulicos	dt	0.01 s - 30 s		

Tabla 10.5. Chacaíto. Escenario con hidrograma de crecientes de Tr=10 años. Parámetros y resultados de la simulación.

Los hidrogramas usados para este escenario, correspondientes a las Quebradas Chacaíto, Chapellín y otros afluentes se presentan en las Figuras 10.31, 10.32 y 10.33, respectivamente.

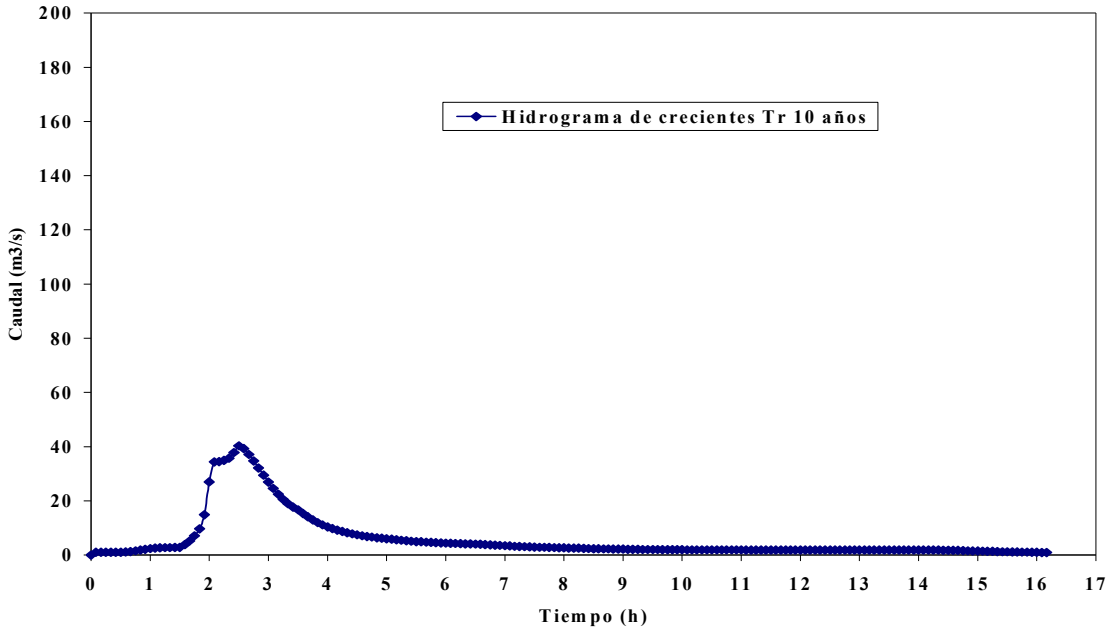


Figura 10.31. Quebrada Chacaíto. Hidrograma de crecientes de Tr=10 años.

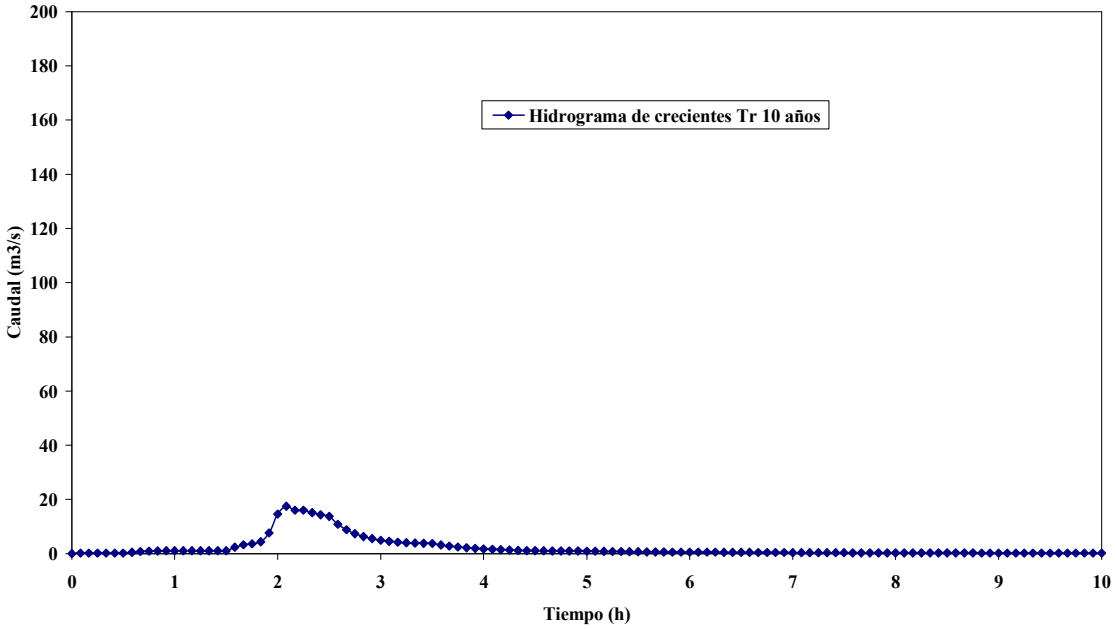


Figura 10.32. Quebrada Chapellín. Hidrograma de crecientes de Tr=10 años.

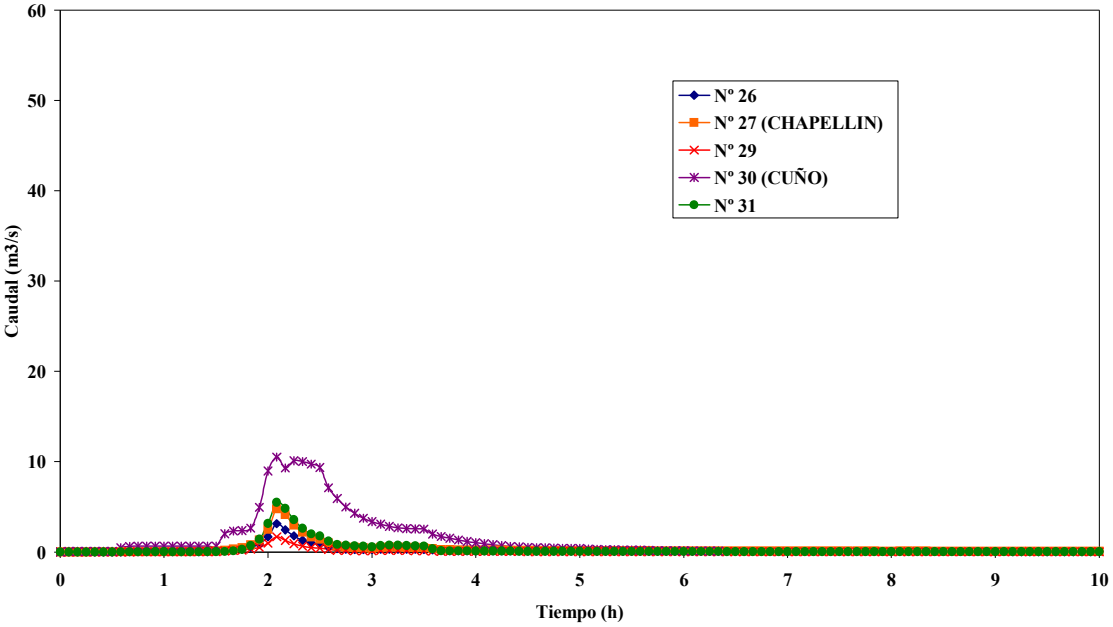


Figura 10.33. Otros afluentes. Hidrograma de crecientes de Tr= 10 años.

El hietograma de Tr=10 años se presenta en la Figura 10.34.

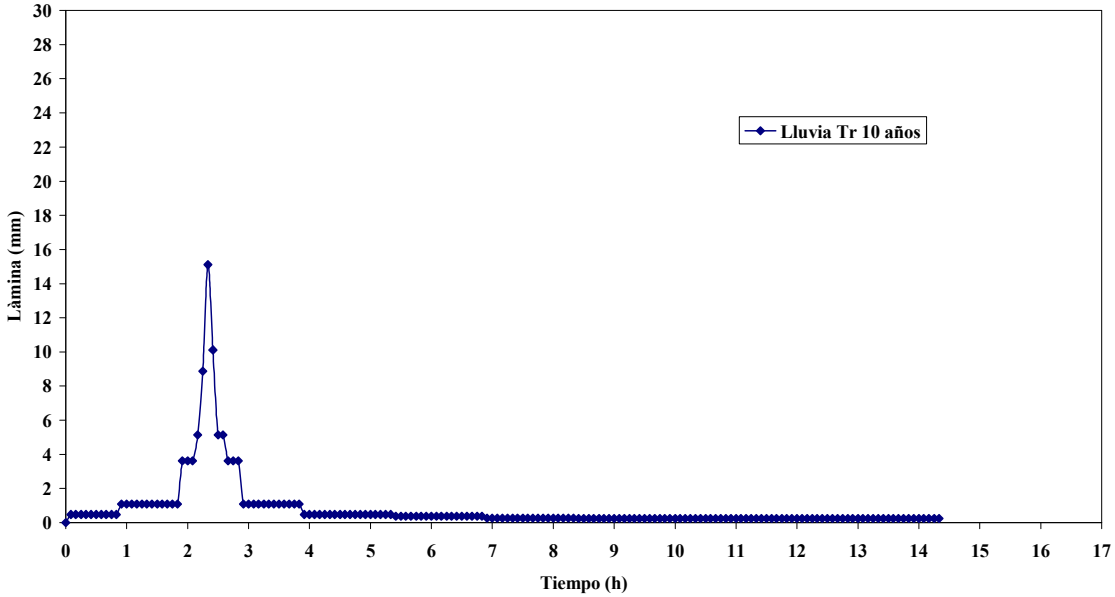
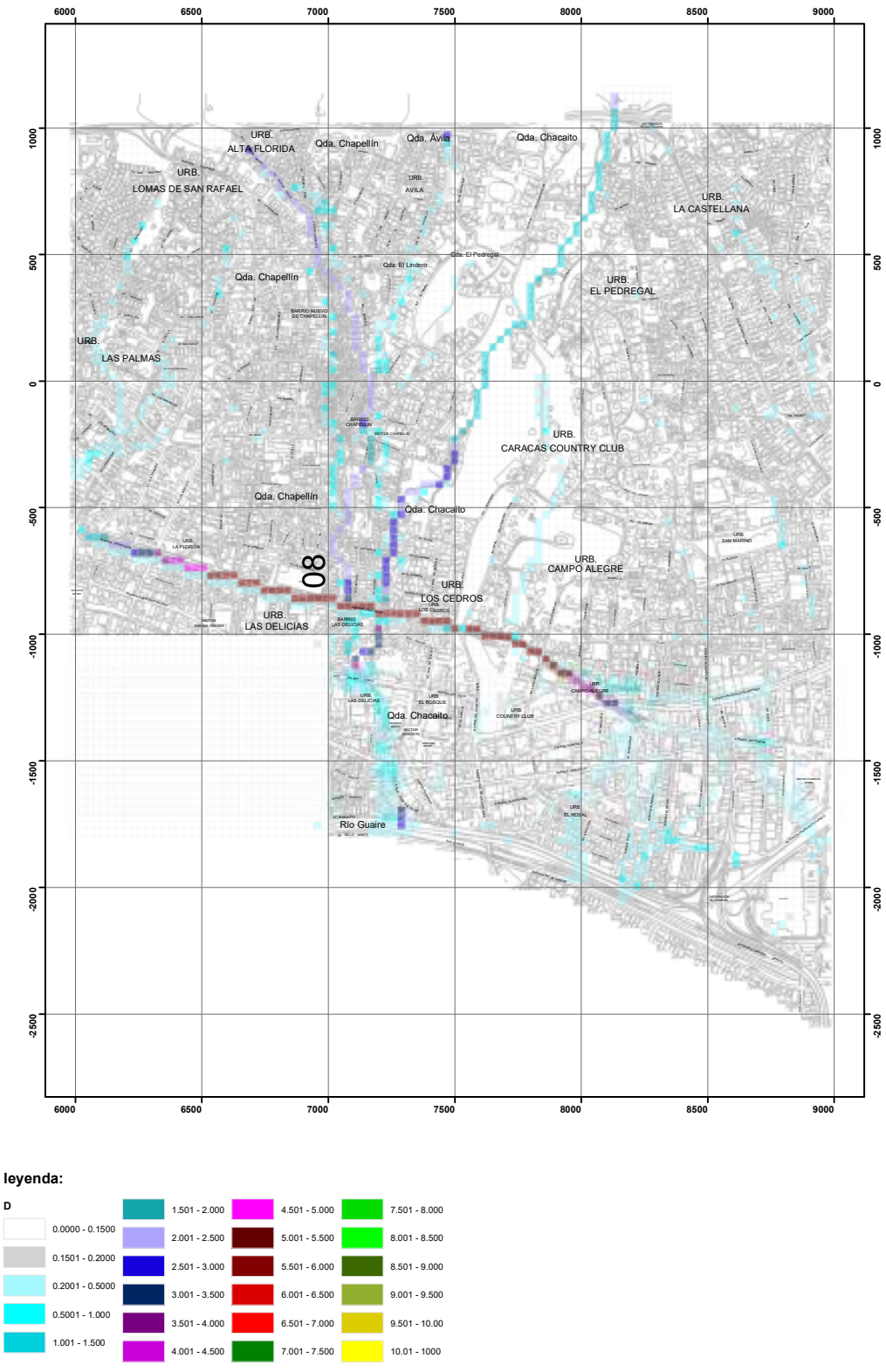


Figura 10.34. Quebrada Chacaíto. Hietograma de Tr=10 años.

10.3.2.2 Resultados

Para el escenario con hidrograma de crecientes de 10 años de período de retorno, se produce un desbordamiento con profundidades de hasta 1 m. en el cauce de Chapellín. A lo largo del cauce de Chacaíto, las profundidades oscilan entre 1 m y 2.5 m. En la Avenida Libertador, las profundidades van de 30 cm a 5 m. Las velocidades en casi toda el área de simulación son de 0.50 m/s, excepto en los cauces de las quebradas Chacaíto y Chapellín, donde las velocidades oscilan entre 1 y 5 m/s. En el cauce de Avila, las velocidades van de 0.5 a 3 m/s. Los valores de velocidades y profundidades máximas se presentan en las Figuras 10.35 y 10.36, respectivamente.



leyenda:

D					
0.0000 - 0.1500	1.501 - 2.000	4.501 - 5.000	7.501 - 8.000
0.1501 - 0.2000	2.001 - 2.500	5.001 - 5.500	8.001 - 8.500
0.2001 - 0.5000	2.501 - 3.000	5.501 - 6.000	8.501 - 9.000
0.5001 - 1.000	3.001 - 3.500	6.001 - 6.500	9.001 - 9.500
1.001 - 1.500	3.501 - 4.000	6.501 - 7.000	9.501 - 10.00
	4.001 - 4.500	7.001 - 7.500	10.01 - 1000

Figura 10.35. Chacaíto. Escenario con hidrograma de crecientes de Tr=10 años. Profundidades Máximas.

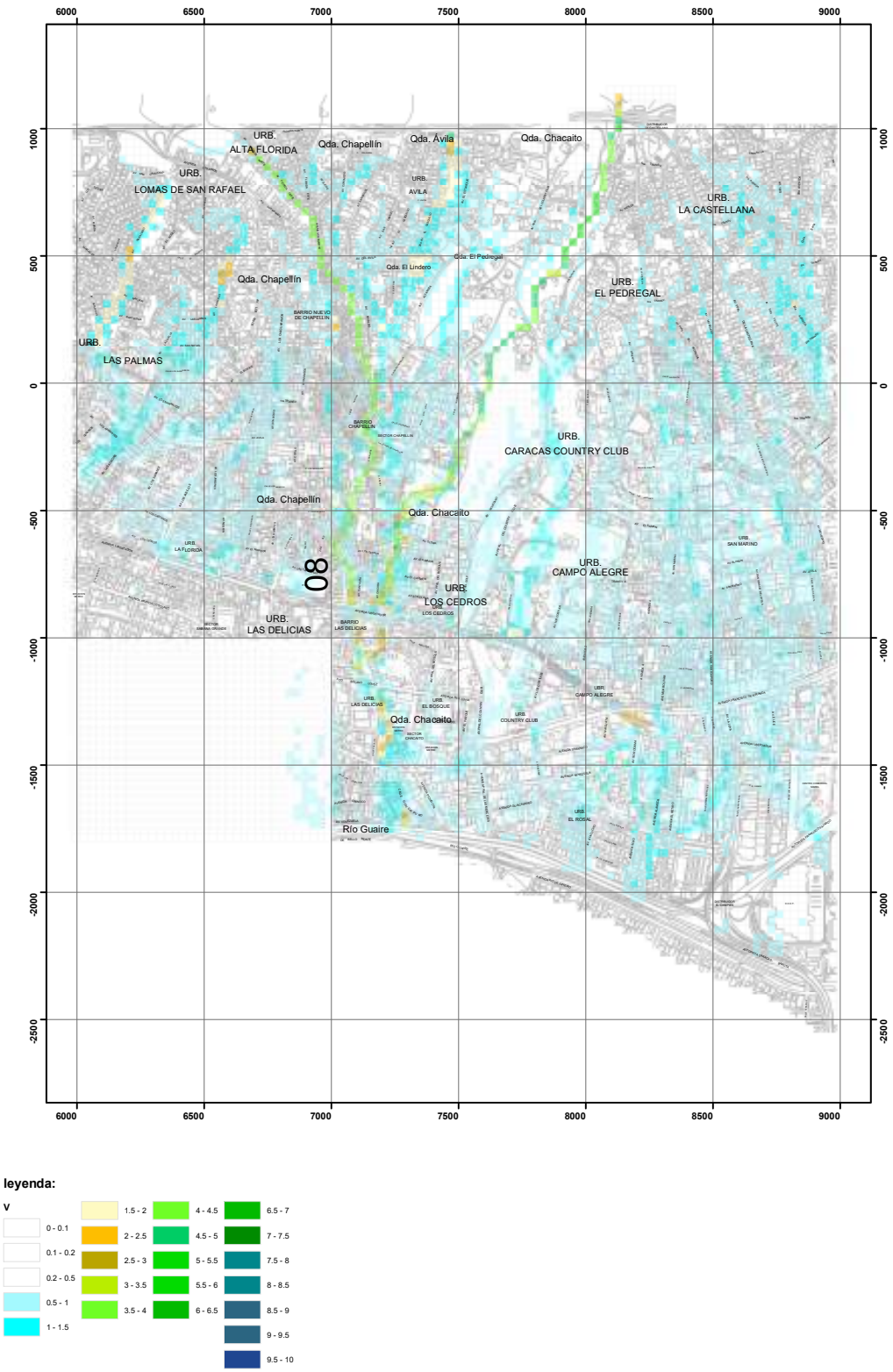


Figura 10.36. Chacaíto. Escenario con hidrograma de crecientes de Tr=10 años. Velocidades Máximas.

10.3.3. Simulación de aludes para un evento con hidrograma de crecientes de Tr=100 años.

10.3.3.1 Condiciones de la simulación

La concentración volumétrica de sedimentos, empleada en todas las quebradas en este escenario varía entre 0.20 y 0.25.

Algunos parámetros y resultados de simulación para Tr=100 años, se presentan en la Tabla 10.6.

QUEBRADA		**Chacaíto**	**Chapellín**	**Otros Afluentes**
Fecha		**Julio 2004**		
Escenario		**100 años**		
Tamaño celda		30 m	30 m	
Número celdas		10131		
Área simulada	km^2	9.12		
n de Manning	canal	Variable		
	planicie inundación	Variable		
Puentes	número	---		
Alcantarillas	número	3		
Reducción de área		15% - 40%		
Calles	número	12		
Caudal pico		117.18	40.37	55.82
Cv		0.20-0.25		
Vol. hidrograma	m3	996349.42		
Vol. lluvia	m3	1202535.31		
Vol. sedimentos	m3	307583.12		
Vol hidrograma + lluvia + sedimentos	m3	2506467.85		
Otros parámetros hidráulicos	a1(poises)	6.02*10^(-4)		
	b1	33.1		
	a2(dina/cm2)	1.72*10^(-3)		
	b2	29.5		
	dt	0.01 s - 30 s		
	densidad sedimento	2.74		
	resistancia flujo laminar	2285		

Tabla 10.6. Chacaíto. Escenario con hidrograma de crecientes de Tr=100 años. Parámetros y resultados de la simulación.

Los hidrogramas utilizados para este escenario, correspondientes a las Quebradas Chacaíto, Chapellín y otros afluentes se presentan en las Figuras 10.37, 10.38 y 10.39, respectivamente.

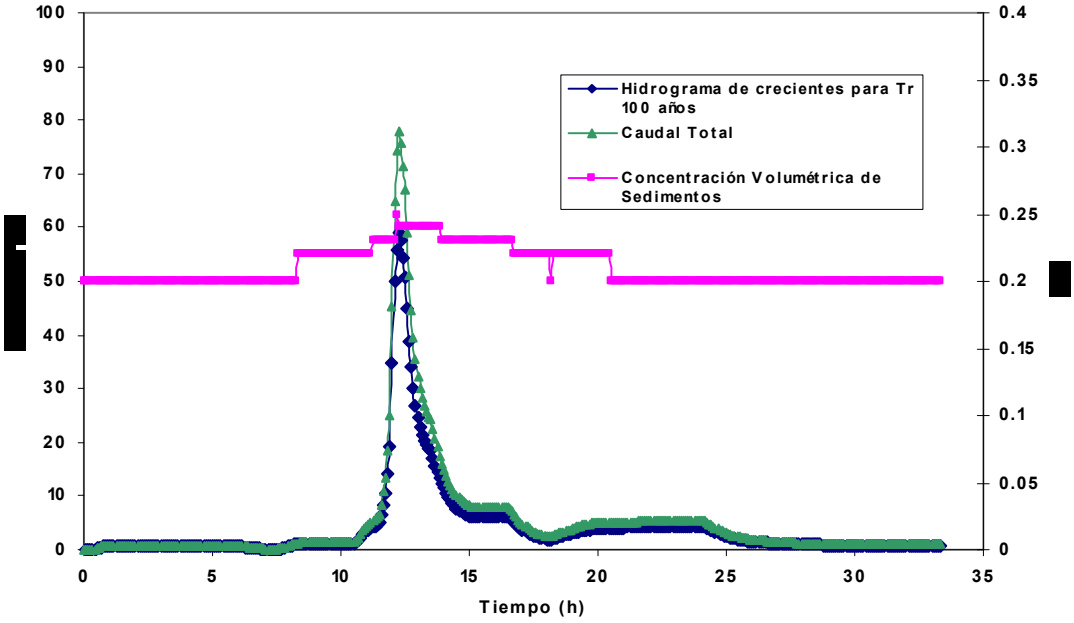


Figura 10.37. Quebrada Chacaíto. Hidrograma de crecientes de Tr=100 años, concentración volumétrica de sedimentos y caudal total.

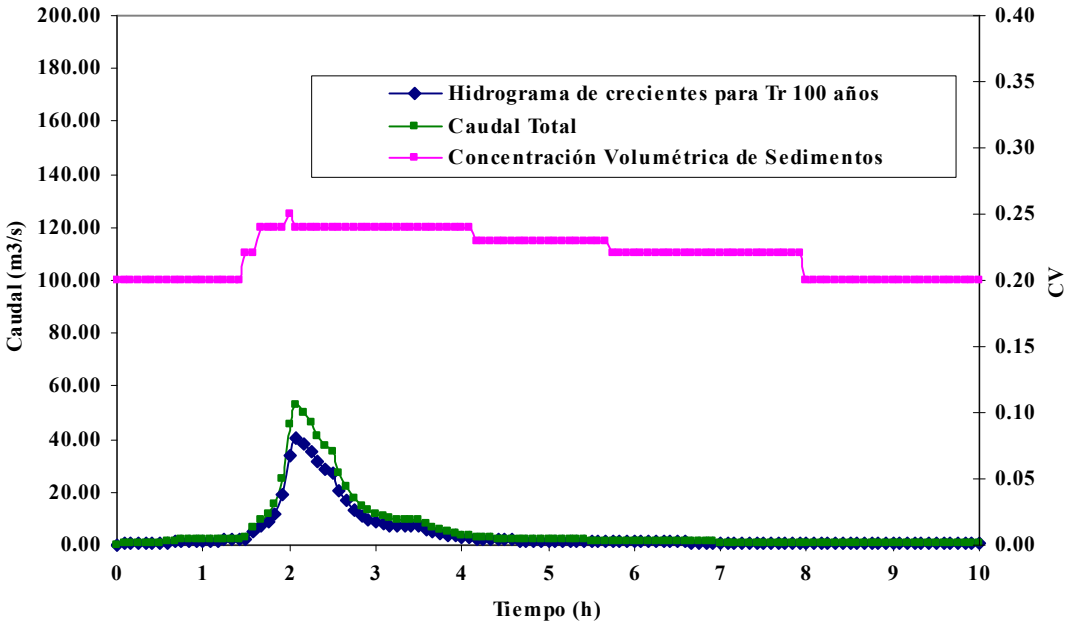


Figura 10.38. Quebrada Chapellín. Hidrograma de crecientes de Tr=100 años, concentración volumétrica de sedimentos y caudal total.

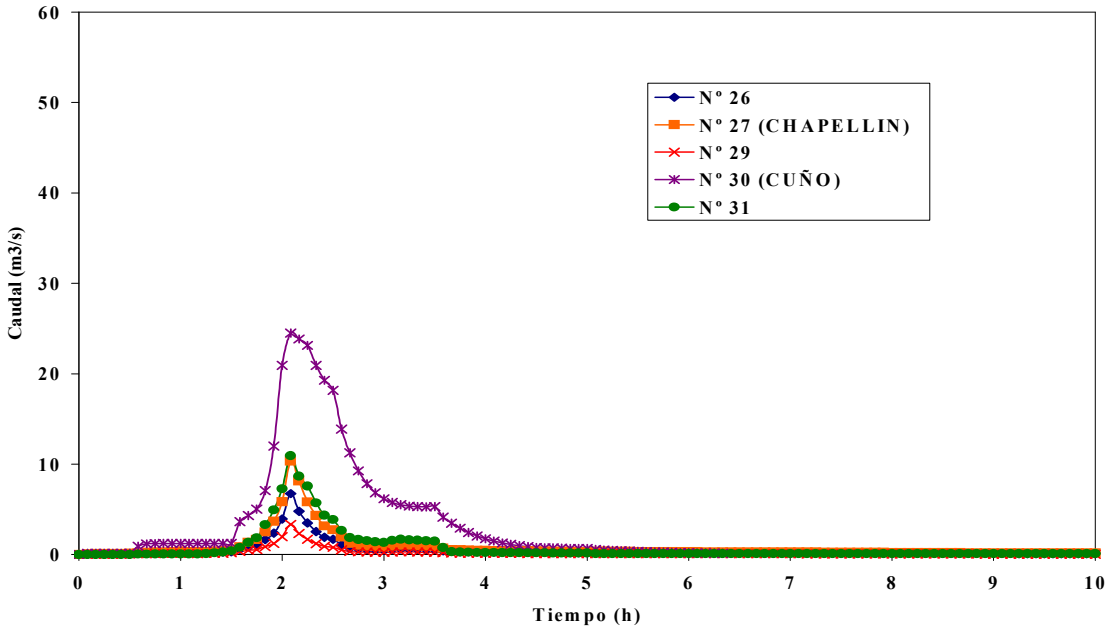


Figura 10.39. Otros afluentes. Hidrogramas de Tr=100 años.

La concentración volumétrica de sedimentos para el hidrograma que representa los otros afluentes de Chacaíto sigue el patrón establecido para todas las quebradas del Ávila: comienza con una concentración del 20% que aumenta progresivamente hasta un 25% un instante antes del pico del hidrograma para luego descender progresivamente hasta 20% al final del hidrograma.

El hietograma de Tr=100 años se presenta en la Figura 10.40.

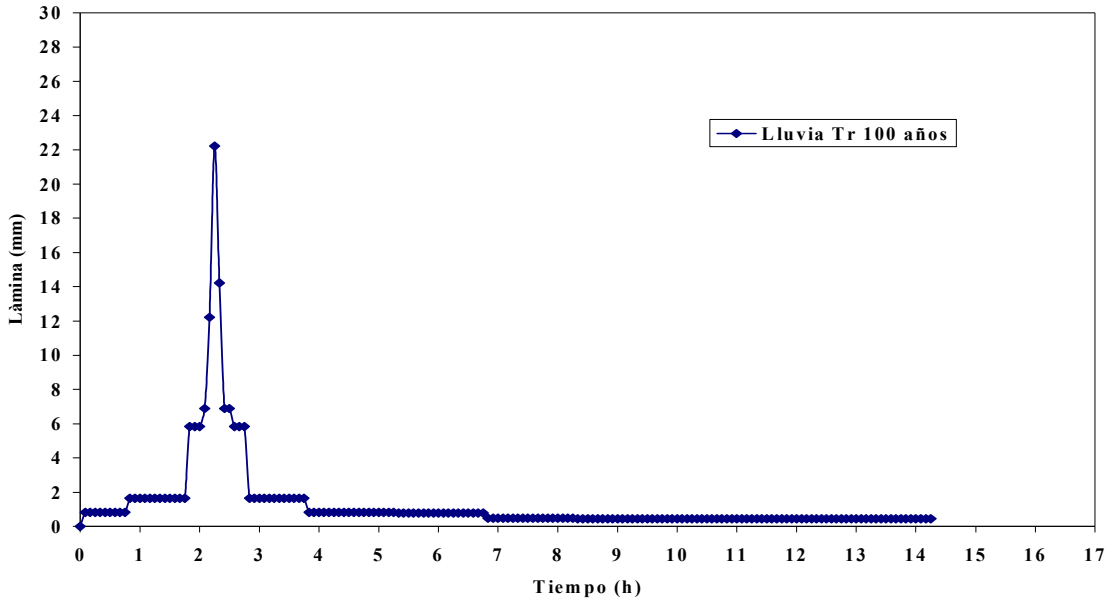
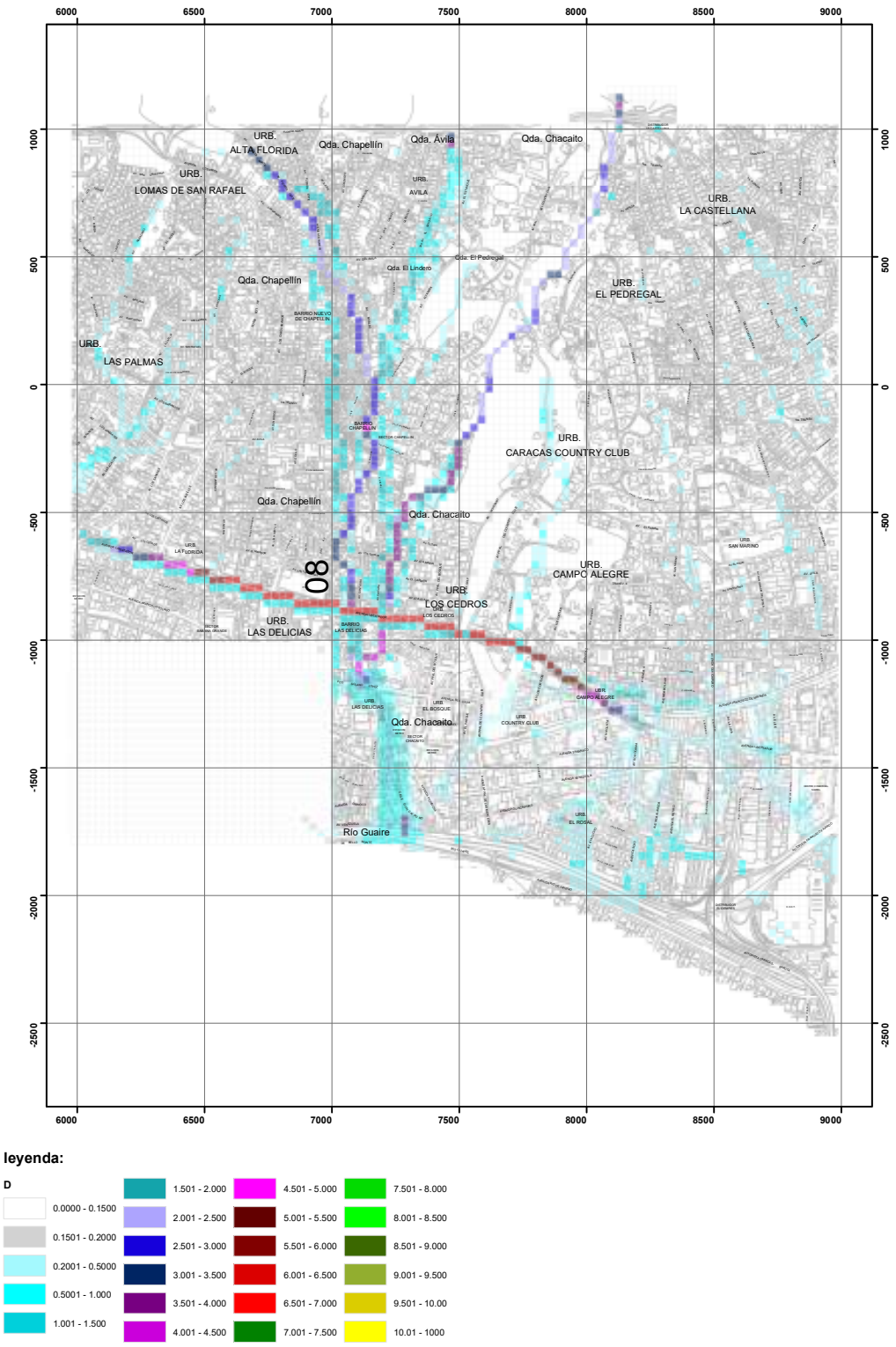


Figura 10.40. Chacaíto. Hietograma de Tr=100 años.

10.3.3.2 Resultados

Para el escenario de 100 años de período de retorno, hay un desbordamiento con profundidades de hasta 2 m. en los cauces de Ávila y Chapellín. A lo largo del cauce de Chacaíto, las profundidades oscilan entre 1.5 m y 3.0 m. En la Avenida Libertador, la profundidades van de 30 cm a 6.5 m. Las velocidades en casi toda el área de simulación son de 0.50 m/s, excepto en los cauces de las quebradas Chacaíto y Chapellín, donde las velocidades oscilan entre 1 y 5 m/s. En el cauce de Avila, las velocidades van de 0.5 a 3 m/s y en la Avenida Libertador oscilan alrededor de 0.5 m/s.

Las representaciones gráficas de las profundidades y velocidades máximas se presentan en las figuras 10.41 y 10.42, respectivamente.



leyenda:

D

0.0000 - 0.1500	1.501 - 2.000	4.501 - 5.000	7.501 - 8.000
0.1501 - 0.2000	2.001 - 2.500	5.001 - 5.500	8.001 - 8.500
0.2001 - 0.5000	2.501 - 3.000	5.501 - 6.000	8.501 - 9.000
0.5001 - 1.000	3.001 - 3.500	6.001 - 6.500	9.001 - 9.500
1.001 - 1.500	3.501 - 4.000	6.501 - 7.000	9.501 - 10.00
	4.001 - 4.500	7.001 - 7.500	10.01 - 1000

Figura 10.41. Chacaíto. Escenario con hidrograma de crecientes de Tr=100 años. Profundidades Máximas.

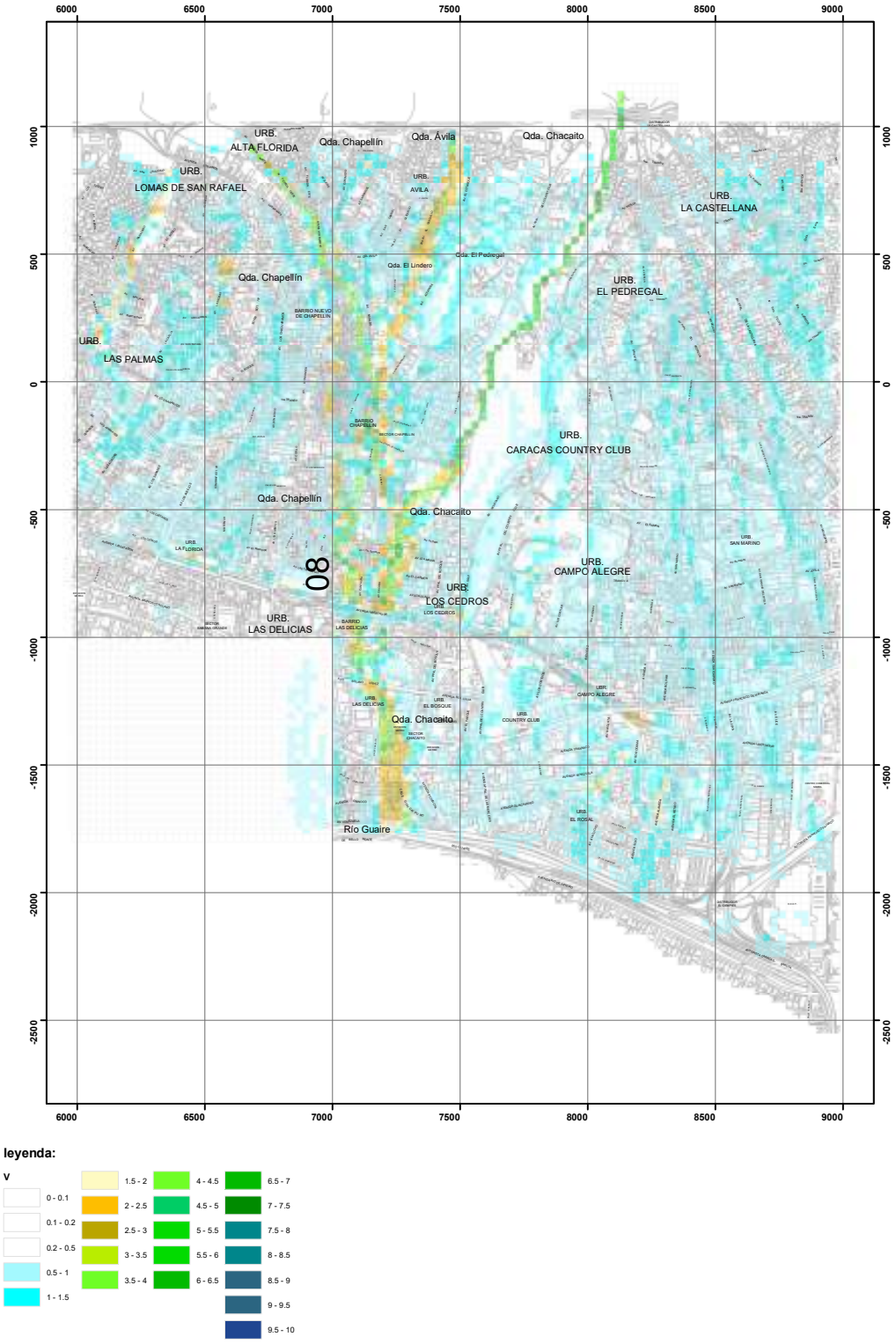


Figura 10.42. Chacaíto. Escenario con hidrograma de crecientes de Tr=100 años. Velocidades Máximas.

10.3.4. Simulación de aludes para un evento con hidrograma de crecientes de Tr=100 años.

10.3.4.1 Condiciones de la simulación

La concentración volumétrica de sedimentos, utilizada en todas las quebradas para este escenario, varía entre 0.20 y 0.35.

Algunos parámetros y resultados de esta simulación se presentan en la Tabla 10.7.

QUEBRADA		**Chacaíto**	**Chapellín**	**Otros Afluentes**
Fecha		**Julio 2004**		
Escenario		**500 años**		
Tamaño celda		30 m	30 m	
Número celdas		10131		
Area simulada	km2	9.12		
n Manning	canal	Variable		
	planicie inundación	Variable		
Puentes	número	---		
Alcantarillas	número	3		
Reducción de área		15% - 40%		
Calles	número	12		
Caudal pico		179.96	57.76	77.27
Cv		0.20-0.35		
Vol. hidrograma	m3	1414909.60		
Vol. lluvia	m3	1488365.51		
Vol. sedimentos	m3	562612.87		
Vol hidrograma + lluvia + sedimentos	m3	3465887.98		
Otros parámetros hidráulicos	a1(poises)	6.02*10^(-4)		
	b1	33.1		
	a2(dina/cm2)	1.72*10^(-3)		
	b2	29.5		
	dt	0.01 s - 30 s		
	densidad sedimento	2.74		
	resistancia flujo laminar	2285		

Tabla 10.7. Chacaíto. Escenario con hidrograma de crecientes de Tr=500 años. Algunos parámetros y resultados de la simulación.

Los hidrogramas utilizados para el escenario de 500 años de período de retorno, correspondientes a las Quebradas Chacaíto, Chapellín y otros afluentes se presentan en las Figuras 10.43, 10.44 y 10.45, respectivamente.

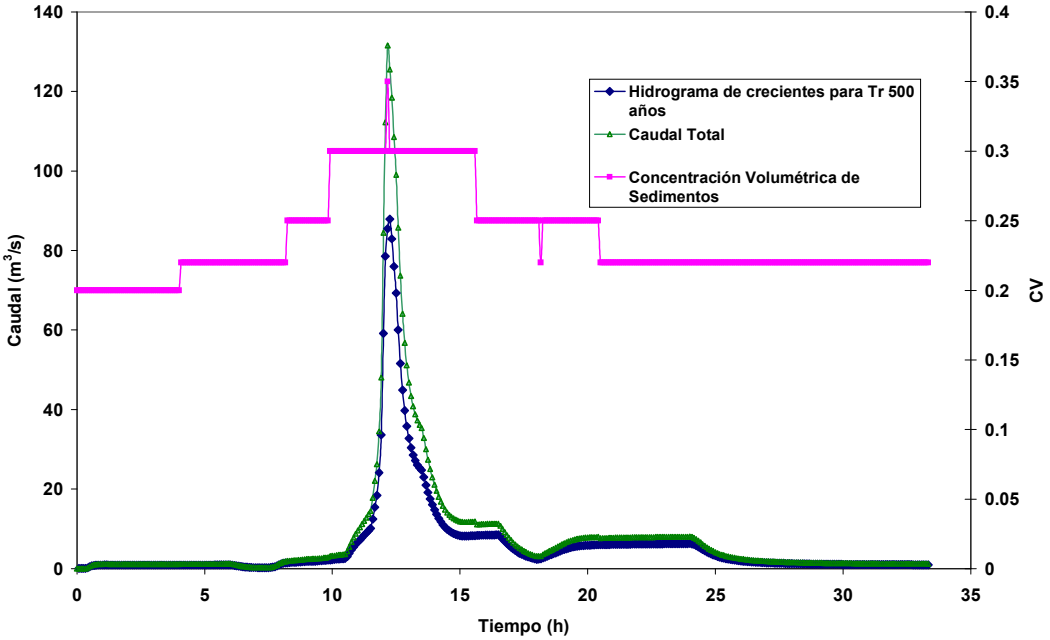


Figura 10.43 Quebrada Chacaíto. Hidrograma de crecientes de Tr=500 años, concentración volumétrica de sedimentos y caudal total.

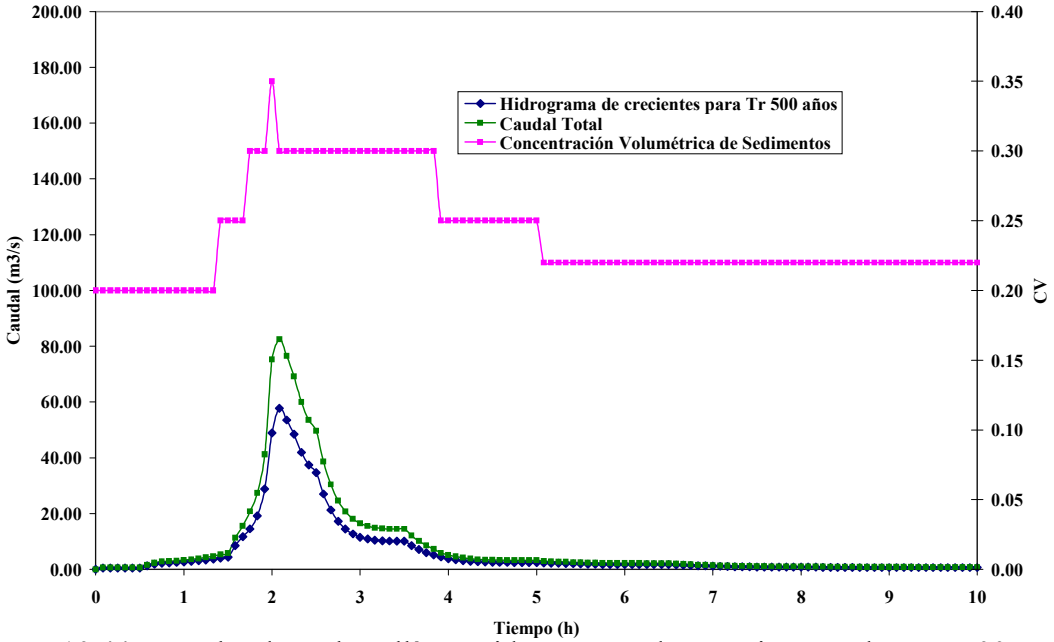


Figura 10.44. Quebrada Chapellín. Hidrograma de crecientes de Tr=500 años, concentración volumétrica de sedimentos y caudal total.

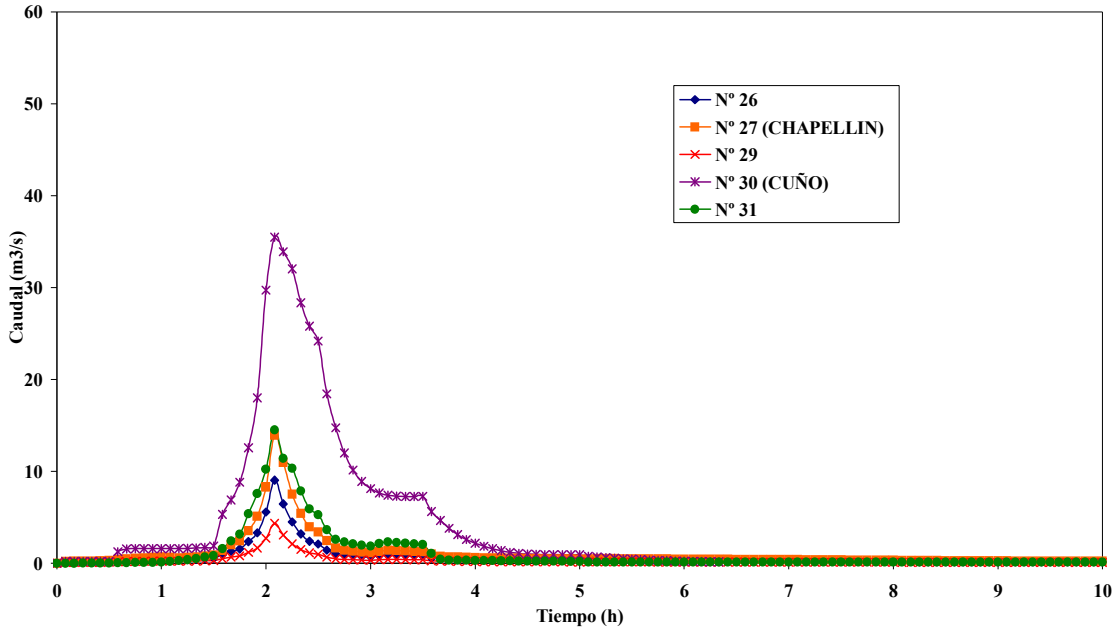


Figura 10.45 Otros afluentes. Hidrogramas de Tr=500 años. (No se representa el caudal total ni la concentración volumétrica de sedimentos).

La concentración volumétrica de sedimentos para el hidrograma que representa los otros afluentes de Chacaíto comienza con una concentración del 20% que aumenta progresivamente hasta un 35% un instante antes del pico del hidrograma para luego descender progresivamente hasta 20% al final del hidrograma.

El hietograma de Tr= 500 años se presenta en la Figura 10.46

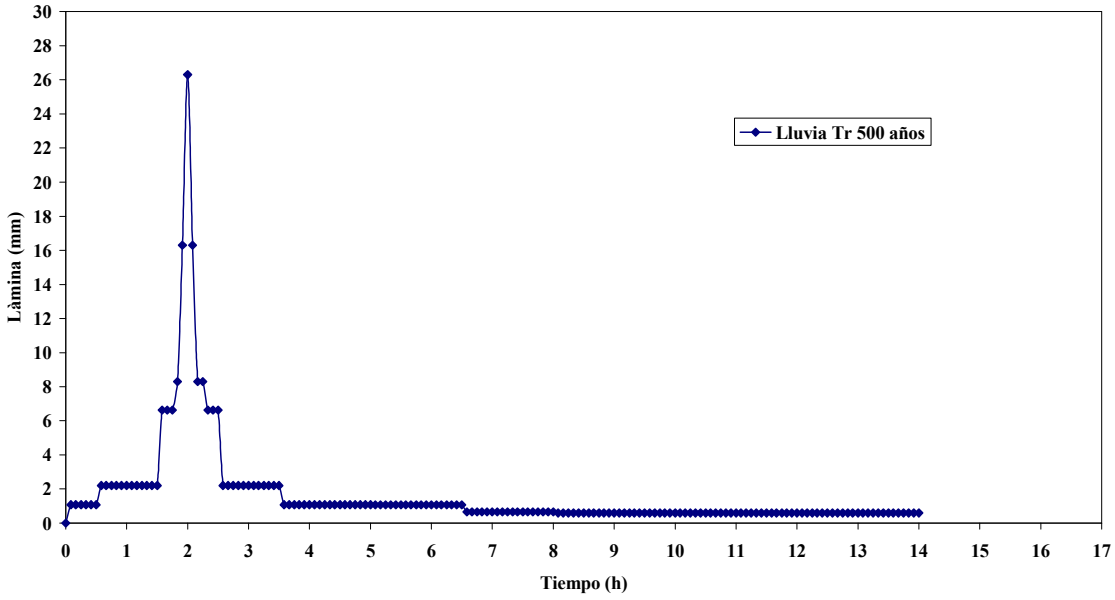
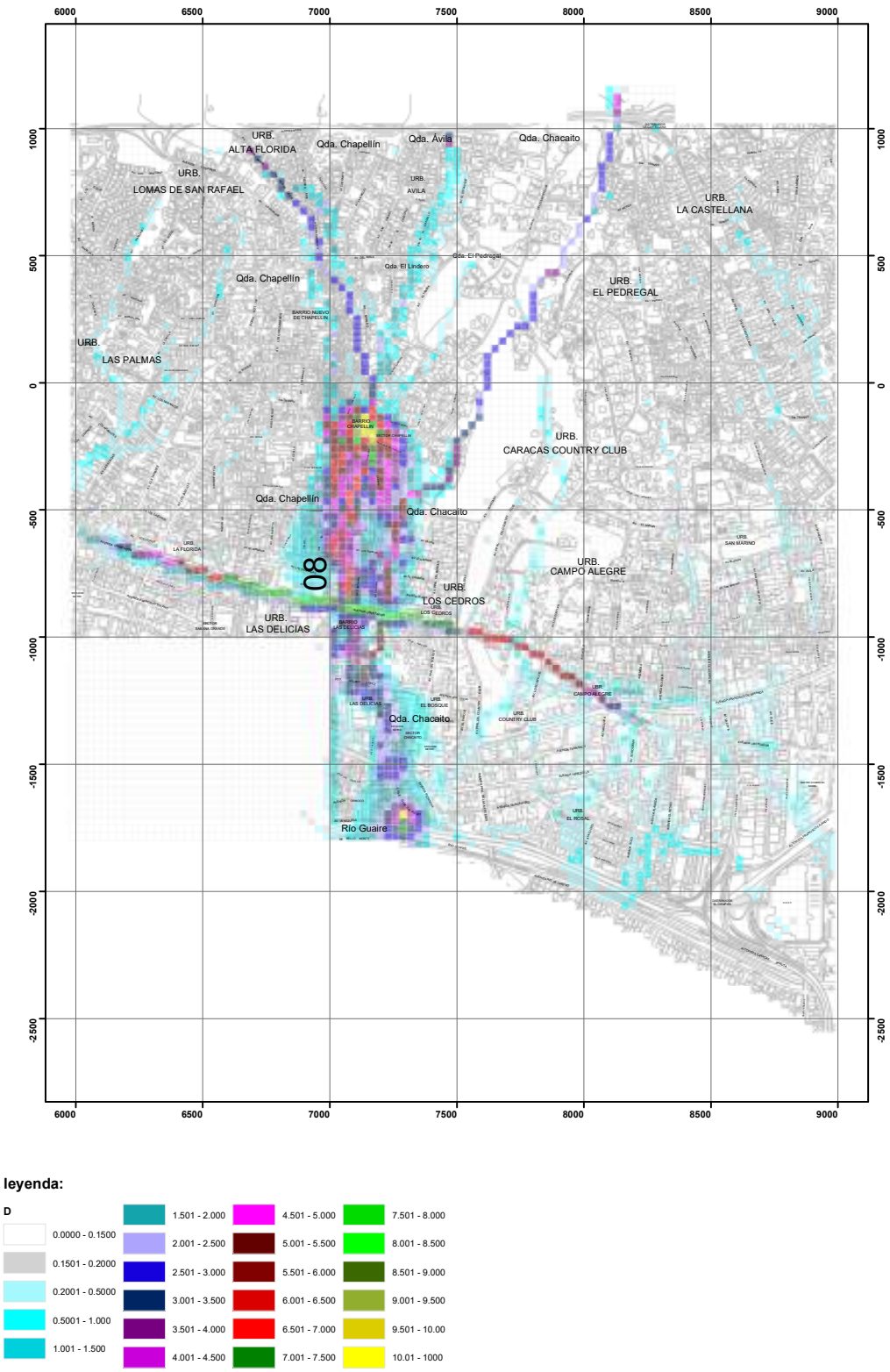


Figura 10.46. Chacaíto. Hietograma de Tr=500 años.

10.3.4.2 Resultados

Para el escenario de 500 años de período de retorno, hay un desbordamiento con profundidades de hasta 3 m. en los cauces de Ávila y Chapellín. A lo largo del cauce de Chacaíto, las profundidades oscilan entre 1.5 m y 2.0 m., excepto aguas arriba de la cota mil, donde por efecto de la simulación del bloqueo del puente hay un represamiento. También por efecto de este bloqueo hay un desbordamiento hacia el Country Club y hacia la Urbanización La Castellana. En la Avenida Libertador, las profundidades van de 30 cm a 6.5 m. Las velocidades en casi toda el área de simulación son de 0.50 m/s, excepto en los cauces de las quebradas Chacaíto y Chapellín, donde las velocidades oscilan entre 1 y 5 m/s. En el cauce de Avila, las velocidades van de 0.5 a 3 m/s y en la Avenida Libertador oscilan alrededor de 0.5 m/s. En la zona inundada por efecto del desbordamiento en la Cota Mil, las velocidades oscilan entre 0.50 m/s y 1.5 m/s.

Los resultados se presentan gráficamente en las figuras 10.47 y 10.48.



leyenda:

D					
0.0000 - 0.1500	1.501 - 2.000	4.501 - 5.000	7.501 - 8.000
0.1501 - 0.2000	2.001 - 2.500	5.001 - 5.500	8.001 - 8.500
0.2001 - 0.5000	2.501 - 3.000	5.501 - 6.000	8.501 - 9.000
0.5001 - 1.000	3.001 - 3.500	6.001 - 6.500	9.001 - 9.500
1.001 - 1.500	3.501 - 4.000	6.501 - 7.000	9.501 - 10.00
	4.001 - 4.500	7.001 - 7.500	10.01 - 1000

Figura 10.47. Chacaíto. Escenario con hidrograma de crecientes de Tr=500 años. Profundidades Máximas.

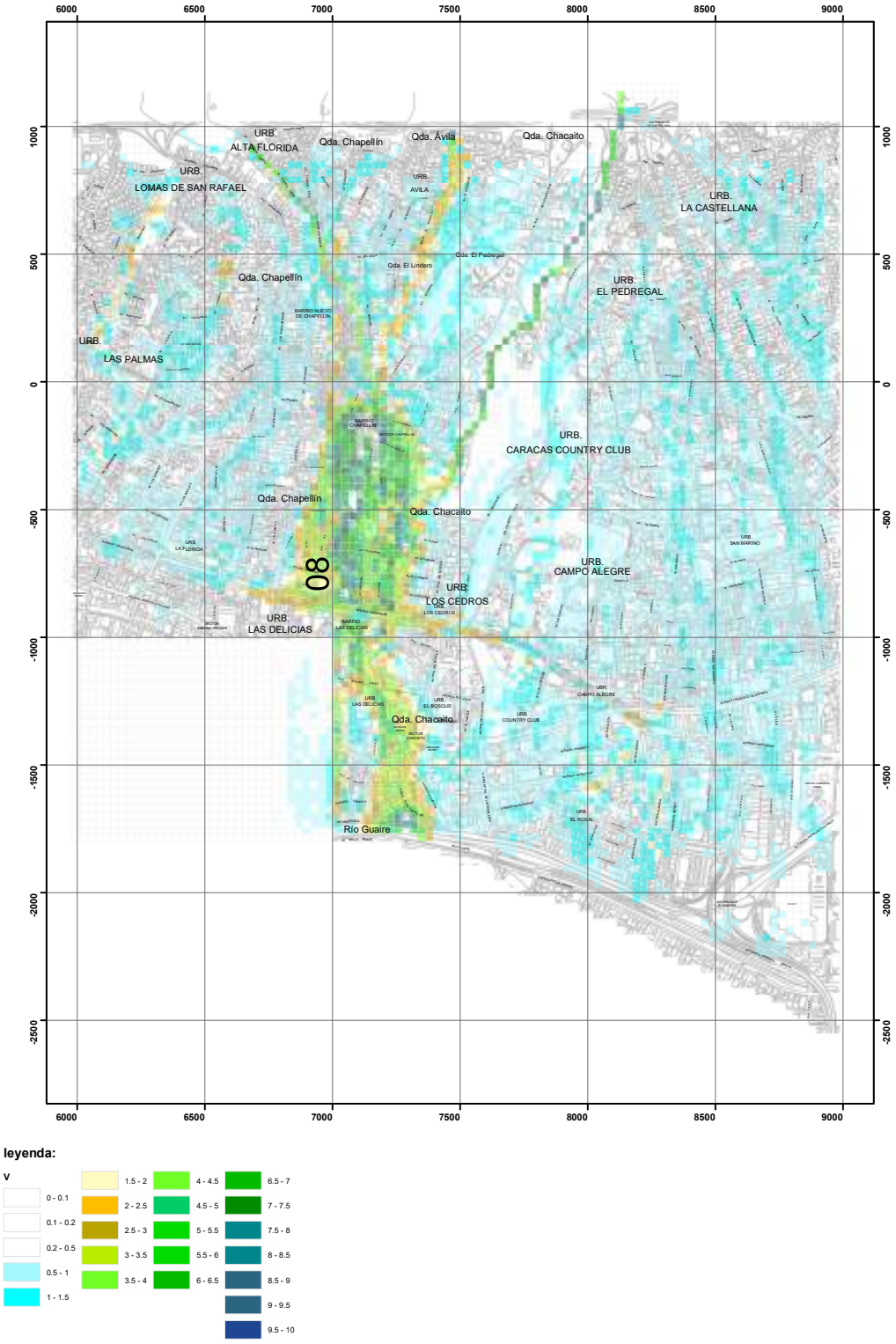


Figura 10.48. Chacaíto. Escenario con hidrograma de crecientes de Tr=500 años. Profundidades Máximas.

10.4 Mapa de amenaza

La Figura 10.49 muestra el mapa de amenaza reticulado, resultado de la simulación sin obstruir totalmente el paso de caudal bajo la Avenida Boyacá, tal como lo genera el programa AMENAZA. Allí puede verse una amenaza alta a todo lo largo del cauce principal y sus afluentes y baja en las zonas aledañas a dichas quebradas. Nótese que la Avenida Libertador aparece con amenaza alta. Sobre esta característica del mapa se harán algunas consideraciones en el párrafo siguiente.

La Figura 10.50 muestra el mapa de amenaza rectificado. En este mapa se ha corregido la amenaza arrojada por el software en base a las visitas de campo, se han eliminado las celdas, colocado una franja de amenaza alta a 25 metros de cada margen del cauce principal y sus afluentes y se han ajustado los bordes de la mancha.

- Se observa amenaza alta a todo lo largo de las quebradas Chacaíto y Chapellín, en la confluencia de ambas quebradas y aguas arriba de la Avenida Libertador, así como en la zona de Sans Souci y la Urbanización El Pedregal.
- La amenaza en la Avenida Libertador se ha suprimido debido a que la definición de amenaza incluye el daño en edificaciones, por lo que no aplica en las calles o avenidas; sin embargo, debe tenerse en cuenta que en presencia de un evento hidrológico de magnitud extraordinaria, no debe circularse por dicha vía.
- El mapa original reliculado no presentaba amenaza media, pero se ha decidido colocar la zona del Barrio Chapellín con amenaza media, debido a la configuración urbana del mismo: casas construidas sobre el lecho original de la quebrada, actualmente embaulado.
- La zona entre la Quebrada Chapellín y la Quebrada Chacaíto se considera con amenaza baja, así como El Bosque, Campo Alegre, El Rosal, Country Club y Chacaíto. La Urbanización La Castellana, al este de la Quebrada Chacaíto, también se considera con amenaza baja. Esto previendo un posible desbordamiento de la quebrada hacia La Castellana como producto de una obstrucción parcial bajo la Avenida Boyacá.

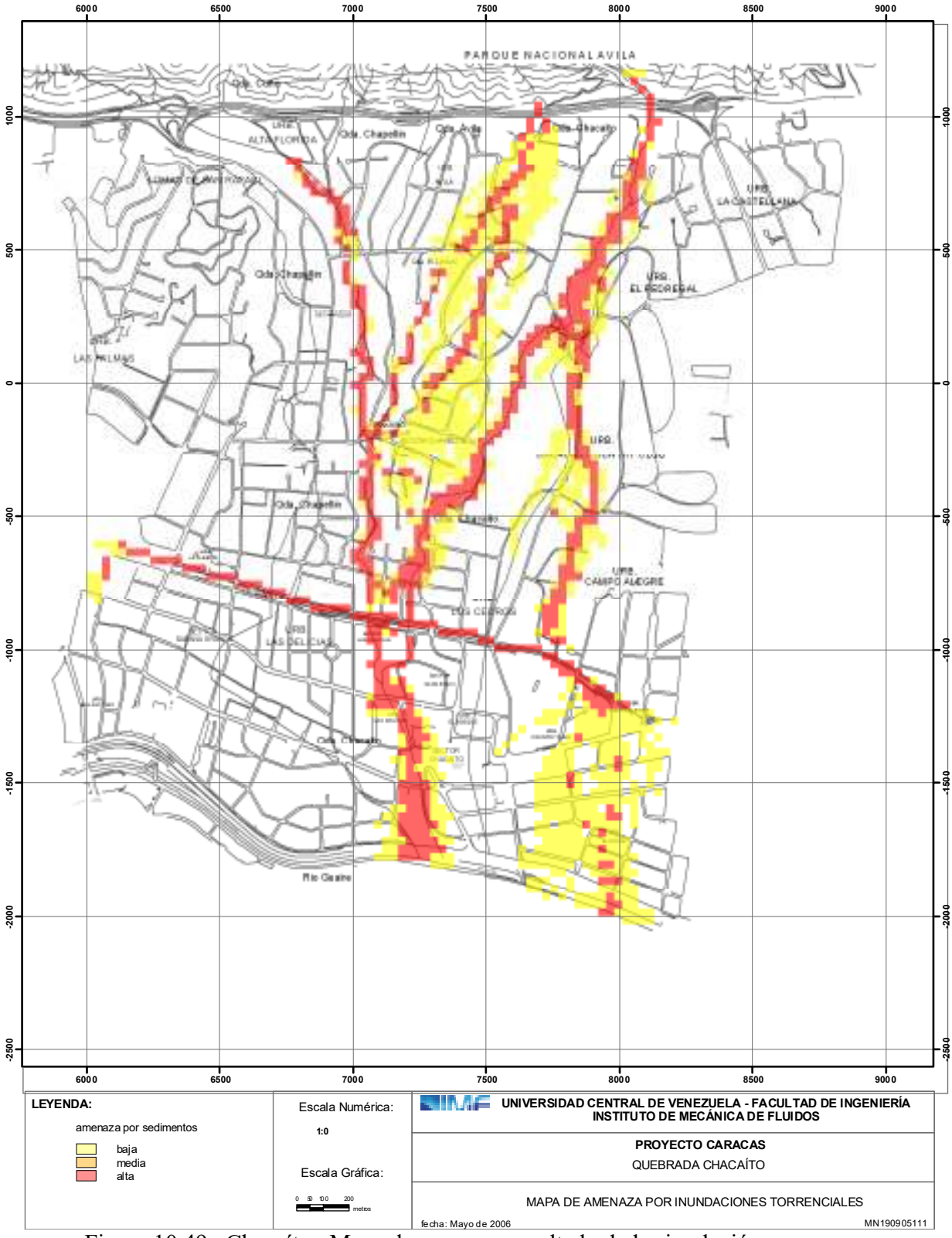


Figura 10.49. Chacaíto. Mapa de amenaza resultado de la simulación

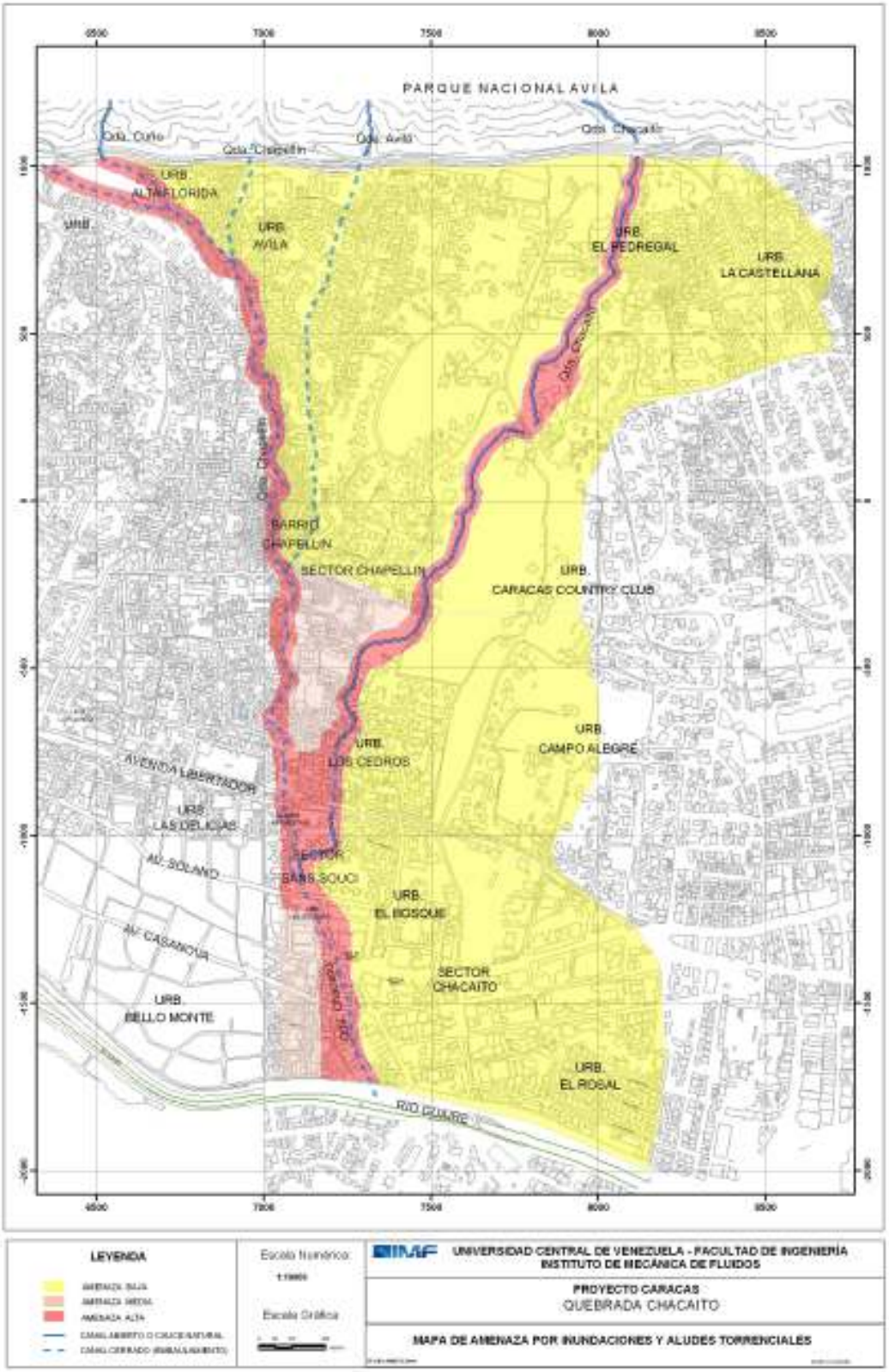


Figura 10.50. Chacaíto. Mapa de amenaza final

11 ESTUDIO DE QUEBRADA SECA

11.1 Características del área

11.1.1 Ubicación geográfica

La cuenca de la Quebrada Seca está ubicada en la Vertiente Sur del macizo El Ávila, al este de Quebrada Chacaíto y al oeste de la Quebrada Pajaritos, como se observa en la Figura 13.1. También es conocida en su parte alta con el nombre de Quebrada Quintero. Fluye en dirección norte-sur hasta descargar en el río Guaire. La cuenca pertenece al Municipio Chacao del Distrito Capital.

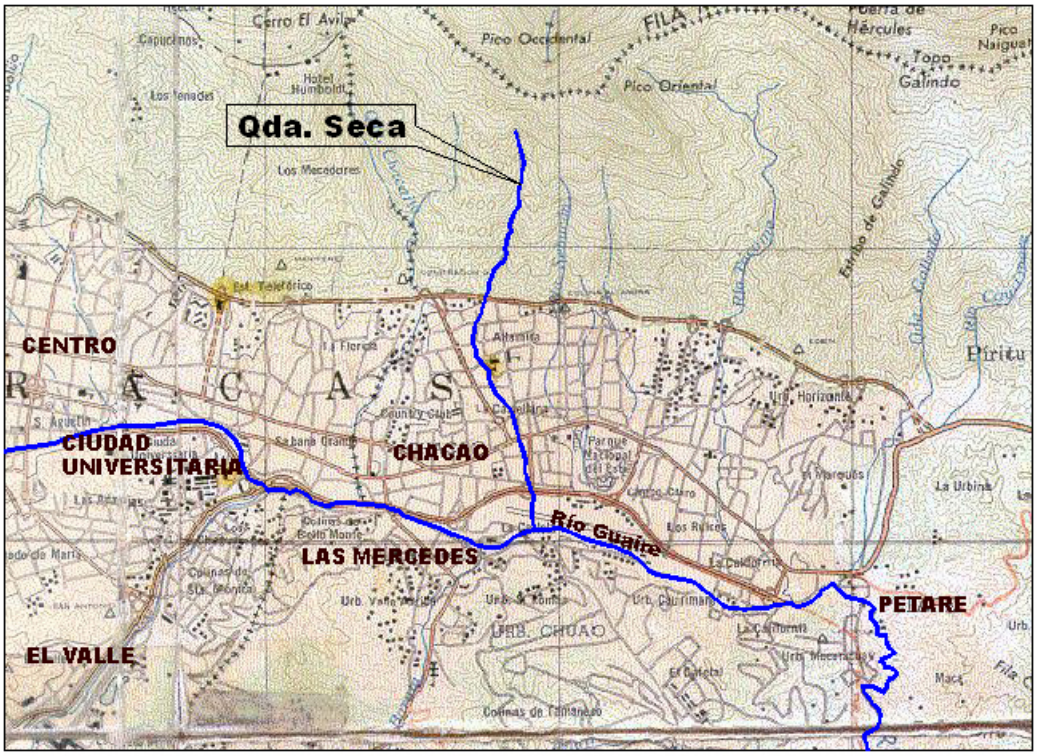


Figura 11.1 Quebrada Seca. Ubicación de la subcuenca

11.1.2 Información disponible

11.1.2.1 Información cartográfica y fotográfica

De la información cartográfica señalada para el estudio se utilizaron específicamente:

- Planos aerofotogramétricos digitales procesados por la empresa Estereofoto C.A., a escala 1:5.000, año 2.000, hojas Nº 8 y 15.

- Carta a escala 1:25.000 del año 1.975, hojas 6847-IV-SE y 6847-III-NE.

Por otra parte, se dispuso de fotografías aéreas en formato digital y en papel fotográfico y sus respectivos mosaicos en formato digital; esta información se indica en la Tabla 13.1

Año	Misión	Fotos	Formato	Escala original
1.936	Sin Código	391, 393, 395, 397, 580, 582, 584	Papel Fotográfico	Desconocida
Febrero 1.994	0304185	0036	Digital	1:25.000

Tabla 13.1. Fotos aéreas disponibles para la subcuenca Quebrada Seca

Existe además una información fotográfica anterior sobre la Quebrada, proveniente de visitas de campo realizadas en el marco del Proyecto Ávila en Enero 2002.

11.1.2.2 Información hidrológica

Proviene del estudio hidrológico de la cuenca realizado en el marco del presente Proyecto (ver capítulo 4)

11.1.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica

De la información señalada para el estudio, se utilizaron:

- Planos de construcción del Metro de Caracas, de 1.975, Contrato CP001, Planta y Perfil, progresivas 24+000 a 24+350.
- Planos de construcción del Metro de Caracas, de 1.975, Contrato CP001, Reubicación de Servicios Públicos Existentes, Láminas SP-224, 226, 227.

11.1.2.4 Estudios previos

La Quebrada Seca ha sido incluida en los estudios previos señalados en el capítulo 2 (

- I.G.N.S.B, 2002
- B.P.P., 1.992
- C.G.R. Ingeniería, 2001

Adicionalmente, se utilizó información proveniente de la evaluación del sistema de recolección de aguas servidas y de aguas de lluvia, en la zona correspondiente a la Alcaldía de Chacao, elaborada por el Ing. Francois Courtel en julio 1.995. Para su elaboración se recopiló información en los archivos de Hidrocapital utilizando planos de catastro antiguos. Igualmente, se contó con el material facilitado por el Instituto de Protección Civil de Chacao, Informe sobre Gestión de Riesgo Municipio Autónomo Chacao, diciembre 2.001, el cual consta de un registro fotográfico e información de las inspecciones realizadas al 30 de noviembre de 2.001.

11.1.3 Hidrografía

La Quebrada Seca también conocida como Quebrada Quintero, se encuentra ubicada entre la Quebrada Chacaíto y la Quebrada Pajaritos, afluente de la Quebrada Sebucán. La subcuenca se extiende desde las cercanías del Pico Occidental en El Parque Nacional El Ávila (2.600 m.s.n.m.) hasta el Río Guaire (830,00 m.s.n.m. aproximadamente), con una extensión de 4,98 km^2.

Dentro de su cono de deyección se encuentran las urbanizaciones Altamira, parte de La Castellana y Bello Campo. Entre la 6_{ta} y 7_{ma} transversal de Altamira, recibe aporte de la Quebrada Blandín, que también nace en el Ávila. Continúa hacia el Sur con el nombre de Quebrada Seca, atravesando en su recorrido las Avenidas Francisco de Miranda y Libertador y las áreas urbanas comprendidas entre ellas. Luego cruza por debajo la Autopista Francisco Fajardo y descarga al final en el río Guaire. La zona alta de la cuenca, ubicada dentro del Parque Nacional El Ávila no presenta intervención humana. En la zona baja, es decir, en el cono de deyección, se observan zonas densamente pobladas e intervenidas. Las características principales de la Quebrada Seca, se presentan en la Tabla 13.2.

La Figura 11.2 presenta el perfil longitudinal del cauce principal de Quebrada Seca, desde su nacimiento hasta su descarga en el Río Guaire. Para su elaboración, se utilizó la carta a escala 1:25.000 para la zona alta de la cuenca, aguas arriba de la Avenida Boyacá y el plano en formato digital a escala 1:5.000, para la zona urbanizada, aguas abajo de la Avenida.

Área de la cuenca (km^2)	Vegetada: 2,96 (59,44%)	Total:4,98
	Urbana: 2,02 (40,56%)	
Longitud del cauce principal (km)	En área extra-urbana: 3,65 (49,5 %)	Total: 7,37
	En área urbana: 3,72 (50,5 %)	
Cotas (m.s.n.m.)	Superior: 2.440	
	Inferior (confluencia con el río Guaire): 830,00	
Pendiente del cauce principal (%)	En área extra-urbana: 38,9	Promedio:21,7
	En área urbana: 4,3	

Tabla 11.2 Quebrada Seca. Características de la subcuenca

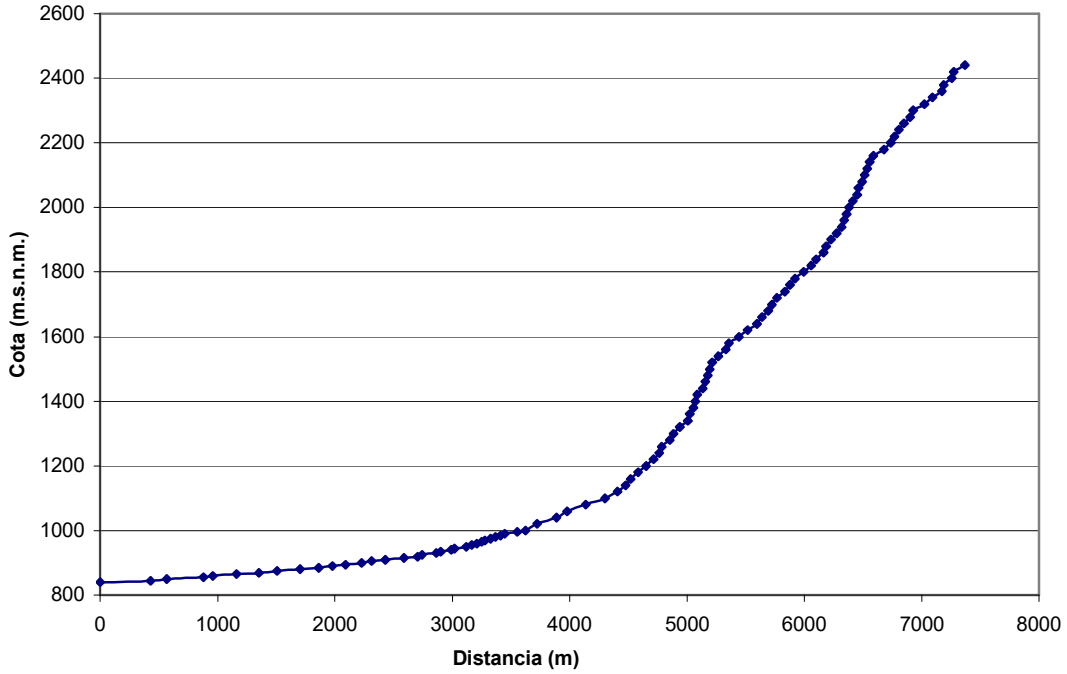


Figura 11.2 Quebrada Seca. Perfil longitudinal

Los hidrogramas compuestos de Quebrada Seca y Quintero resultando del estudio hidrológico se presentan gráficamente en la Figura 11.3, mientras la Tabla 11.3 muestra los valores de los caudales máximos.

QUEBRADA	Caudal máximo (m^3/s)		
	Tr = 10 años	**Tr = 100 años**	**Tr = 500 años**
QUINTERO	15,73	41,22	64,82
SECA	12,42	25,92	38,03
BLANDIN	4,10	8,82	11,83

Tabla 11.3 Quebrada Seca. Caudales máximos de las Quebradas pertenecientes a la Subcuenca Quebrada Seca.

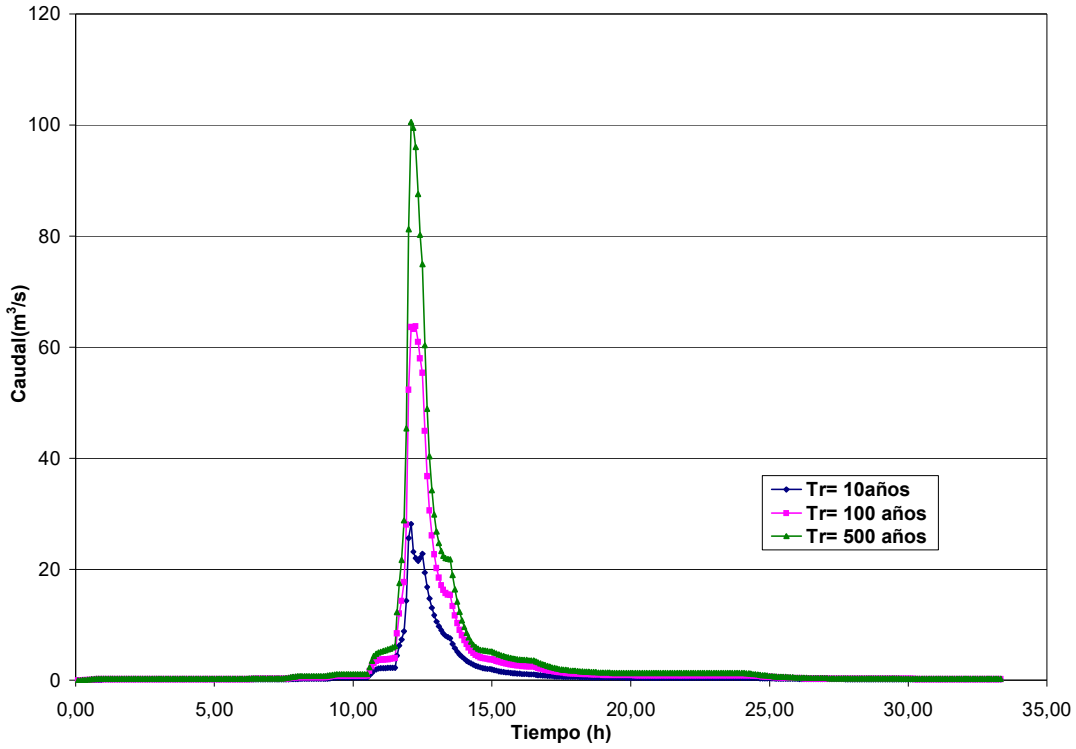


Figura 11.3 Quebrada Seca y Quintero. Hidrogramas de caudal líquido en la Avenida Boyacá para diferentes períodos de retorno.

11.1.4 Usos del suelo

La subcuenca presenta dos zonas bien diferenciadas, separadas por la Avenida Boyacá (Cota Mil): una zona alta vegetada perteneciente al Parque Nacional El Ávila, con 59,44 % de la superficie, y una zona baja urbanizada con 40,56 % de la misma.

La Quebrada Seca atraviesa en su recorrido áreas de las Urbanizaciones Altamira, La Castellana y Bello Campo. Desde la Avenida Boyacá hasta la 5_{ta} transversal de Altamira, la zona es exclusivamente residencial. Desde allí hasta la Avenida José Félix Sosa el área es comercial, hallándose un cierto número de hoteles, restaurantes y oficinas. Además, presenta desarrollos no controlados como los Sectores Populares Bucaral, Bello Campo y La Cruz; alrededor de éste último se observan edificaciones con uso comercial y de oficina. La quebrada atraviesa la Avenida Francisco de Miranda y la línea 1 del Metro de Caracas. Luego la Avenida Libertador y a partir de este punto, pasa por debajo del aeródromo Francisco de Miranda para desembocar más adelante en el río Guaire.

Los puntos de interés que se observan dentro del cono de deyección son:

- Estación Altamira del Metro de Caracas.
- Aeródromo Francisco de Miranda (La Carlota).
- El Destacamento Nº 52 de la Guardia Nacional.

En su recorrido atraviesa las siguientes vías importantes:

- Avenida Boyacá (Cota Mil).
- Avenida Francisco de Miranda.
- Avenida Libertador.
- Autopista Francisco Fajardo.

11.2 Red de drenaje pluvial

11.2.1 Características de la red de drenaje

La Quebrada Seca constituye el colector principal de la red de drenaje de las urbanizaciones que atraviesa. En la urbanización Altamira existe un colector principal de cloacas que junto a un afluente, constituyen el colector marginal a la quebrada Seca, hacia la cual existen varios aliviaderos, lo cual implica que estos colectores deben en principio hacer función de colectores mixtos. Esto se evidencia también por los diámetros relativamente grandes, los cuales se reducen después de los aliviaderos. Sin embargo, no se identificaron sumideros en el colector. En el colector que baja por la Avenida San Juan Bosco, los sumideros existentes están probablemente conectados a los drenajes transversales hacia la quebrada, y en la Avenida Altamira Sur, no existe ninguno.

Un esquema de la red drenaje se presenta en la Figura 11.5.

La Quebrada Seca se encuentra en gran parte de su trayectoria embaulada o canalizada. Sólo se encuentra en su cauce natural en la zona alta de la urbanización Altamira, después de atravesar la Avenida Boyacá. Las características de los distintos tramos se describen a continuación.

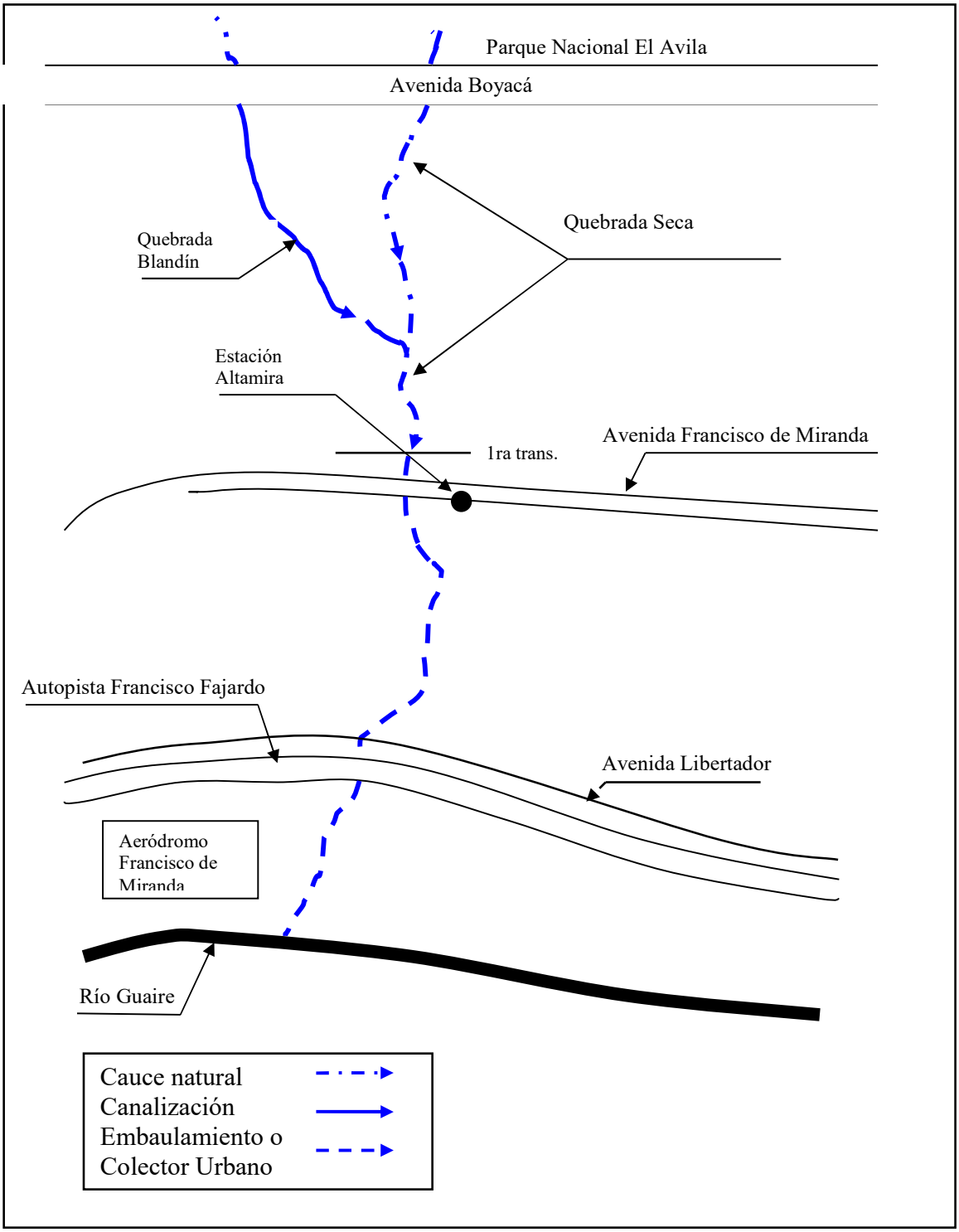


Figura 11.5 Quebrada Seca. Esquema de la red de drenaje

Tramo 1: Avenida Boyacá – 10_{ma} transversal de Altamira.

La Quebrada Seca nace en el Ávila al oeste de la Quebrada Quintero. Se observA sin flujo de agua y con cauce poco definido (ver Figura 11.6). Más aguas abajo, el cauce se observa estrecho, obstaculizado en algunos puntos por obras que se han construido en él, como se muestra en las Figuras 11.7 y 11.8.

Figura 11.6 Quebrada Seca. Cauce de Quebrada Seca en el Ávila cerca de la Cota Mil.

Figura 11.7 Quebrada Seca. Cauce de la Quebrada Seca en el Ávila

Figura 11.8 Quebrada Seca. Puente sobre Quebrada Seca en el Ávila.

Sin embargo, se observa un cauce más amplio aguas abajo de las obras construidas (ver Figura 11.9).

Figura 11.9 Quebrada Seca. Cauce de Quebrada Seca en el Ávila.

Al llegar al inicio del camino de acceso al puesto de guardaparques Sabanieves, la quebrada está canalizada hasta su descarga en la Quebrada Quintero, situada al Este (ver Figura 11.10). Esta canalización es rectangular de concreto, con caídas, tiene 1,85 m de ancho base en sus inicios hasta llegar a 2,20 m, cerca de la descarga. Tiene de 1,00 m a 2,80 m de altura al inicio y antes de llegar a la descarga se regulariza en 1,00 m. Según empleados encargados del mantenimiento, en diciembre de 1.999, el agua alcanzó una altura de 0,80 m.

Figura 11.10 Quebrada Seca. Canalización de la Quebrada Seca en el Ávila.

La Quebrada Quintero recibe la descarga de Quebrada Seca, justo antes de atravesar la Avenida Boyacá (ver Figura 11.11) observándose la presencia de grandes rocas en el sitio (ver Figura 11.12). Dicen los empleados mencionados, que en diciembre de 1.999, el agua y el material que arrastraba, fracturaron la losa tal como se observa en la Figura 11.11.

El paso a través de la Avenida Boyacá, está constituido por una alcantarilla de entrada deprimida y lados convergentes. Es un cajón cuya sección de entrada tiene 4,50 m de ancho base y 1,20 m de altura, (ver Figura 11.13), continuando con una transición de unos 3,0 m de longitud a una sección más reducida de 2,20 m de ancho y 2,20 m de altura (ver Figura 11.14). La altura entre la cota de entrada del cajón y la cota de la Avenida Boyacá es aproximadamente 6,0 m. La sección aguas arriba de la entrada, especie de canal de aproximación, tiene aproximadamente 6,50 de ancho y existe una separación de 6,70 m respecto a las rocas observadas en la Figura 11.12.

La quebrada que continúa hacia aguas abajo se denomina Quebrada Seca, a pesar de ser ella la que descarga en la Quebrada Quintero. Hasta la 10ma transversal de Altamira, la quebrada está embaulada, se estima que con la misma sección del cajón aguas arriba.

Tramo 2: 10_{ma} transversal – 7_{ma} transversal de Altamira

Entre la 10_{ma} y 9_{na} transversal de Altamira la quebrada fluye entre la 2_{da} y 3_{ra} Avenida de Altamira, por los patios traseros de las viviendas, estando confinada por los muros de las viviendas vecinas y de profundidad considerable. Narra un vecino que en diciembre de

1.999 fluyó casi llena, pero no se desbordó. Sin embargo, arrastró gran cantidad de piedras de aproximadamente 20 cm.

Figura 11.11 Quebrada Seca. Fin de canalización de Quebrada Seca y descarga en Quebrada Quintero.

Figura 11.12 Quebrada Seca. Presencia de grandes rocas en la entrada de la alcantarilla que atraviesa la Avenida Boyacá.

Figura 11.13 Quebrada Seca. Canal de aproximación de la alcantarilla que atraviesa la Avenida Boyacá.

Figura 11.14 Quebrada Seca. Alcantarilla que atraviesa la Avenida Boyacá.

En el Comando de la Guardia Nacional, sobre la 2_{da} Avenida, un pozo que existía en la quebrada se colmató con las rocas. En la Figura 11.15 se observa la sección de la quebrada a nivel de la 9_{na} transversal.

Figura 11.15 Quebrada Seca. Vista hacia aguas abajo a nivel de la 9_{na} transversal de Altamira, entre la 2_{da} y la 3_{ra} Avenida.

Entre la 9_{na} y 8_{va} transversal de Altamira, continúa en su cauce natural confinado lateralmente por los muros de las viviendas vecinas (ver Figuras 11.16 y 11.17). Aproximadamente a 150 m aguas arriba de la 8_{va} transversal, tiene una losa de fondo de concreto de 7,0 m de ancho y al llegar a la calle, la atraviesa con un cajón de concreto de 1,60 m de ancho y 2,40 m de altura. La profundidad de la quebrada respecto a la calzada es de aproximadamente 4,8 m. Según los vecinos, en 1.998, la quebrada creció y arrastró las pertenencias de un rancho asentado en la 8_{va} transversal, del lado aguas debajo de la calle. En diciembre de 1.999, el nivel del agua llegó a unos 2,0 m, entre la 9_{na} y 8_{va} transversal.

Entre la 8_{va} y 7_{ma} transversal la quebrada continúa en su sección natural con sus márgenes confinadas por los muros laterales de las viviendas vecinas. A unos 100 m aguas arriba de la 7_{ma} transversal, comienza el embaulamiento de la quebrada, pero no pudo ser visitado.

Figura 11.16 Quebrada Seca. Vista hacia aguas arriba de la 8va transversal de Altamira.

Figura 11.17 Quebrada Seca. Vista hacia aguas arriba de la 8va transversal de Altamira.

Figura 11.18 Quebrada Seca. Cajón para atravesar la 8_{va} transversal de Altamira.

Paralelamente, entre la 2_{da} Avenida de Altamira y la Avenida San Felipe, fluye la Quebrada Blandín. Entre la 9_{na} y 8_{va} transversal atraviesa el Barrio Bucaral, embaulada y canalizada, mientras que entre la 8_{va} y 7_{ma} transversal, está canalizada. Según los vecinos, la sección es rectangular de unos 1,5 m de altura. Esta quebrada no presenta problemas de desbordamiento.

Tramo 3: 7_{ma} transversal – Avenida Francisco de Miranda

La quebrada se encuentra embaulada en la totalidad de este tramo. En la 5_{ta} transversal se puede observar el embaulamiento a través de una reja, tal como se muestra en la Figura 11.19.

En la 1_{ra} transversal, el embaulamiento puede visitarse a través de una ventana metálica ubicada debajo del Edificio Mónaco, en la acera norte de la calle, tal como se aprecia en la Figura 11.20. Esta ventana sirve de aliviadero y según los vecinos se levanta varias veces al año y la quebrada se desborda hacia la calle. En este punto la sección se estimó en 3,0 m x 3,0 m.

Figura 11.19 Quebrada Seca. Vista del enrejado superior del embaulamiento a nivel de la 5_{ta} transversal.

Figura 11.20 Quebrada Seca. Ventana metálica en la acera norte de la 1ra transversal de Altamira.

El cajón al parecer disminuye su sección al atravesar la calle (según los vecinos, a 2,0 m x 1,8 m y aguas). Debajo de la calle, en el trayecto que se muestra en la Figura 11.21, se estimó la sección, a través de las rejas, en 3,30 m de ancho y altura entre 2,20 y 2,40 m.

Tramo 4: Avenida Francisco de Miranda – Avenida Libertador

La quebrada continúa embaulada hasta el Barrio Bello Campo, situado entre la Avenida Francisco de Miranda y la Avenida José Félix Sosa. Dentro del barrio, la quebrada presenta un tramo canalizado y luego está embaulada. El tramo abierto se aprecia en la Figura 11.22. Luego se encuentra embaulada hasta la Avenida Libertador; la sección en este tramo no pudo ser medida.

Tramo 5: Avenida Libertador - Descarga en el Río Guaire

En la Avenida Libertador, la quebrada continúa embaulada. En el Distribuidor Altamira, puede observarse el fin del embaulamiento que viene de la Avenida Libertador el cual es un

cajón de concreto de 3,0 m de altura (ver Figura 11.23), y el comienzo del embaulamiento que atraviesa la Autopista Francisco Fajardo, el aeródromo Francisco de Miranda y descarga en el río Guaire.

Figura 11.21 Quebrada Seca. Embaulamiento entre la 1_{ra} transversal y la Avenida Francisco de Miranda.

Figura 11.22 Quebrada Seca. Canalización de Quebrada Seca dentro del Barrio Bello Campo.

Figura 11.23 Quebrada Seca. Embaulamiento aguas debajo de la Avenida Libertador, en el Distribuidor Altamira

11.2.2 Antecedentes de inundaciones

Los siguientes eventos han tenido efecto en la subcuenca de Quebrada Seca:

1. Año 1.992: Inundación de vivienda que se encuentra situada sobre el embaulamiento en la 7_{ma} transversal de Altamira. Según narraciones de la propietaria durante visita de campo el 16 de enero de 2.003.
2. Año 1.996: Inundación de viviendas ubicadas entre la 10_{ma} y 5_{ta} transversal de Altamira. (I.P.C., 2.001).
3. Año 1.998: Inundación de vivienda que colinda con la quebrada, 8_{va} transversal de Altamira. Es una vivienda humilde y perdió todos sus enseres domésticos. Según narraciones de la propietaria durante visita de campo el 16 de enero de 2.003.
4. Año 1.999: Inundación de viviendas ubicadas entre la 10_{ma} y 5_{ta} transversal de Altamira. (I.P.C., 2.001).
5. Año 1.999: Inundación de vivienda que se encuentra situada sobre el embaulamiento en la 7_{ma} transversal de Altamira. Según narraciones de la propietaria durante visita de campo el 16 de enero de 2.003.
6. Año 2.001: Inundación del sótano del Edificio 11 ubicado en la 1_{ra} transversal de Altamira que causó importantes pérdidas materiales. (20 de marzo de 2.001) (I.P.C., 2.001).
7. Año 2.001-2.002: Aumento importante del nivel de agua en el Puesto de Guardaparques Sabas Nieves I en el Parque Nacional El Ávila y detrás del Destacamento 52 de la Guardia Nacional. (I.P.C., 2.001).
8. Año 2.001-2.002: Desbordamiento de la Quebrada Blandín en el Barrio Bucaral. (I.P.C., 2.001).
9. Año 2.001-2.002: Desbordamiento de la Quebrada Seca en el Edificio Adriática en la Avenida Francisco de Miranda. (I.P.C., 2.001).
10. Año 2.001-2.002: Se detectaron problemas con el sistema de drenaje en los siguientes puntos (I.P.C., 2.001):
    - Entre 5ta y 6ta transversal de Altamira.
    - Final 4ta Avenida La Castellana, donde se encuentra la Iglesia Luterana.
    - Distribuidor Altamira.
11. Los vecinos del Edificio Mónaco en la 1_{ra} transversal de Altamira, comentan que durante el año, la quebrada alivia por la ventana metálica que se encuentra en su edificio e inunda la calle (según narraciones tomadas durante visita de campo el 16 de enero de 2.003)

11.2.3 Resumen de puntos críticos

Se determinaron puntos críticos susceptibles a inundación en la zona, a partir de las visitas de campo efectuadas y de la información suministrada por el Instituto de Protección Civil Chacao.

1. Avenida Boyacá. Puesto de Guardaparques Sabas Nieves I.
2. Destacamento 52 de la Guardia Nacional, entre 10_{ma} y 9_{na} transversal de Altamira.
3. 8_{va} transversal de Altamira.
4. 7_{ma} transversal de Altamira.
5. Barrio Bucaral, urbanización Altamira.
6. 1_{ra} transversal de la urbanización Altamira.
7. Autopista Francisco Fajardo, Distribuidor Altamira.

La Figura 11.24 muestra la ubicación en planta de las imágenes presentadas en las figuras 11.6 a 11.23, así como de los puntos críticos y de los antecedentes de inundaciones.

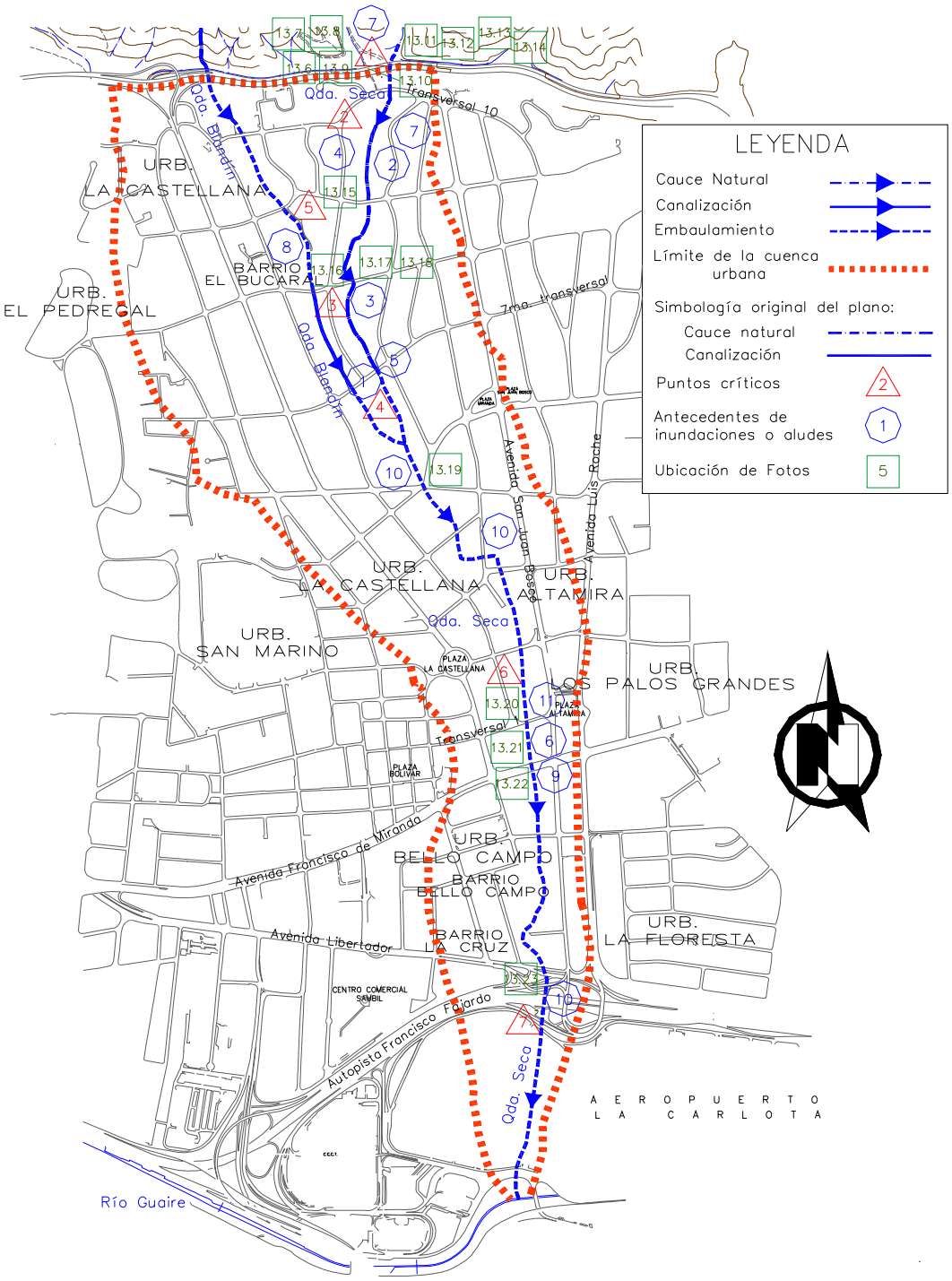


Figura 11.24 Quebrada Seca. Características de la Red de drenaje

11.3 Simulación de Inundaciones

Con base en la información recopilada anteriormente, se procedió a completar los archivos requeridos para el modelaje de la subcuenca Quebrada Seca utilizando el programa FLO-2D.

Para el modelaje, se separó el aporte de la Quebrada Quintero y Quebrada Seca, las cuales se unen en el Parque Nacional el Ávila, antes de atravesar la Avenida Boyacá y se anexó el correspondiente a la Quebrada Blandín. La hidrología referente a los hidrogramas de crecientes para diversos periodos de retorno fue proporcionada por CGR Ingeniería y los gastos máximos de dichos hidrogramas se muestran en la Tabla 11.4.

QUEBRADA	10	100	500
QUINTERO	15,73	41,22	64,82
SECA	12,42	25,92	38,03
BLANDIN	4,10	8,82	11,83

Tabla 11.4. Gastos máximos de las Quebradas pertenecientes a la Subcuenca Quebrada Seca.

Se elaboró una tabla con las características hidráulicas principales de los tramos para cada quebrada estudiada, las cuales se muestran a continuación (Tablas 11.5 y 11.6).

TRAMO	TIPO	LONG (m)	DIMENSIONES (m x m)	S (%)	n	CAP (m^3/s)	CARACTERISTICAS
1	Cauce natural	17,5	6,50 x 4,00	13,000	0,060	231	Cauce de la Quebrada Quintero en el Avila
2	Canal rectangular de concreto	80	1,85 x 1,00	2,000	0,016	10	Cauce de Quebrada Seca en el Avila
3	Cajón rectangular de concreto	60	2,20 x 2,20	12,000	0,016	55	Paso de la Avenida Boyacá hasta 10ma Transversal
4	Canal natural, se asimila a rectangular	300	6,00 x 6,00	3,00	0,045	220	Entre 10ma y 9na Transversal
5	Cajón rectangular de concreto	30	1,60 x 2,40	1,00	0,016	17	Paso 9na Transversal
6	Canal natural con muros de concreto por	240	7,00 x 5,00	3,00	0,045	218	Entre 9na y 8va Transversal

	márgenes. Se asimila a rectangular						
7	Cajón rectangular de concreto	30	1,60 x 2,40	3,00	0,016	30	Paso 8va Transversal
8	Canal natural con márgenes confinadas por muros de viviendas vecinas	240	4,00 x 6,00	5,26	0,045	160	Entre 8va y 7ma Transversal
9	Cajón rectangular de concreto	1186	2,70 x 2,50	3,53	0,016	73	Entre 7ma y 1ra Transversal
10	Cajón rectangular de concreto	6	3,00 x 3,00	3,00	0,016	97	Paso 1ra Transversal
11	Cajón rectangular de concreto	105	3,30 x 2,20	3,00	0,016	76	Entre 1ra transv. y Av. Francisco de Miranda
12	Cajón rectangular de concreto	100	3,60 x 2,40	8,00	0,016	156	Paso Av. Fco. de Miranda
13	Canal rectangular de concreto	60	5,00 x 4,00	2,00	0,016	236	Dentro del Sector Popular Bello Campo
14	Cajón rectangular de concreto	540	3,00 x 3,00	2,00	0,016	80	Entre el Sector Bello Campo y Autopista Francisco Fajardo
15	Alcantarilla abovedada	540	2,50 x 2,00	2,00	0,016	37	Autopista Fco Fajardo, paso del Aeródromo Francisco de Miranda y descarga al Río Guaire

Tabla 11.5. Características hidráulicas de Quebrada Seca.

TRAMO	**TIPO**	**LONG (m)**	**DIMENSIONES (m x m)**	**S (%)**	**n**	**CAP (m^3/s)**	**CARACTERISTICAS**

1	Cajón rectangular de concreto	60	3,00 x 3,00	8,67	0,016	166	Paso de la Avenida Boyacá hasta 10ma Transversal
2	Canal natural con muros de concreto por márgenes. Se asimila a rectangular	150	3,00 x 1,50	8,67	0,045	24	Hasta 10ma Transversal
3	Cajón rectangular de concreto	90	1,60 x 2,00	8,89	0,016	41	Entre 10ma y 9na Transversal
4	Canal natural con muros de concreto por márgenes. Se asimila a rectangular	150	3,00 x 1,50	4,89	0,045	18	Hasta paso de la 9na Transversal
5	Cajón rectangular de concreto	280	1,60 x 2,00	5,95	0,016	34	Entre 9na y 8va Transversal
6	Canal natural con muros de concreto por márgenes. Se asimila a rectangular	270	4,00 x 1,50	4,85	0,045	27	Entre 8va y 7ma Transversal
7	Cajón rectangular de concreto	280	1,60 x 0,95	3,48	0,016	10	Entre 7ma Transv. Y descarga en Qda. Seca

Tabla 11.6. Características hidráulicas de la Quebrada Blandín.

Comparando la capacidad de las estructuras hidráulicas con los gastos máximos de las crecientes, se observa que para Quebrada Seca existen dos puntos en los cuales no se satisfacen las condiciones para el paso de la creciente de 10 años de periodo de retorno, el canal de concreto en el Parque Nacional El Ávila y el paso de la 9na transversal de Altamira. Otros puntos, como el paso de la 8va transversal y la Autopista Francisco Fajardo, no superan la capacidad necesaria para el paso de la creciente de 100 años de periodo de retorno y en la Quebrada Blandin, el embaulamiento para atravesar la 7ma transversal, presenta menor capacidad que el pico de la creciente de 500 años de periodo de retorno. Sin embargo, en algunos casos la comparación de la capacidad con el gasto máximo no es determinante porque puede haber desvío del agua, pero sí es indicativo.

11.3.1 Condiciones de simulación

La simulación se realizó utilizando el modelo FLO-2D actualizado sobre una topografía a escala 1: 5.000. Se generó una malla de 6.419 celdas de 30 m x 30 m, las cuales estarán representadas por un valor promedio de elevación y rugosidad del coeficiente de Manning. En este último aspecto, se tomó un valor inicial del coeficiente de Manning de 0,065 para la planicie de inundación, 0,020 para las calles y entre 0,016 y 0,050 para las obras hidráulicas. Estos coeficientes varían durante la simulación de acuerdo a los valores máximos del Número de Froude que se han establecido de acuerdo a la velocidad estimada del flujo en las distintas secciones. En la Tabla 11.7 se presenta un resumen de algunos de los parámetros relativos a Quebrada Seca.

QUEBRADA		**Seca**			**Blandín**		
Fecha		**Jul. 2004**					
Escenario		**10, 100 y 500 años**					
Tamaño celda		30 m			30 m		
Número celdas		6419					
Area simulada	km2	11.8					
n Manning	canal	0.016-0.045					
	planicie inundación	0.065					
puentes	número	0			0		
alcantarillas	número	8			4		
reducción de área		5-35%					
calles	número	20					
caudal pico (m^3/s)	Tr (años)	10	100	500	10	100	500
	Caudal	28	67	103	4	9	12
Cv		0.2-0.30					
vol Agua/ vol sedim	Millones de m3	10 años			0,69		
vol Agua/ vol sedim	Millones de m3	100 años			1,08/0,072		
vol Agua/ vol sedim	Millones de m3	500 años			1,50/0,171		
Otros parámetros hidráulicos	a1(poises)	6.02*10^(-4)					
	b1	33.1					
	a2(dyne/cm2)	1.72*10^(-3)					
	b2	29.5					
	dt	0.01 s - 30 s					
	densidad sedimento	2.74					
	resistancia flujo laminar	2285					

Tabla 11.7. Quebrada Seca. Algunos de los parámetros usados en la simulación.

En relación a la obstrucción que producirían las edificaciones y otras estructuras al paso del flujo, se utilizaron valores de ARF (porcentaje de ocupación de la celda) entre 5% y 35%, mientras que los valores de WRF (obstrucción lateral en la celda), se tomaron valores entre 0% y 20%.

Las calles fueron introducidas en la simulación, comportándose como canales que en algunos casos conducen el flujo alejándolo del cauce principal. Las calles simuladas se destacan en rojo y línea sólida en la Figura 11.25.

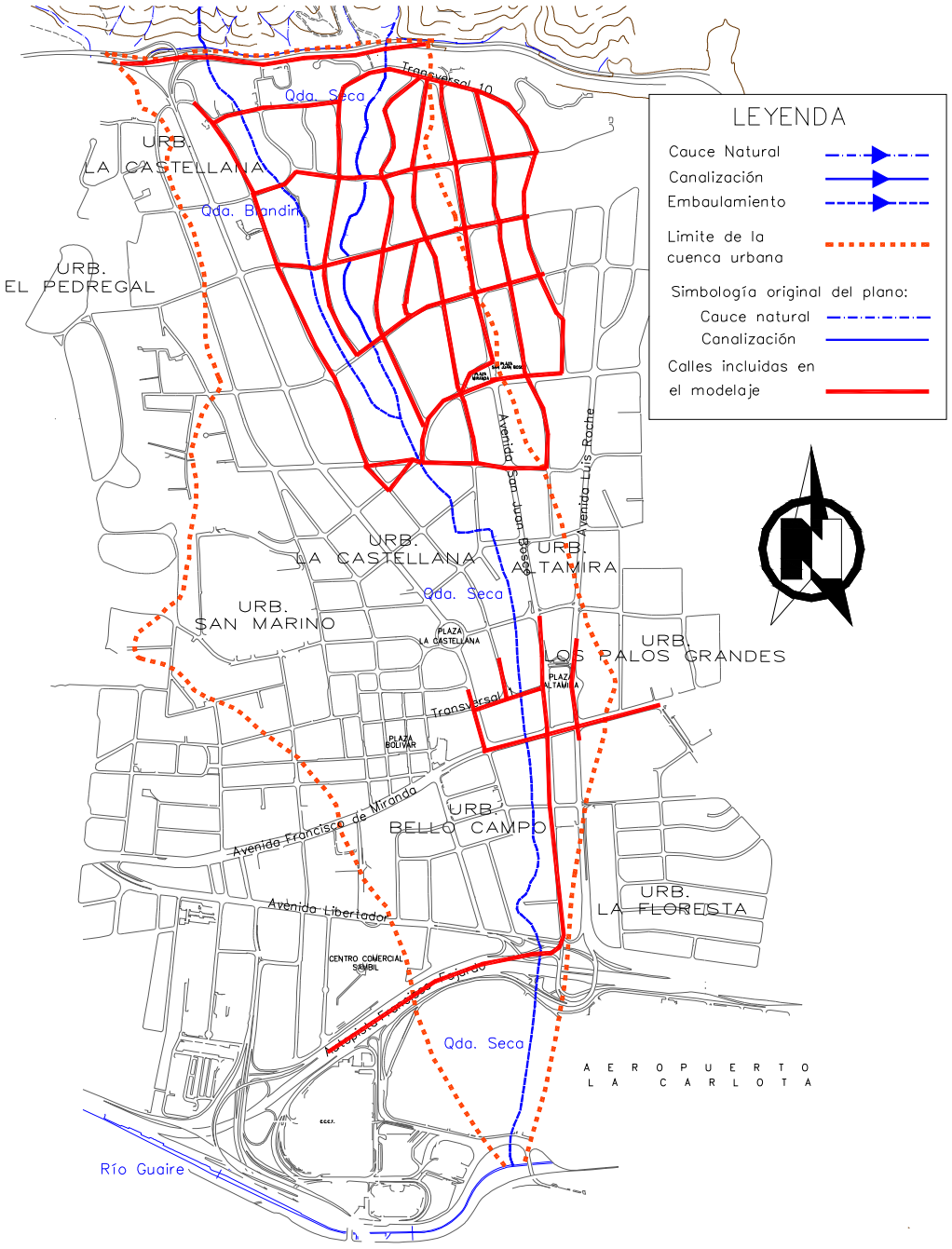


Figura 11.25. Quebrada Seca. Calles simuladas

Las estructuras hidráulicas que conducen el flujo también fueron simuladas. De tal manera, se introdujeron las secciones de canal ya indicadas en las Tablas 11.5 y 11.6 y las alcantarillas descritas en las mismas tablas. En el caso particular de las alcantarillas, éstas se trabajaron obstruidas a partir del 70% de su capacidad, dejando pasar un caudal fijo correspondiente a esta condición. Con este criterio se simularon todas las crecientes estudiadas, 10, 100 y 500 años de periodo de retorno.

A las simulaciones utilizando los hidrogramas de crecientes se les sumó el efecto de una lluvia distribuida uniformemente en el área. Se utilizó para esta subcuenca los hietogramas de lluvia de 24 horas de duración correspondientes a la Estación Los Chorros, empleando el mismo periodo de retorno de la creciente simulada. Estos hietogramas se muestran en la Figura 11.26.

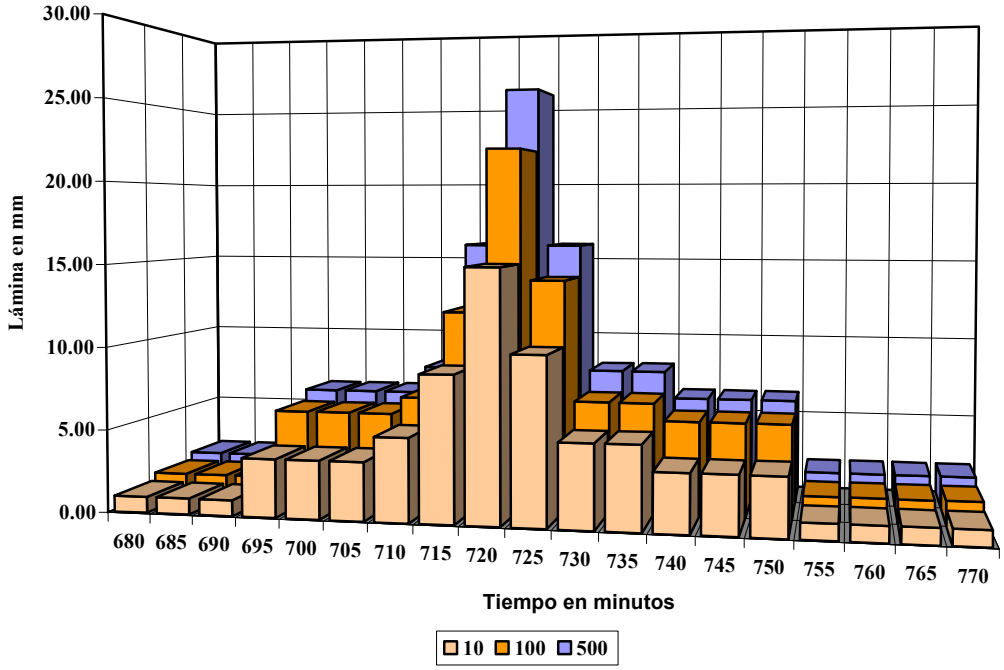


Figura 11.26. Hietogramas de la Estación Los Chorros.

11.3.2 Creciente de 10 años de Periodo de Retorno

Se ejecutó el modelo utilizando crecientes de 10 años de periodo de retorno para las quebradas estudiadas. La simulación se inició en el Parque Nacional El Ávila con canales naturales y de concreto que descargan en el canal de aproximación de las respectivas alcantarillas que atraviesan la Avenida Boyacá. Se tomó una concentración volumétrica de sedimentos constante e igual a 20%. Los hidrogramas de creciente de las quebradas con mayor caudal se muestran en las Figuras 11.27 y 11.28.

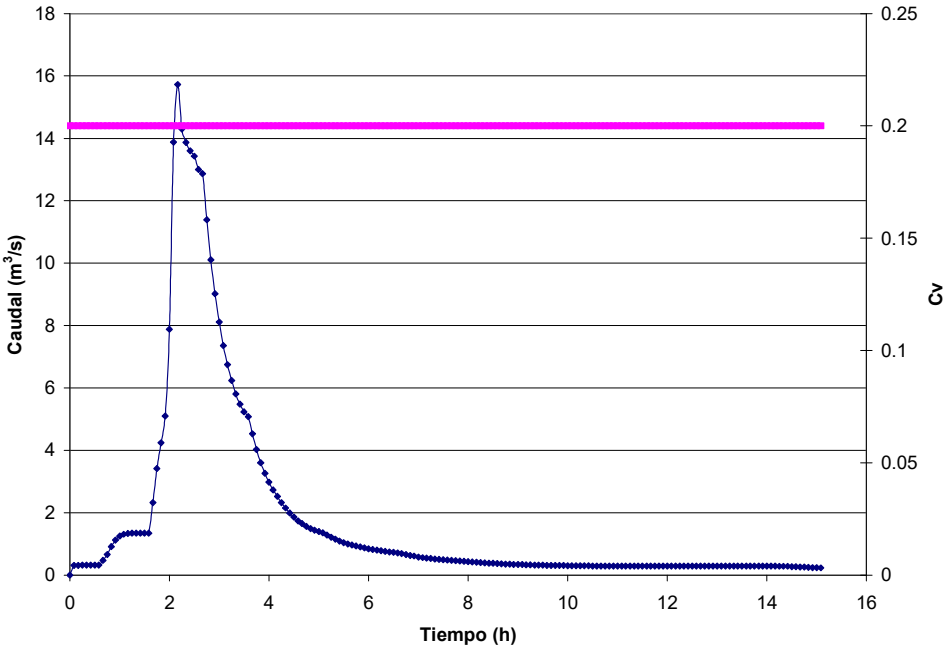


Figura 11.27. Quebrada Quintero. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 10 años).

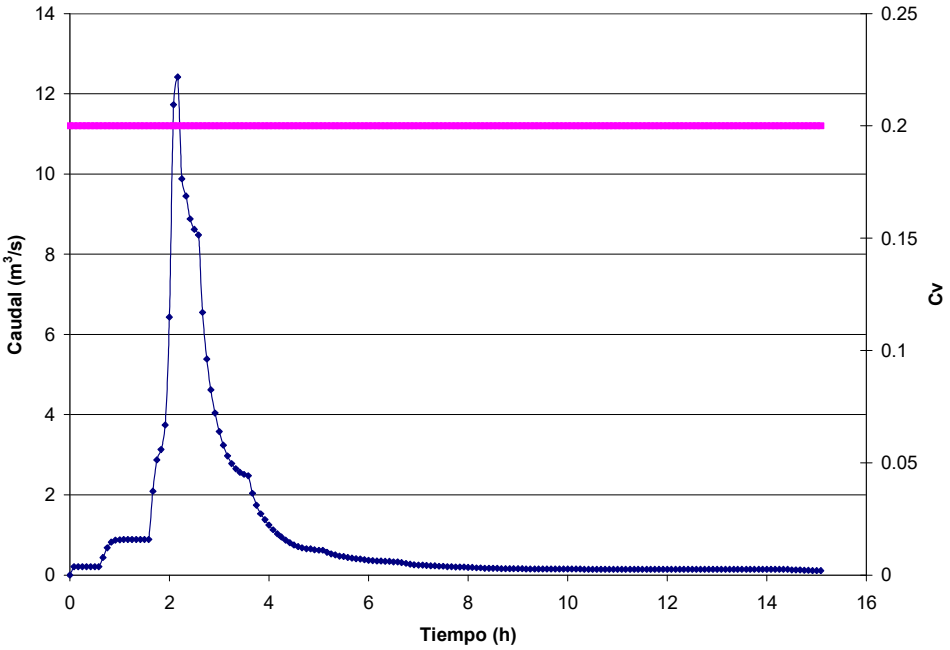


Figura 11.28. Quebrada Seca. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 10 años).

Según los resultados mostrados en la Figura 11.29, se observa que para la creciente simulada, existe un punto de desbordamiento en Quebrada Seca y dos en la Quebrada

Blandín. El de Quebrada Seca se encuentra ubicado en El Parque Nacional El Ávila, correspondiendo al canal de concreto aguas arriba de la alcantarilla que atraviesa la Avenida Boyacá, exactamente en el acceso peatonal hacia el puesto de guardaparques Sabas Nieves. El área de afectación de este desbordamiento abarca la zona central del cono pues al bajar el agua hacia la entrada del camino peatonal sobre la 10ma transversal, se mueve sobre esta calle hacia la Quebrada Blandín al Oeste, bajando luego por la Avenida San Felipe y la 2da Avenida, y hasta la 3ra Avenida al Este. Al llegar a la 5ta transversal, el agua se dirige hacia el sureste y ocupa el espacio limitado por las Avenidas San Juan Bosco y Principal de La Castellana, hasta la 1ra transversal, desde donde se mueve hacia la Plaza Altamira, bajando por las Avenidas Luis Roche y San Juan Bosco. El agua continúa con rumbo Sur hacia el Río Guaire, atravesando la Autopista Francisco Fajardo y el aeródromo Francisco de Miranda, La Carlota.

En el resto de las estructuras hidráulicas se observa que su capacidad de conducción permite el paso de la creciente prácticamente sin desbordamiento.

En cuanto a la Quebrada Blandín, ésta se desborda en la 10ma y 9na transversal y el agua se dirige hacia el sureste a través de las calles y las casas finalizando en la Avenida San Juan Bosco, cerca de la Plaza Altamira, unida al agua proveniente del desbordamiento de Quebrada Seca.

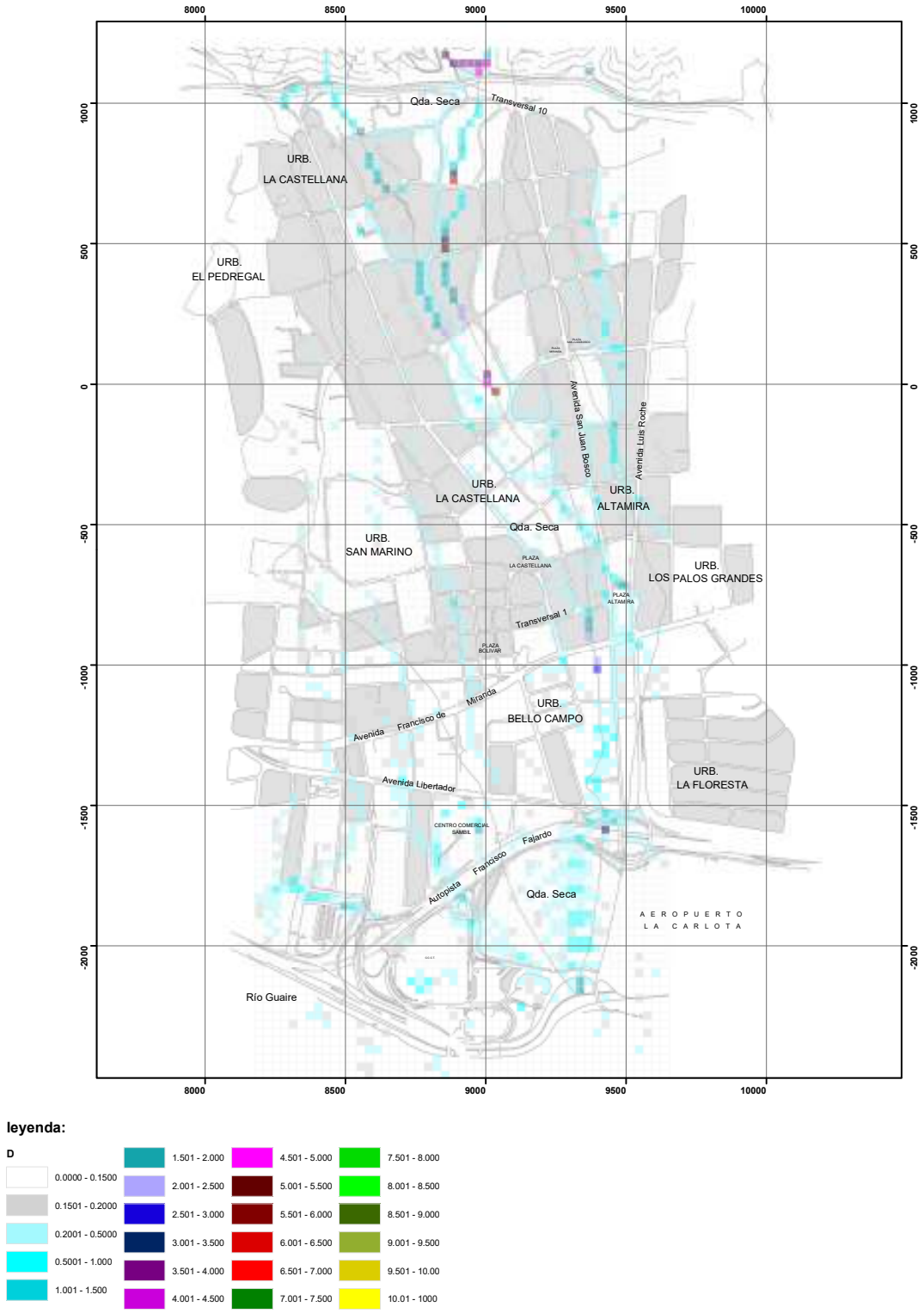
Las profundidades máximas de inundación se encuentran entre 0,2 y 0,5 m en prácticamente todas las zonas inundadas, las cuales están conformadas en especial por calles. Se observan puntos localizados donde la profundidad llega a ser de 1,0 m, presumiéndose que se trata de puntos bajos los cuales se hacen evidentes al aplicar la lluvia uniformemente sobre toda el área. En los canales, las profundidades máximas observadas se encuentran entre 5,0 y 6,0 m en puntos muy localizados, siendo la profundidad por lo general alrededor de 2,0 m.

Las velocidades máximas observadas en la Figura 11.30 se localizan en los canales encontrándose éstas entre 2,0 y 3,0 m/s. En las calles las velocidades se encuentran entre 1,0 y 1,5 m/s y en las áreas de viviendas alrededor de 0,50 m/s.

El aeródromo Francisco de Miranda, por ser una zona muy plana presenta profundidades entre 0,5 y 1,0 m producto de la aplicación de la lluvia.

Entra la 6ta y la 7ma Avenida se observa una franja Norte-Sur con profundidades de 0,5 a 1,0 m y velocidades entre 1,0 y 2,0 m/s, que corresponde al cauce de la Quebrada Lamedero, afluente de la Quebrada Sebucán.

Los resultados del modelo indican que el volumen total del hidrograma principal de entrada mas lluvia es de 0,69 millones de m^3. El área inundada no es detectable con los resultados del modelo ya que por efectos de la lluvia, todas las celdas se afectan.



leyenda:

D

0.0000 - 0.1500	1.501 - 2.000	4.501 - 5.000	7.501 - 8.000
0.1501 - 0.2000	2.001 - 2.500	5.001 - 5.500	8.001 - 8.500
0.2001 - 0.5000	2.501 - 3.000	5.501 - 6.000	8.501 - 9.000
0.5001 - 1.000	3.001 - 3.500	6.001 - 6.500	9.001 - 9.500
1.001 - 1.500	3.501 - 4.000	6.501 - 7.000	9.501 - 10.00
	4.001 - 4.500	7.001 - 7.500	10.01 - 1000

Figura 11.29. Quebrada Seca y afluentes. Profundidades Máximas para Tr=10 años.

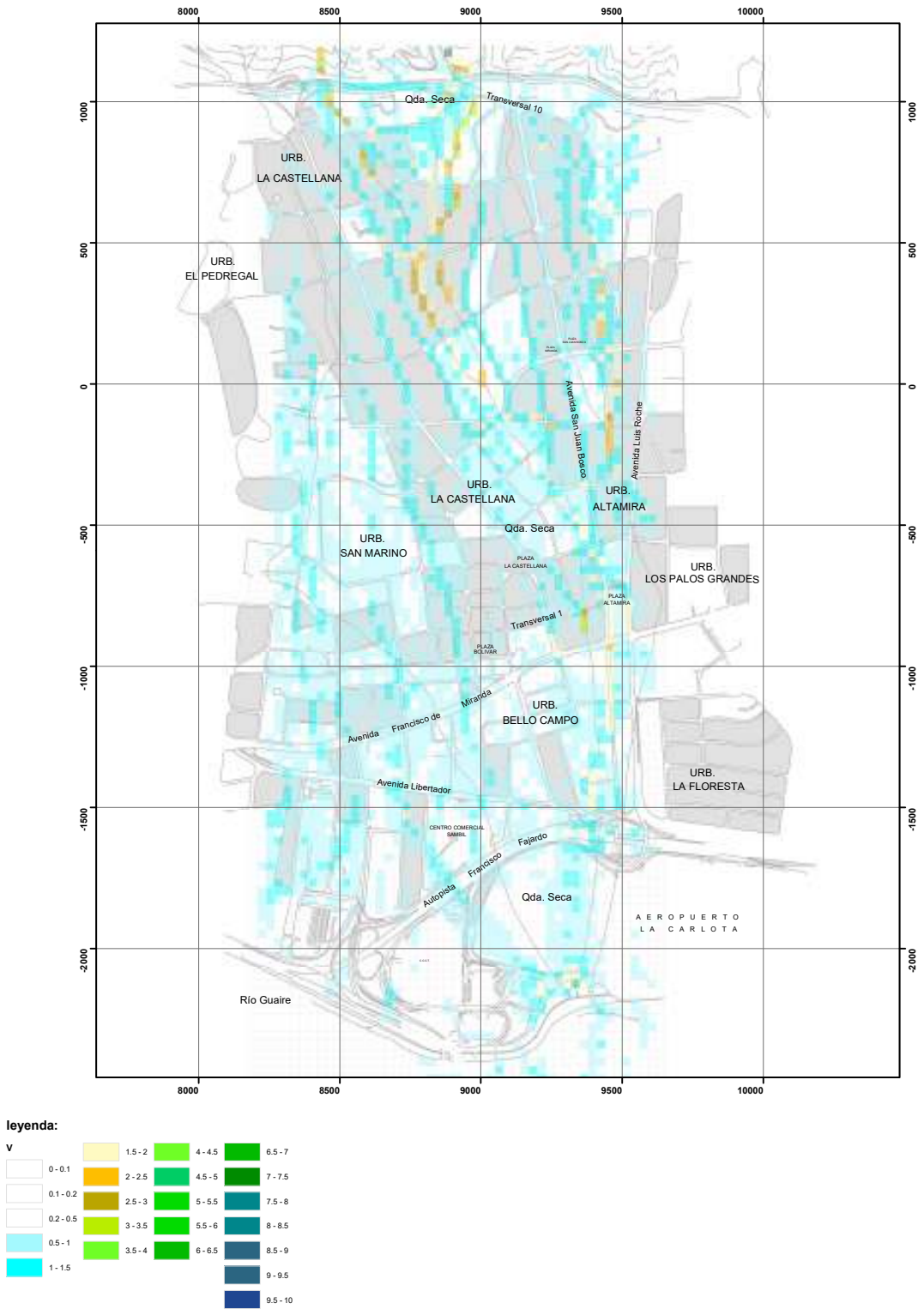


Figura 11.30. Quebrada Seca y afluentes. Velocidades máximas para Tr=10 años.

11.3.3 Creciente de 100 años de Periodo de Retorno

Se ejecutó el modelo utilizando crecientes de 100 años de periodo de retorno para las quebradas estudiadas. La simulación se inició en el Parque Nacional El Ávila con canales naturales y de concreto que descargan en el canal de aproximación de las respectivas alcantarillas que atraviesan la Avenida Boyacá. Se tomó una concentración volumétrica máxima de sedimentos de 25%. Los hidrogramas de creciente de las quebradas con mayor caudal se muestran en las Figuras 11.31 y 11.32.

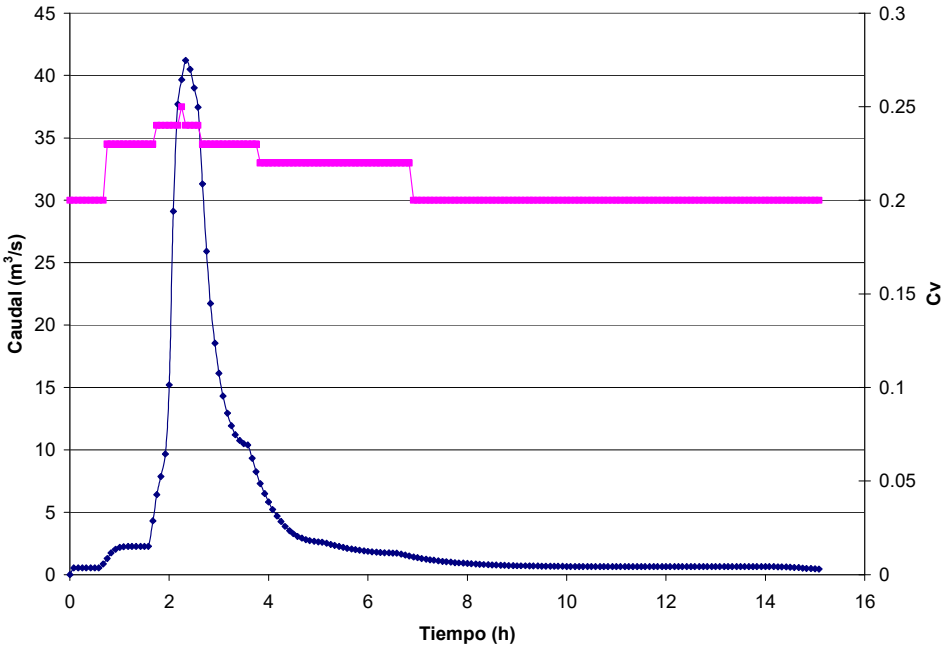


Figura 11.31. Quebrada Quintero. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 100 años).

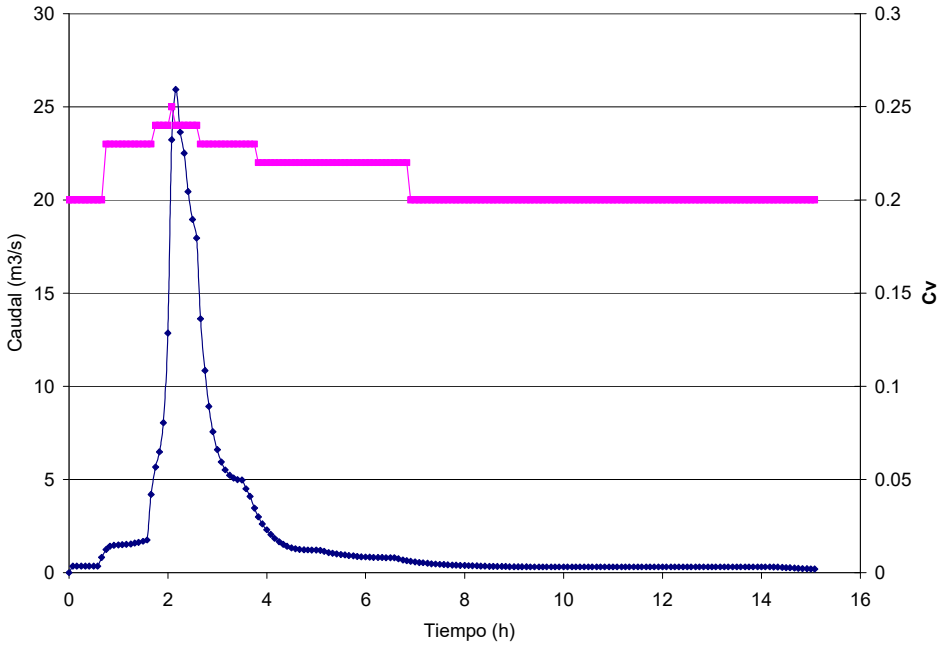


Figura 11.32. Quebrada Seca. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 100 años).

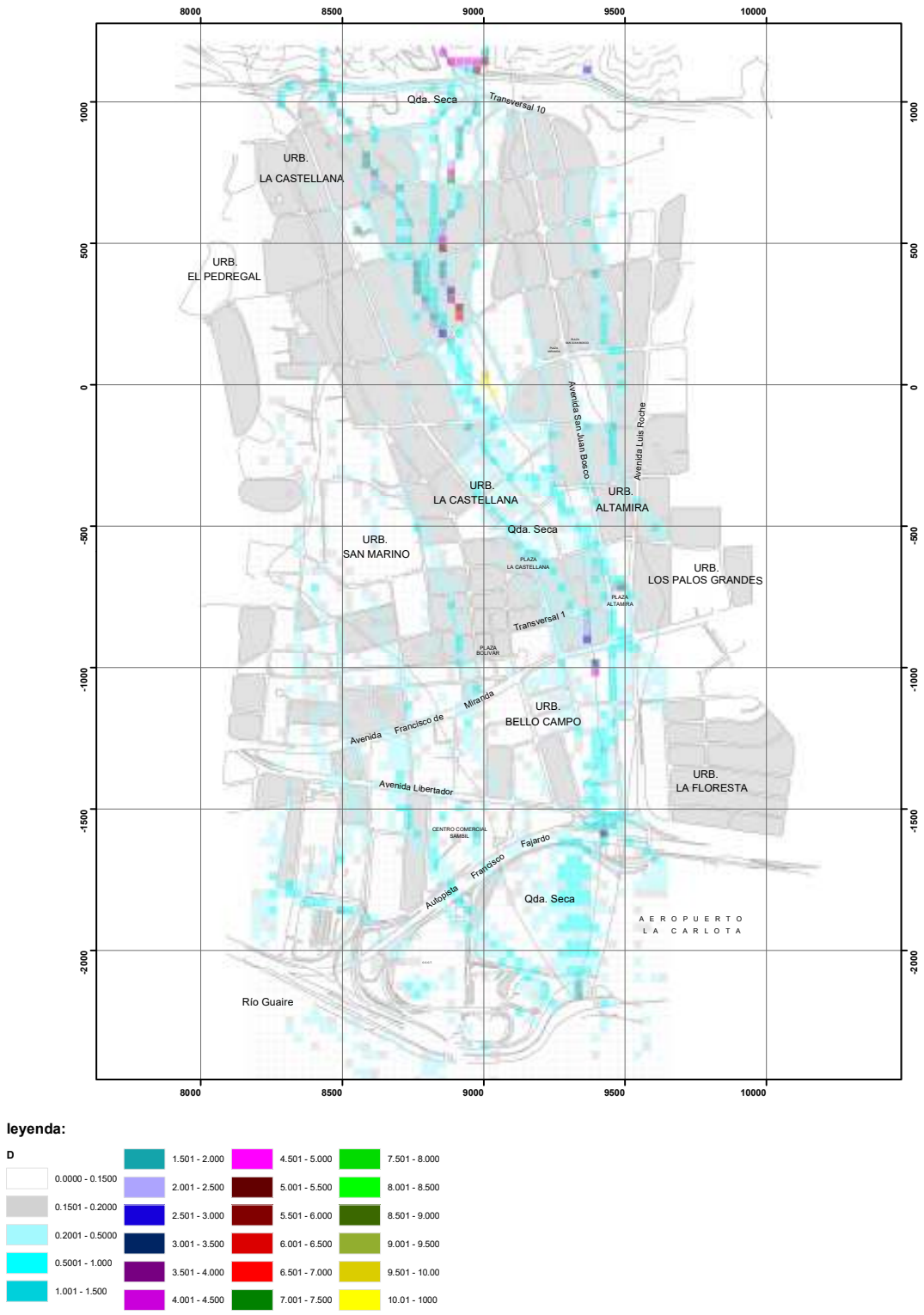
Según los resultados mostrados en la Figura 11.33, además de los sitios de desbordamiento que se observaron para la creciente de 10 años de periodo de retorno, Quebrada Seca se desborda en la 1ra transversal de Altamira y en la Autopista Francisco Fajardo, mientras que en la Quebrada Blandín ocurre en la Avenida Boyacá y se dirige hacia el Sur. El desbordamiento del canal de concreto en el Parque Nacional El Ávila, afecta un área mayor, la cual se extiende hacia el Este, abarcando la 4ta, 6ta y 7ma Avenida, así como también la San Juan Bosco, con profundidades de hasta 0,50 m; continúa hacia la subcuenca vecina Sebucán y provoca profundidades máximas entre 0,5 y 1,0 m, en esa zona. Iguales profundidades se producen debido al desbordamiento de la Quebrada Blandín en la Principal de La Castellana, en las Avenidas Luis Roche y San Juan Bosco alrededor de la Plaza Altamira, así como también en el cauce de Quebrada Seca aguas arriba de la Avenida Libertador, en La Autopista Francisco Fajardo y en el aeródromo Francisco de Miranda. En los canales, las profundidades máximas se encuentran entre 6,0 y 7,0 m aunque la media es de 3,0 m y en las calles, entre 0,5 y 1,0 m.

En cuanto a las velocidades máximas (Figura 11.33), éstas se observaron en las zonas inundadas mencionadas anteriormente, produciéndose velocidades entre 2,0 y 3,0 m/s en la zona inundada por el canal de concreto del Parque El Ávila. En la 1ra transversal de Altamira, se encuentra entre 3,0 y 3,5 m/s; en la Plaza Altamira se encuentran entre 2,0 y 2,5 m/s, mientras que en la Autopista Francisco Fajardo y en el aeródromo Francisco de Miranda, entre 1,0 y 1,5 m/s. La velocidad máxima en canales se encuentra alrededor de 4,0 m/s y en las calles, entre 2,0 y 2,5 m/s.

Entra la 6ta y la 7ma Avenida se observa una franja Norte-Sur con profundidades de hasta 1,00 m y velocidades entre 1,0 y 2,0 m/s, que corresponde al cauce de la Quebrada Lamedero, afluente de la Quebrada Sebucán.

Los resultados del modelo indican que el volumen total del hidrograma principal de entrada mas lluvia es de 1,15 millones de m^3, de los cuales 1,08 millones de m^3 corresponden a agua y 72.000 m^3 a sedimentos.

El área inundada no es detectable con los resultados del modelo ya que por efectos de la lluvia, todas las celdas se afectan.



leyenda:

D

0.0000 - 0.1500	1.501 - 2.000	4.501 - 5.000	7.501 - 8.000
0.1501 - 0.2000	2.001 - 2.500	5.001 - 5.500	8.001 - 8.500
0.2001 - 0.5000	2.501 - 3.000	5.501 - 6.000	8.501 - 9.000
0.5001 - 1.000	3.001 - 3.500	6.001 - 6.500	9.001 - 9.500
1.001 - 1.500	3.501 - 4.000	6.501 - 7.000	9.501 - 10.00
	4.001 - 4.500	7.001 - 7.500	10.01 - 1000

Figura 11.32. Quebrada Seca y afluentes. Profundidades Máximas para Tr=100 años.

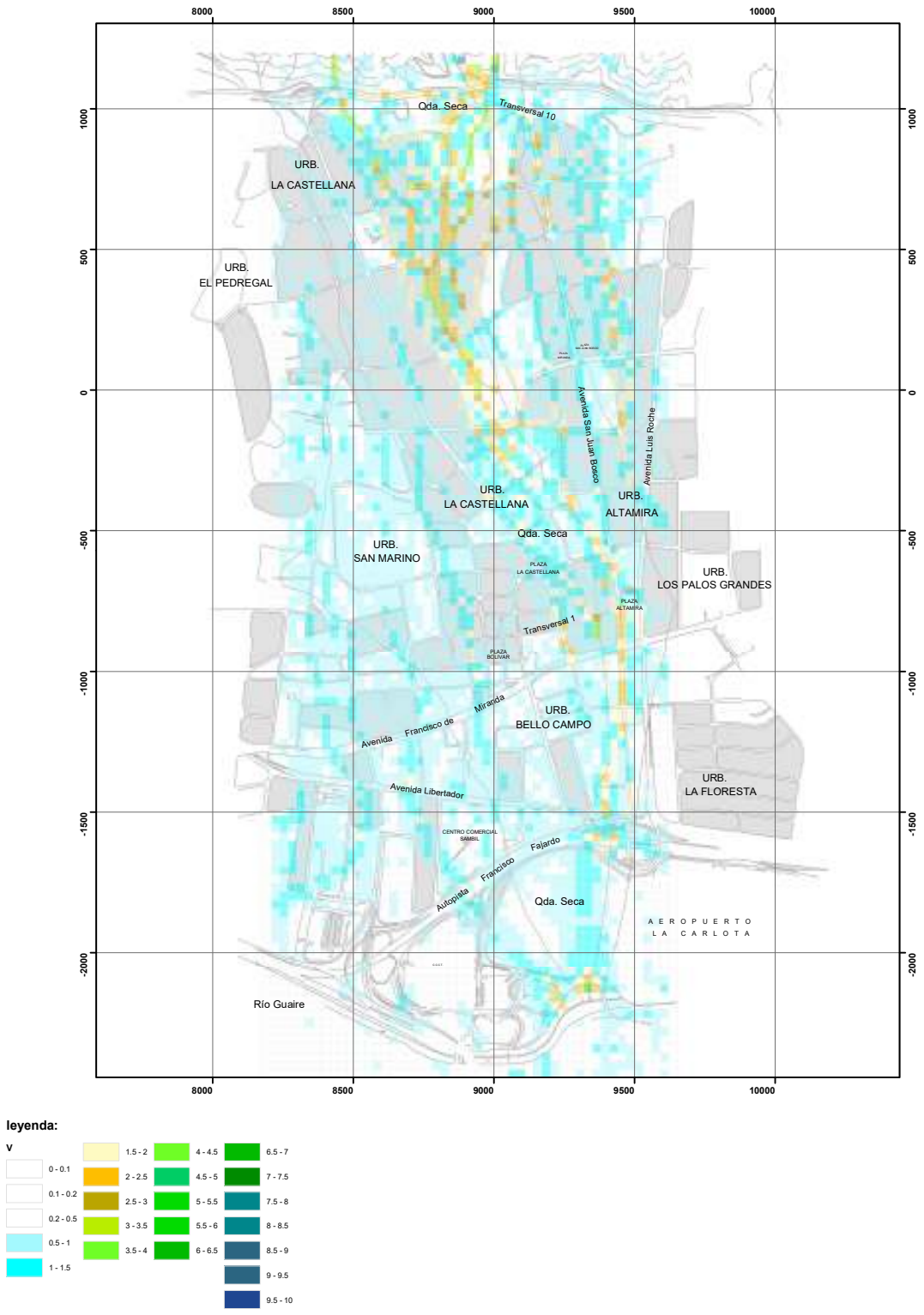


Figura 11.33. Quebrada Seca y afluentes. Velocidades Máximas para Tr=100 años.

11.3.4 Creciente de 500 años de Periodo de Retorno

Se ejecutó el modelo utilizando crecientes de 500 años de periodo de retorno para las quebradas estudiadas. La simulación se inició en el Parque Nacional El Ávila con canales naturales y de concreto que descargan en el canal de aproximación de las respectivas alcantarillas que atraviesan la Avenida Boyacá. Se tomó una concentración volumétrica máxima de sedimentos de 30%. Los hidrogramas de creciente de las quebradas con mayor caudal se muestran en las Figuras 11.34 y 11.35.

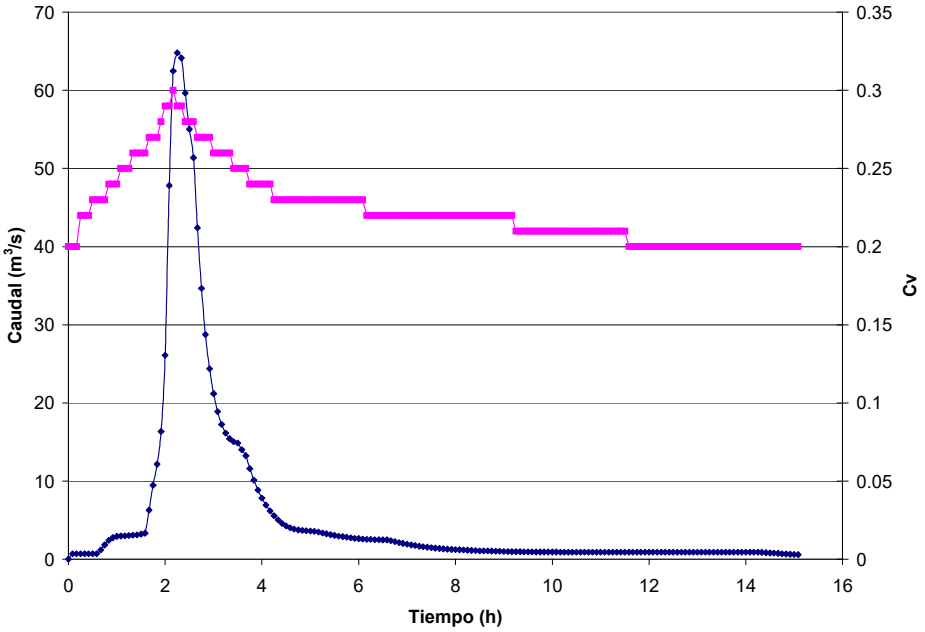


Figura 11.34. Quebrada Quintero. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 500 años).

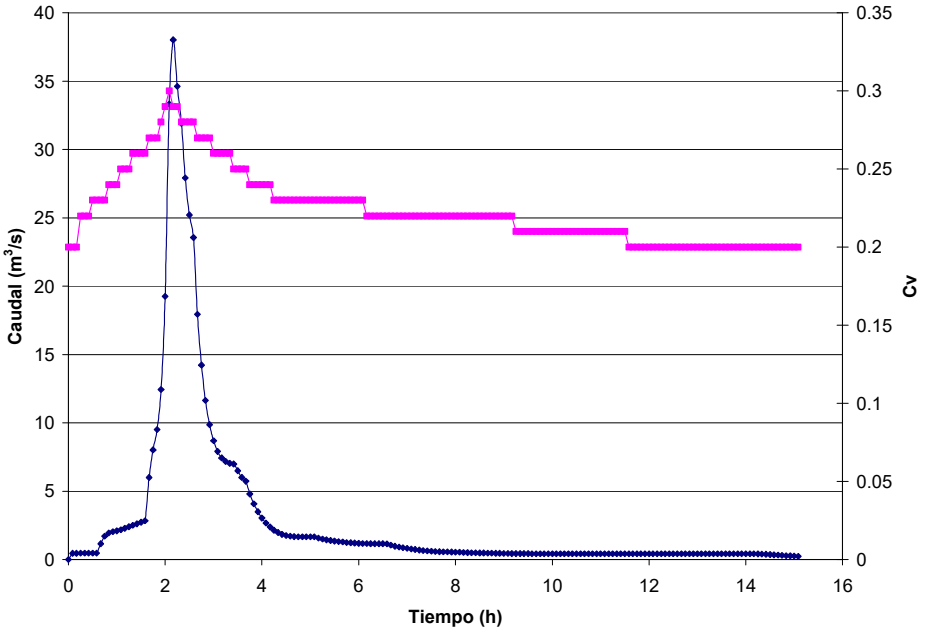


Figura 11.35. Quebrada Seca. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 500 años).

Según los resultados mostrados en la Figura 11.36, se observa una mancha de inundación muy semejante a la obtenida para la creciente centenaria, sólo que las profundidades son mayores y la mancha, un poco más extendida. Así, en la zona de desbordamiento del canal de concreto en el Parque Nacional El Ávila, las profundidades continúan estando alrededor de 0,5 a 1,0 m. Iguales profundidades se producen debido al desbordamiento de la Quebrada Blandín. Al Sur de la 1ra transversal de Altamira, las profundidades máximas se encuentran entre 0,2 y 0,5 m y en la Plaza Altamira y adyacencias, entre 0,5 y 1,0 m. En la Autopista Francisco Fajardo y en el Aeródromo Francisco de Miranda, las profundidades máximas están igualmente entre 0,5 y 1,0 m. En los canales, las profundidades máximas se encuentran entre 6,5 y 7,0 m y en las calles, entre 0,5 y 1,0 m.

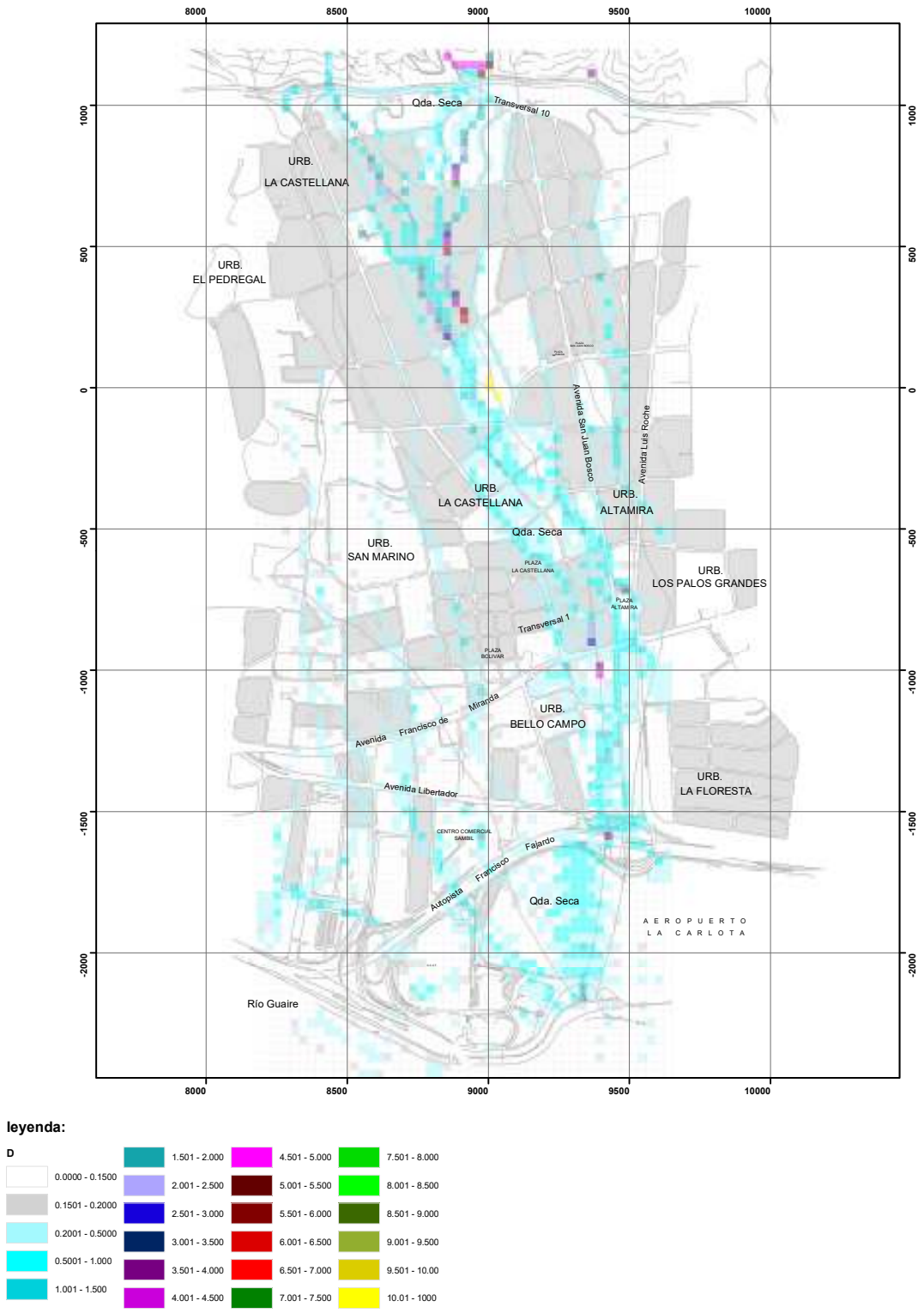
Las velocidades máximas observadas en la Figura 11.37 se localizan en las áreas inundadas. En los canales se reportan velocidades entre 1,0 y 4,0 m/s y en las calles, entre 2,0 y 3,0 m/s. En la zona inundada por el canal de concreto del Parque El Ávila, exactamente sobre la 10ma transversal se producen velocidades entre 2,0 y 3,0 m/s, en el resto del área, entre 0,5 y 2,0 m/s. En la 1ra transversal de Altamira, es alrededor de 3,0 m/s, al igual que en la Plaza Altamira, mientras que en la Autopista Francisco Fajardo, se encuentran entre 0,5 y 1,0 m/s, y en el aeródromo Francisco de Miranda, entre 1,5 y 2,0 m/s.

Entra la 6ta y la 7ma Avenida se observa una franja Norte-Sur similar a la de la creciente centenaria con profundidades de hasta 1,00 m y velocidades entre 1,0 y 2,0 m/s. Se verifica que provienen del desbordamiento del canal de concreto en el Parque Nacional El Ávila, pero se manifiesta con profundidades y velocidades más altas que sus adyacencias debido a

que se trata del cauce de la Quebrada Lamedero, perteneciente a la subcuenca Sebucán, que se hace evidente debido a la aplicación de la lluvia sobre la cuenca.

Los resultados del modelo indican que el volumen total del hidrograma principal de entrada mas lluvia es de 1,67 millones de m^3, de los cuales 1,50 millones de m^3 corresponden a agua y 171.000 m^3 a sedimentos.

El área inundada no es detectable con los resultados del modelo ya que por efectos de la lluvia, todas las celdas se afectan.

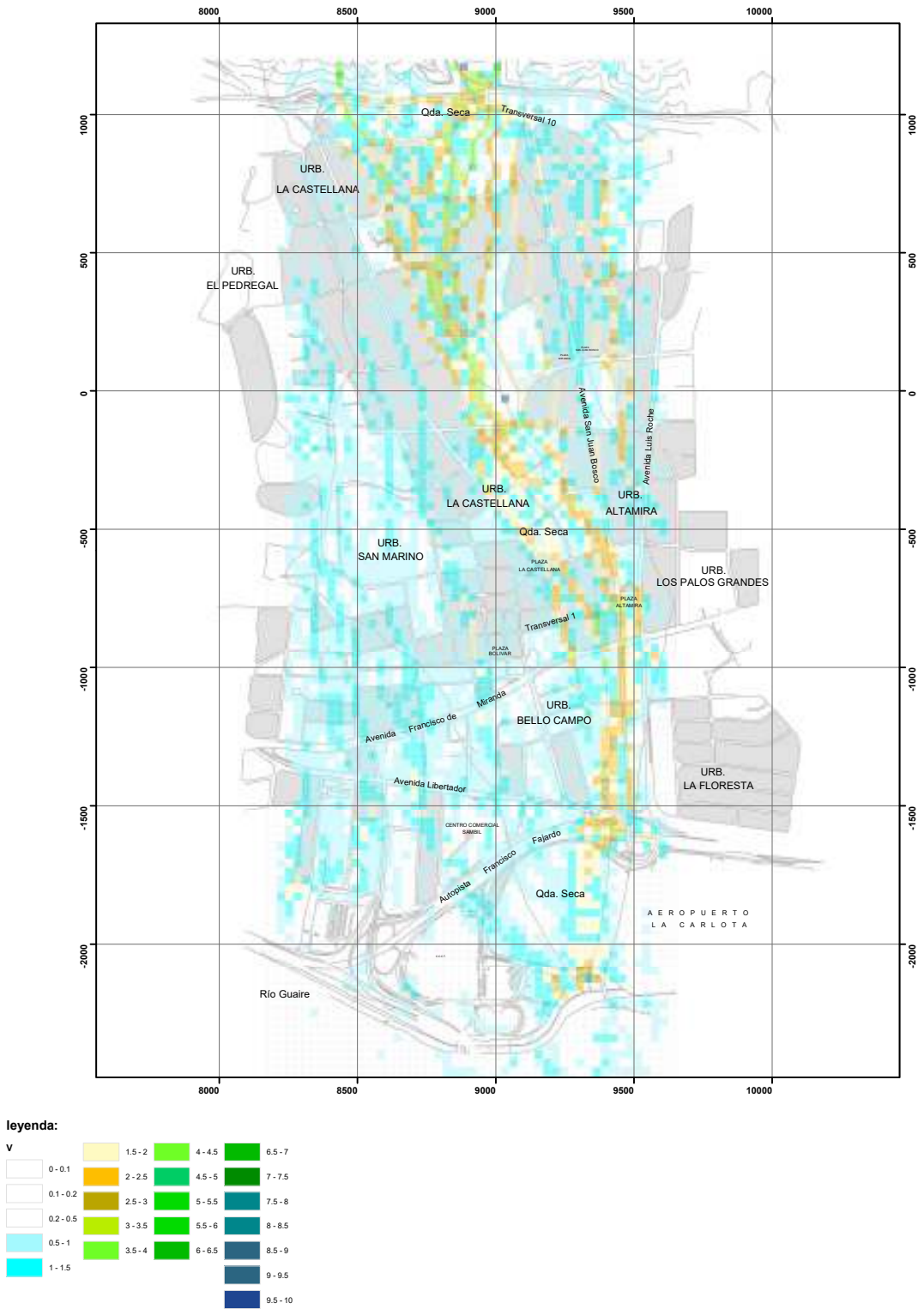


leyenda:

D

0.0000 - 0.1500	1.501 - 2.000	4.501 - 5.000	7.501 - 8.000
0.1501 - 0.2000	2.001 - 2.500	5.001 - 5.500	8.001 - 8.500
0.2001 - 0.5000	2.501 - 3.000	5.501 - 6.000	8.501 - 9.000
0.5001 - 1.000	3.001 - 3.500	6.001 - 6.500	9.001 - 9.500
1.001 - 1.500	3.501 - 4.000	6.501 - 7.000	9.501 - 10.00
	4.001 - 4.500	7.001 - 7.500	10.01 - 1000

Figura 11.36. Quebrada Seca y afluentes. Profundidades Máximas para Tr=500 años.



leyenda:

v

0 - 0.1	1.5 - 2	4 - 4.5	6.5 - 7
0.1 - 0.2	2 - 2.5	4.5 - 5	7 - 7.5
0.2 - 0.5	2.5 - 3	5 - 5.5	7.5 - 8
0.5 - 1	3 - 3.5	5.5 - 6	8 - 8.5
1 - 1.5	3.5 - 4	6 - 6.5	8.5 - 9
			9 - 9.5
			9.5 - 10

Figura 11.37. Quebrada Seca y afluentes. Velocidades Máximas para Tr=500 años

11.4 Mapa de Amenaza

En el mapa de amenaza resultante de las simulaciones (Figura 11.38), se observan en primer término como zonas de alto grado de amenaza los cauces de las quebradas y sus márgenes.

En la zona adyacente al Parque Nacional El Ávila, la alta amenaza se extiende entre los cauces de Quebrada Seca y Quebrada Quintero, los cuales al unirse en un único cauce, mantienen una zona de amenaza alta sobre la Avenida Boyacá y luego sobre la 10ma transversal de Altamira debido al agua que pasa a través del acceso al Puesto de guardaparques Sabas Nieves. Desde este punto continúa a través de la calle hacia la 2da Avenida, donde la circulación es en dirección Norte-Sur, hasta interceptar a la 7ma transversal.

Entre la 7ma y 8va transversal, Quebrada Seca y la Quebrada Blandín se encuentran a muy poca distancia una de la otra, a unos 90 m en promedio, uniéndose ambas zonas de amenaza alta de sus márgenes y quedando la 2da Avenida entre ellas.

Desde la 7ma transversal, las quebradas se encuentran embauladas y la zona de amenaza alta que se observa hacia el sureste no corresponde al cauce sino que se produce por el desbordamiento de ambas quebradas aguas arriba de este sector. El flujo corre superficial a través de calles y parcelas, llega a la Plaza Altamira y baja por las Avenidas Luis Roche y San Juan Bosco hasta la Avenida José Félix Sosa., determinando áreas de amenaza mas o menos cercanas al curso real de la quebrada Es importante destacar que la Estación Altamira del Metro de Caracas, se ve afectada por esta inundación.

Otra zona de amenaza alta muy circunscrita es la que se produce a partir del desbordamiento de Quebrada Seca en la 1ra transversal de Altamira, en el Edificio Mónaco y que se extiende hasta la Avenida Francisco de Miranda, originando a sus alrededores zonas de amenaza media. A partir de la Avenida José Félix Sosa, la zona de amenaza alta continúa hacia el Sur por la prolongación de la Avenida San Juan Bosco (Avenida Sur de Altamira) y vuelve a ubicarse sobre el cauce de la quebrada hasta las intercepciones de ésta con la Avenida Libertador y la Autopista Francisco Fajardo.

En un punto bajo del Distribuidor Altamira, se encuentra la entrada de la alcantarilla que atraviesa la Autopista Francisco Fajardo y el Aeródromo Francisco de Miranda, produciéndose una zona de amenaza alta, que se extiende hacia ambos lados de la Autopista y hacia el aeródromo. En este último, las profundidades máximas alcanzadas producen una amenaza alta en una franja Norte-Sur, pero se estima que influye en alta medida la pendiente baja de la zona que permite acumulación de agua cuando se aplica la lluvia sobre la cuenca, ya que en el modelaje sin aplicación de lluvia, las profundidades máximas producirían una amenaza media a baja. Sin embargo, es recomendable ser conservador, pues se trata de una importante vía de escape. Existen otras áreas puntuales de amenaza alta en la Avenida San Felipe, la 6ta Avenida y la Principal de La Castellana.

Las zonas de amenaza media y baja rodean las de amenaza alta. En la margen izquierda de Quebrada Seca se verifica una zona de amenaza media representada por las Avenidas 3ra, 4ta, 6ta y 7ma de Altamira las cuales tienen dirección Norte-Sur y se encuentran afectadas entre las transversales 2da y 10ma. A la misma altura, en la Quebrada Blandín, aparece alrededor del cauce una zona de amenaza media. Entre ambos cauces, entre la Avenida Boyacá y la 7ma transversal, la zona presenta una amenaza media debido a la imposibilidad de movilización o escape al encontrarse una persona dentro de ella, pero una relativa seguridad dentro de sus viviendas de acuerdo a las profundidades y velocidades máximas obtenidas con el modelaje. Entre la 8va y 7ma transversal de Altamira, la amenaza originada tanto por Quebrada Seca como Blandín, se unen afectando las dos manzanas que cierran con la 3ra Avenida y la Avenida San Felipe. Dentro de esta área se encuentra la 2da Avenida, la cual se encuentra en alta amenaza y no debe ser transitada en casos de inundación.

Se destacan otras avenidas que se encuentran en amenaza media. Estas avenidas, además de las mencionadas previamente, son La San Felipe, La Principal de la Castellana, La San Juan Bosco, Luis Roche y La Boyacá, entre las alcantarillas de las Quebradas Seca y Blandín.

Otras zonas de amenaza media observadas son una franja estrecha entre la Avenida Libertador y la 5ta transversal que se forma a partir de la Avenida principal de La Castellana y se desvía hacia el Sur franco en la 5ta transversal, la zona sur de la Plaza Altamira, el área entre las Avenida Tropical y Santa Ana en la Urbanización La Floresta continuando esta franja hacia el Sur sobre la Autopista Francisco Fajardo y el Aeródromo Francisco de Miranda, alrededor de la zona de amenaza alta.

Es importante destacar que las clínicas importantes que se encuentran dentro de la cuenca, La Floresta y Ávila, se encuentran fuera de las áreas amenazadas.

Las áreas de amenaza baja se encuentran dispersas y alrededor de algunas zonas de amenaza media y alta.

El mapa de amenaza final rectificado se presenta en la Fig. 11.39

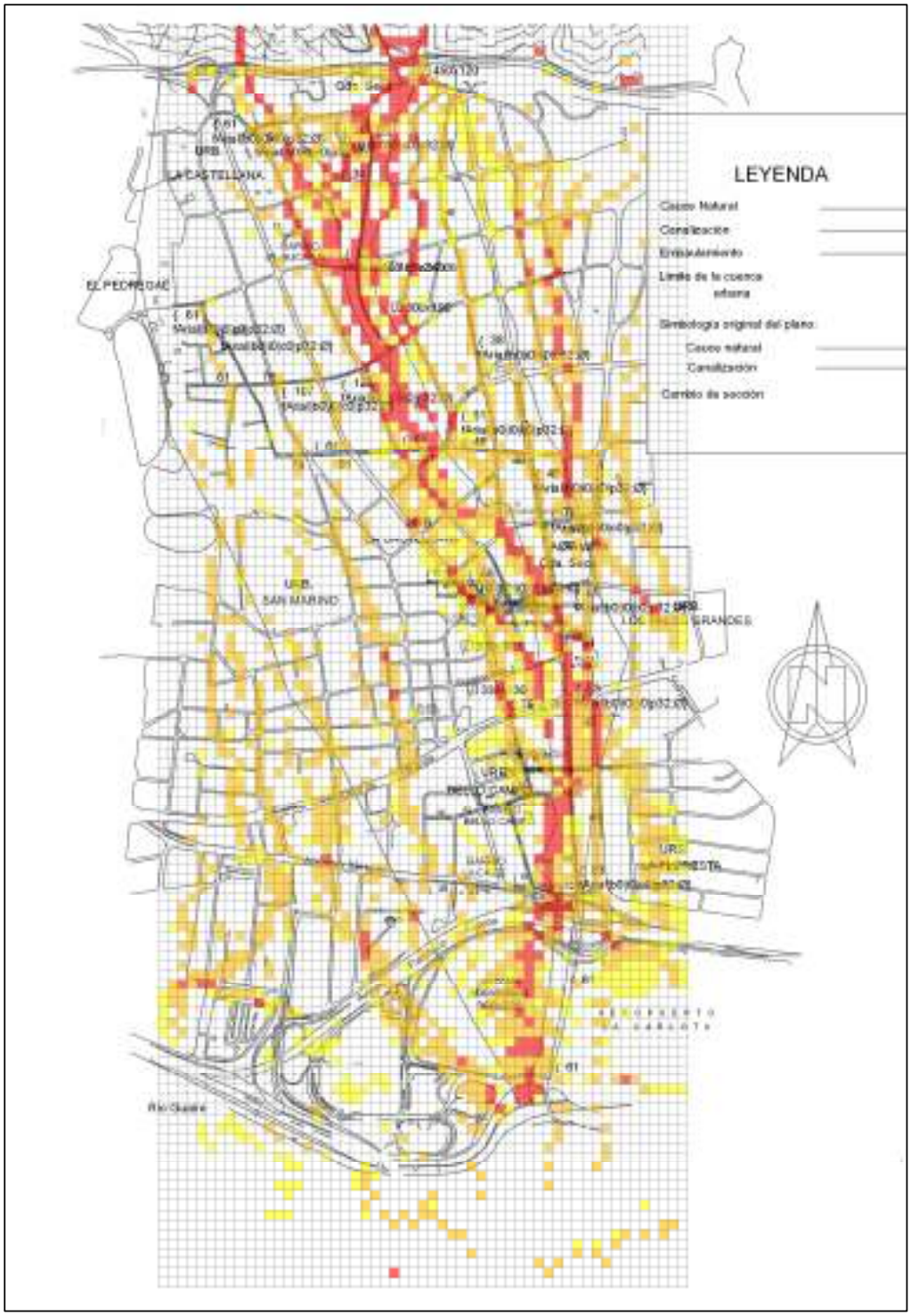


Figura 11.38. Quebrada Seca. Mapa de Amenaza resultado de las simulaciones

Figura 11.39 Quebrada Seca. Mapa de amenaza rectificado.

12 ESTUDIO DE LA QUEBRADA SEBUCÁN

12.1 Características del Área

12.1.1 Ubicación geográfica

La cuenca de la Quebrada Sebucán está ubicada en la Vertiente Sur del macizo El Ávila, al este de Quebrada Seca y al oeste de la Quebrada Agua de Maíz, como se observa en la Figura 12.1. Fluye en dirección norte-sur hasta descargar en el río Guaire. Presenta cuatro afluentes de los cuales el más importante es la Quebrada Pajaritos la cual confluye por la margen derecha. Las otras quebradas afluentes son Palos Grandes, Lamedero también conocida como Palomar y La Pedrera. La cuenca pertenece a los Municipios Chacao y Sucre del Distrito Capital y la quebrada constituye el lindero entre ellos.

Figura 12.1 Sebucán. Ubicación de la subcuenca

12.1.2 Información disponible

12.1.2.1 Información cartográfica y fotográfica

De la información cartográfica señalada para el estudio se utilizaron específicamente:

- Planos aereofotogramétricos digitales procesados por la empresa Estereofoto C.A., a escala 1:5.000, año 2.000, hojas Nº 8 y 15.
- Cartas a escala 1:25.000 del año 1.975, hojas 6847-IV-SE y 6847-III-NE.

Por otra parte, se dispuso de fotografías aéreas en formato digital y en papel fotográfico y sus respectivos mosaicos en formato digital; esta información se indica en la Tabla 12.1

Año	Misión	Fotos	Formato	Escala original
1.936	Sin Código	391, 393, 395, 397, 580, 582, 584	Papel Fotográfico	Desconocida
Febrero 1.994	0304185	0036	Digital	1:25.000

Tabla 12.1. Sebucán. Fotos aéreas disponibles para la subcuenca Sebucán

Existe además una información fotográfica anterior sobre la Quebrada, proveniente de visitas de campo realizadas en el marco del Proyecto Ávila en Enero 2002.

12.1.2.2 Información hidrológica

La información proviene del estudio hidrológico de la cuenca realizado en el marco del presente Proyecto.

12.1.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica

De la información señalada para el Proyecto, se utilizaron:

- Planos de construcción del Metro de Caracas, de 1.975, Contrato CP002, Planta y Perfil, progresivas 24+750 a 26+150.

- Planos de construcción del Metro de Caracas, de 1.975, Contrato CP002, Reubicación de los Servicios Públicos. Reconstrucción de Cloacas, Láminas SP-214, 215, 216, 217, 218, 219 y 220

Otros planos sobre infraestructura existente fueron recopilados de distintas instituciones públicas y utilizados en el estudio de las quebradas. Estos planos se muestran en la Tabla 12.2 a continuación.

Origen	Nombre	Hoja	Escala	Año de elaboración	Descripción
Hidrocapital	Sistema Metropolitano de Caracas (mixtos)	G - 31	1:1000	2000	Planta
Hidrocapital	Sistema Metropolitano de Caracas (mixtos)	H - 31	1:1000	2000	Planta
Hidrocapital	Sistema Metropolitano de Caracas (mixtos)	J - 31	1:1000	2000	Planta
Hidrocapital	Sistema Metropolitano de Caracas (mixtos)	J - 31	1:1000	2000	Planta
Hidrocapital	Sistema Metropolitano de Caracas (mixtos)	46	1:1000	2000	Planta
Alcaldía de Chacao	Recolección de aguas de lluvia	27	1:5000	1995	Planta
Ministerio de Obras Públicas	Avenida Cota Mil Drenajes	10	1:500	1966	Planta
Ministerio de Obras Públicas	Avenida Cota Mil Drenajes	16	1:500	1966	Planta
Ministerio de Obras Públicas	Avenida Cota Mil Drenajes	17	1:500	1966	Planta
Ministerio de Obras Públicas	Avenida Cota Mil Drenajes	15	1:500	1966	Planta

Tabla 12.2. Sebucán. Planos de infraestructura hidráulica recopilados.

12.1.2.4 Estudios previos

La Quebrada Sebucán ha sido incluida en estudios elaborados por las siguientes instituciones y señalados anteriormente:

- I.G.N.S.B, 2002
- B.P.P., 1.992
- C.G.R. Ingeniería, 2001

En el "Diagnóstico y Rehabilitación de las Cloacas de Caracas", BPP Ingenieros Consultores, S.A., 1.992, se dispone de un diagnóstico de las cloacas de Caracas, en el cual fue evaluado el sistema de recolección de aguas de lluvia y cloacas en el cono de deyección de las Quebradas Sebucán, Pajaritos y Palos Grandes.

Según este diagnóstico, para la época, la Quebrada Pajaritos, salvo los pasos de vía, conserva su cauce natural en todo su recorrido hasta su descarga en la Quebrada Sebucán. La Quebrada Palos Grandes está embaulada en gran parte por los usuarios para aprovechar el terreno como área verde o estacionamiento y la Quebrada Sebucán, conserva su cauce natural desde la Cota Mil hasta la 1_{era} transversal de los Palos Grandes, a excepción de los pasos de vía. Desde aquí y hasta la avenida Francisco de Miranda está embaulada, para luego volver a su cauce natural hasta la autopista Francisco Fajardo. En el tramo comprendido entre la autopista y su desembocadura en el río Guaire, se encuentra embaulada.

Existe un sistema de recolección de aguas negras, calculado como sistema separado. Dicho sistema conduce las aguas residuales de la hoya hacia el marginal izquierdo del río Guaire, a través del colector marginal derecho de Pajaritos y el colector marginal izquierdo de Sebucán. Asimismo, existe un sistema de aguas pluviales que conduce dichas aguas a la quebrada, a excepción de la urbanización Los Palos Grandes la cual fue concebida en su origen como un parcelamiento rural careciendo de dicho servicio.

Los resultados del diagnóstico efectuado señalan:

- Por el embaulamiento entre el río Guaire y la Autopista Francisco Fajardo, están circulando la totalidad de aguas servidas y aguas de lluvia del sistema, sin posibilidad de empotrar las primeras al marginal izquierdo del río Guaire.
- En el tramo comprendido entre la autopista y la avenida Francisco de Miranda, fluyen aguas de lluvia y todas las aguas servidas de la hoya debido a la obstrucción o rotura de los marginales.
- En la Quebrada Pajaritos, en el tramo que atraviesa la avenida Francisco de Miranda hasta la Cota Mil, se detectó la presencia de aguas servidas no previstas en el proyecto de cloacas de Los Palos Grandes.
- En la Quebrada Sebucán, desde la 5_{ta} transversal hacia aguas abajo, está circulando gran cantidad de aguas servidas, lo cual es indicio de que el colector general de la zona que se convierte luego en marginal, está obstruido o roto. Asimismo, se observan sumideros y aliviaderos tapados por falta de mantenimiento.

Las obras hidráulicas de conducción que existían eran las siguientes:

- Según este estudio, entre la desembocadura y la autopista Francisco Fajardo: embaulamiento con bóveda tipo ARMCO Multi-plate de hierro galvanizado de 2,50m de ancho base y unos 2,0 m de altura. Este embaulamiento fue recientemente sustituido por dos cajones de concreto armado.
- Quebrada Pajaritos entre la avenida Francisco de Miranda y la 1_{ra} transversal de los Palos Grandes: cajón de concreto armado de 2,20 m de ancho y 1,50 m de altura.
- Quebrada Sebucán entre la confluencia con la Quebrada Pajaritos y la 2_{da} transversal de Santa Eduvigis: cajón de concreto armado de 2,20 m de ancho y 1,80 m de altura.
- La Quebrada Palos Grandes se encuentra embaulada en casi la totalidad de su recorrido, teniendo diversas secciones y tamaños.
- Tanto la Quebrada Sebucán como Pajaritos presentan tramos donde los vecinos han ejecutado embaulamientos por su cuenta.
- Colector marginal derecho de la Quebrada Pajaritos: tubería de concreto de 0,61 m (24") de diámetro.
- Colector marginal izquierdo de la Quebrada Sebucán: tubería de concreto de 0,61 m (24") de diámetro.
- Colector marginal de la Quebrada Palos Grandes: tubería de concreto de 0,38 m (15") de diámetro.

Adicionalmente a la información anterior, se utilizó la proveniente del Diagnóstico de Recolección de Aguas Servidas y Aguas de Lluvia, en la zona correspondiente a la Alcaldía de Chacao, elaborada por el Ing. Francois Courtel en julio 1.995. Para su elaboración se recopiló información en los archivos de Hidrocapital utilizando planos de catastro antiguos.

Según este estudio, "los colectores de cloacas de Los Palos Grandes y La Floresta son afluentes del colector R, marginal de la Quebrada Sebucán, el cual atraviesa en principio La Carlota con 61 cm. para empotrarse en el Marginal Izquierdo del Guaire (MIG)."

"Un colector marginal a la Quebrada Sebucán está destinado a evitar descargas directas de aguas servidas a los cursos de agua. En inspecciones de campo se constató la contaminación de la quebrada y el colector marginal al parecer está roto a la altura de la autopista del Este y descarga directamente en la quebrada."

También acota que un colector de la avenida Francisco de Miranda, a nivel de Los Palos Grandes, tiene problema de capacidad.

La sección abovedada del embaulamiento de la Quebrada Sebucán que pasa por debajo del aeropuerto La Carlota, tiene dimensiones 4,27 m x 2,67 m, según este estudio. Dice: "En ocasión de una crecida en 1.994 el abovedado de la Quebrada Sebucán ha cedido antes del paso por debajo de la autopista, inundándose ésta. Después de una reparación de fortuna este sitio sigue presentando malas condiciones, con obstrucción al paso del agua."

En este estudio se estimó la capacidad de este tramo de cruce con la autopista, en 29 m^3/s que al compararla con el estudio hidrológico para una frecuencia de 50 años (Qmax = 73 m^3/s), resultó insuficiente.

Igualmente, se contó con el material facilitado por el Instituto de Protección Civil de Chacao, "Informe sobre Gestión de Riesgo Municipio Autónomo Chacao, diciembre 2.001", donde se presenta un registro fotográfico e información de las inspecciones realizadas en las quebradas que conforman la subcuenca al 30 de noviembre de 2.001.

12.1.3 Hidrografía

La Quebrada Sebucán se encuentra ubicada entre la Quebrada Seca y la Quebrada Agua de Maíz. La cuenca se extiende desde el Pico Occidental en El parque Nacional El Ávila (2.600 m.s.n.m.) hasta el Río Guaire (835 m.s.n.m.), con una extensión aproximada de 6,26 km^2. El cono de deyección de la Quebrada Sebucán se sitúa entre la Avenida Boyacá, también conocida como Cota Mil, y su desembocadura en el río Guaire. Es un cono de deyección largo y ancho debido a los numerosos afluentes que tiene la Quebrada Sebucán.

Dentro de su cono de deyección se encuentran las urbanizaciones Santa María, Los Palos Grandes, Santa Eduvigis, parte de Parque Sebucán y La Floresta. A nivel de la 4_{ta} transversal de Los Palos Grandes, recibe aporte de la Quebrada Palos Grandes, que también nace en el Ávila. Otro afluente y de mucha importancia es la Quebrada Pajaritos, la cual nace igualmente en el Parque Nacional El Ávila, atraviesa la urbanización Los Palos Grandes y parte de la urbanización Altamira. Cruza la avenida Francisco de Miranda y descarga en la Quebrada Sebucán en la urbanización La Floresta aguas abajo del Colegio Santiago de León de Caracas. Aguas abajo de este punto, bordea el lindero Este de la Urbanización La Floresta con el nombre de Quebrada Sebucán, y atraviesa la Autopista Francisco Fajardo, el aeródromo Francisco de Miranda y descarga en el río Guaire. A nivel de la 4_{ta} transversal de Altamira, la quebrada Lamedero descarga en la Quebrada Pajaritos y a nivel de la 9_{na} transversal, la Quebrada Palomar descarga en Lamedero. La zona alta de estas cuencas, ubicada dentro del Parque Nacional El Ávila no presenta intervención humana. En la zona baja, es decir, en el cono de deyección, se observan zonas densamente pobladas e intervenidas. Las características principales de la Quebrada Sebucán y su afluente Pajaritos, se presentan en la Tabla 12.3.

La Figura 12.2 presenta el perfil longitudinal del cauce principal tanto de la Quebrada Pajaritos como Sebucán, desde su nacimiento hasta su descarga en el Río Guaire. Para su elaboración, se utilizó la carta a escala 1:25.000 para la zona alta de la cuenca (vegetada, aguas arriba de la Avenida Boyacá) y el plano en formato digital a escala 1:5.000, para la zona urbanizada, aguas abajo de la Avenida. No se muestran los perfiles de las otras quebradas afluentes

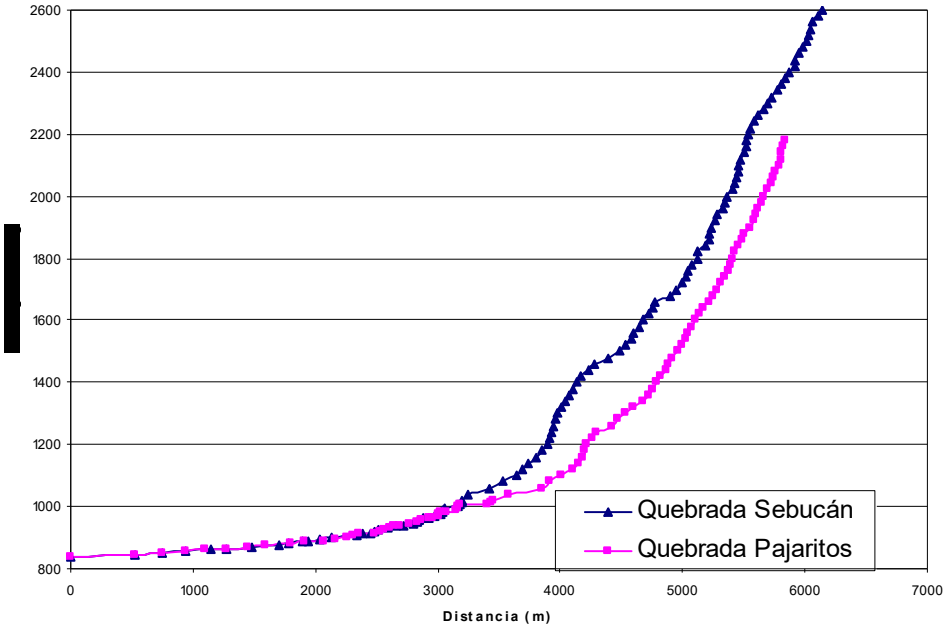


Figura 12.2 Sebucán-Pajaritos. Perfil longitudinal

Área de la cuenca Sebucán-Pajaritos (km^2)	Vegetada: 1,88 (Sebucán) 1,61 (Pajaritos) (56%)	Total:6,26
	Urbana: 2,77 (44%)	
Longitud del cauce principal, Quebrada Sebucán (km)	En área extra-urbana: 2,63 (43%)	Total: 6,14
	En área urbana: 3,51 (57%)	
Longitud del cauce principal, Quebrada Pajaritos (km)	En área extra-urbana: 2,09 (36%)	Total: 5,84
	En área urbana: 3,75 (64%)	
Cotas (m.s.n.m.)	Superior: 2.600	
	Inferior (confluencia con el río Guaire): 840	
Pendiente del cauce Qda. Sebucán (%)	En área extra-urbana: 55	Promedio:43
	En área urbana: 7	
Pendiente del cauce Qda. Pajaritos (%)	En área extra-urbana: 53	Promedio:29
	En área urbana: 7	

Tabla 12.3 Sebucán. Características de la subcuenca

Los hidrogramas de caudal líquido en ambas quebradas, para 10, 100 y 500 años de período de retorno, a la altura de la avenida Boyacá estimados en el estudio hidrológico se presentan gráficamente en las Figuras 12.3 y 12.4, mientras la Tabla 12.4 muestra los valores de los caudales máximos para diferentes períodos de retorno.

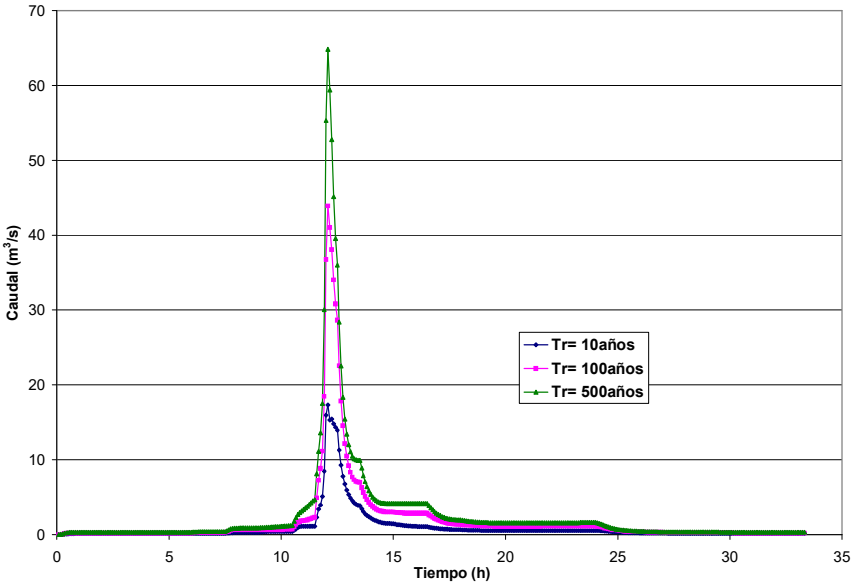


Figura 12.3 Sebucán. Hidrogramas de caudal líquido en la Avenida Boyacá para diferentes períodos de retorno.

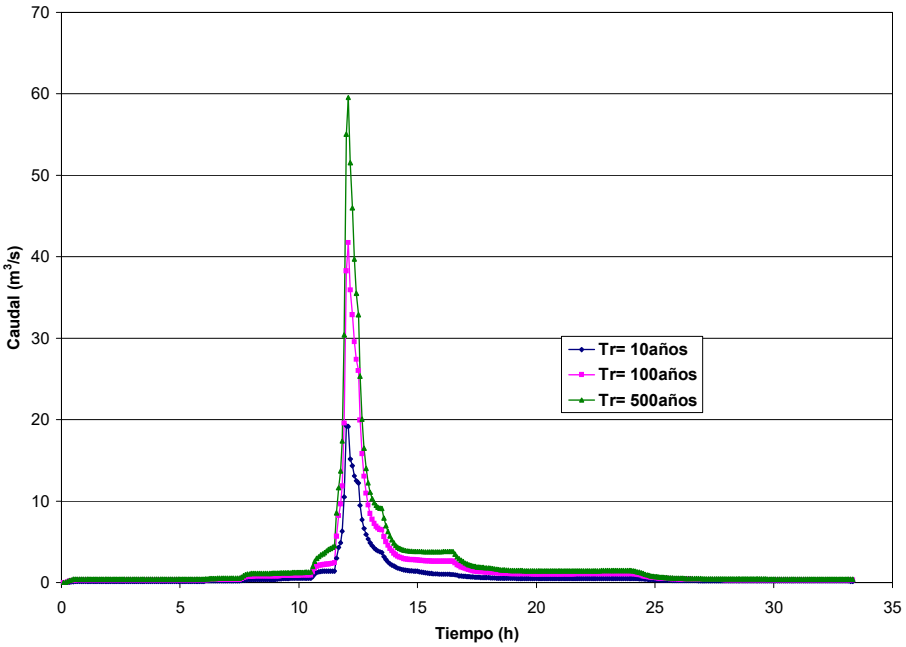


Figura 12.4 Pajaritos. Hidrogramas de caudal líquido en la Avenida Boyacá para diferentes períodos de retorno.

QUEBRADA	Caudal máximo (m^3/s)		
	Tr = 10 años	**Tr = 100 años**	**Tr = 500 años**
SEBUCAN	20,69	52,57	77,69
PALOS GRANDES	3,31	7,12	9,54
PAJARITOS	19,27	41,74	59,54
LAMEDERO	5,32	11,46	15,38
PEDRERA	2,22	4,77	6,40

Tabla 12.4 Quebradas Sebucán-Pajaritos. Caudales máximos

12.1.4 Usos del suelo

La subcuenca presenta dos zonas bien diferenciadas, separadas por la Avenida Boyacá (Cota Mil): una zona alta vegetada perteneciente al Parque Nacional El Ávila, al Norte de la Avenida y otra urbana, ubicada al Sur.

La zona urbana es exclusivamente residencial. Desde la Cota Mil, al este del distribuidor Altamira, esta quebrada atraviesa la urbanización Santa María y parte de Parque Sebucán, dirigiéndose hacia el sur a través de las urbanizaciones Los Palos Grandes y Santa Eduvigis, sirviendo de lindero entre ambas. Cruza la avenida Francisco de Miranda, y la Línea 1 del Metro de Caracas. Bordea el estacionamiento del Parque Rómulo Betancourt (Parque del Este) y en este punto recibe el aporte de la Quebrada Pajaritos cuya área de influencia abarca las urbanizaciones Altamira y Los Palos Grandes. Continúa entre el Parque del Este y la urbanización La Floresta, bordeando esta última, y al final cruza una pequeña área de desarrollos no controlados al sur de la urbanización La Floresta, el Sector Popular San José, hasta llegar a la autopista Francisco Fajardo, la cual atraviesa, y también al aeródromo Francisco de Miranda, conocido como aeropuerto La Carlota, para desembocar luego en el Río Guaire. A la altura de la 4ta transversal de la urbanización Los Palos Grandes confluye a ella desde el noroeste la Quebrada Palos Grandes.

Según se informa en el diario El Nacional del día 30 de abril de 2.002, la Alcaldía Metropolitana ha aclarado que no se encarga del mantenimiento de las quebradas, pero sí pueden colaborar en los planes de emergencia que deban ejecutarse al momento de una tragedia. Por otra parte Protección Civil (antigua Defensa Civil) tiene ahora la misión de coordinar a los departamentos regionales y educar a las comunidades para que sepan cómo actuar en caso de desastre. En este sentido, las sedes de Protección Civil se han encargado de elaborar mapas de riesgo y de preparar a quienes habitan en sitios peligrosos.

El mismo artículo señala que el director nacional de Protección Civil, Guillermo Garroz, anunció que las alcaldías de todo el país deben tener listo su mapa de riesgo y deben haber planificado medidas de contingencia. Anunció Garroz en el mismo artículo, "si llega a suceder un acontecimiento grave en Caracas, los puntos de refugios estarán ubicados en el Museo del Transporte, La Carlota y las estaciones del Metro de Caracas".

En Chacao, alcaldía a la cual pertenecen estas quebradas, la directora de Protección Civil de la jurisdicción, Ludmila González, declaró que "se han elaborado mapas de amenazas hidrometeorológicas, en los cuales se identifican 27 puntos críticos de inundación pluvial, 4 zonas de desborde potencial, por el posible cambio de dirección de los cauces de las quebradas, y 7 áreas de inundación, si se desborda el río Guaire. Igualmente se tiene un registro de las quebradas de alto y mediano riesgo por urbanizaciones, documento en el que se enumeran las comunidades que se verían afectadas por su cercanía a los cauces."

Los puntos de interés que se observan dentro del cono de deyección son:

- Parque Rómulo Gallegos (Parque del Este).
- Estación Parque del Este del Metro de Caracas.
- Aeródromo Francisco de Miranda (La Carlota).

En su recorrido atraviesa las siguientes vías importantes:

- Avenida Boyacá (Cota Mil).
- Avenida Francisco de Miranda.
- Autopista Francisco Fajardo.

Aguas abajo de la Avenida Boyacá, sobre la Avenida Principal de la urbanización Santa María, se encuentra la Estación de Bombeo Sebucán de Hidrocapital.

12.2 Red de drenaje pluvial

12.2.1 Características de la red de drenaje

La Quebrada Sebucán constituye el colector principal de la red de drenaje de las urbanizaciones que atraviesa. Existe un sistema de aguas pluviales que conduce dichas aguas a la quebrada, a excepción de la urbanización Los Palos Grandes la cual fue concebida en su origen como un parcelamiento rural careciendo de dicho servicio.

Existe, asimismo, un sistema de recolección de aguas servidas, calculado como sistema separado. Dicho sistema conduce las aguas residuales de la hoya hacia el marginal izquierdo del río Guaire, a través del colector marginal derecho de Pajaritos y el colector marginal izquierdo de Sebucán. Un esquema de la red drenaje se presenta en la Figura 12.5.

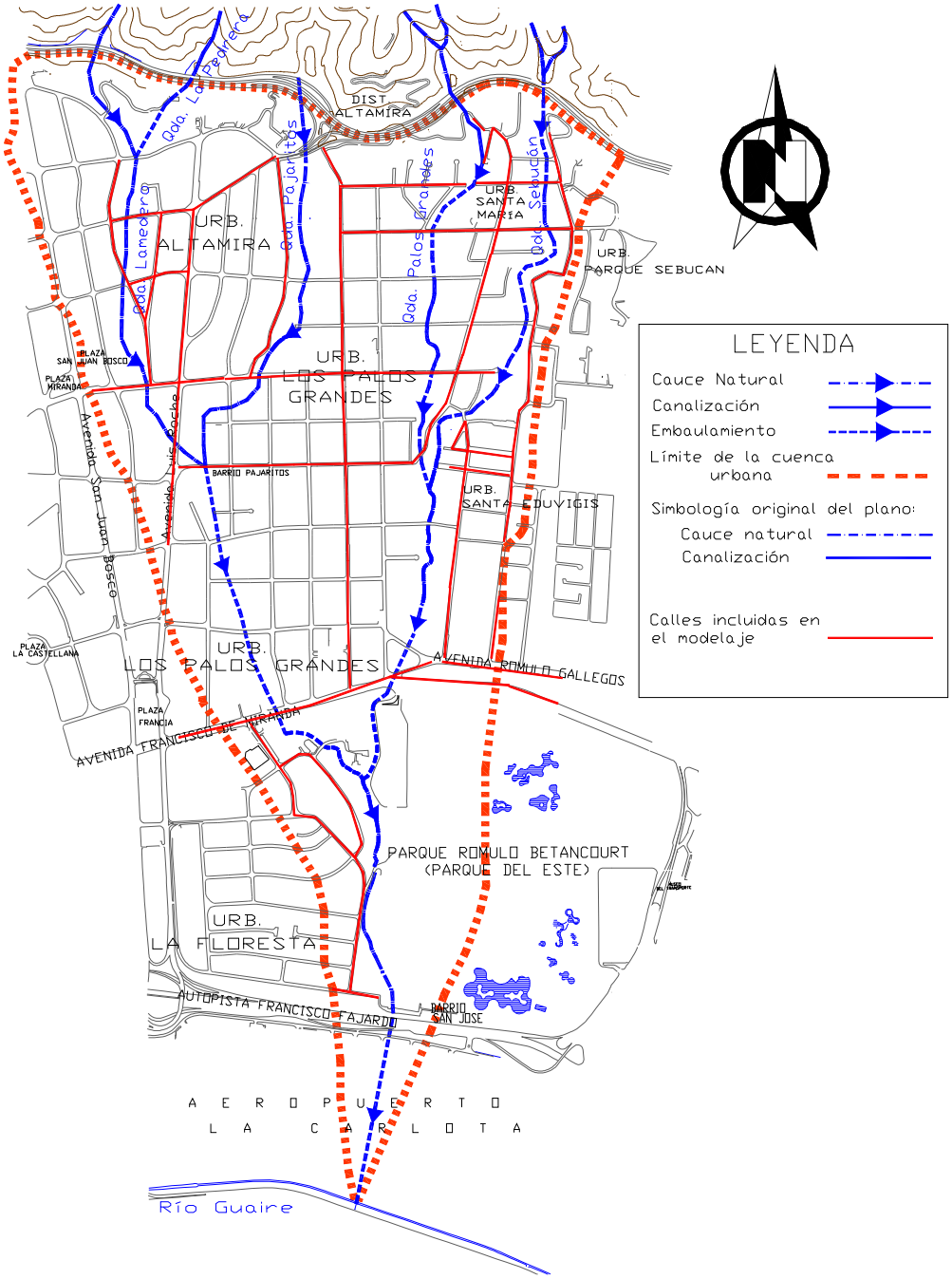


Figura 12.5 Sebucán. Esquema de la red de drenaje

La Quebrada Sebucán se encuentra en gran parte de su trayectoria desde el cruce de la Avenida Boyacá hasta unos 50 m aguas arriba de la 1_{era} transversal de Los Palos Grandes, en estado natural. Luego de atravesar la avenida Francisco de Miranda embaulada, vuelve a su cauce natural hasta ser embaulada nuevamente al llegar a la autopista Francisco Fajardo y atravesar el aeropuerto La Carlota y desembocar en el río Guaire. Por otra parte, según el informe de inspección del Instituto de Protección Civil, 2.001, la Quebrada Pajaritos se encuentra embaulada y en su cauce natural alternadamente por tramos, entre la Avenida Boyacá y el Barrio Pajaritos. Desde aquí hasta su descarga en la Quebrada Sebucán, se encuentra embaulada.

La Quebrada Palos Grandes en algunos tramos ha sido confinada por los muros laterales de las viviendas por donde pasa y ha sido embaulada en otros.

Las características de los distintos tramos de la Quebrada Sebucán se describen a continuación.

- **Tramo 1: Paso de Avenida Boyacá**

La Quebrada Sebucán cruza la Avenida Boyacá o Cota Mil, con una alcantarilla de entrada deprimida y lados convergentes. Es un cajón cuya sección de entrada tiene 3,70 m de ancho base y 2,65 m de altura, (ver Figura 12.6), continuando con una transición de unos 17,5 m de longitud a una sección más reducida de 2,70 m de ancho y 2,00 m de altura (ver Figura 12.7). La alcantarilla tiene una longitud de aproximadamente 80,0 m y en la salida se aprecia una tubería de drenaje de la Cota Mil de 61 cm de diámetro. Se observan además en el cauce, gran cantidad de rocas de tamaño medio, entre 0,40 y 0,50 m.

Figura 12.6 Sebucán. Alcantarilla que atraviesa la Avenida Boyacá. Sección de entrada, vista hacia aguas abajo.

Figura 12.7 Sebucán. Alcantarilla que atraviesa la Avenida Boyacá. Sección de salida, vista hacia aguas arriba.

- **Tramo 2: Avenida Boyacá – Avenida Principal Urb. Santa María**

La quebrada continúa hacia el sur bordeando la Avenida Principal de la urbanización Santa María Norte con un tramo de unos 60 m de longitud en sección natural, donde se observaron rocas de gran tamaño acomodadas en el talud en forma decorativa, tal como se aprecia en la Figura 12.8. Se estima una sección de 3,5 m de ancho y 4,0 m de altura. En la acera Este de esta avenida, se encuentra ubicada la Estación de Bombeo Sebucán de Hidrocapital.

- **Tramo 3: Avenida Principal Urb. Santa María – 11_{va} transversal, Urb. Santa María**

A continuación la quebrada está embaulada, con un cajón de 2,20 de ancho y 3,20 m de altura por un tramo de aproximadamente 125 m. Es importante acotar que el fondo de la quebrada se encuentra ubicado a unos 4,0 m por debajo del nivel de la calle. Este cajón se extiende hasta aguas arriba de la transversal 11.

- **Tramo 4: 11_{va} transversal, Urb. Santa María**

La quebrada atraviesa un condominio de viviendas humildes, hasta llegar a la 11_{va} transversal, donde se encuentra canalizada y tapada en prácticamente toda su extensión por la losa de piso de las viviendas. En este tramo de aproximadamente 60,0 m, la sección del canal es 2,70 m de ancho y 2,00 m de altura.

Figura 12.8 Sebucán. Rocas en el talud de la Quebrada Sebucán acomodadas con fines decorativos.

- **Tramo 5: 11_{va} – 9_{na} transversal (Avenida Los Chorros), Urb. Santa María**

La quebrada se encuentra embaulada con una sección rectangular de concreto que se estimó igual a 2,7 x 2,0 m, hasta 40 m aguas arriba de la 9_{na} transversal.

- **Tramo 6: Aguas arriba de la 9_{na} transversal (Avenida Los Chorros), Urb. Santa María**

En este tramo, la quebrada se encuentra en sección natural con sus márgenes confinada por los muros laterales de las viviendas vecinas, tal como se muestra en la Figura 12.9. Se estima una sección de 4,0 m de ancho y 5,0 m de altura aproximadamente. Este tramo tiene una longitud aproximada de 40,0 m.

- **Tramo 7: Paso de 9_{na} transversal (Avenida Los Chorros)**

La 9_{na} transversal, también es conocida como Avenida Los Chorros. La sección del embaulamiento para atravesar esa avenida fue medida durante una visita de campo y resultó una sección en la entrada de mampostería con el techo abovedado que variaba a una sección rectangular de concreto de menor dimensión, de 3,30m de ancho y 1,70 m de altura. Estas secciones se aprecian en las Figuras 12.10, 12.11 y 12.12.

- **Tramo 8: 9_{na} – 7_{ma} transversal**

Entre la 9_{na} y 7_{ma} transversal de la urbanización Santa María, la sección continúa confinada en ambas márgenes por los muros laterales de las viviendas vecinas, pero el fondo está recubierto por una losa de concreto la cual se encuentra muy deteriorada. En varios puntos ocurre que el agua se infiltra por debajo de ella y aflora luego aguas abajo. En un lugar

accesible, en la mitad del tramo, se midió una sección y resultó de unos 3,50 m de ancho y altura variable. El fondo se encontró a 4,30 m por debajo del nivel de piso de la casa (ver Figura 12.13). La longitud de este tramo se estima en 315,0 m.

En cuanto a la calidad del agua, ésta se observa clara y sin mal olor y comentan los vecinos que pueden encontrarse cangrejos entre las rocas.

Justo aguas arriba de la 7_{ma} transversal, la sección de la Quebrada Sebucán se estimó en 3,50 m de ancho y su altura variable. Dicha sección se muestra en la Figura 12.12. El fondo de la quebrada se encuentra en estado natural observándose la presencia de rocas de aproximadamente 0,20 m en su longitud más larga. Las márgenes se encuentran confinadas por los muros de las viviendas al igual que en secciones aguas arriba.

- **Tramo 9: Paso de 7_{ma} transversal**

Según inspección realizada por el Instituto de Protección Civil de Chacao, (I.P.C., 2.001), la quebrada atraviesa la calle con una tubería de metal corrugado de 2,66 m de diámetro.

Figura 12.9 Sebucán. 9_{na} transversal de Urb. Santa María. Vista desde la calle hacia aguas arriba.

- **Tramo 10: 7_{ma} transversal – Calle Municipio**

Aguas abajo de la 7_{ma} transversal, la Quebrada Sebucán se encuentra embaulada hasta la calle Municipio. En la Figura 12.15, se observa la sección del cauce en esta última calle, antes de pasar por el cajón que atraviesa la calle. En la sección aguas arriba el ancho resultó de 3,20 m al igual que la altura.

Figura 12.10 Sebucán. Alcantarilla que atraviesa la Avenida Los Chorros. Sección de entrada, vista hacia aguas abajo.

Figura 12.11 Sebucán. Alcantarilla que atraviesa la Avenida Los Chorros. Sección vista hacia aguas abajo.

Figura 12.12 Sebucán. Alcantarilla que atraviesa la Avenida Los Chorros. Sección vista hacia aguas abajo.

Figura 12.13 Sebucán. Entre la 7_{ma} y 9_{na} transversal de la Urb. Santa María.

En la 6_{ta} transversal de la urbanización Santa María se observó la sección de la Quebrada Palos Grandes, la cual se muestra en la Figura 12.17. La quebrada en este sector presenta una canalización de concreto, de sección rectangular con 2,0 m de ancho base y aproximadamente 1,8 m de altura. Las aguas de la quebrada se encuentran contaminadas por aguas residuales, lo cual se determinó por el olor y el color.

Entre la 6_{ta} transversal de la Urb. Santa María y la 4_{ta} transversal de Los Palos Grandes, la Quebrada Palos Grandes no se detectó sino al llegar a esta última, donde se observa la losa superior del cajón desde la acera, la cual midió 2,60 m de ancho. Aguas abajo de este punto la quebrada descarga en la Quebrada Sebucán.

- **Tramo 11: Calle Municipio – 5_{ta} transversal**

Aguas abajo de la Calle Municipio, la quebrada está canalizada en un tramo corto hasta aproximadamente la 5_{ta} transversal. Las dimensiones de la sección de concreto se estiman en 2,66 m de ancho y 2,50 m de altura, como se observa en la Figura 12.16.

- **Tramo 12: 5ta – 4ta transversal**

Luego pasa a su sección natural y a nivel de la 4_{ta} transversal de Santa Eduvigis, la Quebrada Sebucán se encuentra tal como se muestra en la Figura 12.18, en su cauce natural, con sus márgenes confinadas por los muros laterales de las viviendas vecinas y se observa en el fondo, una losa de concreto destruida. El agua pareciera no recibir aún los aportes de la Quebrada Palos Grandes, la cual se encuentra muy contaminada. Se estima que la sección tiene unos 6,0 m de ancho y 6,0 m de altura.

Figura 12.14 Sebucán. 7_{ma} transversal de la Urb. Santa María. Vista hacia aguas arriba.

Figura 12.15 Sebucán. Aguas arriba de la Calle Municipio en la Urb. Santa María.

Figura 12.16 Sebucán. Aguas abajo de la Calle Municipio en la Urb. Santa María.

Figura 12.17 Quebrada Palos Grandes aguas arriba de la 6_{ta} transversal de la Urb. Santa María.

Figura 12.18 Sebucán. A nivel de la 4_{ta} transversal de Santa Eduvigis.

- **Tramo 13: 4_{ta} – 3_{ra} transversal**

Continuando hacia el sur, en la Figura 12.19, se muestra la sección de la quebrada en la 3_{ra} transversal de Los Palos Grandes. Como se puede observar, la quebrada se encuentra confinada lateralmente por los muros de las viviendas vecinas, y su lecho, en estado natural. Se estima que el ancho de la sección es de unos 7,0 m y 4,0 m la altura.

En el tramo comprendido entre la 4_{ta} transversal de Santa Eduvigis y la 3_{ra} transversal de Los Palos Grandes, la Quebrada Palos Grandes descarga en la Quebrada Sebucán, pero no se detectó el punto exacto, sólo se infiere por el cambio en la calidad del agua que se observó aguas abajo de la 3_{ra} transversal de Los Palos Grandes y por la indicación en los planos.

Figura 12.19 Quebrada Sebucán aguas arriba de la 3_{ra} transversal de Los Palos Grandes.

- **Tramo 12: Paso de la 3_{ra} transversal**

Según inspección realizada por el Instituto de Protección Civil de Chacao, (I.P.C., 2.001), la quebrada atraviesa la calle con una tubería de metal corrugado de 1,50 m de diámetro.

- **Tramo 15: 3_{ra} transversal – 1_{ra} transversal, Los Palos Grandes**

Desde la 3_{ra} transversal de Los Palos Grandes hasta un punto a la altura de la 1_{ra} transversal, la quebrada se encuentra en su cauce natural con un ancho aproximado de 8,0 m y 5,0 m de altura.

Sobre la 1_{ra} Avenida de Santa Eduvigis se encuentra la Tintorería Curazao; el cauce de la quebrada pasa por la parte trasera del terreno y se encuentra muy vegetado; presenta además un muro y un relleno que obstaculizan el flujo según se aprecia en las Figuras 12.20, 12.21, 12.22 y 12.23, estas últimas, tomadas desde el piso 6 de las Residencias Imperio, ubicadas en la calle 2, calle ciega que tiene acceso por la 4_{ta} Avenida de Los Palos Grandes.

- **Tramo 16 y 17: 1_{ra} transversal, Los Palos Grandes – Paso Avenida Francisco de Miranda**

Aguas arriba de la 1_{ra} transversal de Los Palos Grandes, comienza el embaulamiento de la quebrada con una sección de 2,60 x 3,00, la cual se expande a 5,00 x 3,00 al cruzar la Ada Francisco de Miranda, según el Plano Reubicación de los Servicios Públicos, Reconstrucción de Cloacas, Quebrada Sebucán, Planta con Nº SP-216, Hoja 47 del contrato CP002.

Figura 12.20 Sebucán. Detrás de la Tintorería Curazao en la 1_{era} Avenida de Santa Eduvigis.

Figura 12.21 Sebucán. Detrás de Bolívar Films en la 1$_{era}$ Avenida de Santa Eduvigis.

Figura 12.22 Sebucán. Desde el piso 6 del edificio Imperio en la 1$_{era}$ Avenida de Los Palos Grandes con Calle 2.

Figura 12.23 Sebucán. Desde el piso 6 del edificio Imperio en la 1era Avenida de Los Palos Grandes con Calle 2.

- **Tramo 18: Avenida Francisco de Miranda – Descarga de Quebrada Pajaritos**

Después de atravesar la Avenida Francisco de Miranda, la quebrada continúa embaulada bordeando el estacionamiento del Parque del Este (5,0 m x 3,5 m aprox.) y la parte trasera de las oficinas de la Dirección de Obras de la Alcaldía de Chacao, aguas abajo de la cual se observa el fin del embaulamiento y la descarga de la Quebrada Pajaritos (ver Figura 12.24).

Figura 12.24 Sebucán. Aguas abajo del embaulamiento que atraviesa la Avenida Francisco de Miranda y bordea el estacionamiento del Parque del Este.

- **Tramo 19: Descarga de Quebrada Pajaritos – Dirección Sectorial de Inparques**

En este tramo, se encuentra en su sección natural como se aprecia en las Figuras 12.25 y 12.26 y bordea la urbanización La Floresta, estableciendo el límite de la urbanización con el Parque del Este, hasta llegar a la Dirección Sectorial de Inparques ubicado al Norte del Sector Popular San José. Se estima una sección media que se asimila a trapecial de 7,0 m de ancho base, 3,0 m de altura y taludes 1:1.

Figura 12.25 Sebucán. Urbanización La Floresta.

- **Tramo 20: Dirección Sectorial de Inparques – Embaulamiento bajo el Sector Popular San José**

Aguas arriba del embaulamiento que pasa por debajo del Sector Popular San José, el canal cambia a sección trapecial de concreto de 4,6 m de ancho base y 3,0 m de altura (ver Figura 12.27).

- **Tramo 21:Embaulamiento bajo el Sector Popular San José – Autopista Francisco Fajardo**

La sección continúa con un embaulamiento rectangular de concreto de 4,6 m de ancho y 2,4 m de altura que pasa por debajo del Sector San José (ver Figuras 12.28 y 12.29) y sale a un costado del canal con dirección Este-Oeste de la Autopista Francisco Fajardo con una sección de aproximadamente la misma dimensión total, pero dividida en su zona media como se aprecia en las Figuras 12.30, 12.31 y 12.32.

Figura 12.26 Sebucán. Vista hacia aguas abajo de la Quebrada Sebucán al final de la urbanización La Floresta.

Figura 12.27 Sebucán. Vista hacia aguas arriba de la Quebrada Sebucán al final de la urbanización La Floresta, aguas arriba del Sector Popular San José.

Figura 12.28 Sebucán. Entrada del embaulamiento aguas arriba del Sector Popular San José. Vista hacia aguas abajo de la Quebrada Sebucán.

Figura 12.29 Sebucán. Detalle de entrada del embaulamiento aguas arriba del Sector Popular San José. Vista hacia aguas abajo de la Quebrada Sebucán.

Figura 12.30 Sebucán. Salida del embaulamiento que atraviesa el Sector Popular San José. Esta zona está ubicada a un costado de Autopista Francisco Fajardo.

Figura 12.31 Sebucán. Otra vista de la salida del embaulamiento que atraviesa el Sector Popular San José.

Figura 12.32 Sebucán. Salida del embaulamiento que atraviesa el Sector Popular San José, vista de frente, desde el canal Este-Oeste de la Autopista.

- **Tramo 22:Paso de Autopista Francisco Fajardo**

Para atravesar la Autopista Francisco Fajardo, la quebrada está embaulada en una tubería de metal corrugado de 2,15 m de diámetro, según el informe I.P.C., 2.001, como se aprecia en la Figura 12.33.

Figura 12.33 Sebucán. Entrada del embaulamiento que atraviesa la Autopista Francisco Fajardo y el aeródromo Francisco de Miranda (La Carlota).

- **Tramo 23:Paso del Aeródromo Francisco de Miranda – Descarga en el Río Guaire**

La sección cambia cuando atraviesa el aeródromo Francisco de Miranda o La Carlota, a dos cajones de concreto de 4,5 m de ancho y 3,0 m de altura según el informe I.P.C., 2.001, hasta su descarga en el Río Guaire. Estos cajones se muestran en la Figura 12.34.

Figura 12.34 Sebucán. Desembocadura de la Quebrada Sebucán en el río Guaire.

En la Tabla 12.5 se presentan las características hidráulicas principales de los tramos de la Quebrada Sebucán.

TRAMO	TIPO	LONG (m)	DIMENSIONES (m x m)	S (%)	n	CAP (m3/s)	CARACTERISTICAS
1	Alcantarilla rectangular Av. Boyacá	17.5	3,70 x 2,65 a 2,70 x 2,00	10.800	0.016	213.23	Transición entre sección de tramo 1 a sección de tramo 2
1.a	Alcantarilla rectangular Av. Boyacá	80,00	2,70 x 2,00	7.000	0.016	148.82	
2	Canal natural, se	60,00	3,50 x 4,00. Taludes 1:1	7.000	0.040	317.82	Entrada de Av.Principal Sta.

	asimila a trapecial						María (calle cerrada)
3	Cajón rectangular de concreto	125	2,20 x 3,20	7.500	0.016	105.45	Desde la Av. Principal Sta. María hasta aguas arriba de transv 11
4	Canal rectangular tapado con losas de piso de viviendas	60,00	2,70 x 2,00	7.455	0.026	49.11	Hasta transv 11
5	Cajón rectangular de concreto	105	2,70 x 2,00	8.960	0.026	111.36	Entre transv 11 y aguas arriba de transv 9 (Av. Los Chorros)
6	Canal natural, se asimila a rectangular	40	4,00 x 5,00	8.960	0.040	189.84	Hasta transv 9 (Av. Los Chorros). Por detrás de las casas.
7	Cajón rectangular de concreto	30	3,30 x 1,70	8.960	0.016	93.24	Paso transv 9 (Av. Los Chorros)
8	Canal natural, se asimila a rectangular	315	3,50 x 4,30	8.779	0.035 - 0.04	128.94	Entre transv 9 y 7. Por detrás de las casas.
9	Alc. Circular de metal corrugado	6	2,66 m de diámetro	7.309	0.027	42.39	Paso de transv 7. Sección según IPC Chacao
10	Cajón de concreto	360	3,20 x 3.20	5.839	0.016	161.44	Entre transv 7 y Calle Municipio.
11	Canal rectangular	30	2,66 x 2,50	4.792	0.035	37.85	Entre Calle Municipio y transv 5
12	Canal natural, se asimila a	62	6,0 x 6,0	5.000	0.045	283.96	Entre transv 5 y 4

	rectangular						
13	Canal natural, se asimila a rectangular	160	7,0 x 4,0	5.095	0.035	273.76	Entre transv 4 y 3
14	Alc. Circular de metal corrugado	9	D = 1,50 m	4.000	0.027	6.81	Paso transv 3
15	Canal natural, se asimila a rectangular	362	8,0 x 5,0	2.539	0.035	310.14	Entre transv 3 y 1
16	Cajón de concreto	9	2,6 x 3,0	2.500	0.016	72.22	Paso transv 1
17	Cajón de concreto	93	5,0 x 3,0	2.500	0.016	72.22	Cambio de sección en el paso de Av. Francisco de Miranda
18	Cajón de concreto	250	5,0 x 3,5	2.851	0.016	237.51	Entre Av. Francisco de Miranda y Descarga Quebrada Pajaritos
19	Canal natural, trapecial	583	7,0 x 3,0 (Talud 1:1)	1.872	0.035	182.30	Dentro de la Urbanización La Floresta
20	Canal trapecial de concreto	55	4,6 x 3,0 (Talud 1:1)	1.872	0.016	282.40	Paralelo a la Dirección Sectorial de Inparques que tiene entrada por el Barrio San José
21	Cajón de concreto	80	4,6 x 2,4	1.872	0.016	105.09	Atravesando Barrio San José
22	Alc. Circular de metal	50	2,15 m de diámetro	1.125	0.027	9.34	Paso Autopista Francisco Fajardo

	corrugado						
23	Cajón doble de concreto	464	4,5 x 3,0	1.209	0.016	109.69	Paso del aeródromo Francisco de Miranda

Tabla 12.5. Características hidráulicas de la Quebrada Sebucán.

Comparando la capacidad de las estructuras hidráulicas con los gastos máximos de las crecientes, se observa que para la Quebrada Sebucán existen dos puntos en los cuales no se satisfacen las condiciones para el paso de la creciente de 10 años de periodo de retorno, La Autopista Francisco Fajardo y el paso de la 3ra transversal de los Palos Grandes. Otros puntos, como el paso de la 7ma transversal y los canales en los tramos 5 y 11, no superan la capacidad necesaria para el paso de la creciente de 100 años de periodo de retorno. Sin embargo, en algunos casos la comparación de la capacidad con el gasto máximo es sólo indicativa, mas no determinante, pues el caudal no llega en su totalidad o se ha desviado previamente debido a bloqueos o desbordamientos.

A continuación se describen en forma tabulada las características hidráulicas de los tramos de las quebradas afluentes a la Quebrada Sebucán; dicha información se presenta en las Tablas 12.6, 12.7 y 12.8. Las secciones indicadas fueron en unos casos medidas durante las visitas de campo y en otros tomadas de los planos que se recabaron en el curso de este estudio.

La Quebrada Los Palos Grandes, al parecer no tiene mayor problema de capacidad. Asimismo, la Quebrada Pajaritos presenta sólo el tramo 3 con capacidad inferior al pico de la creciente de 500 años de periodo de retorno.

La Quebrada Lamedero, presenta dos puntos potenciales de problema para la creciente de 10 años de período de retorno: el paso de la Avenida Benahim Pinto y el tramo de canal detrás del Edificio Escampadero ubicado sobre la 6ta Avenida de Altamira.

TRAMO	TIPO	LONG (m)	DIMENSIONES (m x m)	PENDIENTE (%)	n	CAPACIDAD (m3/s)	CARACTERISTICAS
1	Cajón rectangular de concreto	150	1,5 x 1,5	18	0,016	37,58	Paso a través de la Avenida Boyacá
2	Canal rectangular de concreto	180	1,5 x 4,0	11,66	0,02	75,41	Entre 11va y 10ma Transversal
3	Tubería circular de concreto	185	1,0 m de diámetro	8,42	0,015	6,03	Entre 10ma y 9na Transversal
4	Canal rectangular de concreto	120	1,5 x 3,0	7	0,016	52,93	Entre 9na y 8va Transversal
5	Cajón rectangular de concreto	30	1,5 x 1,5	8,23	0,05	8,13	Paso 8va Transversal
6	Canal rectangular de concreto	130	1,5 x 1,5	5,83	0,02	17,11	Entre 8va y 7ma Transversal
7	Cajón rectangular de concreto	30	2,5 x 1,2	11,06	0,016	44,96	Paso de 7ma Transversal
8	Canal rectangular de concreto	125	2,0 x 1,8	4,62	0,045	12,81	Entre 7ma y 6ta Transversal
9	Tubería circular de concreto	330	1,5 m de diámetro	6,12	0,016	14,21	Entre 6ta Transversal y descarga en Qda. Sebucan

Tabla 12.6. Características hidráulicas de la Quebrada Los Palos Grandes.

TRAMO	TIPO	LONG(m)	DIMENSIONES (m x m)	PENDIENTE (%)	n	CAPACIDAD (m3/s)	CARACTERISTICAS
1	Alcantarilla abovedada Av. Boyacá	270	3,0 x 1,6	18.148	0.027	63.85	Paso a través de la Avenida Boyacá
2	Canal natural	90	5,00 x 7,50	13.333	0.065	320.32	Entre 11va y 10ma Transversal
3	Canal natural con muros de piedra por márgenes	120	3,00 x 2,50	12.500	0.055	46.18	Entre 10ma y 9na Transversal
4	Cajón rectangular de concreto	150	3,00 x 2,00	5.833	0.016	81.72	Entrada del cajón, detrás del Edif. 3ra Avenida hasta acera sur de la 8va transversal.
5	Canal rectangular de concreto con dinteles en	60,00	4,0 x 4,0	15.000	0.050	150.14	Entre 8va y 7ta Transversal

	el fondo						
6	Canal rectangular de concreto	200	3,0 x 4,0	8.000	0.020	179.84	Entre 7ma y 6ta Transversal
7	Cajón rectangular de concreto	90	3,0 x 1,6	6.733	0.016	65.63	Paso de 6ta Transversal
8	Canal rectangular de concreto con rocas y maleza en el fondo	100	3,5 x 4,6	6.663	0.045	121.70	Entre 6ta Transversal y Av. Alfredo Jahn
9	Cajón rectangular de concreto	30	4,0 x 1,5	7.033	0.016	89.74	Paso Av. Alfredo Jahn
10	Canal rectangular de concreto con rocas y maleza en el fondo	65	2,3 x 4,8	3.333	0.035	54.78	Aguas debajo de la Av. Alfredo Jahn
11	Canal natural con muros de bloque por márgenes	60	4,6 x 4,0	5.000	0.045	117.69	Entre sección 10 y Sector Popular Pajaritos
12	Cajón rectangular de concreto	1160	4,6 x 1,5	3.017	0.016	70.23	Sector Popular Pajaritos hasta descarga en Qda. Sebucán

Tabla 12.7. Características hidráulicas de la Quebrada Pajaritos.

TRAMO	TIPO	LONG (m)	DIMENSIONES (m x m)	PENDIENTE (%)	n	CAPACIDAD (m3/s)	CARACTERISTICAS
1	Cajón rectangular de concreto	345	1,5 x 1,5	18,260	0,016	37,86	Paso a través de la Avenida Boyacá hasta 9na Transversal
2	Canal rectangular de concreto (sumidero de reja en calle)	30	1,5 x 4,0	6,670	0,016	71,29	Paso 9na Transversal
3	Cajón rectangular de concreto	120	1,4 x 0,6	14,080	0,016	9,28	Entre 9na y 8va Transversal
4	Canal rectangular de concreto (sumidero de reja en calle)	30	1,4 x 1,3	7,000	0,016	17,80	Paso 8va Transversal
5	Cajón rectangular de concreto	490	1,4 x 0,9	5,100	0,050	3,06	Entre 8va Transversal y Av. Benahim Pinto
6	Canal rectangular de concreto	60	3,0 x 2,7	9,330	0,020	120,74	Aguas abajo de Av. Benahim Pinto
7	Canal rectangular de concreto, con rocas y maleza en el fondo	30	2,6 x 1,65	4,230	0,040	17,84	Aguas abajo del tramo 6
8	Canal rectangular de concreto	65	1,4 x 1,5	2,000	0,045	4,03	Aguas abajo del tramo 7
9	Cajón rectangular de concreto	110	2,8 x 1,5	4,440	0,016	44,60	Entre Av. Luis Roche y descarga en Qda. Pajaritos

Tabla 12.8. Características hidráulicas de la Quebrada Lamedero.

12.2.2 Antecedentes de inundaciones y aludes

Los siguientes eventos han tenido efecto en la cuenca de la Quebrada Sebucán:

1. Año 1.951: Rotura de antigua presa en el Ávila, sobre el cauce de la Quebrada Pajaritos Se produjeron arrastres torrenciales en los sectores de Altamira y Los Palos Grandes. Una vivienda resultó destruida y 15 ranchos arrasados. Se reportaron 3 muertos y 3 desaparecidos (I.P.C., 2.001).

2. Año 1.999 (Diciembre): inundación del patio de una vivienda a nivel de la 8_{va} transversal de Los Palos Grandes, debido al aumento de nivel de la Quebrada Sebucán.. El agua subió a aproximadamente 1,0 m y arrastró una cantidad considerable de rocas, las cuales fueron luego retiradas por los vecinos. Posteriormente se construyó un edificio en ese terreno y se colocó un muro de altura semejante a los existentes.

3. Año 1.999: Calle Domínguez, frente a la Plaza Santa Eduvigis, la Quebrada Sebucán salió de su cauce, ocasionando daños en una de las viviendas por deslizamiento de uno de sus muros; seguidamente inundó la calle. Según I.P.C., 2.001, y relatos de vecinos, viviendas ubicadas aguas abajo de la afectada realizaron trabajos que estrecharon el cauce.

4. Año 2.001-2.002: Desbordamiento en el Sector Pajaritos, entre 4_{ta} y 3_{ra} transversales de la urbanización Altamira, debido a una reducción del cauce (I.P.C., 2.001).

5. Año 2.001-2.002: Desbordamiento de la Quebrada Pajaritos en el Campamento de Incendios en el Parque Nacional El Ávila (I.P.C., 2.001).

6. Año 2.001-2.002: Desbordamiento de la Quebrada Pajaritos en la 7_{ma} transversal de la urbanización Altamira (I.P.C., 2.001).

7. Año 2.001-2.002: Desbordamiento de la Quebrada Sebucán a nivel de la Avenida Boyacá (I.P.C., 2.001)

8. Año 2.001-2.002: Desbordamiento de la Quebrada Sebucán a nivel de la Avenida José Félix Sosa, en La Floresta (I.P.C., 2.001)

9. Año 2.001-2.002: Desbordamiento de la Quebrada Sebucán en la confluencia con la Quebrada Pajaritos, cerca de la Dirección de Obras de la Alcaldía de Chacao, urbanización La Floresta (I.P.C., 2.001)

10. Año 2.001-2.002: Desbordamiento de la Quebrada Sebucán a nivel de la Calle Municipio, en la urbanización Los Palos Grandes (I.P.C., 2.001)

12.2.3 Resumen de puntos críticos

Se determinaron puntos críticos susceptibles a inundación en la zona, a partir de la información recopilada y analizada. Estos puntos críticos se enuncian a continuación:

1. Avenida Boyacá
2. Calle Municipio de la urbanización Los Palos Grandes.
3. Calle Domínguez de Santa Eduvigis.
4. Dirección de Obras de la Alcaldía de Chacao, urbanización La Floresta.
5. Barrio Pajaritos, urbanización Altamira.
6. 7_{ma} transversal de la urbanización Altamira.
7. Avenida José Félix Sosa, en La Floresta.

La Figura 12.35 muestra la ubicación de los puntos críticos y de los antecedentes de inundaciones.

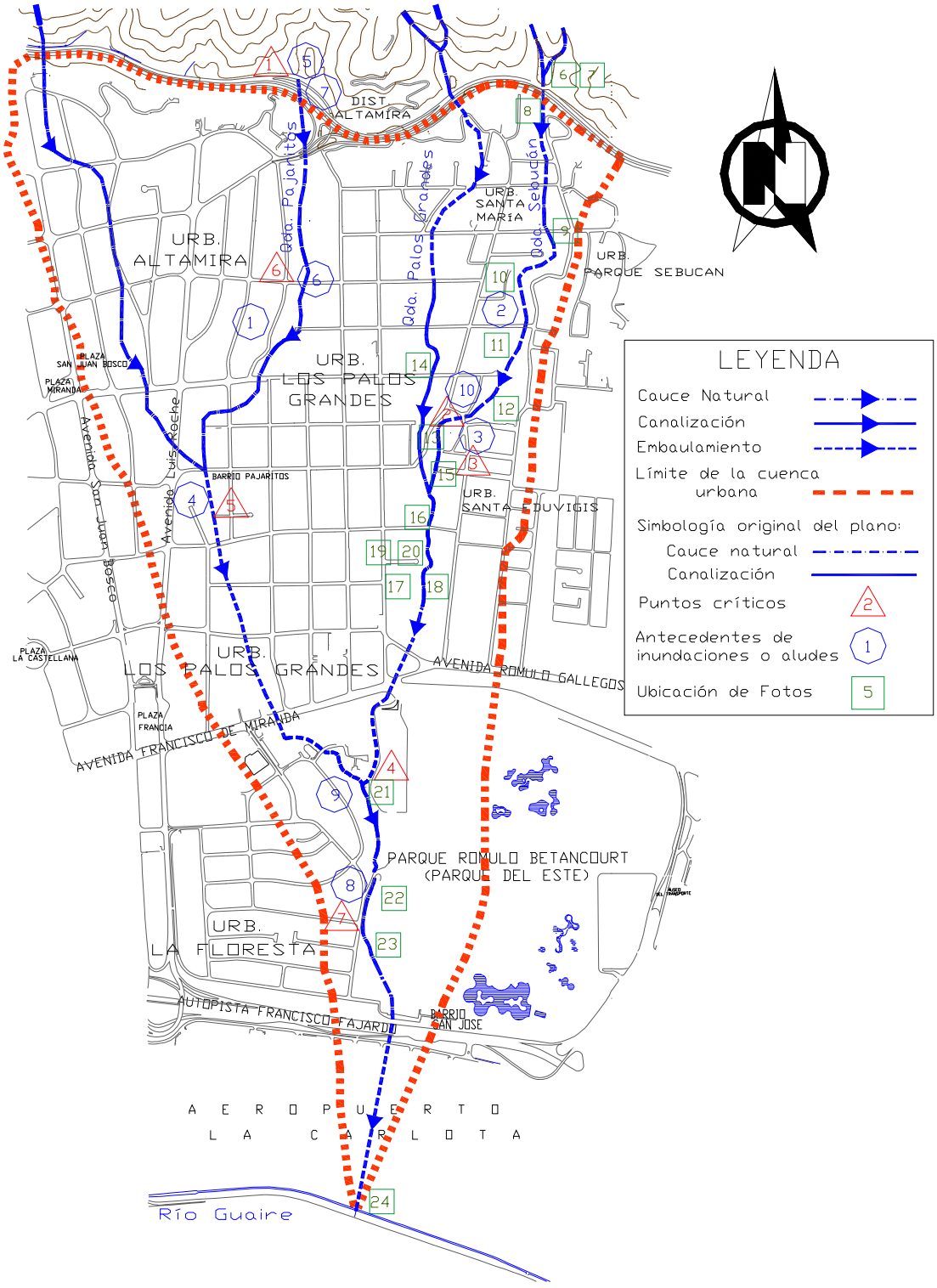


Figura 12.35 Quebrada Sebucán. Puntos crìticos

12.3 Simulación de Inundaciones

Con base en la información recopilada y verificada en campo en cuanto a la Quebrada Sebucán y sus afluentes., se procedió a elaborar los archivos requeridos para el modelaje de la subcuenca Sebucán utilizando el programa FLO-2D

12.3.1 Condiciones de simulación

La simulación se realizó utilizando el modelo FLO-2D actualizado sobre una topografía a escala 1: 5.000. Sobre esta topografía se generó una malla de 13.433 celdas de 30 m x 30m, las cuales están representadas por un valor promedio de elevación y rugosidad del coeficiente de Manning. En este último aspecto, se tomó un valor inicial del coeficiente de Manning de 0,065 para la planicie de inundación, 0,020 para las calles y entre 0,016 y 0,050 para las obras hidráulicas. Estos coeficientes varían durante la simulación de acuerdo a los valores máximos del Número de Froude que se han establecido de acuerdo a la velocidad estimada del flujo en las distintas secciones. En la Tabla Nº 12.9 se presenta un resumen de algunos de los parámetros relativos a la Quebrada Sebucán y sus afluentes.

En relación a la obstrucción que producirían las edificaciones y otras estructuras al paso del flujo, se utilizaron valores de ARF (porcentaje de ocupación de la celda) entre 5% y 30%, mientras que los valores de WRF (obstrucción lateral en la celda), se tomaron valores entre 0% y 20%.

Varias calles fueron introducidas en la simulación, comportándose como canales que en algunos casos conducen el flujo alejándolo del cauce principal. Las estructuras hidráulicas que conducen el flujo también fueron simuladas. De tal manera, se introdujeron las secciones de canal señaladas en las Tablas Nº 12.5, 12.6, 12.7 y 12.8 y las alcantarillas descritas en las mismas tablas. En el caso particular de las alcantarillas, éstas se modelaron con una obstrucción que permite conducción hasta un 70% de su capacidad, dejando pasar un caudal fijo correspondiente a esta condición cuando la alcantarilla fluye llena. Con este criterio se simularon todas las crecientes estudiadas, 10, 100 y 500 años de periodo de retorno.

.

QUEBRADA		Sebucán			Palos Gdes			Pajaritos			Lamedero			Pedrera		
Fecha		**Jul. 2004**														
Escenario		**10, 100 y 500 años**														
Tamaño celda		30 m			30 m			30 m			30 m			30 m		
Número celdas		13433														
Area simulada	km2	12.1														
n Manning	canal	0.016-0.045														
	planicie inundación	0.065														
puentes	número	0			0			0			0			0		
alcantarillas	número	8			5			6			4			1		
reducción de área		5-35%														
calles	número	25														
caudal pico (m^3/s)	Tr (años)	10	100	500	10	100	500	10	100	500	10	100	500	10	100	500
	Caudal	21	53	78	3	7	10	19	42	60	5	11	15	2	3	6
Cv		0.2-0.30														
vol Agua/vol sedim	Millones de m3	10 años						1,40								
vol Agua/vol sedim	Millones de m3	100 años						2,13/0,09								
vol Agua/vol sedim	Millones de m3	500 años						2,67/0,16								
Otros parámetros hidráulicos	a1(poises)	6.02*10^(-4)														
	b1	33.1														
	a2(dyne/cm2)	1.72*10^(-3)														
	b2	29.5														
	dt	0.01 s - 30 s														
	densidad sedimento	2.74														
	resistancia flujo laminar	2285														

Tabla Nº 12.9. Sebucán. Parámetros usados en la simulación

A las simulaciones utilizando los hidrogramas de crecientes se les sumó el efecto de una lluvia distribuida uniformemente en el área. Se utilizó para esta subcuenca los hietogramas de lluvia de 24 horas correspondientes a la Estacion Los Chorros, empleando el mismo periodo de retorno de la creciente simulada. Estos hietogramas se muestran en la Figura 12.36

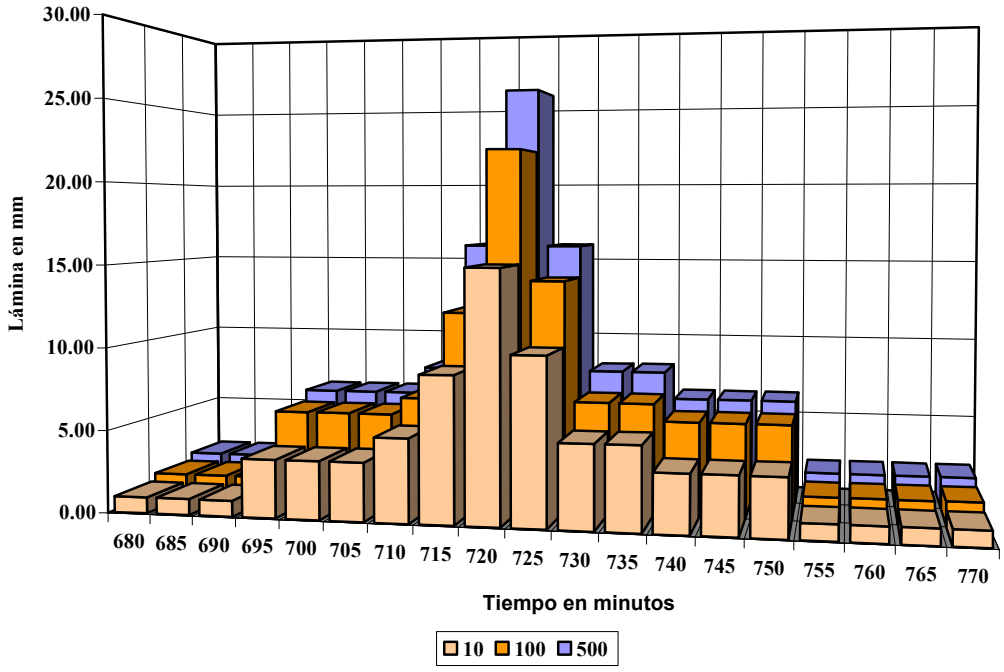


Figura 12.36. Hietogramas de la Estación Los Chorros.

12.3.2 Creciente de 10 años de periodo de retorno

Se ejecutó el modelo utilizando crecientes de 10 años de periodo de retorno para las cinco quebradas estudiadas. La simulación se inició en el Parque Nacional El Ávila con canales naturales que descargan en el canal de aproximación de las respectivas alcantarillas que atraviesan la Avenida Boyacá. Se tomó una concentración volumétrica de sedimentos constante e igual a 20%. Los hidrogramas de creciente de las quebradas con mayor caudal se muestran en las Figuras 12.37 y 12.38.

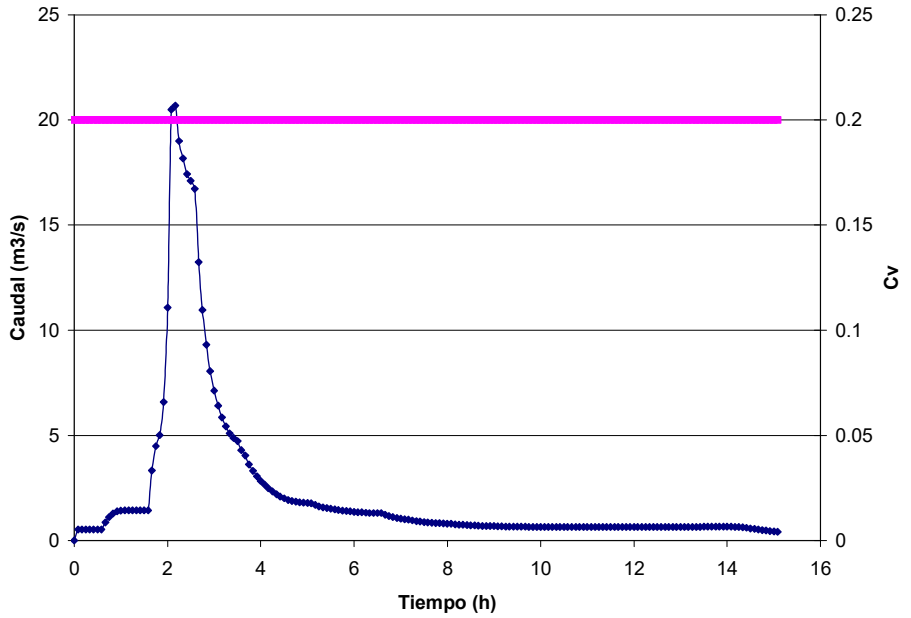


Figura 12.37. Sebucán. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 10 años).

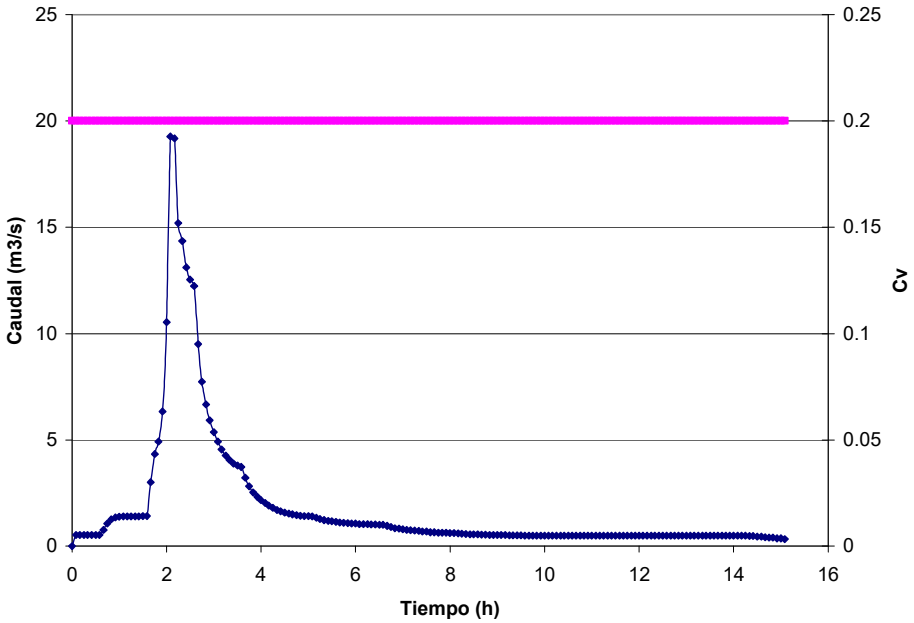


Figura 12.38. Quebrada Pajaritos. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 10 años).

Según los resultados mostrados en la Figura 12.39, se observa que para la creciente simulada, la capacidad de conducción de las obras hidráulicas permite el paso de la creciente prácticamente sin desbordamiento, a excepción de zonas en el Aeródromo La Carlota y en el paso de la 8va transversal de la Quebrada Lamedero, donde aparecen profundidades entre 0,50 y 0,80 m en la primera y alrededor de 0,50 m en la segunda. Desde la 8va transversal, el agua puede introducirse en un terreno ubicado en la acera Sur, pero difícilmente se moverá entre las viviendas ya que la mayoría de los dueños han construido muros linderos muy altos, de hasta 5,0 m. También puede tomar dirección hacia la 7ma Avenida y por ella bajar hasta la Avenida Enrique Benaim Pinto. Entre las Quebradas Lamedero y Pajaritos, cerca de la Avenida Boyaca, se detecta una zona de profundidades alrededor de 0,2 m que se observa diseminada; aparentemente estas profundidades aparecen por efecto de la lluvia directa. En los canales, las profundidades máximas observadas se encuentran entre 5,0 y 6,0 m en puntos muy localizados, siendo la profundidad por lo general alrededor de 2,0 m.

Las velocidades máximas observadas en la Figura 12.40 se localizan en los canales encontrándose éstas entre 5,0 y 6,0 m/s. Se observan velocidades mayores a 0,50 m/s, en zonas donde no se detectan inundaciones y que coinciden con calles y avenidas que tienen pendiente Norte-Sur, lo cual pareciera indicar que se trata del agua de lluvia que baja por las calles. En la 8va transversal, 7ma Avenida y zonas adyacentes las velocidades son alrededor de 1,0 m/s, pudiendo llegar hasta 2,0 m/s. Aparece también una zona de alta velocidad al norte cerca de la Avenida Boyacá, entre las Quebradas Pajaritos y Lamedero, aún cuando ellas no se comunican en este sector, lo cual parece deberse a la aplicación uniforme de la lluvia en el área.

Los resultados del modelo indican que el volumen total del hidrograma principal de entrada mas lluvia es de 1,40 millones de m^3.

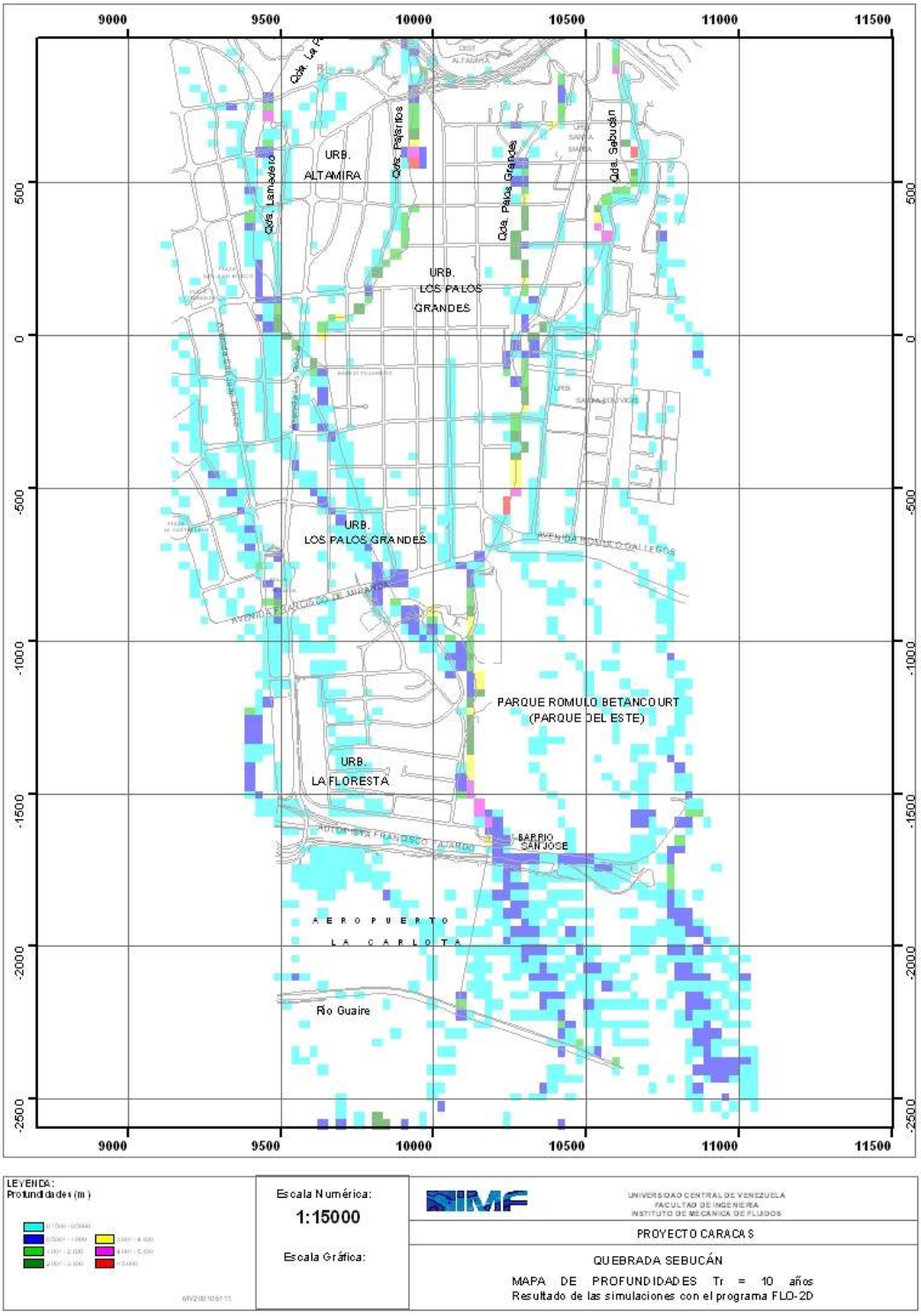


Figura 12.39. Quebrada Sebucán y afluentes. Profundidades Máximas para Tr=10 años.

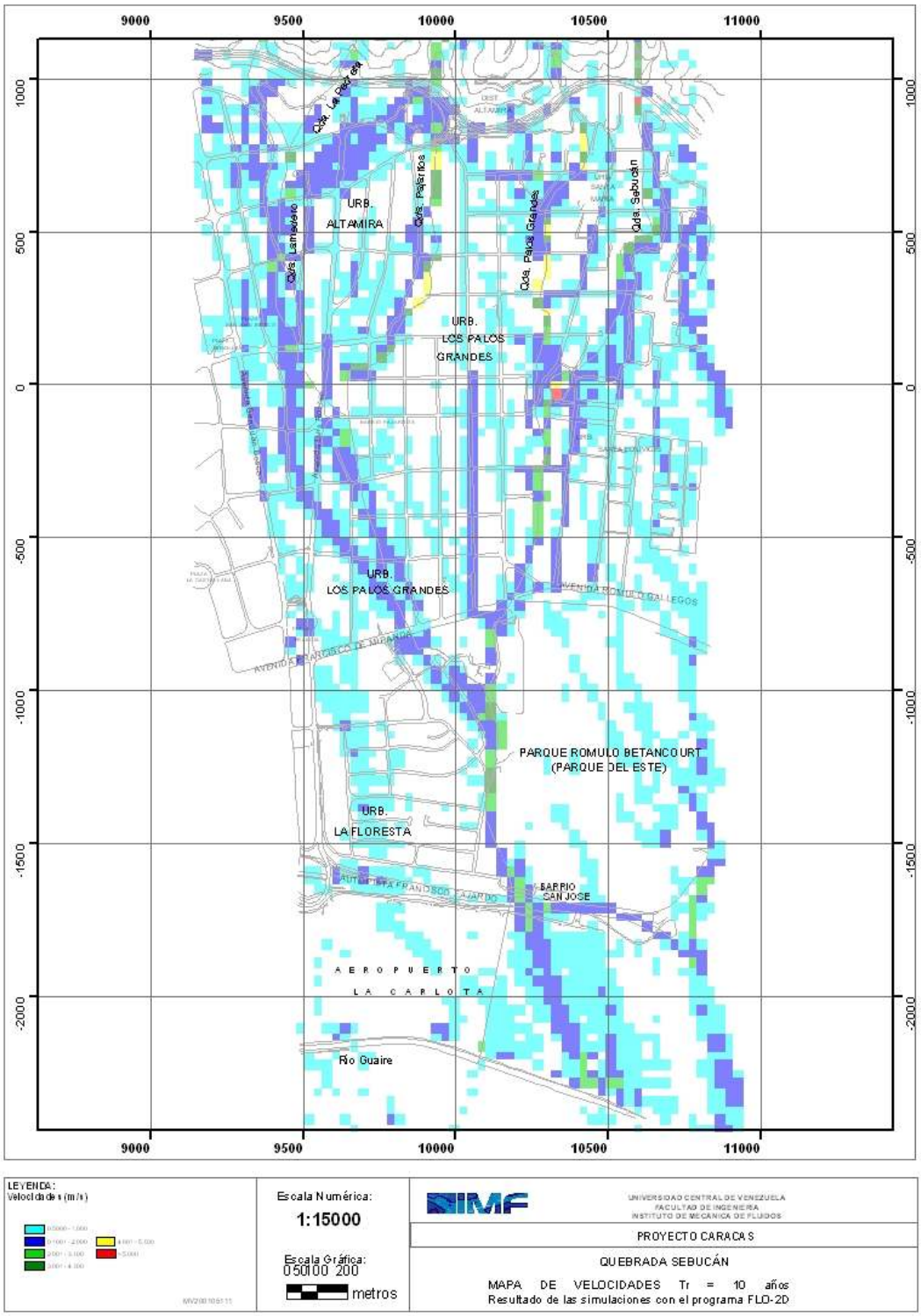


Figura 12.40. Quebrada Sebucán y afluentes. Velocidades máximas para Tr=10 años.

12.3.3 Creciente de 100 años de periodo de retorno

Se ejecutó el modelo utilizando crecientes de 100 años de periodo de retorno para las cinco quebradas estudiadas. La simulación se inició en el Parque Nacional El Ávila con canales naturales que descargan en el canal de aproximación de las respectivas alcantarillas que atraviesan la Avenida Boyacá. Se tomó una concentración volumétrica máxima de sedimentos de 25%. Los hidrogramas de creciente de las quebradas con mayor caudal se muestran en las Figuras 12.41 y 12.42.

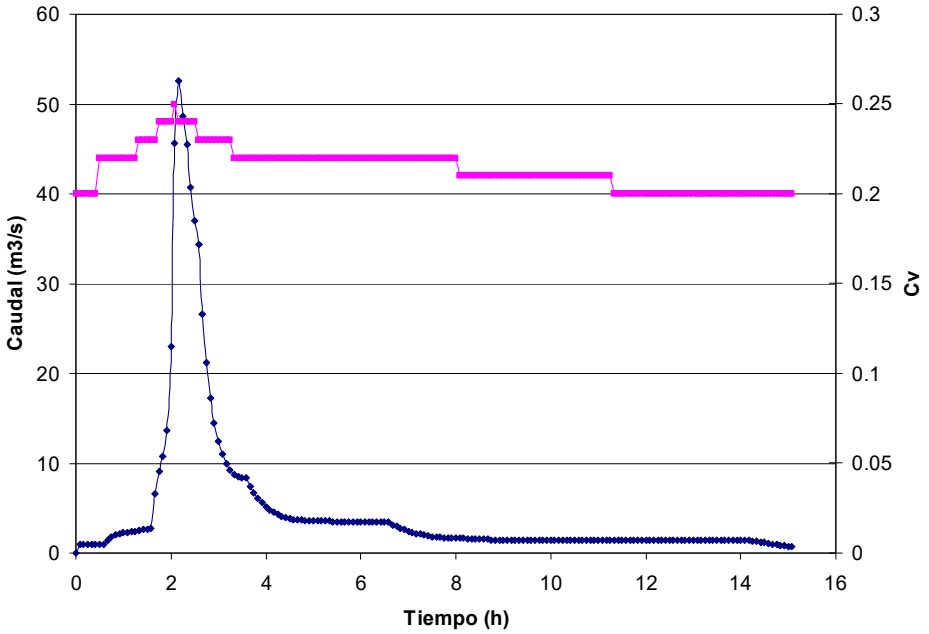


Figura 12.41 Sebucán. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 100 años).

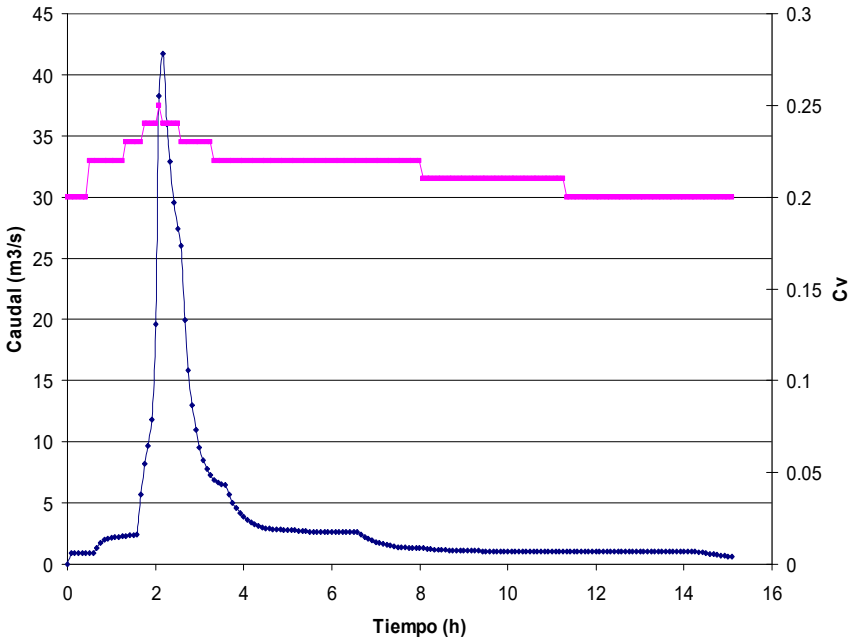


Figura 12.42 Pajaritos. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 100 años).

Según los resultados mostrados en la Figura 12.43, salvo por una zona en la margen izquierda de la Quebrada Sebucán y algunos puntos de desbordamiento adicionales, se observa una mancha de inundación muy semejante a la obtenida para la creciente de 10 años de periodo de retorno, sólo que las profundidades son mayores y la mancha un poco más extendida. Así, en el paso de la 8va transversal de la Quebrada Lamedero, las profundidades se encuentran alrededor de 1,0 m. En la zona del Aeródromo La Carlota, las profundidades máximas se encuentran entre 1,0 y 1,5 m. El sector mencionado, adyacente a la Quebrada Sebucán, se origina por un desbordamiento de la misma en la 1ra Avenida de la Urb. Santa María y se extiende hacia el sureste, hacia la cuenca de la Quebrada Agua de Maíz. Parte de ese caudal baja por la misma 1ra Avenida que luego se transforma en 2da Avenida de Santa Eduvigis. En su recorrido recibe el aporte de la 7ma transversal donde también se desborda la Quebrada Sebucán. Se reportan profundidades de hasta 1,5 m en el área de la cuenca vecina de Agua de Maíz. Otro punto que se observan sujetos a inundación son el paso de la Quebrada Sebucán por la 3ra transversal, y las Calles Municipio y Domínguez, frente a la Plaza Santa Eduvigis; en Diciembre de 1.999 una de las casas ubicada sobre esta última sufrió inundación y daños en los muros que la separan de la quebrada.

En la Quebrada Palos Grandes, se observa inundación a nivel de la 10ma transversal, pero ésta se localiza sólo en la calle y no es mayor de 0,50 m. Lo mismo ocurre en la 6ta transversal.

La Quebrada Pajaritos, reporta inundación en la 6ta transversal, frente al Automercado San Lorenzo, con profundidades de hasta 0,50 m y en la Avenida Alfredo Jahn, con profundidades de hasta 1,0 m, llegando esta última hasta la 3ra transversal. En la 4ta transversal, se desborda con la posibilidad de entrar al Sector Popular Pajaritos a través de las escaleras.

En los canales, las profundidades máximas observadas se encuentran entre 5,5 y 6,5 m en puntos muy localizados, siendo la profundidad por lo general alrededor de 3,0 m. Sin embargo, en las entradas a las alcantarillas que atraviesan la Avenida Boyacá, se observaron profundidades de hasta 10,0 m en las Quebradas Lamedero y Pajaritos.

Algunas calles aparecen con profundidades no mayores de 0,50 m y al parecer no por efectos de la presencia de las quebradas, sino debido a la lluvia directa. Estas calles son: la 5ta Avenida entre la 9na y 7ma transversal y la 3ra Avenida, entre la 5ta transversal y la Avenida Francisco de Miranda. La Autopista Francisco Fajardo presenta profundidades alrededor de 1,0 m y en la zona del Barrio San José, de hasta 2,0 m, observándose que el agua se dirige hacia el distribuidor de La Carlota donde se encuentra el paso de la Quebrada Agua de Maíz, lugar donde se han suscitado varios eventos trágicos relacionados con las lluvias.

Las velocidades máximas observadas en la Figura 12.44 se localizan en las áreas inundadas. En los canales se reportan velocidades de hasta 7,0 m/s, sin embargo, las velocidades por lo general se encuentran entre 2,5 y 3,0 m/s. En una zona cerca de la Avenida Boyacá, entre las Quebradas Lamedero y Pajaritos, se observan velocidades de 2,0 m/s, a pesar que las profundidades no son relevantes. Igualmente para la zona inundada en la 8va transversal y aguas abajo, la velocidad es de ese orden. Otra zona que reporta velocidades similares corresponde a la margen izquierda de la Quebrada Sebucán y en la mancha que se extiende hacia Agua de Maíz, donde las velocidades llegan a ser de 2,5 y 3,0 m/s.

Los resultados del modelo indican que el volumen total del hidrograma principal de entrada mas lluvia es de 2,22 millones de m^3, de los cuales 2,13 millones de m^3 corresponden a agua y 90.000 m^3 a sedimentos.

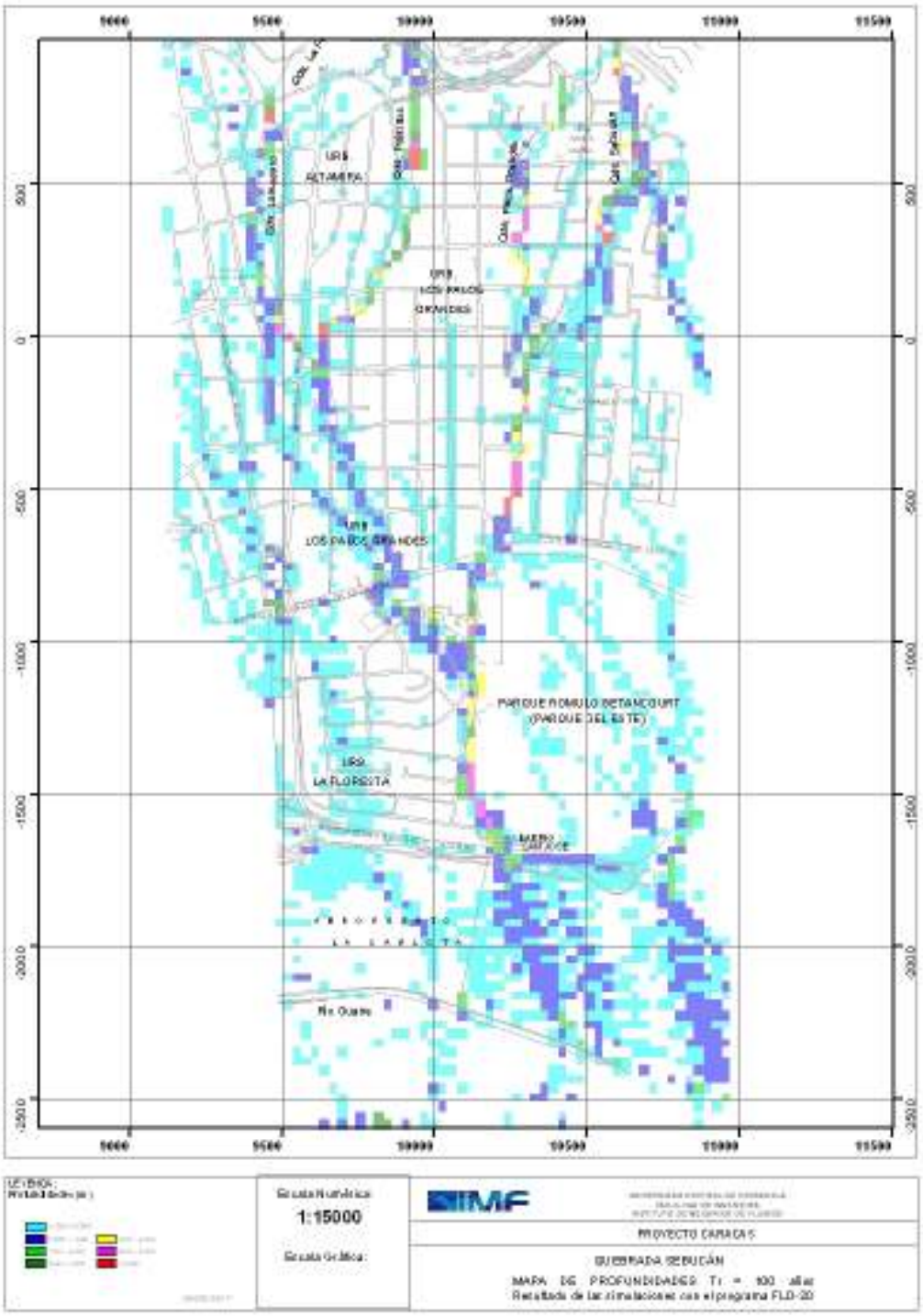


Figura 12.43. Sebucán y afluentes. Profundidades Máximas para Tr=100 años

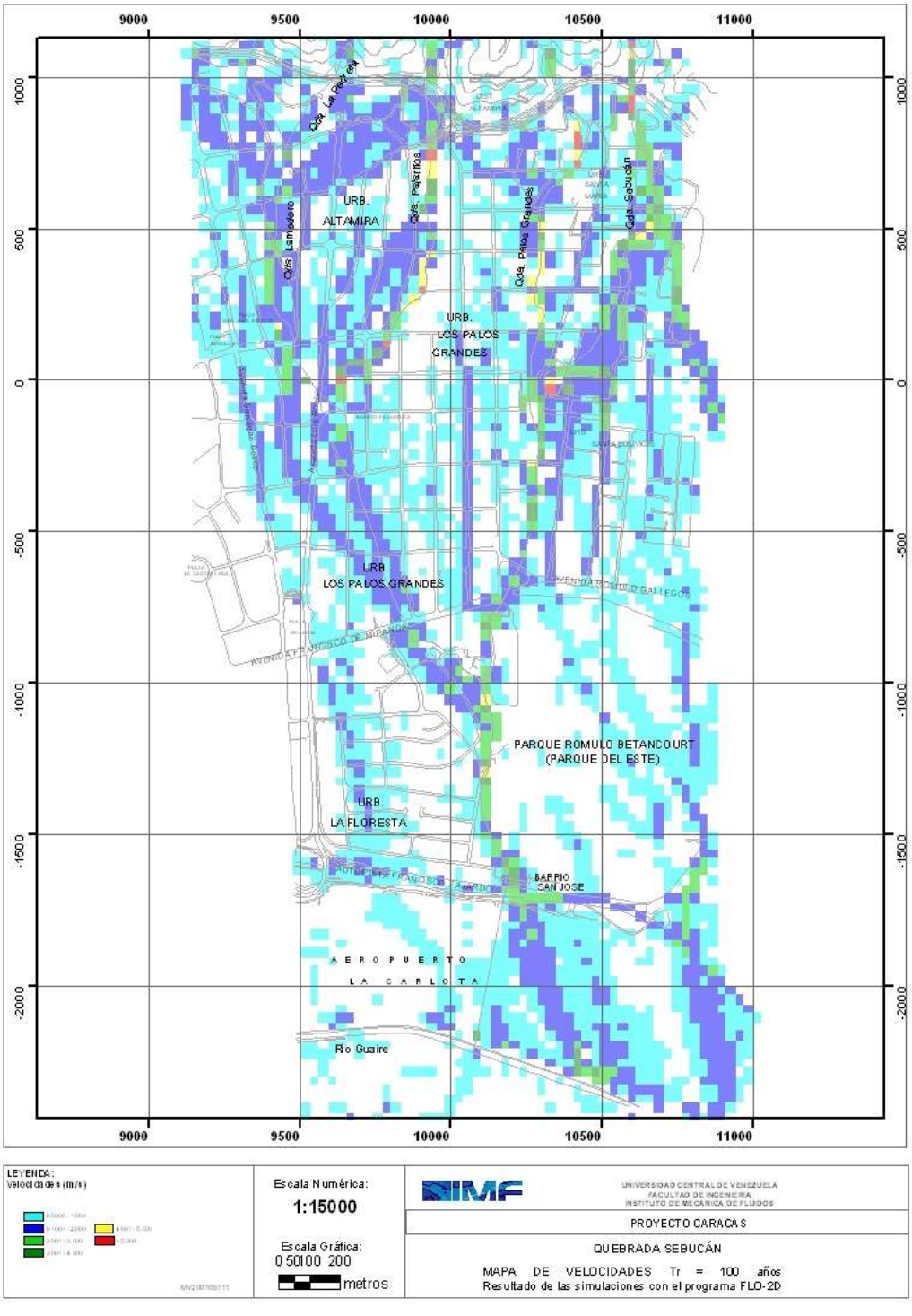


Figura 12.44. Sebucán y afluentes. Velocidades Máximas para Tr=100 años.

12.3.4 Creciente de 500 años de periodo de retorno

Se ejecutó el modelo utilizando crecientes de 500 años de periodo de retorno para las cinco quebradas estudiadas. La simulación se inició en el Parque Nacional El Ávila con canales naturales que descargan en el canal de aproximación de las respectivas alcantarillas que atraviesan la Avenida Boyacá. Se tomó una concentración volumétrica máxima de sedimentos de 30%. Los hidrogramas de creciente de las quebradas con mayor caudal se muestran en las Figuras 12.45 y 12.46.

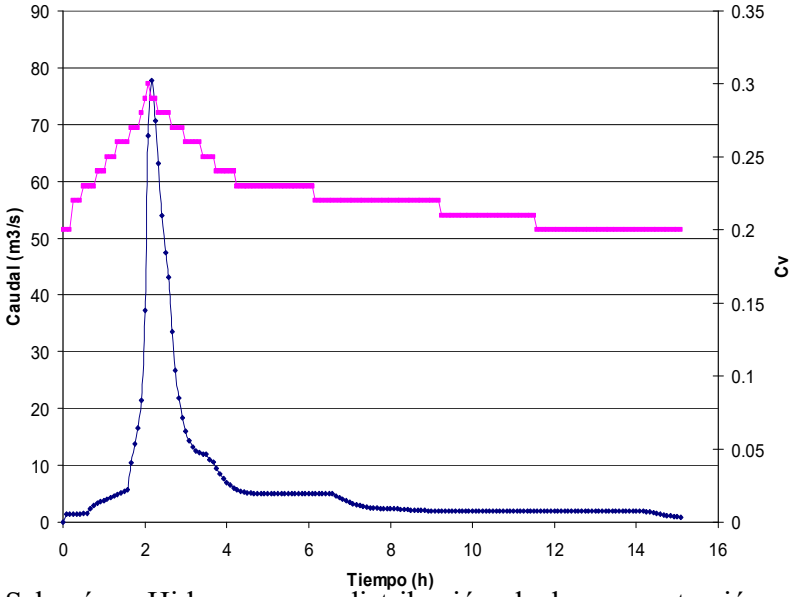


Figura 12.45 Sebucán. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 500 años).

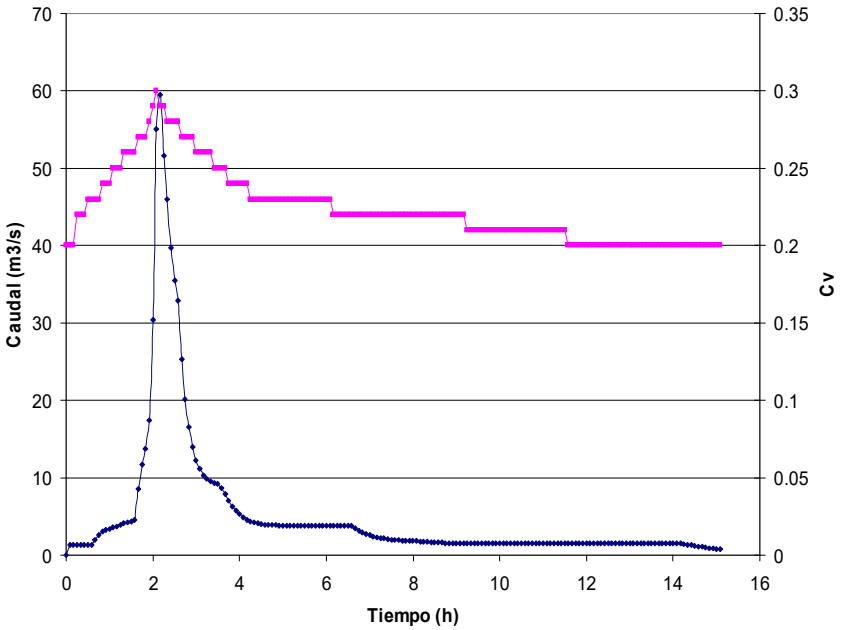


Figura 12.46. Pajaritos. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 500 años).

Según los resultados mostrados en la Figura 12.47, se observa una mancha de inundación muy semejante a la obtenida para la creciente centenaria, sólo que las profundidades son mayores y la mancha un poco más extendida. Así, en la zona de desbordamiento en los alrededores del cauce de la Quebrada Lamedero en la 8va transversal, las profundidades se encuentran alrededor de 1,5 a 2,0 m. Esta zona se extiende hacia el Sur a través de la 7ma Avenida y de la planicie de inundación. En la zona del Aeródromo La Carlota, las profundidades máximas se encuentran entre 1,5 y 2,0 m. En el sector adyacente a la Quebrada Sebucán, que se extiende hacia el sureste, hacia la cuenca de la Quebrada Agua de Maíz, se reportan profundidades de hasta 2,0 m. Al igual que para la creciente centenaria el agua proviene de la 1ra Avenida de la Urb. Santa María y se reparte hacia la Quebrada Agua de Maíz y hacia la misma 1ra Avenida que luego se transforma en 2da Avenida de Santa Eduvigis, uniéndose con la 7ma transversal donde también se desborda la Quebrada Sebucán. Las profundidades obtenidas son de hasta 1,0 m en la primera y 0,5 m, en la segunda. En las Calles Municipio y Domínguez, frente a la Plaza Santa Eduvigis, y en la 3ra transversal, las profundidades resultaron de 0,5 m.

En la Quebrada Palos Grandes, nuevamente se observa inundación a nivel de la 10ma y 6ta transversal, pero ésta se localiza sólo en la calle y no es mayor de 0,5 m.

La Quebrada Pajaritos reporta inundación aguas arriba de la 7ma transversal, detrás del Edificio 3ra Avenida, dirigiéndose hacia el Oeste hacia la Avenida 12, bajando por ésta hacia la 7ma transversal y expandiéndose hacia la Avenida 11. Las profundidades en la zona son de 0,5 m con la excepción de la Avenida 12 donde llegan hasta 1,0 m. En la 6ta transversal, frente al Automercado San Lorenzo, las profundidades son de hasta 0,50 m y

en la Avenida Alfredo Jahn, se observan profundidades de hasta 1,0 m, llegando esta última hasta la 3ra transversal. En la 4ta transversal, se desborda con la posibilidad de entrar al Sector Popular Pajaritos a través de las escaleras.

La Quebrada Lamedero se desborda en la 8va transversal, como ya se indicó, pero también lo hace en la 9na transversal; ambos desbordamientos producen profundidades de hasta 1,0 m en la 7ma Avenida, que se extienden hasta la Avenida Francisco de Miranda, pasando por la Avenida Luis Roche.

Las calles que presentan inundación por efectos de la lluvia, como lo son la 5ta Avenida entre la 9na y 7ma transversal y la 3ra Avenida, en toda su extensión hasta la Avenida Francisco de Miranda, tienen profundidades de hasta 0,5 m. La Autopista Francisco Fajardo presenta una situación similar que para la creciente centenaria, sólo que las profundidades son mayores.

En los canales, las profundidades máximas observadas se encuentran entre 5,5 y 6,5 m en puntos muy localizados, siendo la profundidad por lo general alrededor de 3,0 m. Sin embargo, en las entradas a las alcantarillas que atraviesan la Avenida Boyacá, se observaron profundidades mayores de 10,0 m en la Quebrada Lamedero y Pajaritos. En esta última, la profundidad alcanza hasta 12,0 m y compromete al distribuidor Altamira y alrededores. De acuerdo al modelo, las alcantarillas en las Quebradas Lamedero, La Pedrera y Pajaritos, se desbordan ocasionando profundidades de hasta 0,5 m en la Avenida Boyacá.

Las velocidades máximas observadas en la Figura 12.48 se localizan en las áreas inundadas. En los canales se reportan velocidades de hasta 8,0 m/s, sin embargo, las velocidades por lo general se encuentran alrededor de 3,0 m/s. En la zona cerca de la Avenida Boyacá, entre las Quebradas Lamedero y Pajaritos, donde las profundidades son menores de 0,5 m, se observan velocidades de 2,0 a 3,0 m/s, al igual que para la zona inundada aguas abajo de la Quebrada Lamedero a partir de la 8va transversal. Otra zona que reporta velocidades de este orden corresponde a la margen izquierda de la Quebrada Sebucán y en la mancha que se extiende hacia Agua de Maíz, las velocidades llegan a ser de 2,5 y 3,0 m/s. En la 3ra y 5ta Avenida de los Palos Grandes y 1ra de Santa Eduvigis, las velocidades están en el orden de los 2,0 m/s y en la 1ra Avenida de Santa María y 2da de Santa Eduvigis, hasta 3,0 m/s. También se reportan altas velocidades, de hasta 2,0 m/s en la 10ma, 9na y 7ma transversal y de hasta 3,0 m/s en la Avenida Luis Roche y en la Autopista Francisco Fajardo.

Los resultados del modelo indican que el volumen total del hidrograma principal de entrada mas lluvia es de 2,83 millones de m^3, de los cuales 2,67 millones de m^3 corresponden a agua y 160.000 m^3 a sedimentos.

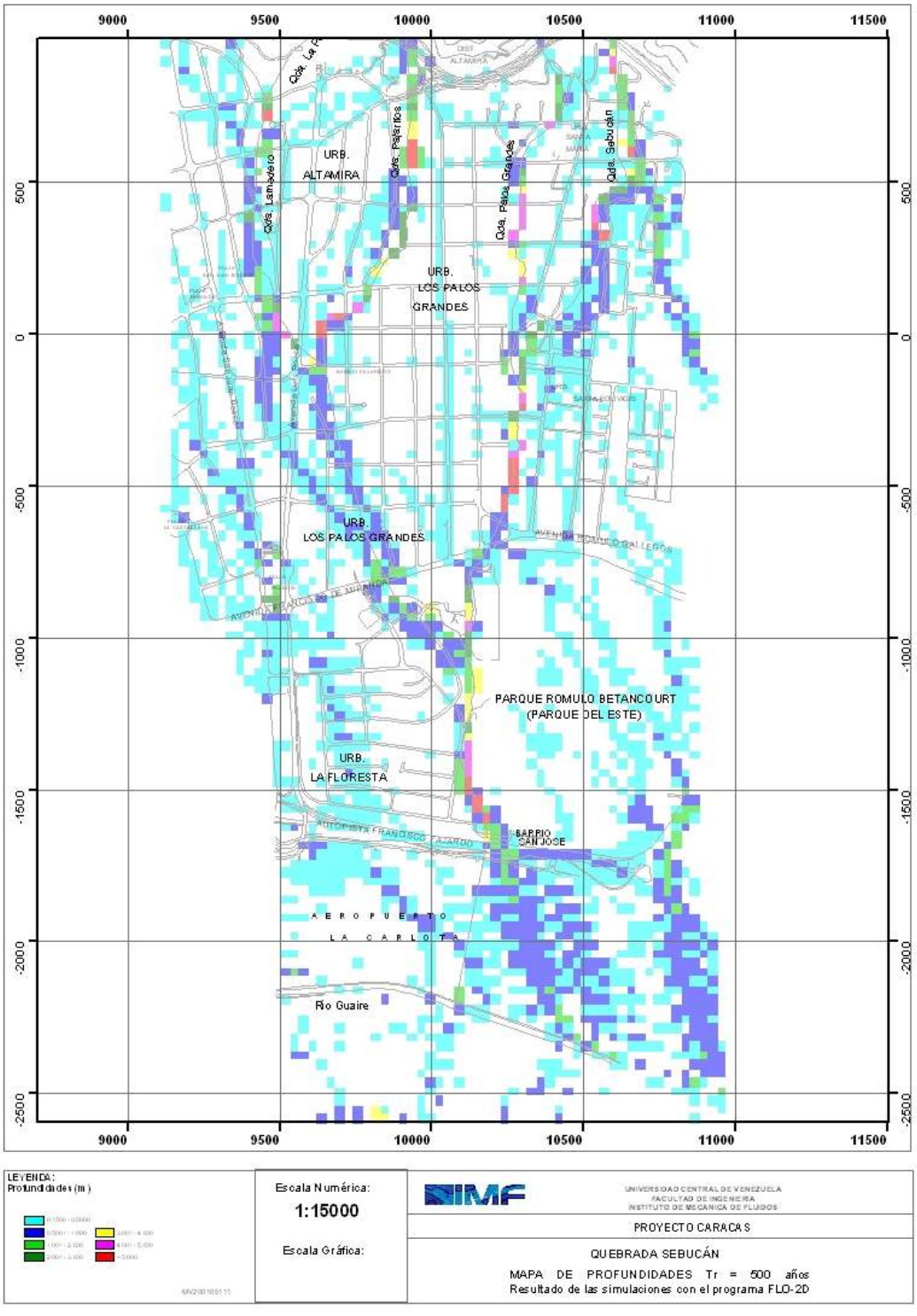


Figura 12.47. Sebucán y afluentes. Profundidades Máximas para Tr=500 años

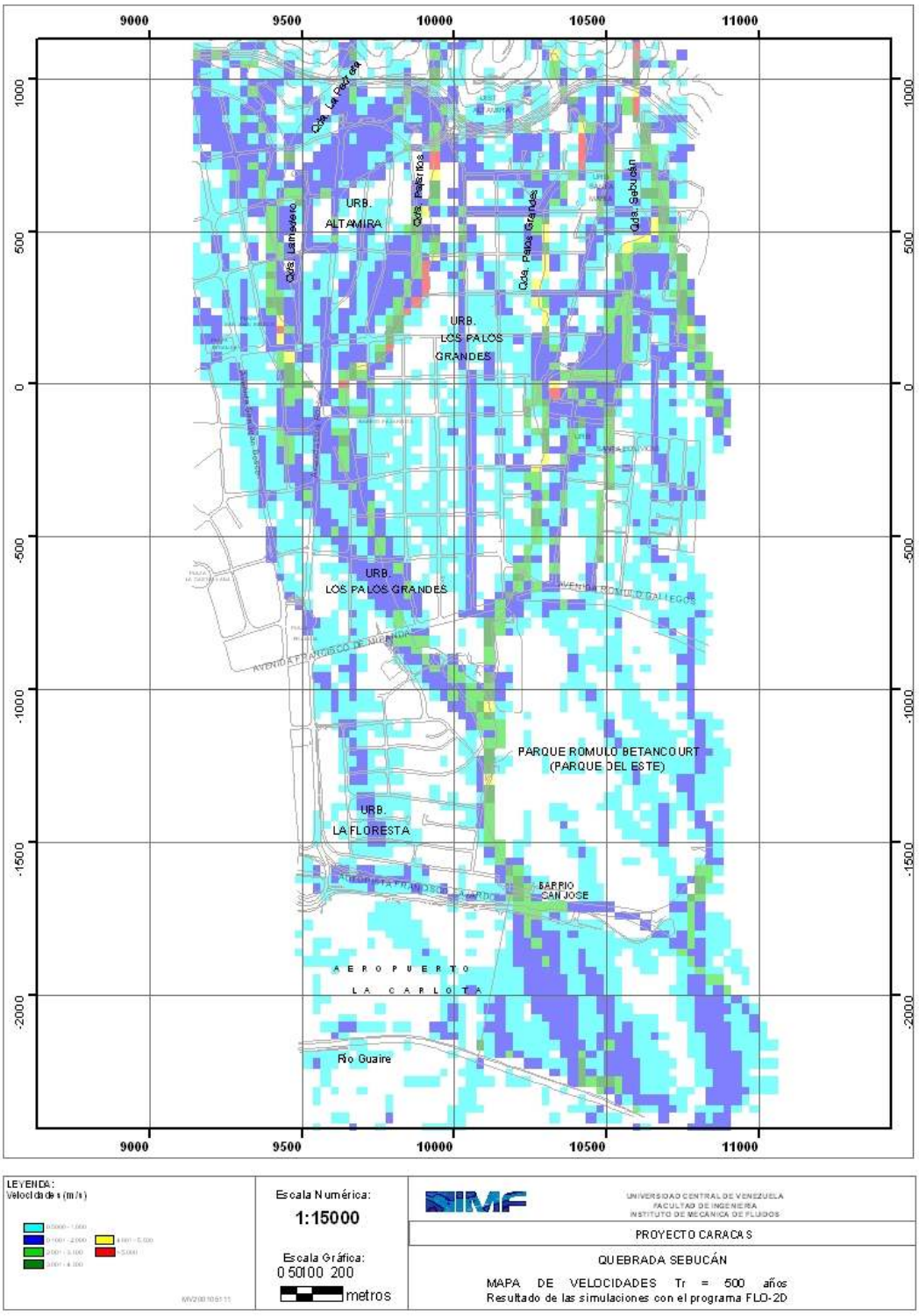


Figura 12.48. Sebucán y afluentes. Velocidades Máximas para Tr=500 años

12.4 Mapa de Amenaza

En el mapa de amenaza resultante de las simulaciones (Figura 12.49) se observan en primer término como zonas de alto grado de amenaza los cauces de las quebradas.

La Avenida Boyacá en los sitios de paso de las quebradas, presentan zonas de peligrosidad que puede extenderse hacia el resto de la Avenida.

La Quebrada Lamedero, produce una zona de amenaza alta en la 8va transversal, donde se desborda y fluye hacia el sur por la 7ma Avenida, llegando a la Avenida Benaim Pinto justo una cuadra al Este de la Clínica Ávila. Allí se constató con los vecinos que durante la ocurrencia de eventos pluviométricos intensos la quebrada sale hacia la avenida y ha derribado muros de las casas vecinas a la quebrada en el tramo entre esta avenida y la 5ta transversal. Esta inundación produce también amenaza alta sobre la 6ta Avenida hasta la 3ra transversal. Esta mancha se extiende paralelamente al cauce de la Quebrada Pajaritos en su margen derecha hasta la descarga de ésta en la Quebrada Sebucán, pero con un grado menor de peligrosidad, observándose una zona amarilla de baja amenaza.

En el cajón de paso de la 8va transversal detrás del Edificio 3ra Avenida, la Quebrada Pajaritos se desborda hacia el Oeste bajando por la Avenida 12 hasta la 6ta transversal donde existe un punto de amenaza alta correspondiente al paso de la quebrada por dicha avenida, el cual a pesar de ser un cajón, presenta en la acera norte una reja que le sirve de boca de visita. La Avenida 12 se encuentra en este tramo bajo alta amenaza. La quebrada vuelve a salir de su cauce sobre la Avenida Alfredo Jahn, pero de acuerdo a las velocidades y profundidades obtenidas, produce una zona de amenaza media hasta la 4ta transversal y luego sobre ésta, hacia el Oeste.

La Quebrada Pajaritos produce amenaza alta en la 4ta transversal en la entrada y a lo largo del Sector Popular Pajaritos que queda aguas abajo, pero también sobre el que queda aguas arriba ya que éste se encuentra ubicado sobre el cauce.

Otra zona donde se genera alta amenaza es en la Quebrada Sebucán a partir de la salida de la alcantarilla que atraviesa la Avenida Boyacá; la zona se extiende a través de la Avenida Principal de Santa María, hacia el Sur y hacia el Este a través de la planicie de inundación y haciendo uso de la Avenida. Hacia el Sur, conecta con la 6ta transversal de Santa Eduvigis donde la quebrada sale también de su cauce y ha ocasionado problemas de inundación en eventos recientes. Luego la Avenida Principal se transforma en 2da Avenida de Santa Eduvigis y también lo hace la amenaza, a nivel medio. La porción del agua que se dirige al Este hacia territorio de la Quebrada Agua de Maíz, produce en una franja extensa Norte-Sur una zona de amenaza alta que demuestra la influencia de la Quebrada Sebucán sobre la cuenca vecina.

Las siguientes zonas de alta amenaza se encuentran en la confluencia de las Quebradas Sebucán y Pajaritos en la Urbanización La Floresta y dentro del Aeródromo Francisco de Miranda (La Carlota). Esta última se origina en el paso por la Autopista Francisco Fajardo y se extiende aguas arriba hacia el sector Popular San José. Esta vía fue simulada y se observó durante el modelaje su conexión con la Quebrada Agua de Maíz, vecina al Este de

la Quebrada Sebucán, en la zona de la Autopista donde se han producido dos inundaciones en los últimos años con trágicos resultados. Se aprecia también la amenaza alta producida por la lluvia en esta zona de la Urbanización La Carlota lo cual indica que la lluvia por sí misma puede producir inundación y ésta se extiende hacia el Aeródromo.

Se observa amenaza media y baja, por lo general bordeando zonas de amenaza alta. Desde la 9na transversal hacia aguas abajo, la zona de amenaza media bordea el cauce de la Quebrada Lamedero y se extiende a lo largo de la 7ma y 8va Avenida hasta la Avenida Benaim Pinto. Desde aquí se ensancha y continúa hacia la descarga de la Quebrada Lamedero en Pajaritos en la 4ta transversal, bajando por la Avenida Luis Roche y conectando con la 1ra Avenida de los Palos Grandes mediante la 1ra transversal. Desde la 1ra Avenida se extiende en una franja estrecha, hasta el Centro Cultural La Estancia.

También se observa amenaza media al norte de la 8va transversal entre las quebradas Lamedero y Pajaritos. Asimismo, se indica amenaza media en el Sector Popular San José, en el Aeródromo La Carlota y en el Parque Rómulo Betancourt (Parque del Este) y para la Quebrada Los Palos Grandes, en la 10ma transversal.

En la Quebrada Sebucán existe amenaza media en los alrededores del cauce desde la salida de la alcantarilla que atraviesa la Avenida Boyacá hasta la Avenida Rómulo Gallegos la cual afecta la Avenida Los Chorros (9na transversal), la 7ma y 3ra Transversal, la 5ta Avenida, Calles Municipio y Domínguez y la 1ra Avenida de Santa Eduvigis. Igualmente en la zona que pertenece a la cuenca de la Quebrada Agua de Maíz, la amenaza media circunda la zona de amenaza alta. Las zonas de amenaza baja se obtuvieron en puntos locales de las Quebradas Pajaritos y Sebucán y en el Aeródromo La Carlota, aunque en este ùltimo sitio se decidió colocar la amenaza como media (naranja) debido a que la alta (roja), resultado directo de la simulación se presentó solamente en un área pequeña muy localizada.

El mapa final independiente de la retícula de simulación se presenta en la figura 12.50

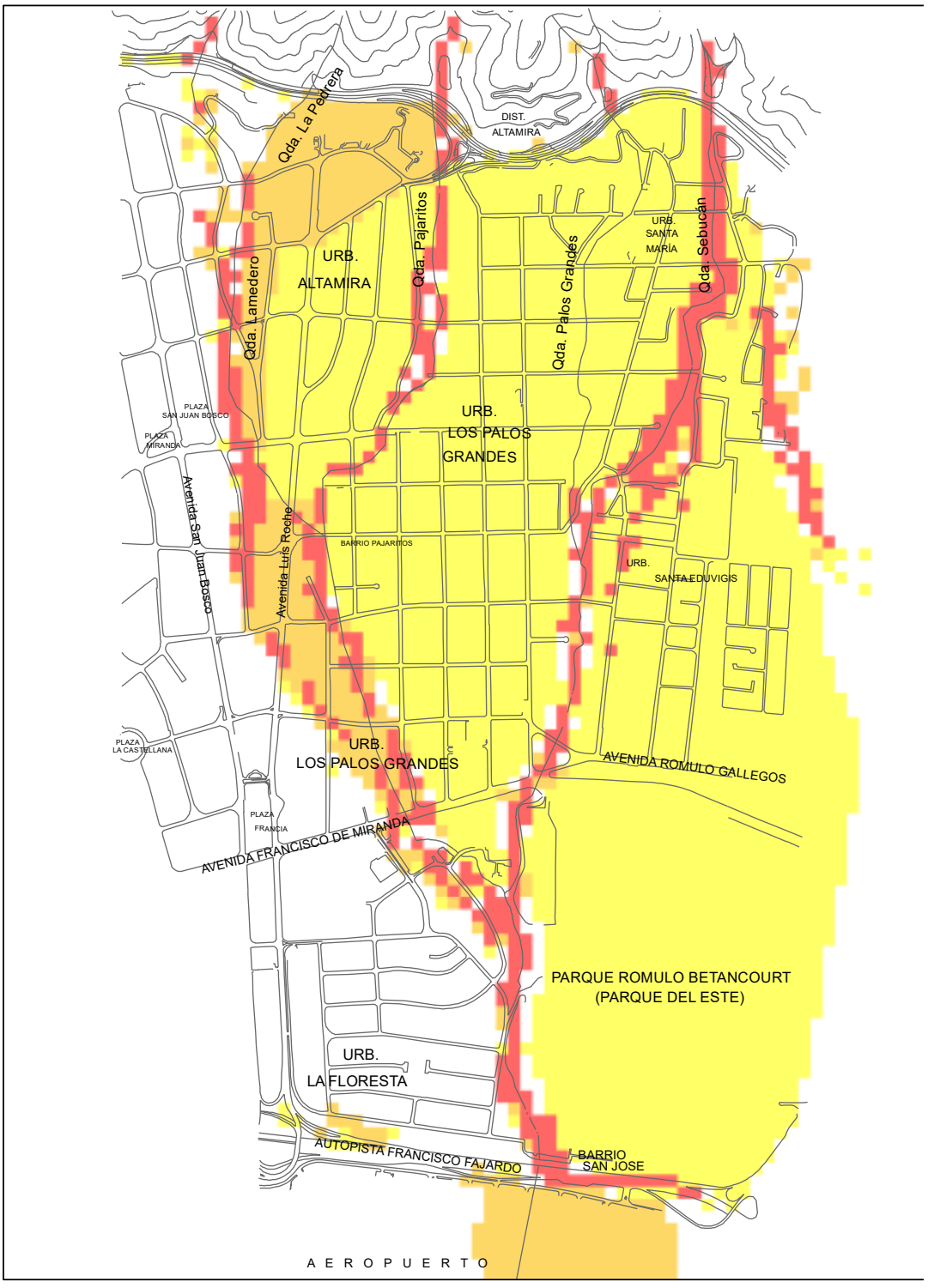


Figura 12.49. Sebucán. Mapa de Amenaza resultante de las simulaciones

Fig 12.50 Sebucán. Mapa de Amenaza rectificado

13. ESTUDIO DE LA QUEBRADA AGUA DE MAÍZ

13.1 Características del Área

13.1.1 Ubicación geográfica

La cuenca de la Quebrada Agua de Maíz está ubicada al este de la Quebrada Sebucán y al oeste de la Quebrada Tócome, como se observa en la Figura 13.1. Fluye en dirección norte-sur hasta descargar en el río Guaire. Presenta un afluente importante en su ribera derecha, la quebrada Torres, la cual será igualmente objeto de estudio. La subcuenca pertenece al Municipio Sucre del Distrito Capital.

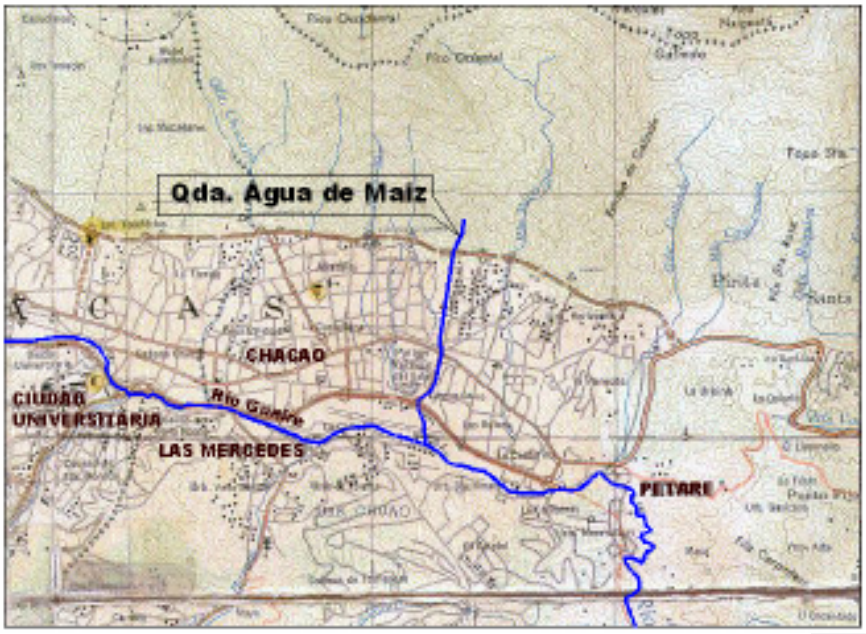


Figura 13.1 Agua de Maíz. Ubicación de la subcuenca

13.1.2 Información disponible

13.1.2.1 Información cartográfica y fotográfica

De la información cartográfica señalada para el Proyecto se utilizaron específicamente:

- Planos aereofotogramétricos digitales procesados por la empresa Estereofoto C.A., a escala 1:5.000, año 2.000, hojas Nº 8, 9,15 y 16.
- Cartas a escala 1:25.000 del año 1.975, hojas 6847-IV-SE y 6847-III-NE.

Por otra parte, se dispuso de fotografías aéreas en formato digital y en papel fotográfico y sus respectivos mosaicos en formato digital; esta información se indica en la Tabla 13.1

Año	Misión	Fotos	Formato	Escala original
1.936	Sin Código	391, 393, 395, 397, 580, 582, 584	Papel Fotográfico	Desconocida
Febrero 1.994	0304185	0036	Digital	1:25.000

Tabla 13.1. Agua de Maíz. Fotos aéreas disponibles para la subcuenca Agua de Maíz

Existe además una información fotográfica anterior sobre la Quebrada, proveniente de visitas de campo realizadas en el marco del Proyecto Ávila en Enero 2002.

13.1.2.2 Información hidrológica

La información hidrológica proviene del estudio hidrológico realizado para el Proyecto..

13.1.2.3 Estudios previos

La Quebrada Agua de Maíz ha sido incluida en los siguientes estudios previos señalados en este informe:

- I.G.N.S.B, 2002
- B.P.P., 1.992
- C.G.R. Ingeniería, 2001

13.1.3 Hidrografía

La quebrada nace en el parque Nacional El Ávila (1.280 m.s.n.m.) y su cuenca se extiende hasta el Río Guaire (825,58 m.s.n.m.), con un área aproximada de 2,71 km^2. Presenta varios afluentes, entre los cuales el más importante es la Quebrada Torres.

Las quebradas Agua de Maíz y Torres atraviesan en su recorrido áreas de la Urbanización Sebucán, Parque Sebucán, Los Chorros, Los Dos Caminos y Santa Cecilia. Entre las transversales 5_{ta} y 6_{ta} de Los Dos Caminos, la Quebrada Torres descarga en Agua de Maíz y continúan con el nombre de Agua de Maíz hacia el Sur, para atravesar la avenida Rómulo Gallegos, la avenida Francisco de Miranda, el Museo del Transporte, la autopista Francisco Fajardo y el aeródromo Francisco de Miranda (Aeropuerto La Carlota), para desembocar luego en el Río Guaire frente a la urbanización Chuao. Otros afluentes menores se observan aguas arriba de la Avenida Los Chorros y a nivel de la 10_{ma} transversal de Los Dos Caminos. Las características principales de la Quebrada Agua de Maíz y su afluente Torres, se presentan en la Tabla 13.2.

La Figura 13.2 presenta el perfil longitudinal del cauce principal tanto de la Quebrada Agua de Maíz como Torres, desde su nacimiento hasta su descarga en el Río Guaire. Para su elaboración, se utilizó la carta a escala 1:25.000 para la zona alta de la cuenca (aguas arriba de la Avenida Boyacá) y el plano en formato digital a escala 1:5.000, para la zona urbanizada, aguas abajo de la Avenida.

Área de la cuenca (km^2)	Vegetada: 0,38 (14,02%)	Total:2,71
	Urbana: 2,33 (85,98%)	
Longitud del cauce principal (km)	En área extra-urbana: 0,68 (16%)	Total: 4,24
	En área urbana: 3,56 (84%)	
Longitud del cauce principal (km)	En área extra-urbana: 1,68 (56%)	Total: 3,01
	En área urbana: 1,33 (44%)	
Cotas (m.s.n.m.)	Superior: 1.280	
	Inferior (confluencia con el río Guaire): 825,58	
Pendiente del cauce (%)	En área extra-urbana: 40	Promedio:17
	En área urbana: 7	

Tabla 13.2 Agua de Maíz. Características de la subcuenca

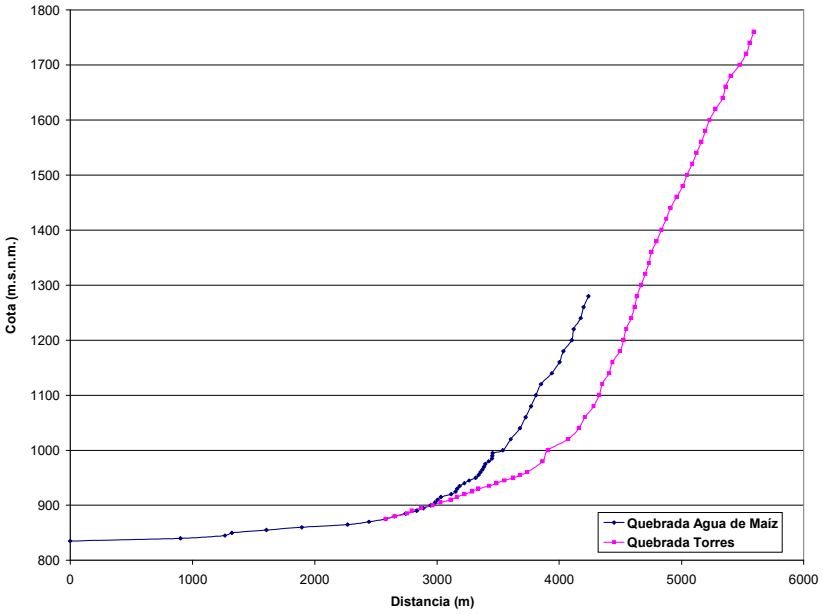


Figura 13.2 Agua de Maíz. Perfil longitudinal

En estudio anterior se calcularon hidrogramas de caudal líquido en ambas quebradas, para 10, 100 y 500 años de período de retorno, a la altura de la avenida Boyacá (CGR Ingeniería, 2.001). Estos se presentan gráficamente en las Figuras 13.3 y 13.4, mientras la Tabla 13.3 muestra los valores de los caudales máximos.

Quebrada	**Caudal máximo (m^3/s)**		
	Tr = 10 años	**Tr = 100 años**	**Tr = 500 años**
Agua de Maíz	6,46	12,18	16,34
Torres	5,31	12,23	17,46

Tabla 13.3 Agua de Maíz-Torres. Caudales máximos

13.1.4 Usos del suelo

La subcuenca presenta dos zonas bien diferenciadas, separadas por la Avenida Boyacá (Cota Mil): una zona vegetada, perteneciente al Parque Nacional El Ávila, con 14 % de la superficie, la cual no presenta intervención humana y una zona baja urbanizada con 86 % de la misma.

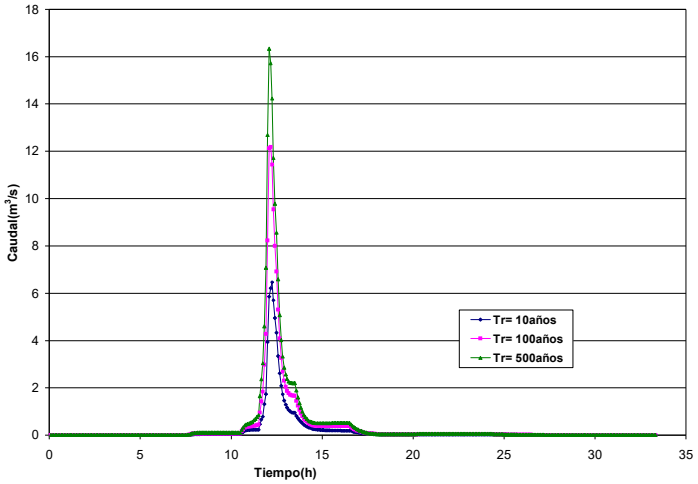


Figura 13.3 Agua de Maíz. Hidrogramas de caudal líquido en la Avenida Boyacá para diferentes períodos de retorno.

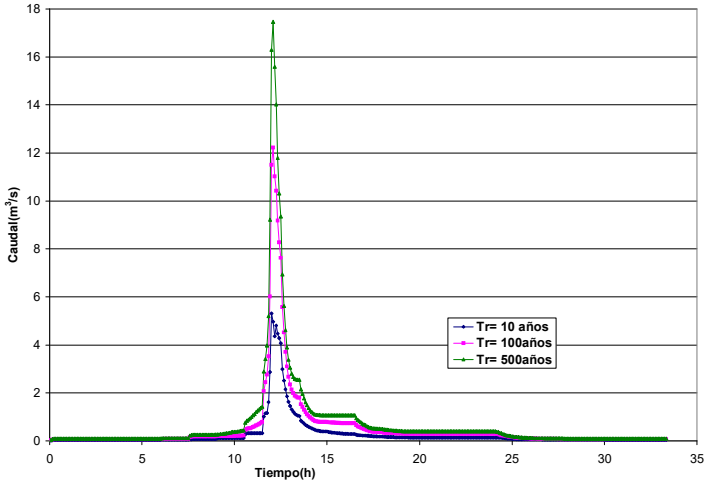


Figura 13.4 Torres. Hidrogramas de caudal líquido en la Avenida Boyacá para diferentes períodos de retorno.

La zona urbana es exclusivamente residencial, destacándose un desarrollo no controlado, el Barrio Agua de Maíz, ubicado en las márgenes de la quebrada, entre la 2_{da} y 10_{ma} transversal de Los Dos Caminos.

La urbanización del sector empezó por la construcción del aeropuerto de La Carlota (Base Aérea Francisco de Miranda) y las Urbanización La Carlota y Santa Cecilia en medio de áreas todavía dedicadas a la agricultura. Luego se extendió a toda la cuenca debajo de la Cota Mil, primero en forma de zonas residencias de baja densidad, luego de viviendas multifamiliares. En los últimos años se ha ido construyendo un cinturón de edificios en la franja alta adyacente a la Cota Mil.

Los puntos de interés que se observan dentro del cono de deyección son:

- Parque Rómulo Gallegos (Parque del Este).
- Museo del Transporte.
- Residencia presidencial La Casona
- Estación Dos Caminos del Metro de Caracas.
- Aeródromo Francisco de Miranda (La Carlota).

En su recorrido atraviesa las siguientes vías importantes:

- Avenida Boyacá (Cota Mil).
- Avenida Francisco de Miranda.
- Avenida Rómulo Gallegos.
- Autopista Francisco Fajardo.

Aguas abajo de la Avenida Boyacá, sobre la Avenida Principal de la urbanización Santa María, se encuentra la Estación de Bombeo Sebucán de Hidrocapital.

13.2 Red de drenaje pluvial

13.2.1 Caracteristicas de la red de drenaje

A medida que se urbanizaba el área y se construían las grandes vías e infraestructuras del este de la capital, la Quebrada Agua de Maíz, al igual que todas las quebradas de Caracas ha visto su cauce, que discurría originalmente desde El Ávila hacia el Río Guaire en su curso natural, modificarse por medio de canalizaciones y embaulamientos, realizados en distintos tramos sin plan de conjunto, hasta el punto que si sigue esta tendencia, el estado último de la quebrada será dentro de poco un solo cajón de dimensiones variables desde la Cota Mil hasta el Río Guaire. Para justificar estos embaulamientos se argumenta generalmente que constituyen un medio de protección de las personas y las edificaciones ubicadas en las márgenes, tanto contra las inundaciones como contra los inconvenientes de las aguas servidas que transporta la quebrada.

El resultado actual de este proceso es una sucesión de tramos abiertos y cerrados, de secciones heterogéneas, tal como se representa en la Fig. 13.5. Todas las reducciones de capacidad son puntos críticos para el flujo

– **Tramo 1: Avenida Boyacá – Avenida Los Chorros**

La Quebrada Agua de Maíz cruza la Avenida Boyacá, con una alcantarilla de metal corrugado de 1,50 m de diámetro en el sitio donde se ubica el puesto de guardaparques Sebucán (ver Figura 13.6). Tiene una descarga lateral, desde el este, de una tubería de drenaje longitudinal, metálica corrugada de 0,60 m de diámetro, como se muestra en la Figura 13.7. En algún sector, no precisado, cambia su sección a un cajón de sección estimada en 1,5 m x 1,0 m y pareciera recibir aporte de un cauce pequeño que los vecinos denominan Quebrada El Manguito.

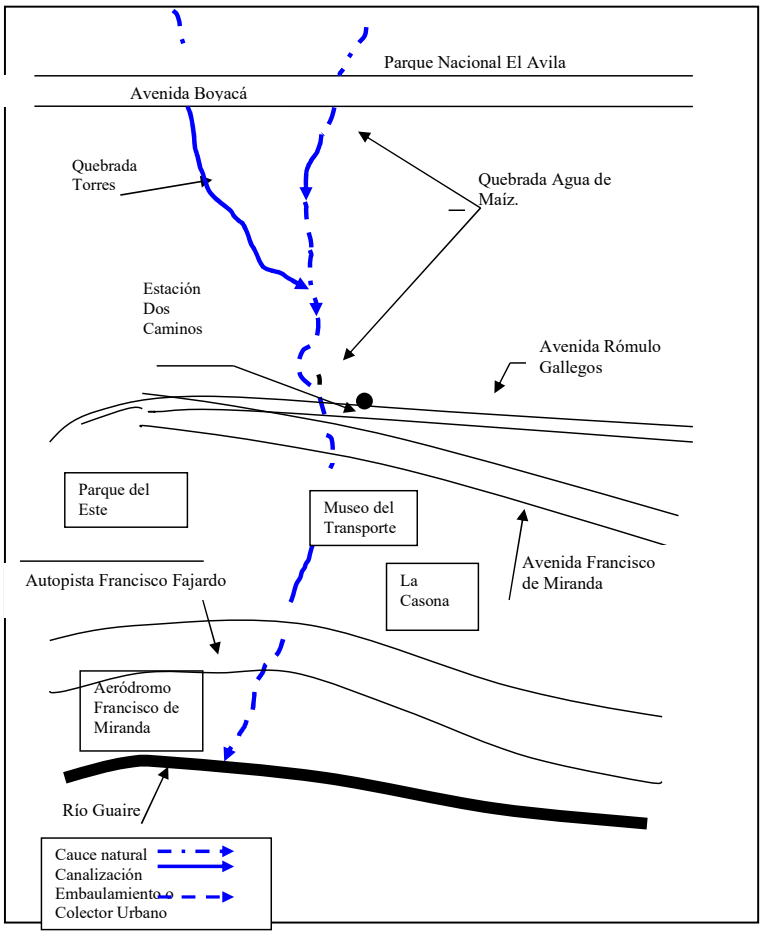


Figura 13.5 Agua de Maíz. Esquema de la red de drenaje

La Quebrada Torres, atraviesa la Avenida Boyacá con una tubería de metal corrugado de 1,40 m de diámetro y está ubicada aproximadamente a 200 m hacia el oeste de la Quebrada Agua de Maíz.

Figura 13.6 Agua de Maíz. Alcantarilla en la Quebrada Agua de maíz, que atraviesa la Avenida Boyacá.

Figura 13.7 Agua de Maíz. Drenaje longitudinal que descarga en alcantarilla de la Quebrada Agua de Maíz.

- **Tramo 2: Avenida Los Chorros - 8_{va} transversal de Los Dos Caminos.**

En la Avenida Los Chorros está embaulada, pero no pudo medirse la sección; sin embargo, dentro del barrio, aguas abajo de la Avenida Los Chorros, la sección del cajón es aproximadamente 1,0 x 1,5, y se muestra en la Figura 13.8. Continúa con un canal rectangular de concreto de aproximadamente 1,0 m de ancho. Las aguas en este sector se encuentran contaminadas con aguas residuales, lo cual se percibe por el olor y el color.

Figura 13.8 Agua de Maíz. Fin del cajón aguas abajo de la Avenida Los Chorros

A nivel de la 10_{ma} transversal, la canalización es rectangular de concreto y su sección aumenta respecto a la observada aguas arriba. En el sitio la sección para el libre flujo está obstaculizada con una reja y láminas de acero tal como se muestra en la Figura 13.9. Cerca de este punto, recibe el aporte de otro curso de agua al cual no se le ha encontrado denominación de aceptación común.

La canalización continúa hacia aguas abajo, hacia el Barrio Agua de Maíz. Dentro de este sector la sección es variable y en un punto se estimó de 3,00 de ancho base y 1,20 m de altura. Aguas arriba de la 8_{va} transversal de Los Dos Caminos, comienza el embaulamiento con una sección igual a 3,00 m x 1,20 m (ver Figura 13.10).

Figura 13.9 Agua de Maíz. Vista hacia aguas arriba de la canalización de la Quebrada Agua de Maíz a la altura de la transversal 10_{ma} de Los Dos Caminos.

Figura 13.10 Agua de Maíz. Canalización aguas arriba de la 8_{va} transversal de Los Dos Caminos. Inicio del embaulamiento, vista hacia aguas abajo.

- **Tramo 3: 8_{va} transversal - 6_{ta} transversal de Los Dos Caminos.**

La quebrada se encuentra embaulada desde la 8_{va} a la 6_{ta} transversal de Los Dos Caminos y su sección es un cajón de concreto de 2,40 m de ancho y, se estima, 2,40 m de altura. Una vista superior del cajón se muestra en la Figura 13.11.

- **Tramo 4: 6_{ta} transversal - 5_{ta} transversal de Los Dos Caminos.**

Entra la 6_{ta} transversal y 5_{ta} transversal de Los Dos Caminos, la quebrada se encuentra en su sección natural como se observa Figura 13.12 y vuelve a estar embaulada a nivel de la 5_{ta} transversal. En este tramo descarga la Quebrada Torres (ver Figuras 13.13 y 13.14).

- **Tramo 5: 5_{ta} transversal - 1_{ra} transversal de Los Dos Caminos.**

La quebrada se encuentra embaulada desde la 5_{ta} transversal hasta la 1_{ra} transversal de Los Dos Caminos. En la 2_{da} transversal de Los Dos Caminos comienza el Barrio Agua de Maíz y en este punto se midió un ancho de 2,40 m.

En la 1ra transversal se observó el cajón de concreto de la Figura 13.15, cuya sección se estimó en 2,80 m x 2,40 m.

Figura 13.11 Agua de Maíz. Embaulamiento entre la 8_{va} y 6_{ta} transversal de Los Dos Caminos.

- **Tramo 6: 1_{ra} transversal - Avenida Rómulo Gallegos**

Este tramo de la quebrada se encuentra en su cauce natural (ver Figuras 13.16 a 13.18); tiene aproximadamente 120 m y se dice que el embaulamiento, hacia aguas arriba, (ver Figura 13.19), lo ejecutaron los vecinos al construir las altas edificaciones que ahora existen. La sección se estimó en 2,80 m x 2,40 m. En la calle, 1_{ra} transversal, se observaron sumideros de reja y ventana, los cuales descargan en la quebrada según se muestra en la Figura 13.20.

En esta transversal, detrás de la vivienda Santa Marta, se apreció cómo el cauce ha socavado las fundaciones de una escalera externa de la vivienda. El mismo se encuentra a unos 5 m por debajo del nivel de calle y el agua está muy contaminada con aguas residuales y trae normalmente mucha basura, que los vecinos se encargan de retirar, más, dicen ellos, que no arrastra rocas. Sin embargo, se observó la presencia de rocas de aproximadamente 20 cm (ver Figura 13.21). Para diciembre de 1.999 el nivel subió unos 50 cm y no causó daños.

Figura 13.12 Agua de Maíz. Quebrada entre la 5_{ta} transversal y la 6_{ta} transversal de Los Dos Caminos. Se aprecia el comienzo del embaulamiento en la 5_{ta} transversal.

Figura 13.13 Agua de Maíz. Descarga de la Quebrada Torres en la Quebrada Agua de Maíz.

Figura 13.14 Agua de Maíz. Vista hacia aguas arriba de la Quebrada Torres justo antes de su confluencia con la Quebrada Agua de Maíz.

Figura 13.15 Agua de Maíz. Cauce de la Quebrada Agua de Maíz a nivel de la 1ra transversal de Los Dos Caminos.

Figura 13.16 Agua de Maíz. Cauce de la Quebrada Agua de Maíz a nivel de la 1ra transversal de Los Dos Caminos.

Figura 13.17 Agua de Maíz. Cauce de la Quebrada Agua de Maíz a nivel de la 1ra transversal de Los Dos Caminos.

Figura 13.18 Agua de Maíz. Embaulamiento aguas arriba de la 1ra transversal de Los Dos Caminos.

Figura 13.19 Agua de Maíz. Descarga de sumideros en la quebrada.

Figura 13.20 Agua de Maíz. Cauce de la Quebrada Agua de Maíz a nivel de la 1ra transversal de Los Dos Caminos. Observar la presencia de rocas.

- **Tramo 7: Avenida Rómulo Gallegos – Entrada Urb. Santa Cecilia**

Antes de cruzar la Avenida Rómulo Gallegos la quebrada está ubicada entre las Avenidas Sucre de Los Dos Caminos y Principal de Sebucán. Se encuentra embaulada por un cajón de concreto, que la atraviesa desviada, de unos 3,50 m de ancho base y 2,60 m de altura, según la sección que se muestra en la Figura 13.22.

Se estimó que el nivel de la calzada se encuentra a unos 4,5 m por encima del fondo del embaulamiento. Se observó también la descarga de un sumidero de ventana a 1,0 m aproximadamente por encima del techo del cajón.

Aguas arriba de la Avenida Rómulo Gallegos, la quebrada se encuentra canalizada por un tramo de unos 10 m. Dicha canalización es de concreto y su sección variable, presentando una berma en forma de cuña en la margen derecha y muros de bloque en ambas márgenes, de mayor altura que la avenida. Uno de estos muros bloquea el flujo de salida del embaulamiento que se encuentra inmediatamente aguas arriba de la canalización, tal como se muestra en la Figura 13.23. Este último embaulamiento es también un cajón de concreto (ver Figura 13.24), de 3,40 m de ancho y 2,60 m de altura. Es importante destacar que en este punto el agua se encuentra muy contaminada, posee mal olor y gran cantidad de basura.

Figura 13.21 Agua de Maíz. Embaulamiento de la Quebrada Agua de Maíz que atraviesa la Avenida Rómulo Gallegos. Vista hacia aguas abajo.

Figura 13.22 Agua de Maíz. Tramo canalizado de la Quebrada Agua de Maíz, aguas arriba de la Avenida Rómulo Gallegos.

Según testimonio de un vecino, la quebrada subió hasta el brocal de la berma y nunca ha alcanzado una altura mayor.

Figura 13.23 Agua de Maíz. Muro bloqueando flujo de salida del cajón.

Figura 13.24 Agua de Maíz. Embaulamiento aguas arriba de la Avenida Rómulo Gallegos. Vista hacia aguas arriba.

Aguas abajo de la Avenida Rómulo Gallegos, la quebrada está canalizada por un tramo corto de unos 6 m aproximadamente. Esta canalización es de concreto de 3,40 m de ancho. La altura es mayor a 3,40 m. Luego vuelve a estar embaulada con una tubería tipo ARMCO de metal corrugado de diámetro 3,40 m. (ver Figura 13.25). Atraviesa la Avenida Francisco de Miranda (ver Figura 13.26) y el Museo del Transporte embaulada y aparece nuevamente aguas abajo del Museo en forma de cajón como se aprecia en la Figura 13.27. No se conoce en qué lugar el embaulamiento cambia de sección.

Figura 13.25 Agua de Maíz. Embaulamiento aguas abajo de la Avenida Rómulo Gallegos.

Figura 13.26 Agua de Maíz. Vista hacia aguas arriba de alcantarilla en la Quebrada Agua de Maíz, antes de embaulamiento en la Avenida Francisco de Miranda.

- Tramo 7- Entrada Urb. Santa Cecilia- Autopista

Este tramo ha sido objeto de un estudio especial del IMF, debido a la inundación de Julio 2003. Se refleja a continuación la información recopilada

En este tramo se presentan incoherencias de diseño, a pesar de encontrase en una zona de importantes vías e instalaciones de carácter metropolitano, como son la Avenida Francisco de Miranda, la autopista Francisco Fajardo y la Base Área de La Carlota.
Antes del cruce de la Avenida Francisco de Miranda existe en efecto una transición inadecuada que reduce localmente la sección disponible para el flujo.
El último tramo de 264 m de longitud ubicado aguas arriba del "Punto P" (cruce de la Quebrada con la autopista, y lugar del desbordamiento de Julio 2003) será descrito a continuación con más precisión. Fue objeto de un levantamiento topográfico realizado inmediatamente después del evento, cuando todavía se podía apreciar, aunque con imprecisión, las marcas del nivel dejadas por la inundación. El plano anexo (Fig. 13.27) representa una vista en planta y secciones típicas de las obras de conducción. Nótese que el agua fluye de Norte a Sur, en el sentido de las progresivas crecientes.
Se puede distinguir 4 secciones distintas:
- la quebrada llega a la progresiva 0+000 como embaulamiento de concreto de 3,63 x 3,72m .
- En este punto se produce la transición a un embaulamiento del mismo ancho aproximadamente y de una altura de 2,20 m solamente (fig. 13.28)), de 147 m de longitud, hasta la cancha deportiva existente. A lo largo de este tramo, arriba del techo del cajón, existen taludes de tierra con vegetación baja (fig.13.29) El día del evento el flujo corrió por encima del cajón y derribó una cerca atravesada, ubicada a la altura de una cancha deportiva (fig. 8.4.7)
- en la progresiva 0+147 empieza un canal abierto hasta el Punto P. (fig. 13.30) El canal fue construido en 1981, presentando según planos de proyecto y construcción un ancho de 3,40 m, , una pendiente de 1,3% y un gasto de diseño de 34 m3/s (RIO NEGRO CA 1981). La altura no se indica, en los planos consultados, pero sería en todo caso superior a 1,62 m, (profundidad normal). Las dimensiones medidas en el terreno después del evento fueron variables según la progresiva. El ancho se mantuvo entre 3 m y 3,20 m. La profundidad mínima del canal propiamente dicho fue de 1 m debido posiblemente a la sedimentación. En todo caso los taludes o muros laterales aumentan la capacidad en este sector.
- a partir del Punto P empieza el paso por debajo de La Carlota hasta el Río Guaire, por medio de una tubería abovedada de tipo ARMCO (fig. 13.31) Se trata muy probablemente de la misma tubería levantada en 1975 por CIMEX en su proyecto de canalización de la quebrada entre el Punto P y el Museo de Transporte. Sin embargo este proyecto reporta unas dimensiones de 3,91x2,54 m, para una longitud de 548 m hasta el Guaire y una pendiente de 9,59%, mientras una medición realizada en campo dio 3,66x2,28 m. Estas últimas dimensiones son muy cercanas a las de una tubería abovedada que figura en el catálogo ARMCO (3,61x2,31 m) y serán las que se adoptaron para los cálculos[1] . La fecha

[1] Esta pequeña incertidumbre sobre las dimensiones exactas no afecta significativamente las conclusiones.

de construcción es de los años 50, posterior en todo caso a la construcción de la Base de la Carlota.
No ha sido posible medir la sección de la tubería en la descarga al Guaire, pero planos de canalización del Río Guaire señalan en 1959 en este punto una tubería ARMCO tipo F0 de 4,04x2,51 (AYALA 1959)
Es de notar que la entrada del agua en la alcantarilla se dificulta por la existencia de varias tuberías atravesadas. Esta situación se puede apreciar en las fotos 8.4.10 y 8.4.11, donde se observa además el pequeño muro construido en orilla de la autopista probablemente con la intención de retrazar o amortiguar el paso de una creciente. Este muro tiene poca longitud y no puede impedir que el flujo penetre finalmente en la vía por los costados

Se calculó la capacidad hidráulica aproximada en flujo permanente de los tramos descritos, con la fórmula de Manning. Los resultados se presentan en la tabla 8.4.1 donde se puede observar que la capacidad se va reduciendo a lo largo del tramo estudiado, de 84 m3/s aguas arriba a sólo 21 m3/s en el Punto P antes del paso debajo de La Carlota.

Fig. 13.27 Transición del embaulamiento de 3,6x3,7 a 3,6x2,2m (Vista hacia aguas arriba).

Fig. 13.28 Continuación del cajón de 3,67 x 2,20 m a lo largo de la Urb. Santa Cecilia (a la derecha). Se aprecia sólo el techo del cajón. (flecha en el sentido del flujo)

Fig.13.29 Cerca derribada por el flujo que corrió por el techo del cajón

Fig. 13.30 Canal abierto aguas arriba del Punto P

Fig 13.31 Punto P. Entrada de la alcantarilla debajo de la autopista y la Base Área. Obsérvese el muro de contención y obstáculos al paso del agua.

Fig.13.32 Otra vista del Punto P, tomada al día siguiente del evento

Fig. 13.33 Otro obstáculo al flujo a poca distancia aguas arriba del punto P

TRAMO	TIPO	DIMENSIONES (m)	PDTE (%)	n	CAPACIDAD (m3/s)
Av. Francisco de Miranda - Calle 3 Sta.Cecilia	Embaulamiento rectangular	3.63 x 3.72	1.2	0.02	84,4
Calle 3 Sta. Cecilia - Calle 5 Sta. Cecilia	Embaulamiento Rectangular	3.67 x 2.20	1.2	0.02	46,0
Calle 5 Sta. Cecilia - Autopista Francisco Fajardo	Canal rectangular	3.40 x 1.60	1.2	0.02	21,0
Autopista Francisco Fajardo - Rio Guaire	Tubería abovedada ARMCO	3.61 x 2.31	1.0	0.02 4	21,5

Tabla 13.4 Capacidades de las distintas secciones del último tramo

Tramo 8: Autopista Francisco Fajardo – Descarga en el Río Guaire

La quebrada atraviesa la Autopista Francisco Fajardo con la sección descrita anteriormente, así como también el Aeródromo La Carlota.
La descarga en el río Guaire es a través de una sección abovedada, de metal corrugada tipo ARMCO, tal como se muestra en la Figura 13.34.

Figura 13.34 Agua de Maíz. Descarga en el Río Guaire.

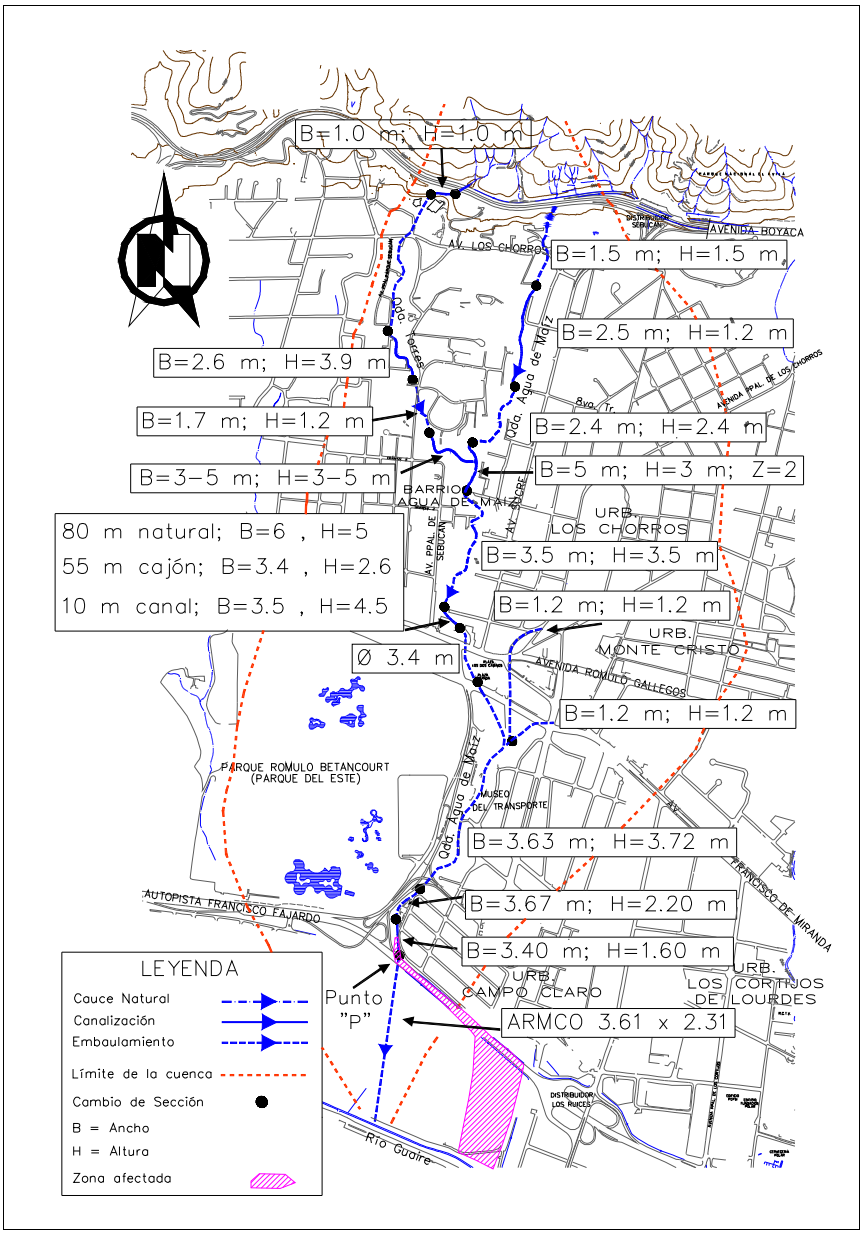


Fig 13.35 Agua de Maíz- Características de la red de drenaje

13.2.2 Antecedentes de inundaciones

Los siguientes eventos han tenido efecto en la subcuenca de la Quebrada Agua de Maíz:

1. Según anexo "Alud Torrencial Catastrófico Febrero 1.951", PNUD, el 17 de febrero de ese año: "Uno de los brazos de la Qda. Agua de Maíz en la misma Altamira, destrozó otro puente en construcción y las aguas alcanzaron una altura de 2 metros aproximadamente. Un auto en el sector fue volcado y lanzado a lo profundo de un barranco. Quedaron sin hogar más de sesenta familias; 50 ranchos quedaron inhabitables. Arrastres torrenciales, vivienda destruida por efecto de uno de los ramales de la quebrada Agua Maíz."
2. La Quebrada Torres, en el pasado ha inundado la zona alta del área urbana, a nivel de la urbanización Santa María.
3. El 2 de septiembre de 1999, más de 30 vehículos fueron arrastrados por las aguas desbordadas de la quebrada Agua de Maíz. Un conductor murió de un infarto (El Nacional, 20-07-03)
4. El 8 de Mayo de 2001 la Quebrada salió de su cauce y 100 carros que circulaban por la autopista Francisco Fajardo fueron arrastrados por la corriente. Varias viviendas de la urbanización Santa Cecilia presentaron daños (El Nacional, 20-07-03)
5. El día 18 de Julio del 2003 se produjo una fuerte lluvia en el Este de Caracas que ocasionó el desbordamiento de varias quebradas, en particular él de la Quebrada Agua de Maíz, que inundó la Autopista Francisco Fajardo a la altura de la Base Aérea de La Carlota, en un sector cercano a la entrada del tramo embaulado que pasa por debajo de la autopista y de la Base Aérea. El saldo en este sector fue de 1 muerto, 3 lesionados, más de un centenar de vehículos deteriorados, además de daños en la propia Base Aérea.

Un análisis detallado de las circunstancias del evento ha sido efectuado por el IMF y se reproduce a continuación.

-a) descripción del evento del 18 de Julio 2003 en la Quebrada Agua de Maíz

Los principales daños se produjeron en un sector cercano a la entrada del tramo embaulado que pasa por debajo de la autopista y de la Base Aérea (el Punto P). El agua alcanzó en este sitio 5 m sobre el fondo, altura suficiente para rebasar el pequeño muro de contención existente. Probablemente el agua ha debido incluso contornarlo por el oeste e invadir por allí el canal de circulación Norte antes de alcanzar la altura necesaria para rebasarlo.

En este sitio, la autopista presenta una pendiente de 1,3% hacia el Este, así que, una vez pasado el muro, el flujo tomó esta dirección, hacia el Distribuidor Los Ruices, siguiendo la vía Norte, encausado por un lado por la isla de seguridad, la cual presenta muy escasas

aberturas, y por el otro por el talud y el muro que se extiende a lo largo de la Urbanización Santa Cecilia. Provocó en este tramo colisiones múltiples en los vehículos que circulaban en este momento en sentido inverso al flujo, es decir el sentido este-oeste

La altura del agua en este punto debe haber alcanzado un poco más de 0,90m, altura de la isla, la cual fue rebasada. Se estima en general que a partir de una altura de agua de 0,30 a 0,50 m los carros empiezan a flotar, levantándose la parte trasera, más liviana, primero. El resultado, al ser empujado de frente por el flujo, es que cada uno se monta parcialmente sobre el siguiente para formar una secuencia característica en forma de espiga, notable en las fotos del evento. Algunos se apilaron de manera más desordenada, se montaron sobre la isla o incluso se voltearon, tal como se puede observar en las fotos presentadas.

Los daños mayores en la autopista ocurrieron en este primer tramo invadido, registrándose allí la victima.

Fig. 13.36 Carros atrapados en el canal norte de la autopista
(Vista hacia el oeste, en sentido inverso del flujo)

Fig. 13.37 Otra vista del canal norte

Fig. 13.38 Carros volteados (canal norte).

Fig. 13.39 Vista a mayor distancia del Punto P

Después de rebasar la isla, el agua invadió el canal Sur, así como una zanja que corre paralelamente, provocando daños a un número adicional de vehículos, e inundando el extremo este de la Base Aérea, donde ocasionó daños a instalaciones y aviones (fotos)

Fig. 13.40 Agua rebosando la isla de seguridad hacia el canal sur
(Vista tomada hacia el oeste)

Fig. 13.41 Flujo en el canal sur de circulación.(vista hacia el oeste). Nótese a la izquierda los carros accidentados, la cerca y los galpones de la Base Aérea.

Fig. 13.42 Nivel del agua en la Base Aérea

Fig. 13.43 Daños ocasionados en la base Aérea

Se debe señalar que daños menores se produjeron en otros tramos de la Quebrada aguas arriba en algunos puntos intermedios desde la Cota Mil, donde las viviendas se ubican muy cerca del cauce, o incluso encima de éste cuando ha sido embaulado.

- a la altura de la 6ª transversal, la entrada del cajón se obstruyó debido a la mala conformación de la transición y a la existencia de restos de árboles derribados por una tempestad pocos días antes y no recogidos a tiempo. El agua entró en algunas viviendas ubicadas sobre el cajón.
- en la intersección con la Avenida F de Miranda, el agua de la quebrada inundó la avenida. En este sitio existe una transición inadecuada,, como lo señalamos anteriormente
- en la urbanización Santa Cecilia se produjeron daños menores por rebosamiento de los sumideros y el agua inundó la última casa cercana al punto P.
- en la urbanización La Carlota se presentaron problemas menores en algunas plantas bajas.

-En cambio, en la intersección con la avenida Rómulo Gallegos, señalado en principio como punto crítico, no se produjo desbordamiento de la quebrada. Por cierto un taller ubicado en la orilla fue inundado, pero no por la quebrada sino por las aguas que bajaban por la avenida Sucre de Los dos Caminos, prueba de la importancia del escurrimiento por las calles.

Con formato: Numeración y viñetas

En las inspecciones realizadas posteriormente al evento, se observaron desechos (ramas de pequeño tamaño, bolsas plásticas, etc.) sobre el techo del tramo embaulado a la altura de Santa Cecilia y atascados en la cercas contiguas a éste, pero no se presentaron evidencias ni testimonios directos que los desechos hayan sido suficientes para obstruir totalmente la entrada de la alcantarilla en el punto P el día del evento

Es probable que la Quebrada Sebucán se haya desbordado también el día 18 de julio a la altura del Barrio San José, en la entrada de la alcantarilla que pasa por debajo de la autopista y haya inundado ésta, tal como lo había hecho en otras oportunidades. En tal caso, debido a la pendiente el flujo, una vez invadida la vía, se habría dirigido hacia el Este y juntado con las aguas de la Quebrada Agua de Maiz a la altura del punto P. Restos vegetales de "caña amarga", una planta típica de las orillas de la quebrada Sebucán en Parque del Este se consiguieron en el área del desastre.

Sin embargo los testigos del barrio San José consultados al respecto proporcionaron informaciones confusas. El único punto claramente establecido es la acumulación de agua en la parte baja del barrio, frente al autopista, donde se inundó una bodega. Quedaría por establecer primero cuales eran las contribuciones respectivas en este sitio de la aguas superficiales bajando de la Urbanización la Floresta y de la quebrada Sebucán propiamente hablando, y segundo si la cantidad de agua fluyendo hacia el este podía representar una contribución significativa a la inundación en el punto "P".

Las inundaciones de la autopista frente al Barrio San José se han señalado varias veces en el pasado. En por lo menos uno de estos eventos, las aguas de Sebucán llegaron a correr hacia el este en cantidad notable y a juntarse con las de Agua de Maíz, tal como lo demuestran fotos tomadas en la oportunidad. En la fig. 13.44 anexa, se puede apreciar como la vía Norte de la autopista estaba inundada al oeste del punto P, hecho que debido a la pendiente Oeste-Este se debe atribuir a las aguas de la Quebrada Sebucán. [2]

Fig. 13.44 Distribuidor de Santa Cecilia. Durante un evento anterior.
Flujo proveniente de la Qda Sebucán, dirigiéndose hacia el este,

[2] Esta foto ha circulado vía Internet junto con otras a raíz del evento del 18 -07-03, presentándolas de manera errónea como si hubieran sido tomadas este día, cuando en realidad eran anteriores. Un informe del IMF de Febrero del mismo año ya contenía varias de ellas, incluyendo ésta. Se desconoce el origen y la fecha, aunque se estima probable que sean relativas al evento del 2001.

b) resumen de resultados del análisis hidráulico del evento

Los caudales máximos obtenidos por los distintos métodos fueron:

- 42 m3/s por el Método Racional, aplicado a la hoya contribuyente en base a la precipitación observada en La Carlota
- 62 m3/s por la simulación bidimensional, aplicada también a toda la hoya, en base al hietograma de La Carlota
- 67 m3/s por la simulación unidimensional del flujo en el último tramo antes del punto P, en base a las marcas de nivel dejadas por la inundaciones

En cuanto a la capacidad de la alcantarilla que pasa debajo de La Carlota, fue estimada en 21 m3/s

	Gasto pico (m3/s)
Método Racional	42
Modelo unidimensional RIOS	67
Modelo bidimensional FLO-2D	62
Capacidad alcantarilla La Carlota	21

Tabla 13.5 Estimación de gastos máximos en el punto P

Se nota una buena concordancia entre los resultados de simulación, lo que debería llevar directamente a adoptar este rango de valores. Sin embargo, el Método Racional, a pesar de sus limitaciones (debidas a las simplificaciones que implica), es considerado generalmente como una buena guía para estimar ordenes de magnitud, y pareció en un primer tiempo que la diferencia observada entre su resultado y los de las simulaciones era mayor de lo aceptable.

Por otra parte un valor de 60 o 70 m3/ triplica la capacidad de la alcantarilla de La Carlota, para un evento de período de sólo 2 a 3 años, lo que significa que las inundaciones deberían ser mucho más frecuentes de lo que son en el punto P. Conviene también interrogarse sobre los criterios utilizados en la época del diseño de la alcantarilla que han podido llevar a una subestimación gran grande del gasto.

Se examinó entonces la posibilidad de que la hoya contribuyente fuera mayor de la que se supone, pudiendo existir un trasvase ocasional o permanente desde las cuencas vecinas, es decir desde las Quebradas Sebucán al oeste, o Tenerías (afluente de Tócome) al este. Se realizaron varias visitas de campo con el objetivo de identificarlos, pero no se encontraron indicios de tales trasvases, por lo menos superficialmente. En particular quedó establecido que la Qda Sebucán no se desbordó el 18 a la altura de la Avenida los Chorros, donde por la cercanía tendría posibilidad de fluir hacia la hoya de Agua de Maíz.

En realidad se deben tomar en cuenta los puntos siguientes:

- el gasto estimado por la simulación a partir de las marcas es un máximo, como se ha explicado más arriba, debido a la imprecisión de las marcas y al cálculo del tramo completo como un canal abierto. Por otra parte la presencia en el agua de cierta cantidad de sedimentos y desechos hace que el caudal líquido sea sólo una fracción del caudal total, por ejemplo 80-90%.
- la alcantarilla de La Carlota fue diseñada en condiciones de ocupación del suelo completamente distintas, con la mayor parte de la hoya vegetada, y un coeficiente de escurrimiento mucho más bajo. Las superficies impermeables se han extendido luego considerablemente en la hoya, y vecinos de la zona reportan un gran aumento del caudal en las calles en los últimos años, a poner en relación con la construcción de edificios en la parte alta.
- se desconoce el tipo de fórmula usada para el diseño de la alcantarilla de La Carlota, existiendo la posibilidad de que no esté directamente basado en una estimación hidrológica. o que ésta haya sido incompleta

Finalmente se puede pensar en un caudal pico del orden de 60 m3, correspondiendo a un caudal líquido de 50-55 m3/s, valor que en todo caso hace más que duplicar la capacidad de la alcantarilla.

Otro hecho que llamó la atención en el análisis de los resultados fue la intensidad mucho mayor de los eventos en los últimos años, con tres tragedias notorias seguidas, en 1999, 2001 y 2003. Dejaba pensar nuevamente al resultado de un trasvase entre cuencas o a la influencia de la construcción de la isla de seguridad de la autopista antes de esta serie de eventos

Este último factor es sin ninguna duda un agravante de los desbordamientos, pero una posibilidad más trascendental es la de una obstrucción parcial o permanente de la alcantarilla en algún punto de su paso debajo de la Base Aérea. Según algunas consultas realizadas en organismos competentes (Bomberos, Protección Civil), a un año de la tragedia no parecía haberse realizado una inspección de este tramo.

Finalmente otra hipótesis que no se pudo manejar por falta de insumos es la de un nivel alto en el Río Guaire en el momento del evento, que habría ahogado la descarga. Para examinarla se necesitaría las cotas exactas en este punto, datos de precipitaciones y un modelo hidrológico que estime el nivel de agua. Se evidencia de esta manera todo el beneficio que podría aportar un sistema de monitoreo de la cuenca completa.

c*) resumen del análisis y conclusiones acerca del evento del 18 de julio de 2003*

En el análisis efectuado por el IMF se analizaron en primer lugar las condiciones actuales de la quebrada a lo largo de su recorrido desde El Ávila:

- más arriba de la Avenida Rómulo Gallegos, existen viviendas marginales en las inmediaciones del curso, expuestas a la amenaza de las crecidas y propensas al vertidos de desechos y aguas servidas

- el cauce presenta una sucesión de tramos canalizados o embaulados de capacidad variable, realizados sin plan de conjunto. Las transiciones entre éstos son puntos susceptibles al desbordamiento, en caso que la capacidad se reduzca, que no exista una estructura de transición adecuada o que la entrada del tramo aguas abajo se obstruya por desechos.
- esta situación se presenta en particular el último tramo entre la Avenida F. de Miranda y el cruce de la quebrada con la Autopista del Este, lugar donde se produjo el desbordamiento del día 18-07-03 y que se llama "punto P" en el presente informe. En este tramo la capacidad va disminuyendo considerablemente, debido al cambio de secciones, pasando de 84 m3/s al principio hasta 21m3/s en el punto P, capacidad de la alcantarilla debajo de la Base Aérea de La Carlota
- inmediatamente aguas arriba del punto P, el flujo se ve obstaculizado por la presencia de tuberías que cruzan el canal. flujo
- la Quebrada Sebucán presenta condiciones similares en cuanto a heterogeneidad de las secciones en su recorrido desde la Cota Mil. Su paso debajo de la autopista y la Base de La Carlota ha sido objeto de un acondicionamiento inconcluso, motivado por los desbordes de la quebrada.

Se analizaron luego las características del evento del 18/07/04 que se pueden resumir de la manera siguiente:

- las zonas afectadas fueron principalmente un tramo del autopista al este del punto P y el extremo este de la base aérea, y en modo menor algunos tramos intermedios de la quebrada.
- existe la probabilidad que la quebrada Sebucán haya contribuido a la inundación de la autopista, aunque no se puede determinar en que medida
- se investigaron por otra parte en campo la posibilidad de contribuciones de quebradas vecinas en la cuenca alta: quebrada Sebucán y Tenerías (afluente de Tócome). Esta posibilidad fue finalmente descartada.
- la precipitación medida en La Carlota fue de 39,2 mm en 1 hora y 15 minutos, lo que corresponde a una frecuencia de 2,33 años aproximadamente.
- El gasto estimado por el Método Racional en el punto P corresponde a 42 m3/s
- calculado como canal abierto según las ecuaciones del Flujo Gradualmente Variado (modelo RIOS), a partir de las marcas de inundación y un levantamiento topográfico del área el gasto es de 67 m3/s. Este valor se debe considerar como un máximo debido a la imprecisión de las marcas, y a ciertas simplificaciones para la aplicación del modelo
- una simulación efectuada con el modelo bidimensional FLO-2D, a partir del hietograma de la estación de La Carlota reprodujo adecuadamente la mancha real de inundación y arrojó un caudal pico de 62 m3/s
- las comparaciones entre resultados deben tomar en cuenta que algunas son relativas al gasto real que incluye una porción apreciable de sedimentos y detritos y otros al sólo gasto líquido que puede ser 80 o 90% del anterior.

De análisis anterior se concluyó lo siguiente:

- La precipitación que ha originado la tragedia del día 18/07/03 no es un evento excepcional, teniendo un período de retorno de 2,33 años
- se han producido eventos parecidos de manera recurrente en el mismo sitio, que se han intensificado en los últimos años, con desbordamientos severos en 1999, 2001 y 2003
- el gasto estimado en el punto de desbordamiento (punto P) fue del orden de 60 m3/s, correspondiendo a un caudal líquido del orden de 50 a 55 m3/s, más una fracción de detritos.
- la capacidad de alcantarilla destinada a llevar las aguas desde el punto P hasta el Río Guaire, por debajo de la Autopista y de la Base Aérea, es de 21 m3/s solamente. Por lo tanto la causa fundamental de la tragedia es la insuficiencia de esta alcantarilla
- construida hace 40 o 50 años, esta alcantarilla fue probablemente diseñada para un escurrimiento correspondiendo a una ocupación de la cuenca incipiente y superficies mucho más permeables que ahora.
- han existido factores agravantes, cuyos pesos respectivos son difícil es de medir: mala condición estructural de la entrada, obstrucción parcial por desechos, existencia de una isla de seguridad en la autopista que confinó el flujo en el canal norte, contribución de la quebrada Sebucán a la inundación
- una hipótesis que amerita especial atención es la de una obstrucción permanente de la alcantarilla, en algún punto debajo de la Base Aérea
- otra es la de un remanso en la descarga al río Guaire, que si bien es difícil de comprobar en la actualidad, se podría examinar con facilidad en caso de existir un sistema de monitoreo de la cuenca completa.
- En cuanto a la hipótesis de un trasvase desde una cuenca vecina, fue descartada en primera instancia

13.3 Simulación de Inundaciones

La simulación se ha realizado para 10, 100 y 500 años de periodo de retorno con datos provenientes de un plano a escala 1:5000 con topografía del año 2000. Dadas las características de la cuenca, la cual está casi totalmente urbanizada, se simuló únicamente el hietograma de lluvia caída sobre toda la cuenca, generándose de esta manera los caudales en el cauce por simulación del escurrimiento en la cuenca.

Por otra parte debido a la poca producción de sedimentos por la cuenca alta, se consideraron sólo flujos de agua.

El hietograma utilizado proviene del estudio hidrológico, y corresponde específicamente a la Estación Los Chorros. Se consideraron las siguientes condiciones de simulación en todos los periodos de retorno. (Cualquier condición diferente será explicada en el análisis particular de cada periodo de retorno).

Los valores usados para la *n* de Manning en todas las simulaciones son los siguientes:
- *n* de Manning para la planicie:=0.070
- *n* de Manning para los canales: Variable según se indica en la Tabla 1

Se consideró una reducción por área (Parámetro ARF) de entre 0.10 y 0.37 en cada celda de las que representan la planicie. Los valores más bajos corresponden al Parque del Este y El Ávila, mientras que los valores mayores corresponden a las urbanizaciones de la zona.

No se simularon calles, debido a que en pruebas preliminares se pudo observar que no hay influencia sobre los resultados.

De acuerdo a la capacidad de las alcantarillas, se tomaron en cuenta para la simulación las siguientes alcantarillas:
- Paso de la Av. Rómulo Gallegos.
- Paso por la autopista Francisco Fajardo y Aeropuerto La Carlota

Las características de cada uno de los tramos que se han considerado para el estudio de Agua de Maíz se presentan en la Tabla 13.6.

TRAMO	TIPO	DIMENSIONES	PENDIENTE (%)	n
Av. Boyacá - Salida Barrio	Embaulamiento Rectangular	1.50 x 1.50	12.0	0.02
Salida Barrio - Transversal 8	Canal rectangular de concreto	2.50 x 1.20	11.0	0.02
Transversal 8 - Transversal 6	Embaulamiento Rectangular	2.40 x 2.40	3.3	0.02
Transversal 6 - Transversal 5	Natural, trapecial	B=5; H=3; Z=2	3.0	0.03
Transversal 5 - Transversal 2	Embaulamiento Rectangular	2.40 x 2.40	1.5	0.02
Transversal 2 - Av. Rómulo Gallegos	Canal rectangular, fondo irregular	6.0 x 5.0	1.5	0.03
Av. Rómulo Gallegos - Av. Francisco de Miranda	Alcantarilla circular	Ø=3.4 m	1.5	0.03
Av. Francisco de Miranda - Calle 3 Sta.Cecilia	Embaulamiento rectangular	3.50 x 3.50	1.5	0.02
Calle 3 Sta. Cecilia - Calle 5 Sta. Cecilia	Embaulamiento Rectangular	3.50 x 2.40	1.5	0.02
Calle 5 Sta. Cecilia - Autopista Francisco Fajardo	Canal rectangular	3.20 x 1.20	1.5	0.02
Autopista Francisco Fajardo - Rio Guaire	Tubería abovedada ARMCO	3.40 x 2.70	1.0	0.03

Tabla 13.6. Quebrada Agua de Maiz. Características por tramo

13.3.1 Simulación para un Período de Retorno de 10 años

Algunos parámetros y resultados de simulación para Tr=10 años, se presentan en la Tabla 13.7. Con respecto a dicha tabla, cabe destacar que la alcantarilla simulada corresponde al paso por la autopista y el Aeropuerto La Carlota, la cual se supuso completamente obstruida debido a que su capacidad es menor que el caudal que puede descargar la cuenca.

QUEBRADA		**Agua de Maiz**	
Fecha		**Junio 2004**	
Escenario		**10 años**	
Tamaño celda		30 m	30 m
Número celdas		9918	
Área simulada	km^2	8.9	
n Manning	canal	Variable	
	planicie inundación	0.070	
puentes		--	
alcantarillas		1	
reducción de área		0.10 – 0.37	
calles		--	
caudal pico	m^3/s	--	
Lámina de agua	mm	81.52	
Bulking Factor		--	
Volumen Hidrograma	m^3	--	
Volumen de lluvia	m^3	675131.58	
Volumen de hidrograma+lluvia	m^3	675131.58	
Otros parámetros hidráulicos	dt	0.001 s - 30 s	

Tabla 13.7. Quebrada Agua de Maiz. Tr=10 años. Parámetros de la simulación.

El hietograma usado para 10 años de período de retorno se presenta en la Figura 13.45.

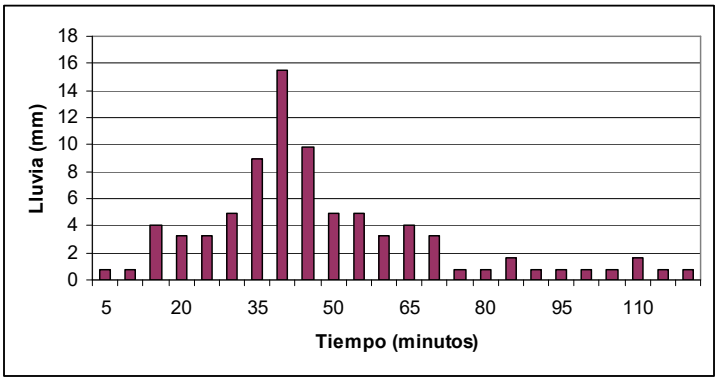


Figura 13.45 Quebrada Agua de Maiz. Histograma para Tr=10 años.

Según los resultados de la simulación, puede apreciarse que la mancha de inundación de la planicie, predominantemente con profundidades de entre 0.20 y 1.5 metros, ocupa una zona de 500 metros del aeropuerto La Carlota, adyacente a Los Ruices Sur y una franja entre la Autopista Francisco Fajardo y la urbanización Santa Cecilia. Aparte de estas zonas, se aprecian pequeños sectores aislados con profundidades de 0.50 m. Sin embargo, las velocidades en la planicie pueden alcanzar valores de hasta 3 m/s aún con bajas profundidades. Los valores de profundidades y velocidades máximas se presentan en las Figuras 13.46 y 13.47, respectivamente.

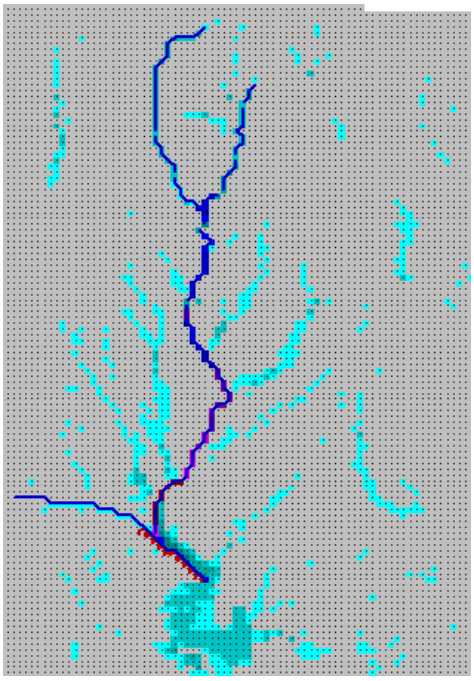


Figura 13.46. Quebrada Agua de Maiz. Tr=10 años. Profundidades Máximas.

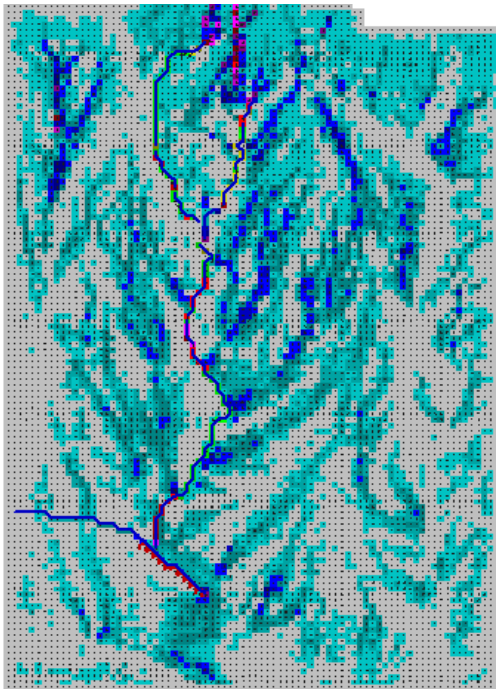


Figura 13.479 Quebrada Agua de Maiz. Tr=10 años. Velocidades Máximas

13.3.2 Simulación para un Período de retorno de 100 años

La simulación para 100 años de período de retorno supuso como obstruidas las alcantarillas de La Carlota y la Avenida Rómulo Gallegos.

Algunos parámetros y resultados de simulación para Tr=100 años, se presentan en la Tabla 13.8.

QUEBRADA		Agua de Maiz	
Fecha		**Junio 2004**	
Escenario		**100 años**	
Tamaño celda		30 m	30 m
Número celdas		9918	
Área simulada	km^2	8.9	
n Manning	canal	Variable	
	planicie inundación	0.070	
puentes		--	
alcantarillas		2	
reducción de área		0.10 – 0.37	
calles		--	
caudal pico	m^3/s	--	
Lámina de agua	mm	120.32	
Bulking Factor		--	
Volumen Hidrograma	m^3	--	
Volumen de lluvia	m^3	996448.77	
Volumen de hidrograma+lluvia	m^3	996448.77	
Otros parámetros hidráulicos	dt	0.001 s - 30 s	

Tabla 13.86 Quebrada Agua de Maiz. Tr=100 años. Algunos parámetros y resultados de la simulación.

El hietograma usado para 100 años de período de retorno se presenta en la Figura 13.48.

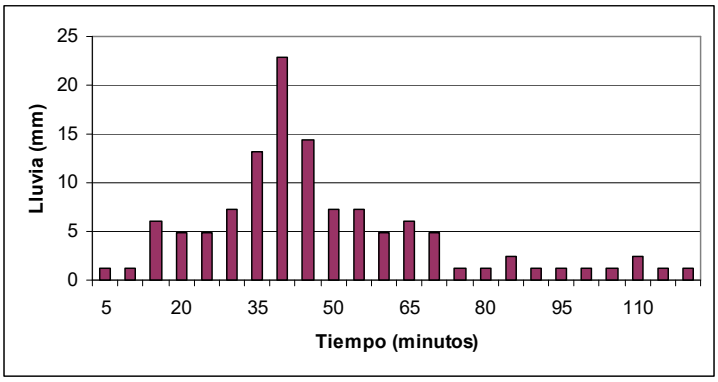
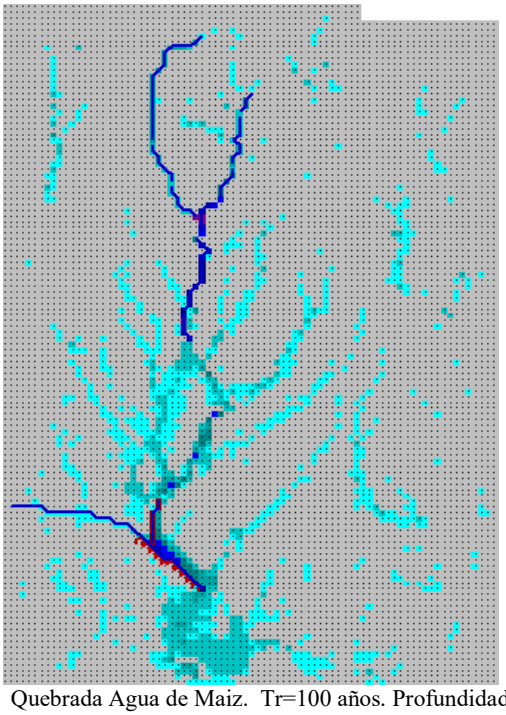


Figura 13.48. Quebrada Agua de Maiz. Histograma para Tr=100 años. .

La mancha de inundación es en cierto modo cualitativamente similar a la que se obtuvo con Tr=10 años, con la diferencia de que la zona afectada en el extremo Este del Parque Rómulo Betancourt tiene una extensión mayor, producto del desborde sobre la avenida Rómulo Gallegos.
Las velocidades en el canal alcanzan valores de hasta 10 m/s en las zonas de alta pendiente y revestimiento liso, mientras que en la planicie las velocidades tienen valores típicos de entre 0.5 y 2.5 m/s.

La representación gráfica de las profundidades y velocidades máximas se presentan en las figuras 13.49 y 13.50, respectivamente.



Fgura 13.49. Quebrada Agua de Maiz. Tr=100 años. Profundidades Máximas

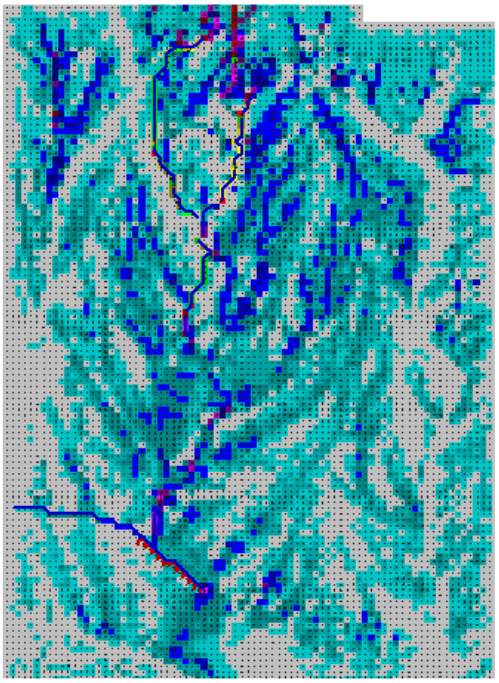


Figura 13.50. Quebrada Agua de Maiz. Tr=100 años. Velocidades Máximas

13.3.3 Simulación para un Periodo de Retorno de 500 años

La simulación para Tr=500 fue similar a la de 100 años, variando únicamente el hietograma de lluvia. Algunos parámetros y resultados de simulación para Tr=500 años, se presentan en la Tabla 13.9.

QUEBRADA		Agua de Maiz	
Fecha		**Junio 2004**	
Escenario		**500 años**	
Tamaño celda		30 m	30 m
Número celdas		9918	
Área simulada	km^2	8.9	
n Manning	canal	Variable	
	planicie inundación	0.070	
puentes		--	
alcantarillas		2	
reducción de área		0.10 – 0.37	
calles		--	
caudal pico	m^3/s	--	
Lámina de agua	mm	142.78	
Bulking Factor		--	
Volumen Hidrograma	m^3	--	
Volumen de lluvia	m^3	1182467.08	
Volumen de hidrograma+lluvia	m^3	1182467.08	
Otros parámetros hidráulicos	dt	0.001 s - 30 s	

Tabla. 13.9. Quebrada Agua de Maiz. Tr=500 años. Algunos parámetros y resultados de la simulación.

El hietograma usado para 500 años de período de retorno se presenta en la Figura 13.51.

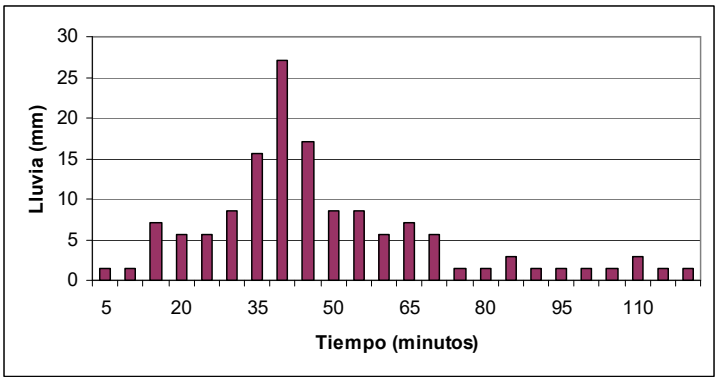


Figura 13.51. Quebrada Agua de Maiz. Histograma para Tr=500 años.

Las profundidades en el canal alcanzan valores de hasta 6 metros en el tramo adyacente a la urbanización Santa Cecilia. En la planicie las profundidades máximas son de 2 metros. Las velocidades en el canal alcanzan valores de 11 m/s, mientras que en la planicie las velocidades máximas son de 2.5 m/s, exceptuando el parque nacional El Avila, donde hay valores de 4.7 m/s.
Los resultados se presentan gráficamente en las Figuras 13.52 y 13.53.

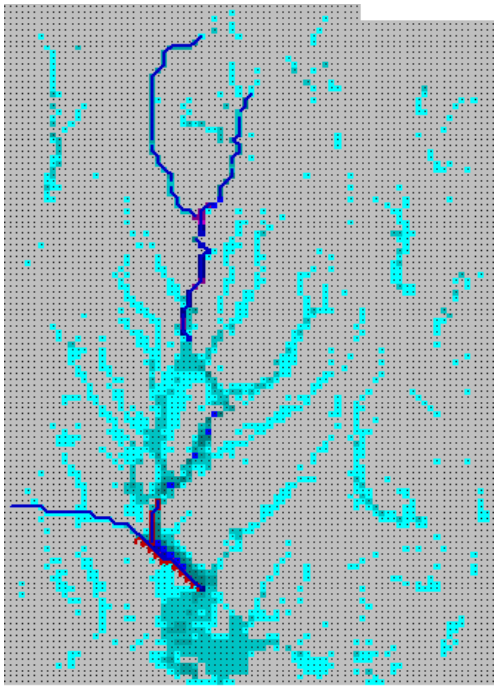


Figura 13.52. Quebrada Agua de Maíz. Escenario para Tr=500 años. Profundidades Máximas.

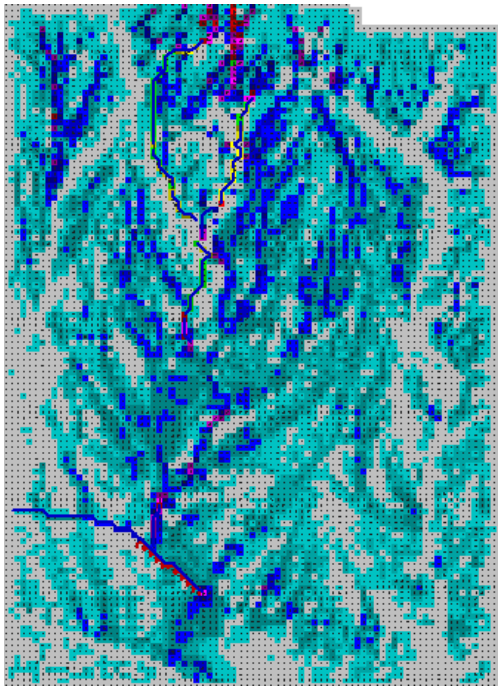


Figura 13.53. Quebrada Agua de Maiz. Escenario para Tr=500 años. Profundidades Máximas

13.3 Mapa de Amenaza

El mapa de amenaza original resultado de las simulaciones se anexa, así como el mapa final independiente de la retícula de cálculo.

Se observa un área de amenaza alta a todo lo largo de la quebrada y de su afluente la quebrada Torres, algo más extensa en el norte, cerca de la Cota Mil.

El área amenazada más importante su ubica al sur de la zona, en una franja de la autopista y en el sector este de la Base de La Carlota, y corresponde a las inundaciones que se originan por la capacidad insuficiente de la alcantarilla a la altura del distribuidor de Santa Cecilia, fenómeno que fue ampliamente analizado en el este capítulo.

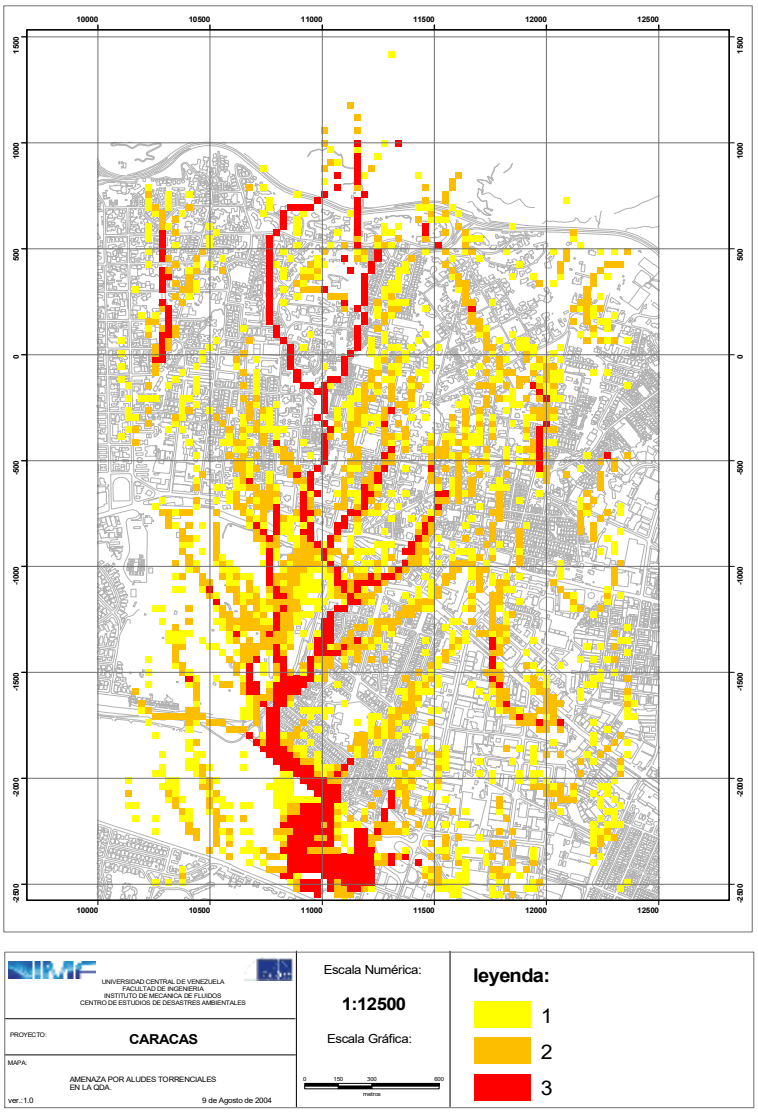


Figura 13.54. Quebrada Agua de Maíz. Mapa de Amenaza

Fig Maopa de amenaza definitivo *(falta)*

14. ESTUDIO DE LA QUEBRADA TÓCOME

14.1 Características del área

14.1.1 Ubicación geográfica

La Quebrada Tócome, conocida también como Quebrada Los Chorros o Guayabal, nace en el Parque Nacional El Ávila. Limita al Norte por la Fila Maestra con las cuencas de San Julián y Cerro Grande, al Este con la cuenca de la Quebrada Camburí y Galindo, al Oeste con la Quebrada Sebucán y al Sur con el Río Guaire, donde desembocan sus aguas a la altura de la Urbanización La California Norte. En su recorrido atraviesa las urbanizaciones Los Chorros, Monte Cristo, Boleita y Los Cortijos de Lourdes, pasa por el lindero Oeste de las urbanizaciones La California Norte y La California Sur.

Esta subcuenca pertenece en su totalidad al Municipio Sucre del Distrito Capital.

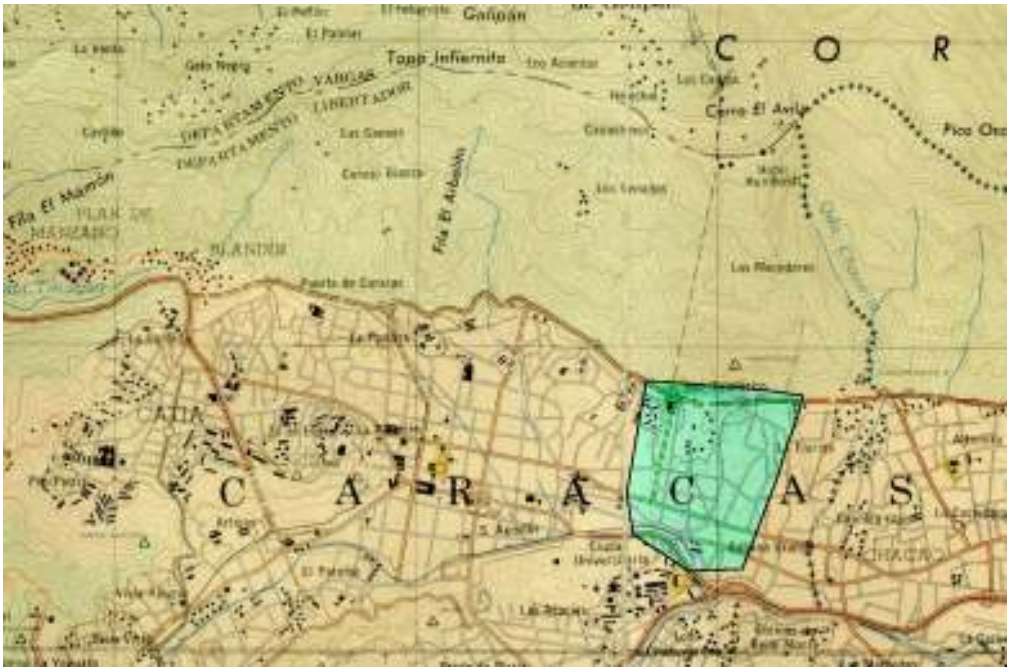


Figura 14.1 Tócome. Ubicación de la subcuenca

14.1.2 Información disponible

- Información cartográfica y fotográfica

De la información cartográfica general señalada en el presente informe se utilizaron específicamente los siguientes planos:

- Plano digital a escala 1:5.000 del año 2000, Nº 08, 09, 15, 16
- Planos en papel procedencia Electricidad de Caracas N° 6, 7, 15 y 16.
- Planos del Metro de Caracas, Ministerio de Obras Públicas, Oficina Ministerial del Transporte, Tramo Chacaíto- Petare.
- C.A. Metro de Caracas, Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Tramo Los Dos Caminos- Palo Verde CP 003/72 OTEC-300-01-R-01

Existe además información fotográfica proveniente de visitas de campo realizadas en el marco del Proyecto PREVENE (Basabe et al, 2001.Aporte a la Prevención de Desastres "Naturales" en Venezuela)

- Información hidrológica

Además de las estimaciones hidrológicas efectuadas en el marco del presente Estudio, el Proyecto PREVENE elaboró una hidrología propia de la cuenca de la Quebrada Tócome, para generar los hidrogramas de crecientes a usar en la evaluación de la amenaza de flujo de barros y escombros, para el evento de planificación, el evento medio y el evento extremo.

- Estudios previos

La Quebrada Tócome ha sido evaluada en el estudio del Proyecto PREVENE ya mencionado.

14.1.3 Hidrografía

La Quebrada Tócome, cauce principal de la subcuenca, tiene su origen en el Parque Nacional El Ávila, a una altura de 2.645 m.s.n.m, pasa por debajo de la Av. Boyacá (Cota Mil) y entra en el área urbanizada de Caracas, donde la pendiente del terreno va disminuyendo a medida que se acerca al río Guaire, donde desemboca a una cota de 825 m.s.n.m.

La quebrada entra al área urbanizada como cauce natural, tiene tramos que se alternan entre canalizados, embaulados y cauce natural.

Su régimen es perenne, y existe una toma de agua de HIDROCAPITAL ubicada dentro del Parque Nacional el Ávila y el Parque Los Chorros.

La quebrada es conocida en su parte alta por el nombre Tócome o Quebrada Guayabal, sus afluentes son:

- Quebrada La Tenería o Tenepa
- Quebrada La Julia, Juan Gómez o Yukery
- Quebrada Berna

Sus características principales se resumen en la Tabla 14.1.

La Figura 14.2 presenta el perfil longitudinal del cauce en estudio a partir de la confluencia con el Río Guaire, elaborado a partir del raster 1:25.000 para la parte alta (por encima de los 1.000 m.s.n.m) y el plano digital 1:5.000 para la parte baja. No necesariamente refleja la cota de fondo del cauce ya que en ciertos sectores el cauce está embaulado.

Área de la cuenca (km^2)	Vegetada: 9,77 (70,23%)	Total: 13,91
	Urbana: 4,14 (29,76%)	
Longitud del cauce principal (km)	En área extra-urbana: 6.630 (59,01%)	Total: 11.235
	En área urbana: 4.605 40,98 %)	
Cotas (m.s.n.m.)	Superior: 2.645	
	Inferior (confluencia con el río Guaire): 825	
Pendiente del cauce principal (%)	En área extra-urbana: 28	Promedio: 18.08
	En área urbana: 11.68 (ponderada: 11,65)	

Tabla 14.1 Tócome. Características de la subcuenca

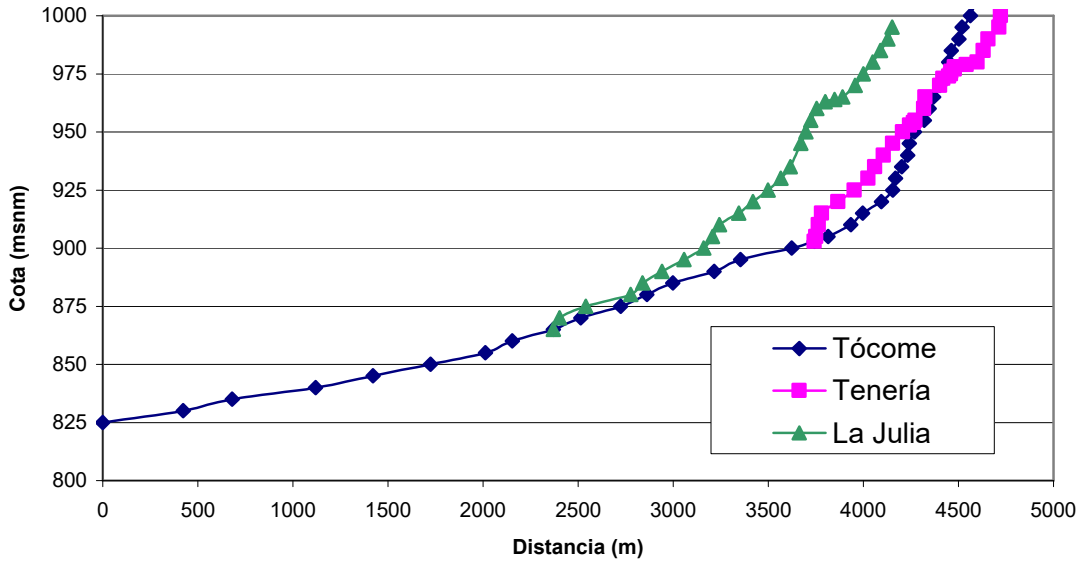


Figura 14.2 Tócome. Perfil longitudinal

14.1.4 Usos del suelo

La subcuenca presenta dos zonas bien diferenciadas, separadas por la avenida Boyacá (Cota Mil): una parte alta vegetada con 70,23 % de la superficie, y una parte baja urbanizada con 29,76 % de la misma.

El área vegetada pertenece al Parque Nacional El Ávila.

El suelo en toda la extensión de la cuenca en el área urbanizada, bajo la Cota Mil, es de uso comercial, residencial, industrial y pequeñas áreas para la recreación.

La Urbanización Los Chorros ha venido desarrollándose en los últimos años con la construcción de nuevos conjuntos residenciales destinados a la clase media alta: Existen grandes áreas asfaltadas y ocupadas por las edificaciones, las áreas verdes se limitan básicamente al Parque Los Chorros, a los bordes de las quebradas y a los jardines de cada parcelamiento, algunos de ellos reconstruidos sobre los sótanos de las edificaciones.

La Urbanización Boleita estaba esencialmente destinada a fábricas, industrias y depósitos. La tendencia en estos últimos años es hacia el desarrollo comercial del área. En general existen grandes áreas asfaltadas y en concreto; son escasas las áreas no recubiertas.

El resto de la cuenca consiste en sectores mixtos donde se desarrollan áreas comerciales y zonas residenciales, con escasas áreas verdes.

Las vías principales que atraviesan la cuenca son:

- Av. Boyacá o Cota Mil en dirección Este - Oeste
- Av. Principal de los Chorros, en dirección Este - Oeste
- Av. Principal de Boleita, en dirección Norte - Sur
- Av. Principal de los Ruices, en dirección Norte - Sur
- Av. Rómulo Gallegos, en dirección Este - Oeste
- Av. Francisco de Miranda, en dirección Este - Oeste
- Autopista Francisco Fajardo, en dirección Este – Oeste

Algunas instalaciones importantes en el área son:

- Planta de televisión de VTV, en la Urbanización Los Ruices.
- Estación del Metro Los Cortijos

En el lecho de la Quebrada La Julia existía un barrio que fue arrasado por una crecida en el año 1980. Desde entonces la quebrada fue embaulada y los espacios han sido tomados como patios traseros de las casas vecinas al cauce.

Existe acumulación de sedimentos bajo el Puente de la Av. Francisco de Miranda, que sirve de área de permanencia de personas indigentes.

14.2 Red de drenaje pluvial

14.2.1 Características de le red de drenaje

La Quebrada Tócome recibe el aporte de otras tres quebradas. Cada una de ellas recibe el aporte no solamente de las aguas de lluvia sino también de aguas servidas, debido a los empotramientos ilegales en los cursos.

Un esquema de la red drenaje se presenta en la Figura 14.3.

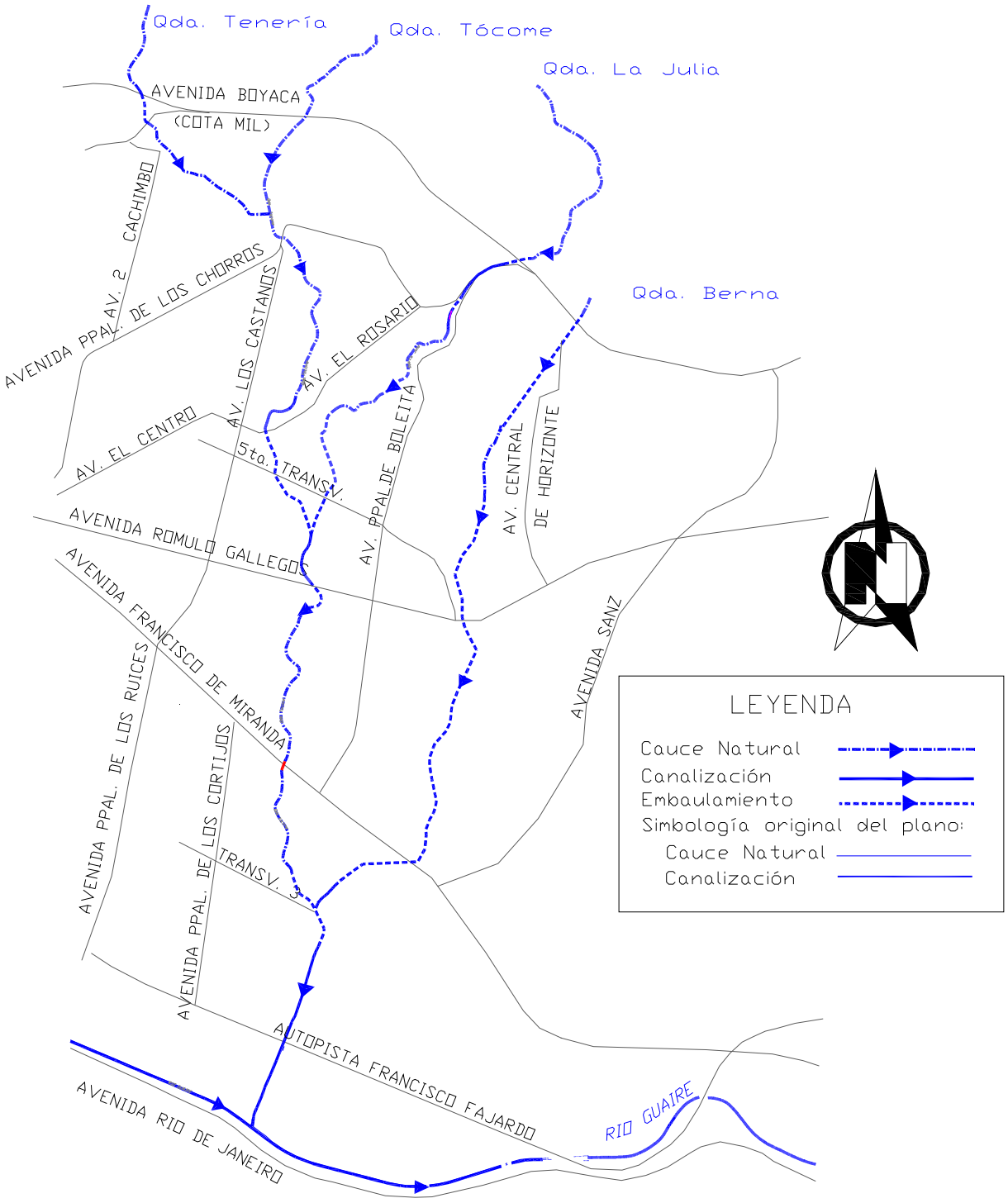


Figura 14.3: Tócome. Esquema de la red de drenaje

- La Quebrada Tócome entra al área urbanizada bajo la Avenida Boyacá como cauce natural. Está canalizada en la mayor parte de su longitud salvo cortos tramos donde está embaulada y otros tramos que aunque están dentro de la ciudad prácticamente no han sido intervenidos. Se pueden observar bambúes, rocas y escombros vegetales además de basura.

- La Quebrada Tenería en todo su recorrido permanece como cauce natural salvo el tramo de entrada al área urbanizada en el Distribuidor Sebucán, donde está embaulado.

- La Quebrada La Julia tiene tramos canalizados, naturales y embaulados de forma alternada hasta su confluencia con la Quebrada Tócome.

- La Quebrada Berna tiene un área pequeña en el Parque Nacional el Ávila, en la mayor parte de su recorrido está embaulada salvo en un tramo que va por terreno natural y otro que está canalizado.

- En cuanto a la Quebrada Camburí existente en el Parque El Avila, aunque existan dudas sobre su trayecto real, hay buenas razones de pensar que al pasar la Cota Mil se dirige hacia el Este, hacia la Quebrada Caurimare (ver Capítulo 15).

A continuación se describen las características de los tramos de la Quebrada Tócome y sus afluentes.

- **Tramo Parque Los Chorros**:

Al salir del Parque Nacional El Ávila, la Quebrada Tócome pasa por debajo de los viaductos de la Av. Boyacá y entra al Parque Los Chorros (ver Figura 14.). La Av. Boyacá no representa un obstáculo para el flujo.

Luego de varias caídas de agua llega a un pozo aguas arriba de un dique natural formado por dos enormes rocas llamadas por los empleados del parque “las morochas”. Este pozo estaba cercado por rejas de aproximadamente 1 m. de altura. Un tramo de estas rejas fue destruido por la creciente de diciembre de 1999 (ver Figura 14.).

En este tramo el fondo del cauce es natural y los taludes están revestidos en roca. El lecho presenta escombros y rocas cuyo tamaño varia desde pocos centímetros hasta varios metros de diámetro. Su sección se aproxima a un trapecio. Al desbordarse llega a ocupar las caminerías del Parque Los Chorros.

Figura 14.4 Viaductos de la Av. Boyacá sobre el Parque Los Chorros.

Figura 14.5 Rocas “Las Morochas” en el cauce de la Quebrada Tócome en el Parque Los Chorros.

Se observan bambúes a lo largo del cauce, así como árboles de gran tamaño. La quebrada es atravesada por puentes peatonales, ubicados a pocos metros sobre el nivel de las aguas. En una parte del parque el cauce se bifurca formando una isla central que está revestida en rocas, a la que se tiene acceso por medio de pequeños puentes peatonales (ver Figura 14.).
Cerca de la entrada Sur del parque por debajo de un pequeño puente lateral, pasan las aguas de la Quebrada La Tenería para unirse a las de la Quebrada Tócome (ver Figura 14.7). En la Figura 14.8 y Figura 14.9 se muestran las secciones típicas, medidas en el Proyecto PREVENE.

En 1999 hubo gran acumulación de sedimentos dentro del Parque Los Chorros, en una parte llamada la plazoleta, aguas abajo de las piedras "las Morochas". Los pequeños puentes actuaron como diques, reteniendo escombros y sedimentos. En general las rocas del cauce no se movieron.

Figura 14.6 Quebrada Tócome: vista de una isla central en el cauce en el Parque Los Chorros (diciembre 2000).

Figura 14.7 Sitio de confluencia de las Quebradas Tócome y Tenería.

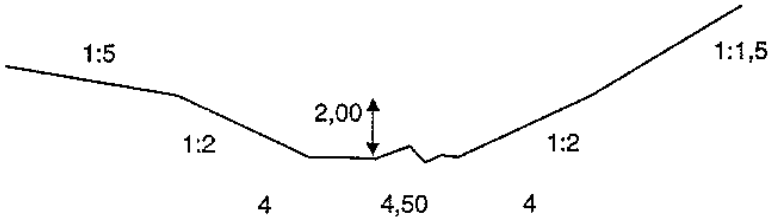


Figura 14.8 Quebrada Tócome: Sección típica en el Parque Los Chorros (Fuente: Basabe et al, 2001).

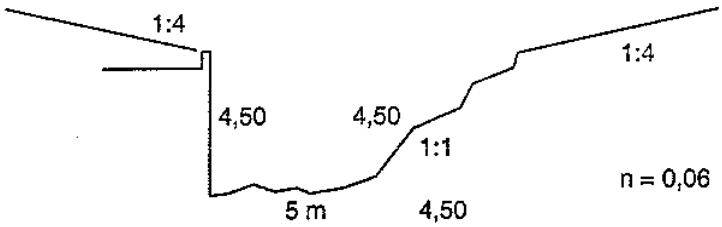


Figura 14.9 Quebrada Tócome: Sección aguas arriba del puente Av. Principal de Los Chorros en el Parque Los Chorros (Fuente: Basabe et al, 2001).

- **Tramo Parcelamiento Mi Guarimba:**

A la salida del Parque Los Chorros la quebrada cruza la Av. Principal de los Chorros. Aproximadamente a 100 m. se encuentra la confluencia con la Quebrada que pasa por el Club Hebraico. A partir de la confluencia, las aguas anteriormente cristalinas se vuelven

turbias. El cauce bordea el Parcelamiento Mi Guarimba por el este. A esta área se le accede por la Av. Los Castaños.

El tramo es natural. La sección mide aproximadamente 5,00 m. de ancho, con profundidad mínima de 2 m. El cauce se encuentra más abajo del nivel del terreno. La margen izquierda del cauce tiene mayor elevación que la derecha. En algunas áreas los muros y paredes de las parcelas hacen las veces de taludes laterales para el cauce (ver Figura 14.10 y Figura 14.1111). En la Figura 14.12 y la Figura 14.13 se muestran las secciones medidas en el Proyecto PREVENE.

Con la creciente de diciembre del 99, a pesar de que esta área está tan próxima al cauce, no hubo inundaciones en el sector. Sólo fueron socavadas las bases del muro de la parcela que se encuentra en el punto más bajo del conjunto residencial.

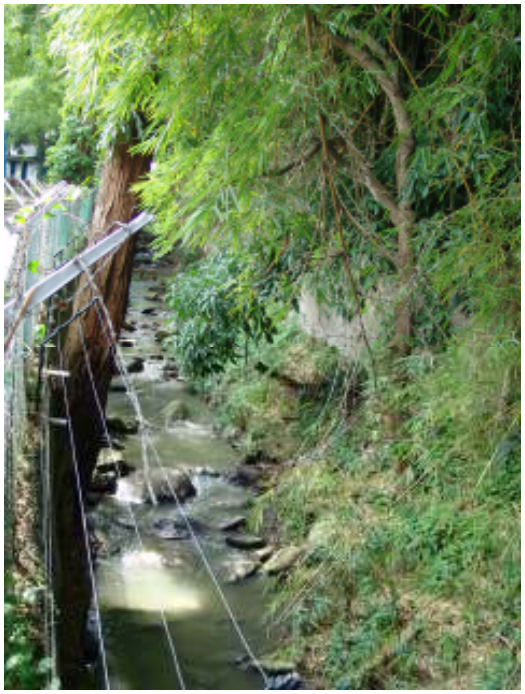


Figura 14.10 Quebrada Tócome: vista al cauce desde el Parcelamiento Mi Guarimba.

Figura 14.11 Quebrada Tócome: vista al cauce en el Parcelamiento Mi Guarimba (Diciembre 2000).

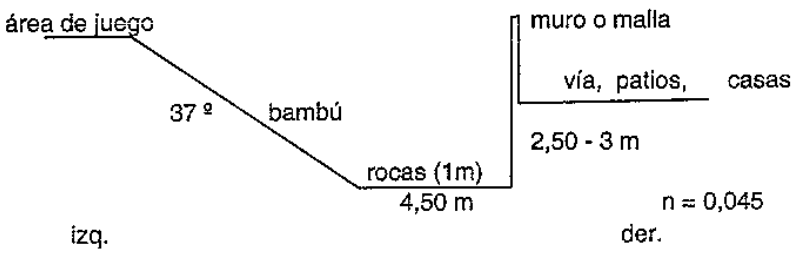


Figura 14.12 Quebrada Tócome: Sección del cauce en Parcelamiento Mi Guarimba Ramal B (al frente) (Fuente: Basabe et al, 2001).

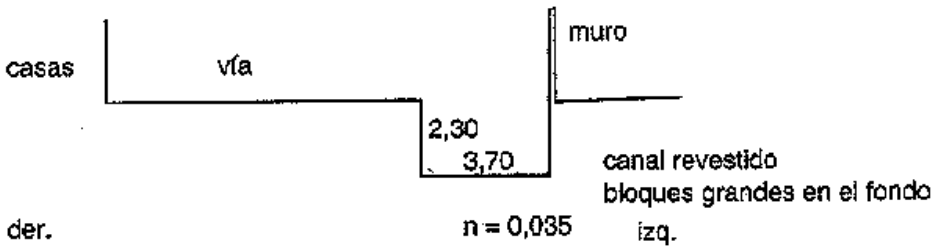


Figura 14.1 Quebrada Tócome: Sección aguas arriba de Av. El Rosario (Fuente: Basabe et al, 2001).

- **Tramo Urbanización Monte Cristo – Boleita:**

La Quebrada Tócome entra a esta urbanización como cauce natural. A la altura de la Calle el Río empieza la canalización en concreto, de aproximadamente 3,70 m. de ancho por 1,50 m. de alto (Figura 14.24).

Figura 14.24 Canalización de La Quebrada Tócome.

En el cruce con la Av. El Rosario – Av. El Centro, la quebrada pasa por debajo de un puente, cuyo cajón es de 2,10 m. de altura por 3,70 m. de ancho. Después de éste, el cauce continúa embaulado. En la Figura 14.35 se observa el puente de la Av. El Rosario.

Figura 14.35 Quebrada Tócome: puente en Av. El Rosario.

La longitud aproximada de este tramo embaulado es de 345 m. Fue construido entre agosto de 1974 y julio de 1975.

El embaulamiento pasa por el terreno que antiguamente pertenecía al Central Madeirense, hoy a un conjunto residencial de edificios. Pasa bajo talleres mecánicos, cruza un puente en la 5ª transversal de Monte Cristo, pasa bajo otro taller mecánico. La 5ª Transversal es cruzada por las Quebrada Tócome y La Julia, a aproximadamente 200 metros de distancia.

El embaulamiento de la Quebrada Tócome aflora a la superficie en el estacionamiento de una parcela. La Quebrada La Julia pasa por la parcela contigua, donde funciona un estacionamiento público. Ambas parcelas están separadas por una cerca de alfajor. Al sur de estas parcelas se produce la confluencia de ambas quebradas.

En diciembre de 1999 el puente de la Av. El Rosario fue taponado y destruido por el flujo y los escombros de la crecida. En la Figura 14.16 se observa la crecida de diciembre de 1999, cuando ya había pasado el pico de la tormenta. En la Figura 14.17 se observa el estado en que quedó el puente tras haber removido los escombros y sedimentos que arrastró la crecida. El cauce se desvió hacia el oeste por la calle paralela a la 2ª Av. de Monte Cristo y por el este por una calle de servicio donde funcionan talleres mecánicos.

Figura 14.16 Quebrada Tócome: Av. El Rosario 16 de diciembre de 1999 (Fuente desconocida).

Figura 14.17 Quebrada Tócome: puente en Av. El Rosario después de la crecida de diciembre de 99 (Fuente Ing. Luis Miguel Suárez).

En el cruce de esta avenida con la 5ª Transversal el flujo llegó hasta 1,80 m. sobre el nivel de la calle. Locales comerciales que funcionan en planta baja fueron afectados. Vecinos del sector cuentan que hubo una primera crecida que inundó las calles, empezó aproximadamente a las 9:30 p.m. del día 15. Horas después llegó a dejar de pasar el flujo de la quebrada completamente por la calle. Luego a las 2:00 a.m. volvió a crecer el flujo. Durante los siguientes días, hasta el 19 de diciembre se escucharon ruidos de piedras dentro del embaulamiento. En la Figura 14.414.18 se muestra una fotografía tomada el día 16 de diciembre durante el evento en la Urb. Monte Cristo.

Figura 14.48 Quebrada Tócome: Urb. Montecristo, 16 de diciembre de 99 (Fuente desconocida).

Poco fue el flujo que entró dentro de los sótanos de las edificaciones.

Parte del flujo continuó por la avenida y se desvió al final de esta calle al este, siguiendo por la 4ª Avenida de Monte Cristo y luego por la 5ª Avenida de Monte Cristo. En el punto más bajo de esta última avenida, a una cuadra de la Av. Rómulo Gallegos, el flujo llegó al segundo nivel de las viviendas.

Otra parte del flujo se desvió por la 5ª transversal buscando el embaulamiento de la Quebrada Tócome. El flujo también bajaba por la calle de los talleres mecánicos y al no encontrar por donde entrar al embaulamiento en la 5ª transversal el flujo se empezó a acumular en esta avenida. Vehículos que transitaban por esa calle quedaron atrapados ya que también estaba crecida la Quebrada La Julia e impedía el paso. Estos vehículos se resguardaron en el estacionamiento de un edificio del área. En las parcelas por donde pasan los embaulamientos de las Quebradas La Julia y Tócome fueron arrastrados vehículos hasta el punto más aguas abajo, al fondo del terreno. Quedó una capa de sedimentos de hasta 1,50 metros de profundidad.

Al ser reconstruido el puente de la Av. El Rosario se eliminó una pila central que existía. No se pudo reubicar una tubería de servicios que cruza el cauce bajo el puente. En este punto las aguas tienen mal olor debido al aporte de aguas negras al cauce.

En la Figura 114.19 se encuentra una roca procedente de antiguos aludes torrenciales en la Quebrada Tócome.

En la Figura 1 se muestra la sección medida en el Proyecto PREVENE.

Figura 14.19 Urbanización Monte Cristo. Procedente de antiguos aludes torrenciales.

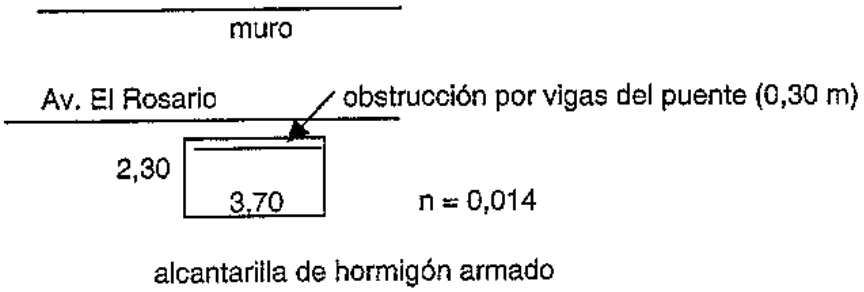


Figura 14.20 Quebrada Tócome: Entrada alcantarilla en Av. El Centro - Av. El Rosario (Fuente: Basabe et al, 2001).

Figura 14.21 Quebrada La Julia: embaulamiento antes de llegar a la confluencia con la Quebrada Tócome.

Figura 14.22 Quebrada Tócome: embaulamiento antes de llegar a la confluencia con la Quebrada La Julia.

Aguas abajo del puente en la Av. El Rosario el embaulamiento es un cajón rectangular sin recogimiento central para las aguas de estiaje, que pasa por la Av. El Sanatorio del Ávila (5ª transversal) y llega hasta la confluencia con la Quebrada La Julia, la longitud aproximada es de 345 m. Este tramo fue construido entre agosto de 1974 y julio de 1975.

Los embaulamientos, pertenecientes a las Quebradas Tócome y La Julia, continúan en terrenos de un estacionamiento privado hasta que confluyen aproximadamente a 200 m. aguas arriba de la Av. Rómulo Gallegos (ver Figura 14.23 y Figura 1).

Ambos embaulamientos terminan justo antes de la confluencia, a una canalización de 10 m. de ancho por 2,50 m. de alto que llega hasta la Av. Rómulo Gallegos. Las salidas de los embaulamientos se encuentran por encima de fondo del lecho. El lecho del cauce presenta socavación en esta área, se observan losas de concreto partidas, cantos rodados, peñones y vegetación en el cauce. El cauce está confinado por los muros construidos en las parcelas vecinas (ver Figura 14.25).

Figura 14.23 Quebrada Tócome: confluencia con la Quebrada La Julia.

Figura 14.24 Quebrada Tócome: Vista hacia confluencia de las Quebradas Tócome y La Julia, hacia aguas arriba (Fuente: Ing. Luis Miguel Suárez).

Este tramo colinda por el Este con El Parque Residencial del Este, construcción nueva en los terrenos de la antigua Cervecería Zulia. Existe un puente que comunica con la otra margen a terrenos de la misma propiedad. En el año 2.000 se tomaron fotos cuando se estaba haciendo el movimiento de tierra para iniciar la construcción, se puede observar el tipo de sedimentos de aluvión en el terreno (ver Figura 14.25 y Figura 14.26). En la Figura 1 y la Figura 1 se muestran las secciones medidas en el Proyecto PREVENE.

Figura 14.25 Quebrada Tócome: sedimentos de aluvión junto al cauce en terreno en la Av. Rómulo Gallegos.

Figura 14.26 Quebrada Tócome: sedimentos de aluvión junto al cauce en terreno en la Av. Rómulo Gallegos.

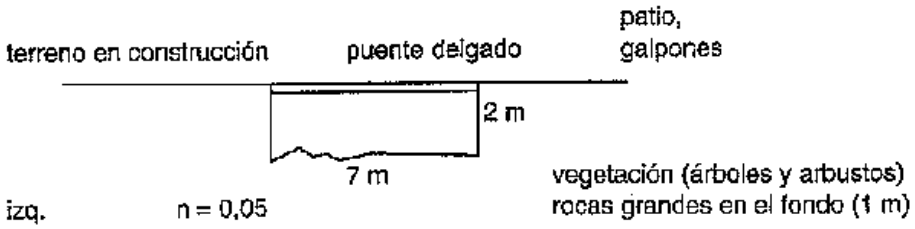


Figura 14.27 Quebrada Tócome: Aguas abajo de la confluencia con la Quebrada La Julia (Fuente: Basabe et al, 2001).

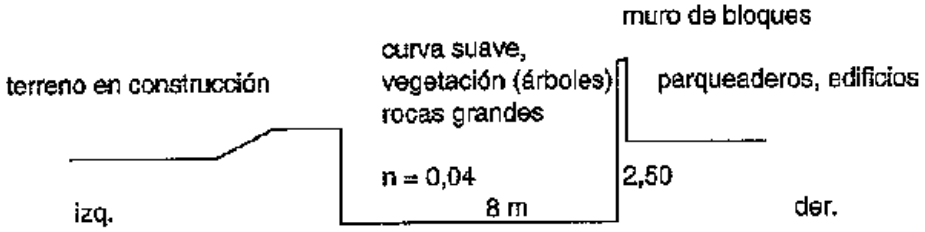


Figura 14.28 Quebrada Tócome: Aguas arriba de la Av. Rómulo Gallegos (Fuente: Basabe et al, 2001).

La quebrada pasa embaulada bajo la Av. Rómulo Gallegos (ver Figura 14.29) y continúa unos 80 m. así. La sección a la salida del embaulamiento es de 5,00 m. de ancho

por 4,00 m. de altura. El flujo continúa en un canal rectangular de concreto con 5,00 m. de base por 3,00 m. de alto, que llega hasta unos pocos metros aguas arriba de la calle El Río en Boleita (ver Figura 14.30). La canalización está libre de sedimentos.

Aguas abajo de la Av. Rómulo Gallegos en su margen derecha se encuentran las instalaciones la Escuela Popular Don Bosco y la Iglesia María Auxiliadora, las cuales fueron afectadas con la crecida de diciembre del 99 cuando tuvieron que romper las paredes de la antigua Cervecería Zulia ya que estaban represando el flujo.

En la Figura 14.31, la Figura 14.32 y la Figura 1 se muestran las secciones medidas en el Proyecto PREVENE.

Figura 14.29 Quebrada Tócome: paso del embaulamiento bajo Av. Rómulo Gallegos.

Figura 14.30 Quebrada Tócome: canalización aguas abajo de la Av. Rómulo Gallegos (Diciembre 2000).

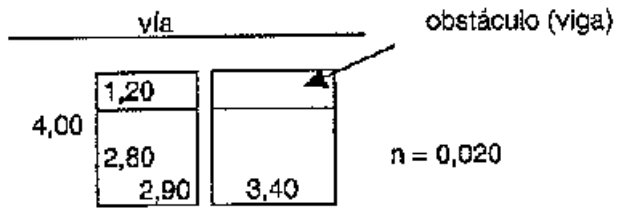


Figura 14.31 Quebrada Tócome: Alcantarilla bajo la Av. Rómulo Gallegos (Fuente: Basabe et al, 2001).

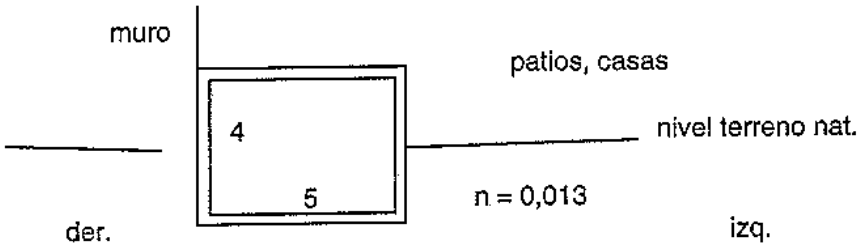


Figura 14.32. Quebrada Tócome: Escuela Don Bosco, Calle Sta. Ana Aguas abajo de la Av. Rómulo Gallegos (Fuente: Basabe et al, 2001).

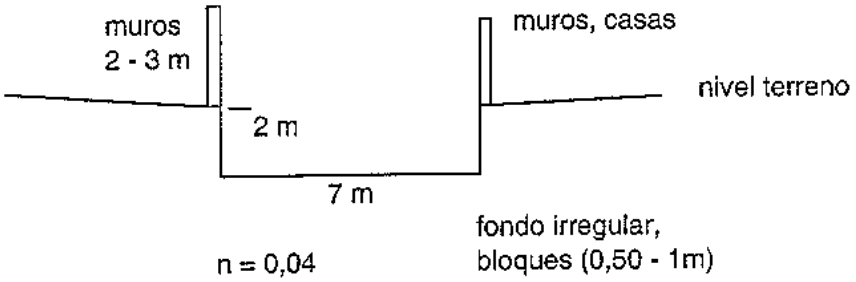


Figura 14.33 Quebrada Tócome: Calle del Río, Boleita (Fuente: Basabe et al, 2001).

Por debajo de la Av. Francisco de Miranda pasa la Línea 1 del Metro de Caracas, entre ambas pasa la Quebrada Tócome, con una luz libre de 2,40 m. de profundidad y 19,35 m. de ancho máximo. Al aproximarse el cauce al puente de la Av. Fco. de Miranda se observan estructuras laterales cilíndricas en concreto, después continúa el alineamiento recto. Se observa acumulación de sedimentos y vegetación en el cauce. Bajo el puente hay depósitos de sedimentos y basura (ver Figura 14.344, Figura 14.355, Figura 14.366 y Figura 14.377). En la Figura 18 se muestra la sección típica medida en el Proyecto PREVENE y en la Figura 14.399 se muestra la sección construida por el Metro de Caracas para el paso de la quebrada sobre los túneles de la Línea 1.

Figura 14.34 Quebrada Tócome: vista al cauce desde la Av. Francisco de Miranda.

Figura 14.35 Quebrada Tócome: vista al puente en la Av. Francisco de Miranda, en este punto por debajo de la quebrada pasa la Línea 1 del Metro de Caracas.

Figura 14.36 Quebrada Tócome: vista hacia aguas arriba desde puente en la Av. Francisco de Miranda.

Figura 14.37 Quebrada Tócome: paso sobre la Av. Francisco de Miranda.

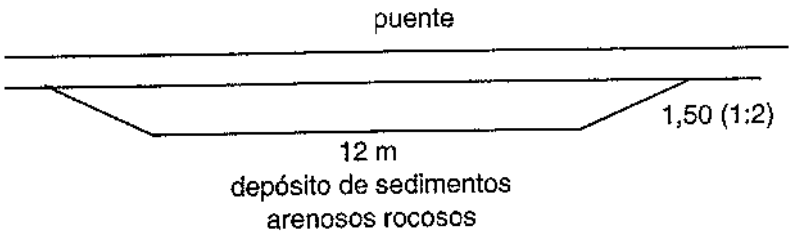


Figura 14.38 Quebrada Tócome: Av. Francisco de Miranda, bajo puente (Fuente: Basabe et al, 2001).

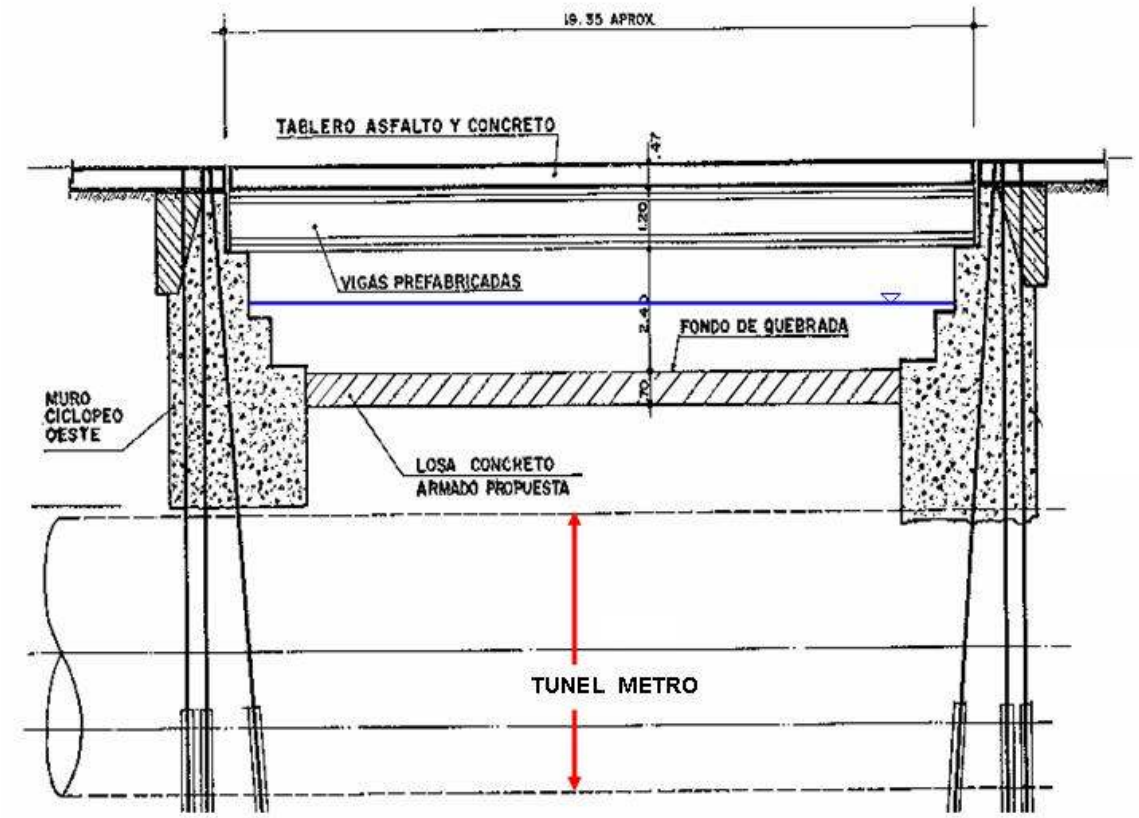


Figura 14.39 Quebrada Tócome: detalle del paso de la quebrada bajo la Av. Francisco de Miranda y sobre el Metro (Fuente: C.A. Metro de Caracas).

- **Tramo Urbanización Los Cortijos - California Norte:**

La Quebrada atraviesa la Urbanización Los Cortijos de Lourdes y la Urbanización La California Norte. Para acceder al cauce desde la 1ª transversal de los Cortijos de Lourdes, se tiene que pasar a través de una construcción informal de varios niveles al final de la calle. El cauce en este tramo es natural con sección rectangular. El cauce está confinado a una pared y una acera en concreto elevada 1 m. aproximadamente, que van a todo lo largo del margen derecho. En el margen izquierdo, se encuentra confinado por viviendas informales y por las paredes de las parcelas vecinas. El ancho del cauce es 5,30 m.. El ancho de la sección es de aproximadamente 9 m..

La 1ª transversal de los Cortijos de Lourdes es una calle ciega cuya pendiente va hacia la quebrada. Drena las aguas de lluvia a través de una alcantarilla. En casos de fuertes precipitaciones esta alcantarilla ve rebosada su capacidad y se han producido inundaciones de hasta 50 centímetros.

Por un estacionamiento en la 2da. Transversal de los Cortijos se accede al cauce, el cual se encuentra en estado natural. Se pueden observar sedimento fino y grueso, peñones, abundante vegetación, escombros de vegetación y basura. Se estima que el ancho del cauce es de 8 m. (ver Figura 14.40). En la Figura 14.41, la Figura 1, la Figura 1 se muestran las secciones típicas medidas en el Proyecto PREVENE.

Al este de la Quebrada Tócome, en la Av. Francisco de Miranda está la entrada a un estacionamiento que limita con el cauce. Se puede observar desde aquí el cauce a la altura

de la 2ª transversal de los Cortijos de Lourdes hasta la entrada al siguiente embaulamiento. En este tramo se observa algunas bases de muros y paredes vecinas socavadas por el flujo. Se observa basura, restos de vegetación y peñones. La entrada del embaulamiento mide 4,50 m. de ancho por 3,50 m. de alto aproximadamente.

Figura 14.40 Quebrada Tócome: en 2da. Transversal de Los Cortijos de Lourdes (diciembre 2000)

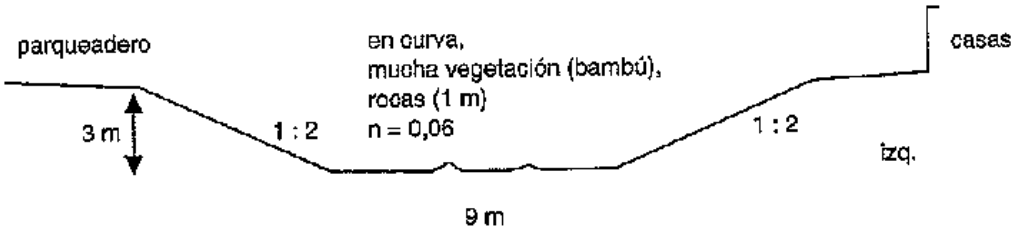


Figura 14.41 Quebrada Tócome: Los Cortijos de Lourdes, 2da. Transversal (parqueadero) (Fuente: Basabe et al, 2001).

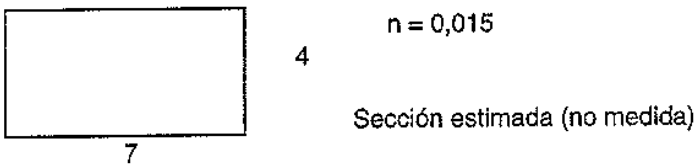


Figura 14.42 Quebrada Tócome: alcantarilla (Fuente: Basabe et al, 2001).

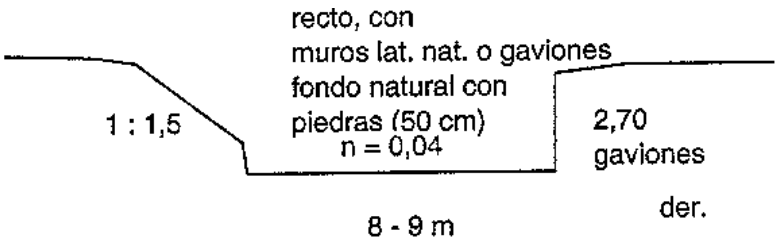


Figura 14.43 Quebrada Tócome: Aguas arriba de la Cervecería Polar, paralelo a la Av. Madrid (Fuente: Basabe et al, 2001).

La 3ª transversal de los Cortijos de Lourdes comunica la urbanización La California Norte con la Urbanización Los Cortijos. Esta vía aprovecha el embaulamiento de la quebrada y recorre unos 100 m. por encima de él. A este nivel está la confluencia con la Quebrada Berna.

A la salida del embaulamiento se observan árboles en una pequeña playa formada en su margen derecho. La sección del embaulamiento en su parte final es aproximadamente 8,50 m. de ancho por 2,00 m. de alto en concreto.

Aguas abajo del embaulamiento se extiende esta sección como canal. Aproximadamente 10 m. aguas abajo, empieza un tramo de 130 m. de largo con paredes de muros de gavión y fondo natural. Se mantiene el ancho de la sección 8,50 m. y tiene una altura de 2,50 m.. Se observan rocas y escombros de vegetación en el cauce, así como árboles caídos en las márgenes que amenazan con obstruir el flujo en la quebrada si llega a caer en esta.

A la altura de la 5ª transversal de los Cortijos se encontraba un puente peatonal que actualmente no existe, el cual unía la Urbanización La California Norte con la parcela de la Cervecería Polar. En el sitio de este puente (100 m. antes de la Autopista Francisco Fajardo) termina la canalización con muros de gavión y empieza el tramo canalizado en concreto armado que llega hasta la desembocadura en el río Guaire. La sección es rectangular y mantiene las mismas dimensiones. Se observan el paso de tuberías sobre el área de la canalización (ver Figura 14.444.44 y Figura 14.454.45). En la Figura 14.464.46 y Figura 14.47 se muestran las secciones típicas medidas en el Proyecto PREVENE.

Figura 14.44 Quebrada Tócome: vista hacia aguas arriba desde puente de Cervecería Polar (diciembre 2000).

Figura 14.45 Quebrada Tócome: vista hacia aguas abajo desde puente de Cervecería Polar (diciembre 2000).

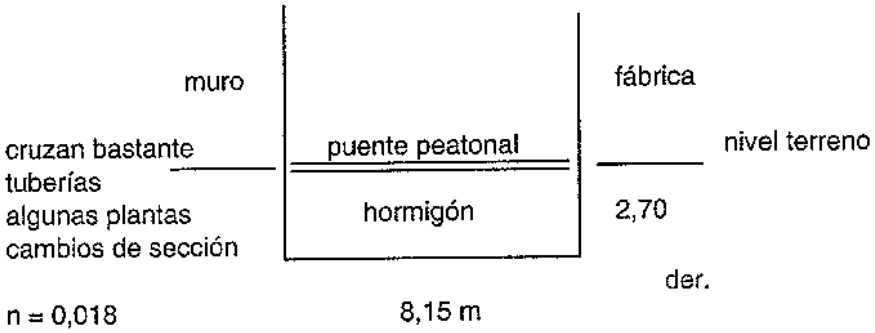


Figura 14.46 Quebrada Tócome: Al lado de la Cervecería Polar, 300 m. aguas arriba de la Autopista Francisco Fajardo (Fuente: Basabe et al, 2001).

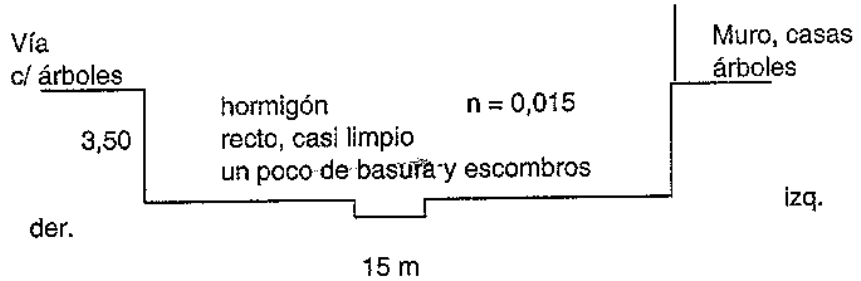


Figura 14.47 Quebrada Tócome: 50 m. aguas arriba de la desembocadura en el Río Guaire (Fuente: Basabe et al, 2001).

- **Tramo Urbanización Los Ruices - California Sur:**

La canalización continua bajo la autopista Francisco Fajardo, el ancho del canal es 14,20 m. y tiene una luz libre de 2,20 m. La pared lateral del canal tiene 1,80 m. de altura.

La canalización de la quebrada constitue el límite entre las urbanizaciones Los Ruices y La California Sur hasta llegar al Río Guaire. El cauce está canalizado con una sección rectangular de 14,50 m. de base por 3,50 m. de alto desde unos 100 m. aguas arriba de la Autopista Francisco Fajardo hasta unos 50 m. antes de su desembocadura en el Río Guaire, donde llega a un disipador de energía. El disipador de energía es un salto en el fondo del canal de 1,50 m. y dientes en concreto en forma de cuña alineados perpendicularmente al sentido del flujo. La profundidad del canal aumenta 0,50 m. hasta la desembocadura, manteniendo su ancho (ver Figura 14.48, Figura 14.49 y Figura 14.50).

Figura 14.48 Quebrada Tócome: vista de disipador construido en el cauce antes de la confluencia con el Río Guaire (diciembre 2000).

Figura 14.49 Quebrada Tócome: vista hacia aguas arriba desde puente en la Av. Trieste en la California Sur (diciembre 2000).

Figura 14.50 Quebrada Tócome: confluencia con el Río Guaire (diciembre 2000).

- **Tramo Quebrada Tenería o Tenepa:**

La Quebrada Tenería nace en el Ávila, cruza la Av. Boyacá y entra en el área urbanizada de Caracas por el Distribuidor de Sebucán y bordea la Urbanización Loma de Los Chorros. Su cauce pasa bajo el Distribuidor Sebucán a través de un embaulamiento de aproximadamente 3,50 m. de ancho por 2,40 m. de alto. El embaulamiento termina a nivel de la Av. Cachimbo (ver Figura 14.51). El cauce continúa en estado natural, se orienta hacia el Sureste hasta desembocar en la Quebrada Tócome dentro de Parque Los Chorros.

Figura 14.51 Quebrada Tenería: salida del embaulamiento a tramo natural.

- **Tramo Quebrada La Julia, Juan Gómez o Yukery:**

La Quebrada La Julia nace en el Ávila. Entra en el área urbanizada por el Distribuidor de Boleita, en la Av. Boyacá. Pasa por la Urbanización El Rosario y en Boleita desemboca en la Quebrada Tócome.

Sale del Parque Nacional El Ávila por un canal cerrado de 4,70 m. de ancho por 2,60 m. de alto. Continua, entre las dos rampas de acceso del Distribuidor Boleita, como una canalización en concreto, de sección trapecial con un ancho base inferior de 1 m. y superior 1,80 m., y 0.50 m. de alto.

Al llegar al cruce de las Av. Ppal. de Boleita con la Av. El Buen Pastor, el flujo pasa a través de una alcantarilla de concreto de 2,80 m. de ancho por 2,50 de alto (ver Figura 14.52). Unos metros aguas abajo del cruce se observa el final de la alcantarilla, el cauce continúa con sección trapecial. La vía se ubica a la izquierda del cauce.

Figura 14.52 Quebrada La Julia: Distribuidor Boleita, vista de la canalización hacia aguas abajo.

En la Figura 14.53 se muestran peñones acumulados al final de la calle Camurí, junto al Distribuidor Boleita.. Estas se encontraron al excavar el terreno para construir las fundaciones y el sótano de un conjunto residencial. Fue necesario recurrir a explosivos para disminuir su tamaño y peso y poder movilizar los peñones.

Figura 14.53 Quebrada La Julia: depósito de rocas en calle Camurí.

Antes de llegar a la altura de la 11ª transversal de El Rosario termina la canalización y continúa el cauce en estado natural. La sección del cauce es de 3,00 m. de ancho por 2,00 de profundidad. En oportunidad de crecidas, se inundan las parcelas aledañas, ubicadas a un nivel inferior. En el cauce se observa abundante vegetación, rocas, sedimentos finos y gruesos y pocos desperdicios (ver Figura 14.54).

A la altura de la 7ª transversal de El Rosario está sin terminar un tramo de canal de aproximadamente 20 m. de longitud. A las paredes del canal se le han dejado los arranques de las cabillas para construir el techo. Le sigue otro del mismo tipo de canal cerrado completamente construido. Este canal va desde la 7ª transversal hasta la 3ª transversal del Rosario. Estos canales tienen 3,40 m. de ancho por 2,00 m. de altura (ver Figura 14.54).

Figura 14.54 Quebrada La Julia: vista del cauce hacia aguas abajo (11ª transversal)

Figura 14.55 Quebrada La Julia: tramo parcialmente construido, vista hacia aguas arriba (7ª transversal)

Continúa aguas abajo escurriendo sobre el terreno. La sección es trapecial de ancho base 2 m, ancho en el tope de 5 a 6 m. y altura 4 m, aproximadamente. Hay abundante vegetación y se observa en el lecho peñones y sedimento fino. Continúa en estado natural, confinada por las construcciones marginales hasta llegar al Boleita Center.

Entra a un embaulamiento que va superficialmente. En esta área quedaba el Barrio La Hit, destruido durante una crecida ocurrida en los años 80 con saldo de varios muertos. El Municipio permitió luego la ocupación del terreno por parte de a los vecinos de las casas formales que limitan con el cauce, los cuales han parcelado el área y la han dividido construyendo paredes de bloque que obstruirían completamente cualquier tipo de flujo superficial. El embaulamiento se interrumpe momentáneamente en el tramo que cruza el terreno de la empresa Coca Cola. En este tramo abierto el fondo está recubierto en concreto y no existen paredes de canal que encaucen el flujo. La sección es rectangular en concreto armado con una altura de 1.80 m. y ancho aproximado de 3 m.

Una reja atravesada al flujo retiene ramas, sedimento grueso y basura transportados por la quebrada . El personal de la planta de Coca Cola retira el material acumulado. (ver Figura 14.56)

Figura 14.56 Quebrada La Julia: Vista del final del embaulamiento y de la reja ubicada arriba del terreno de la Coca Cola (5ª Transversal).

La quebrada pasa por debajo de los depósitos de la Coca Cola por medio de un embaulamiento en concreto armado, con sección rectangular inicial de 2.80 m. de alto por 2.80 de ancho. Se puede considerar que su pendiente corresponde a la del terreno en este tramo. Al llegar al lindero Sur del terreno (5ª transversal), las dimensiones del embaulamiento son 3 m. de ancho por 3 de alto. Llega a una transición donde se amplia la sección para pasar bajo el puente de la calle, con una luz libre de aproximadamente 70 centímetros de altura (ver Figura 14.57).

Luego, la quebrada cruza el terreno de un estacionamiento, por medio de un cajón rectangular, de longitud aproximada 181,50 m, construido en el año 1975, hasta confluir con la quebrada Tócome.

Figura 14.57 Quebrada La Julia: Puente en 5ta transversal de Boleita.

- **Tramo Quebrada Berna:**

La Quebrada Berna nace en el Ávila un poco arriba de la Av. Boyacá. Entra en el área urbana por la parte alta de la Urbanización Horizonte, en una parcela cerrada, sin construir, ubicada en la 10ª transversal. Una canaleta paralela al lindero sur de la parcela conduce las aguas de lluvia de la parcela vecina a una tanquilla de 2 m. de profundidad, donde éstas se unen a la quebrada, la cual entra y sale por medio de una alcantarilla corrugada.. En el fondo se observan troncos de árboles cortados y rocas. Aguas abajo de esta tanquilla continua la alcantarilla a través del estacionamiento de las parcelas (Figura 14.588 y Figura 14.59).

Figura 14.58 Quebrada Berna: vista a tanquilla en terreno en 10ª transversal de Horizonte.

Figura 14.59 Quebrada Berna: vista a tanquilla en terreno en 10ª transversal de Horizonte.

Desde la 6ª transversal hasta la mitad de la 4ª transversal, el cauce está en condiciones naturales (Figura 14.60). Pasa a través de un terreno con plantas de plátanos sembradas, árboles y matorrales. No existe un curso definido de la quebrada salvo por “picas” que se abren en el terreno.

Figura 14.60 Quebrada Berna: vista al cauce.

A nivel de la 4ª transversal entra a un embaulamiento, cuyas características y trazado exacto se desconocen. En este punto, cuando ocurren fuertes precipitaciones, al no poder entrar toda el agua rápidamente en el embaucamiento, se desborda e inunda la calle a través de un muro con tres aberturas verticales de unos 5 cm. de ancho.

Pasa luego a través de varias parcelas hasta cruzar la Av. Rómulo Gallegos. Continúa por la Calle República Dominicana, donde al llegar a la Av. Francisco de Miranda cambia de dirección hacia el Oeste y al llegar a la Av. Madrid, en la Urbanización La California Norte, se orienta hacia el Suroeste hasta la confluencia con la Quebrada Tócome. En este último tramo de aproximadamente 100 m. de longitud, el cauce va como canal trapecial en concreto, presentando varias caídas o saltos. La sección tiene 2,64 m. de base y 1 m. de alto, pero como va confinada entre paredes pertenecientes a los galpones vecinos puede superar esta elevación en varios metros. Sin embargo, antes de confluir con la Quebrada Tócome, se encuentra un puente con sólo un metro sobre la sección trapecial (Figura 14.61).

Figura 14.61 Quebrada Berna: vista al cauce aguas arriba de la confluencia con la Quebrada Tócome.

14.2.2 Antecedentes de inundaciones y aludes

Por ser una zona alejada del centro de la ciudad de Caracas y tal vez por no haberse presentado importantes pérdidas económicas o de vidas humanas, son pocas las referencias existentes desde la época de la colonia hasta entrada la mitad del siglo XX.

A continuación se hace un recuento de las crecidas y de los daños causados:

- en 1833 se reporta la destrucción de la línea del ferrocarril (Basabe et al, 2001).
- en 1951 se reportan inundaciones por desbordamientos de la quebrada en Los Dos Caminos, en Monte Cristo 24 viviendas dañadas (Basabe et al, 2001).
- en 1980 el cauce de la Quebrada Tócome subió el nivel de sus aguas. Cerca de la confluencia con la Quebrada La Julia hubo varios muertos por desbordamiento, en el sitio donde quedaba la Industria Yukery. Se cree que esta crecida que arrastró árboles y troncos fue mayor que la del 99,.
- en 1999 dentro del Parque Los Chorros hubo gran acumulación de sedimentos en la parte que es llamada la plazoleta, aguas abajo de las piedras "las Morochas". Los pequeños puentes actuaron como diques, reteniendo escombros y sedimentos. En general las rocas del cauce no se movieron.

En la confluencia de la Quebrada Tócome con la Quebrada La Julia, fueron arrastrados hasta allí vehículos y camionetas, que quedaron atrapados entre los sedimentos.

Grases et al (2000) hacen mención a los siguientes daños ocasionados en esta oportunidad por la inundación de la Quebrada Tócome:

- El cauce de esta quebrada pasa por debajo de muchas residencias y edificaciones ubicadas en las avenidas 5, 6 y 7 de la urbanización Monte Cristo. El material de arrastre impidió el libre paso de las aguas; a esto se sumó la caída del puente El Rosario. Más de 200 familias que habían invadido terrenos cercanos a la quebrada, se quedaron sin vivienda. Por el lugar del puente destruido se halló un peñón de más de 2 m. de largo, el cual impidió el paso de las aguas por el canal.
- El día 15 de Diciembre entre las 9:30 y 11:30 p.m. fue necesario desalojar viviendas ubicadas en la primera vereda y cuarta transversal; los habitantes subieron a los techos de sus viviendas y allí pasaron la noche. En la Torre II de las residencias Medora, ubicadas en la avenida 7 de Los Chorros, los habitantes perdieron sus vehículos.
- Inmuebles del área de Boleita fueron afectados por el desbordamiento y la crecida de la quebrada. En Boleita Norte los callejones San José y Machado resultaron los más afectados. En Boleita Sur, la zona industrial fue afectada.
- Las paredes de la antigua fábrica de cerveza Zulia fueron destruidas intencionalmente para permitir el paso de las aguas hacia la Av. Rómulo Gallegos. En la Avenida Rómulo Gallegos fueron afectadas las instalaciones del Centro Juvenil Don Bosco y la Iglesia María Auxiliadora. Quedaron los estacionamientos tapiados de sedimentos, y a la vista sólo las partes superiores de los carros.

- el 18 julio del 2003 se cayó un puente peatonal que existía sobre la Quebrada Tócome, unos metros aguas abajo de la Av. Francisco de Miranda. En la 4ª transversal de Horizonte las aguas de lluvia sobrepasaron el nivel de la acera, el agua se infiltraba a través del muro que está donde comienza el empotramiento en esta calle.

- el 8 de febrero del 2005, durante las intensas precipitaciones que causaron daños en Vargas y en determinados sectores de Caracas, no fueron reportadas inundaciones en el área, en el Parque Los Chorros ni en las urbanizaciones, aunque se supo que el cauce podía ser escuchado desde edificios vecinos aguas arriba de la Av. Fco. de Miranda. Se observó que las marcas dejadas por el flujo no superaron los 60 centímetros de profundidad. En la desembocadura el cauce fue afectado por el nivel del Río Guaire, unos pocos metros aguas arriba de la confluencia el flujo inundó la margen derecha sin llegar a causar pérdidas económicas.

14.2.3 Resumen de puntos críticos

Se identifican a continuación los puntos considerados como más críticos:

1. Puente y entrada al embaulamiento en la Av. El Rosario.

2. Av. El Sanatorio del Ávila (5ª transversal). En esta avenida se encuentra un estacionamiento, ubicado justo aguas arriba de la confluencia de los embaulamientos de las Quebradas Tócome y La Julia, donde existen galpones que obstruyen el flujo superficial.

3. Escuela Popular Don Bosco, área baja colindante con la quebrada.

4. Puente Av. Francisco de Miranda. Bajo éste se encuentran depósitos de sedimentos.

5. 1ª transversal de los Cortijos de Lourdes. Es una calle ciega con pendiente hacia la quebrada que drena las aguas de lluvia a través de una alcantarilla. En casos de fuertes precipitaciones esta alcantarilla no tiene suficiente capacidad y se producen inundaciones de hasta 50 cm de altura.

6. 2ª transversal de los Cortijos de Lourdes. En la parcela que se encuentra en el margen derecho del cauce funciona un estacionamiento y se presenta una acumulación de escombros de vegetación y basura, que en el momento que lleguen al cauce pueden producir una obstrucción del mismo.

7. Av. Madrid en la Urbanización Los Cortijos de Lourdes. Después de fuertes vientos ocurridos en la ciudad de Caracas en el mes de julio del 2005, se observó en la margen izquierda del cauce árboles caídos que amenazan con llegar al cauce.

Algunas observaciones adicionales se pueden hacer con respeto al estado general del drenaje:

- después del evento de diciembre de 1999 las áreas afectadas fueron restituidas a sus condiciones previas, los escombros y sedimentos fueron removidos del cauce.
- estado de sumideros de colectores: están en aparente buen funcionamiento, no se observaron grandes cantidades de basura en las rejas de las alcantarillas y sumideros.
- existencia de aguas servidas en los cauces: en las visitas de campo, se han observado flujos en los cauces aún sin llover y se han percibido fuertes olores provenientes de las aguas servidas que por ellas circulan.

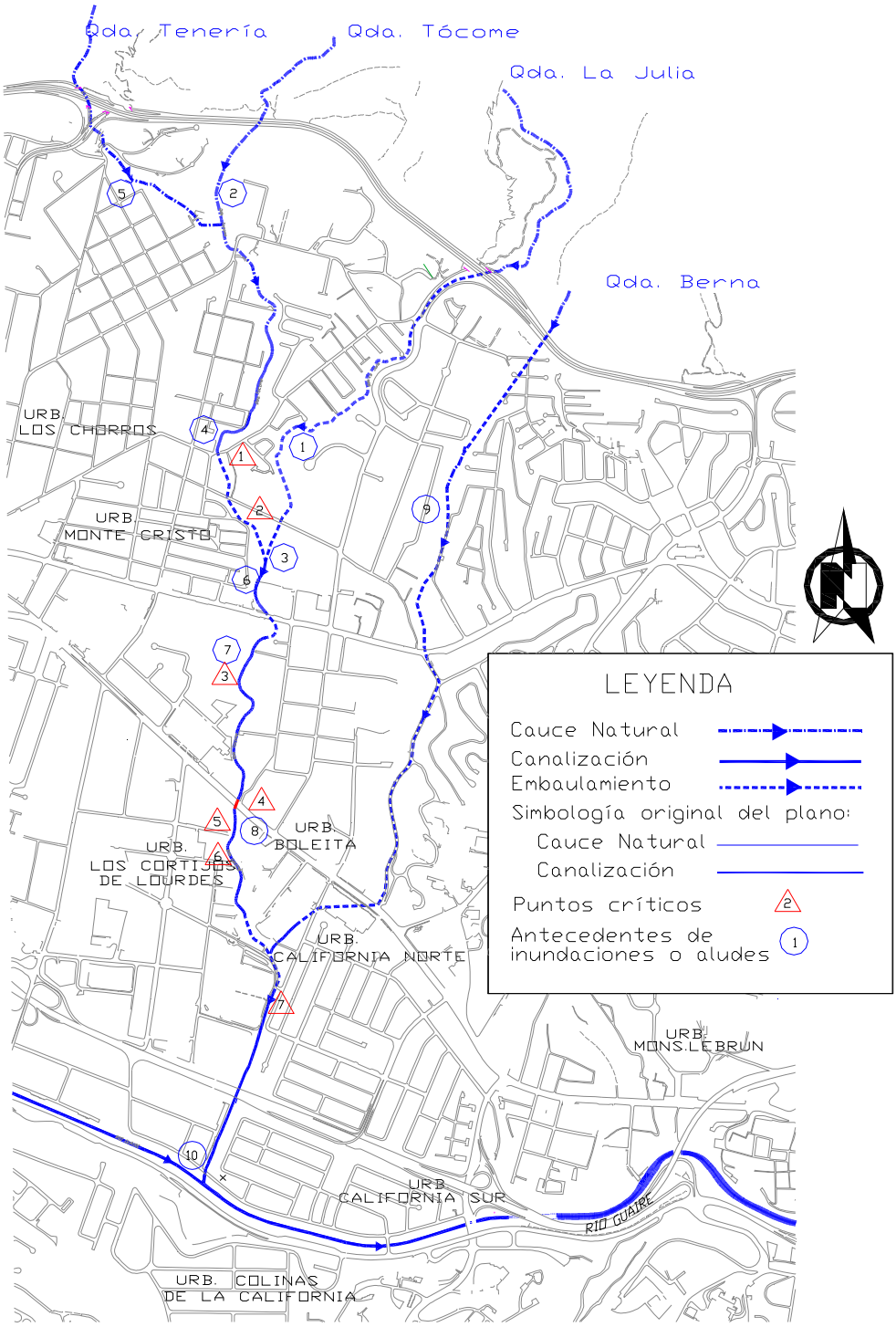


Fig 14.62 Tócome- Características de la red de drenaje

14. 3 Simulación de inundaciones

Para elaborar el Mapa de Amenaza de la Quebrada Tócome se consideran las profundidades y velocidades máximas del flujo de los eventos de 10, 100 y 500 años de período de retorno. Las condiciones generales del modelo son las que se describen a continuación y más adelante se describen las condiciones particulares a cada evento.

Se construyó el modelo de la cuenca en el área urbana, en base a planos con topografía digital esc. 1:5.000 suministrados por ESTEREOFOTO. En base a la topografía digital se generó una malla de 6.846 celdas rectangulares de 30 m. de lado. A cada celda se le asocia un valor de elevación y de rugosidad n de Manning.

La rugosidad mínima empleada para la topografía en general es 0,040 y 0,020 en sitios cuya área sin construcciones y revestimiento en concreto o asfalto es mayor a 900 m^2, valor que se empleó para las calles y avenidas. En los embaulamientos y canalizaciones se emplearon valores de Manning que estuvieran de acuerdo a la geometría del canal, material de revestimiento, número de Froude y velocidades del flujo.

La pendiente del área modelada disminuye en dirección Sur. Esto es considerado en el modelo para establecer las características de las calles y avenidas, y de las obstrucciones y reducciones de área.

Se simularon las siguientes calles y o avenidas:

- Av. El Rosario
- 1ª Transversal de Monte Cristo
- 2ª Transversal de Monte Cristo
- 4ª Transversal de Monte Cristo
- 5ª Transversal de Monte Cristo - Boleita
- 5ª Avenida de Monte Cristo
- 1ª Transversal de Boleita Sur
- 2ª Transversal de Boleita Sur
- 3ª Transversal de Boleita Sur
- 4ª Transversal de Boleita Sur
- Av. El Centro
- Av. Ppal de Boleita
- Av. Ppal de los Chorros
- Av. Monte Cristo
- Av. Rómulo Gallegos
- Av. Francisco de Miranda
- Av. Buen Pastor
- Av. Las Palmas
- Av. Madrid
- Av. Roma
- Av. Camurí
- Calle Sta. Ana
- Calle Tiuna
- Calles internas del Club Hebraica
- Calle Rosario
- Calles A y B de la Urb. El Rosario
- 2ª Transversal del Rosario
- 3ª Transversal del Rosario
- 5ª Transversal del Rosario
- 6ª Transversal del Rosario
- 7ª Transversal del Rosario
- 8ª Transversal del Rosario
- 9ª Transversal del Rosario
- 10ª Transversal del Rosario
- 11ª Transversal del Rosario

Se emplearon factores de obstrucción de área ARF de hasta 0,40 y reducción de paso WRF de hasta 1.
El gasto máximo por afluente y por evento son los mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 14.1 Gastos máximos de la cuenca de la Quebrada Anauco.

CUENCA	CAUDAL (m^3/s) PERÍODO DE RETORNO (años)		
	10	**100**	**500**
Tenería	**21,13**	46.84	66.05
Tócome	65.17	182.2	283.80
Hebraica	6,48	13,93	18,68
Julia	32,81	74,3	102,92

Se modelaron los embaulamientos de las quebradas y las alcantarillas. Para modelar la obstrucción de los escombros en las entradas de estos, se usó como criterio que la capacidad máxima del embaulamiento es el 70 % de la misma, ya que en diciembre del 99 no se bloquearon en un 100 %.

En cada evento se considera el aporte de la cuenca en el área del Parque Nacional el Ávila y la lluvia en el área de la ciudad.
Existen ocho puntos de entrada del flujo, que corresponden a los tributarios de la cuenca: Tenería, Tócome, La Julia y Berna. Para la lluvia se emplea los hietogramas de diseño para 10, 100 y 500 años de período de retorno de la estación Cajigal.

Período de retorno (años)	10	100	500
Lámina total de lluvia (mm)	139.6	221.37	276.1

14.3.1 SIMULACION PARA PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS

14.3.1.1Condiciones de la simulación

Para este evento se emplea los hidrogramas de lluvia de cada quebrada (Figura 163 y Figura 164) y el hietograma de lluvia correspondientes a 10 años de período de retorno (Figura 165). El coeficiente volumétrico de sedimentos es 0,20, constante durante todo el evento.

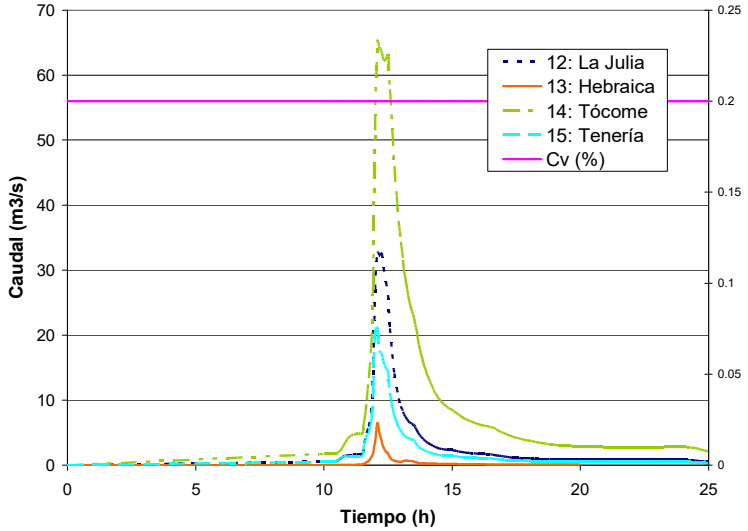


Figura 14.63 Tócome. Hidrogramas de afluentes de la Cuenca Tócome (Tr = 10 años).

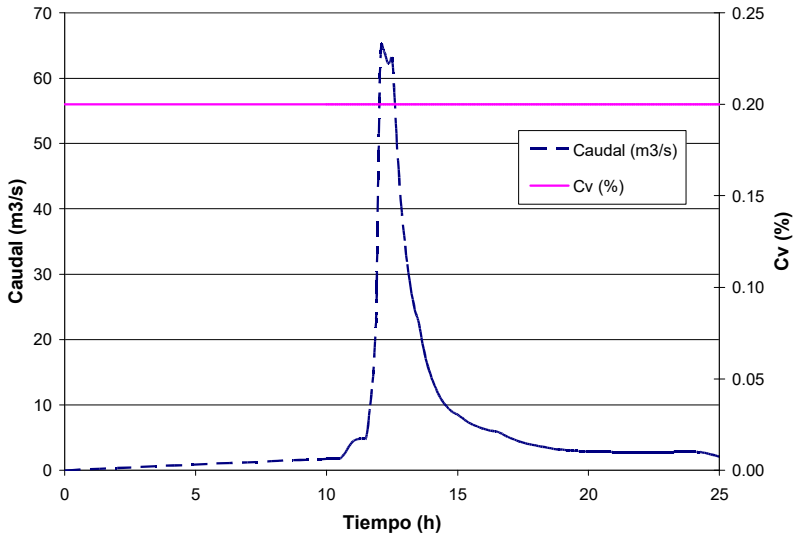


Figura 14.64 Quebrada Tócome. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 10 años).

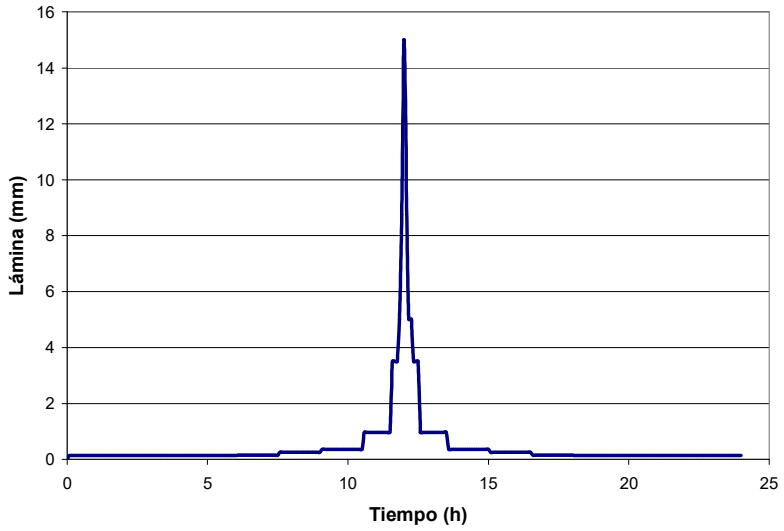


Figura 14.65 Tócome. Hietograma estación Los Chorros (Tr = 10 años).

14.3.1.2. Resultados

Las profundidades y velocidades máximas para el evento de 10 años de período de retorno se muestran en la Figura 14.66 y la Figura 14.67, respectivamente.

Las inundaciones se limitan básicamente a dos áreas. Una de ellas es el área comprendida entre la Av. Ppal. del Rosario y la confluencia con la Quebrada La Julia. La otra área afectada es aguas abajo de la Av. Francisco de Miranda en el área de confluencia con la Quebrada Berna.

La profundidad máxima registrada en el canal abierto es de 7,60 m. en la entrada del embaulamiento que está aguas debajo de la Av. Fco. de Miranda en un área cercana a las viejas instalaciones de RCTV. En el terreno las mayores profundidades se encuentran entre la confluencia de las Quebradas Tócome y La Julia y la Av. Rómulo Gallegos en los terrenos de la antigua Cervecería Zulia. Con profundidades máximas de hasta 1,84 m. en el terreno y velocidades máximas de 8,43 m/s.

Los resultados del modelo indican que el volumen total de los hidrogramas de entrada mas lluvia es de 1 millón de metros cúbicos. 442 ha fueron inundadas, tanto por la lluvia como por el flujo de los cauces, de los cuales 3,19 ha corresponden a áreas de canalizaciones.

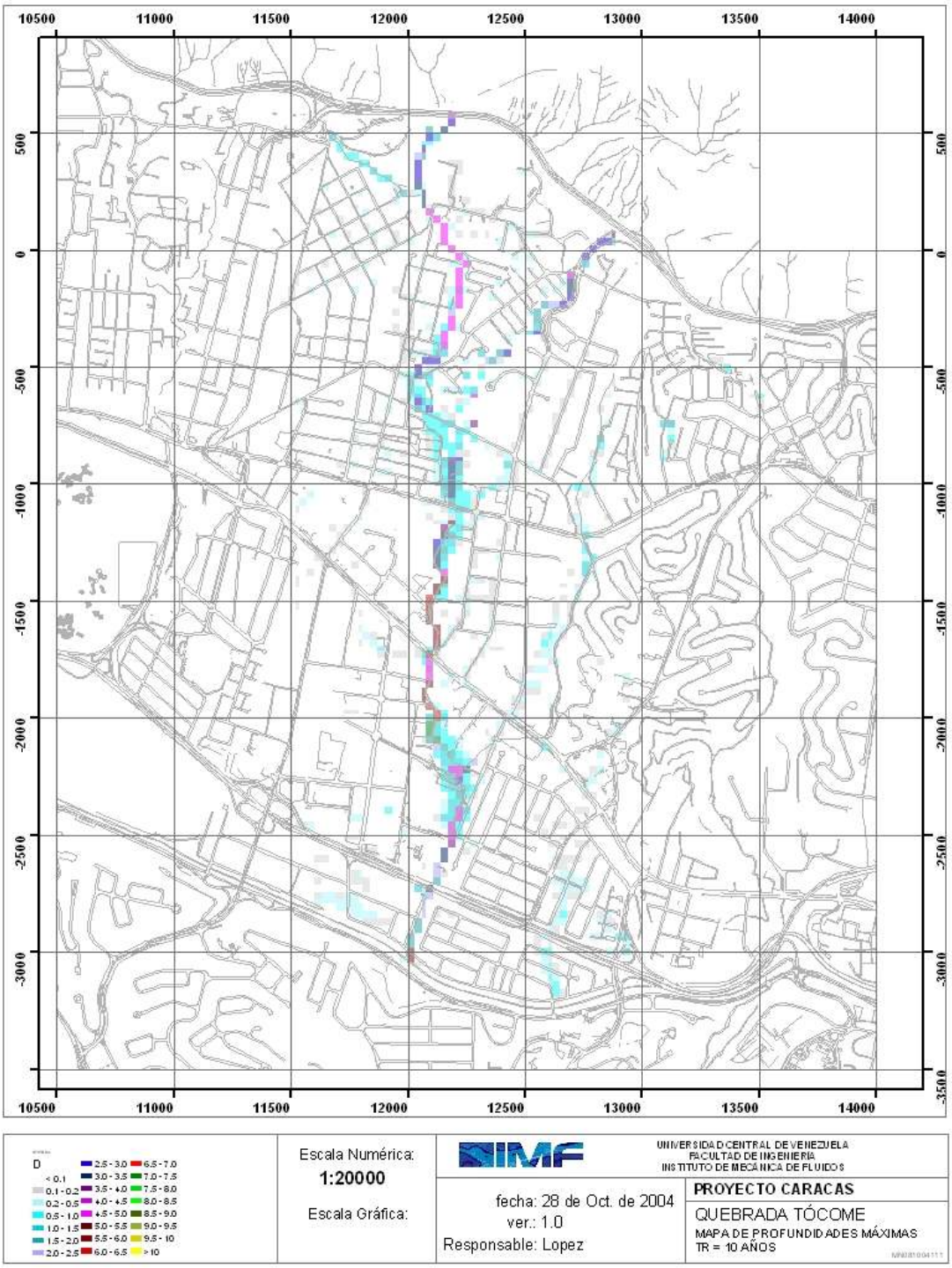


Figura 14.66 Tócome. Profundidades Máximas para Tr = 10 años.

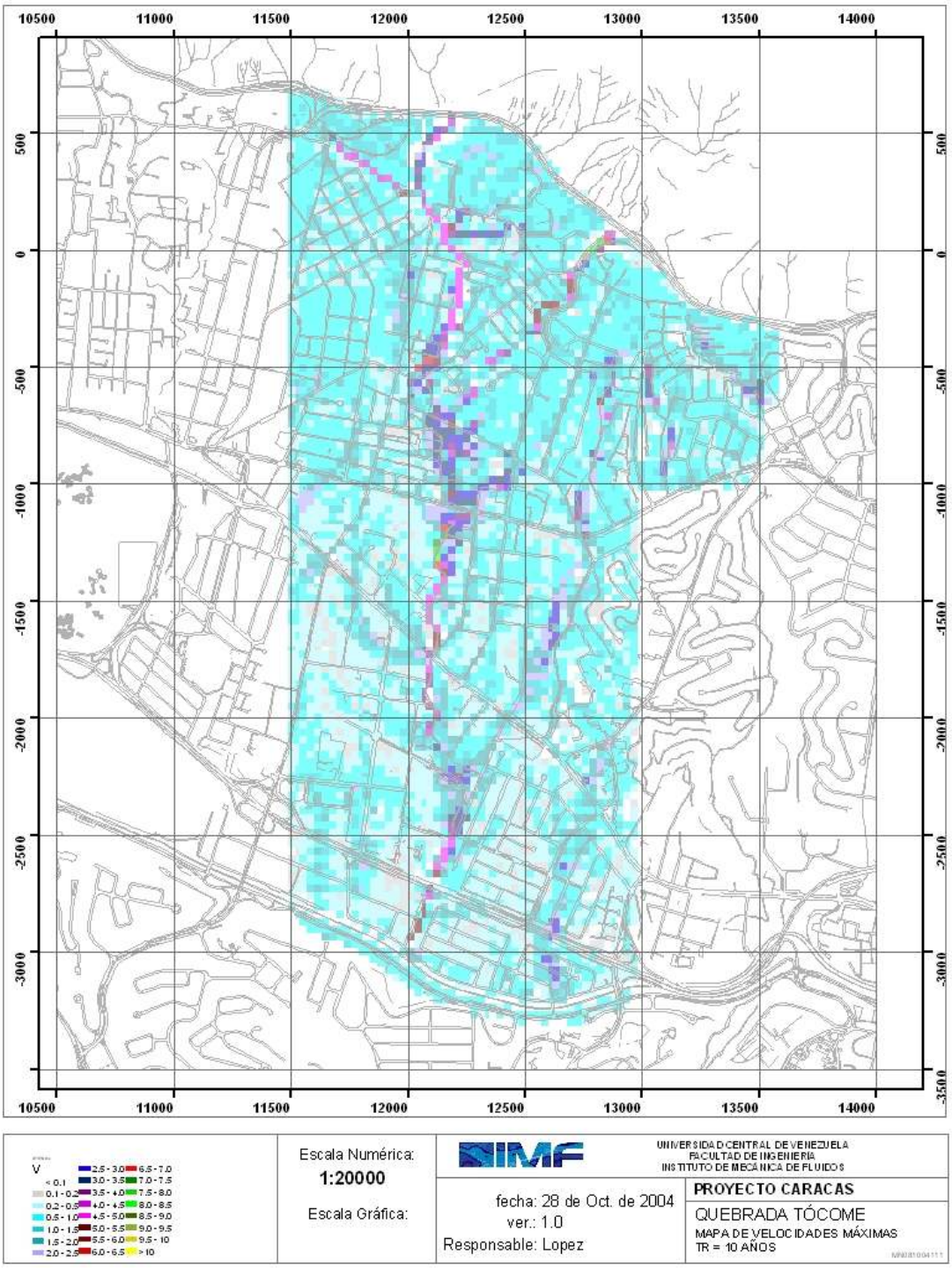


Figura 14.67 Tócome. Velocidades Máximas para Tr = 10 años.

14.3.2 SIMULACION PARA PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS

14.3.2.1. *Condiciones de la simulación*

Para este evento se emplea los hidrogramas de lluvia de cada quebrada (Figura 14.68) y el hietograma de lluvia correspondientes a 100 años de período de retorno (Figura 14.69). El coeficiente volumétrico máximo de sedimentos es 0,25 para todos los tributarios de la cuenca. En la Figura 1 se muestra la distribución de Cv para el hidrograma de entrada de la Quebrada Tócome.

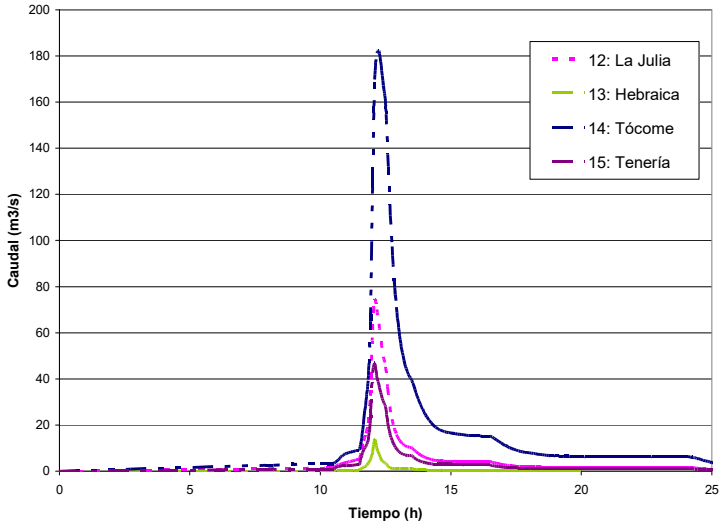


Figura 14.68 Tócome. Hidrogramas de afluentes principales de la Cuenca Tócome (Tr = 100 años).

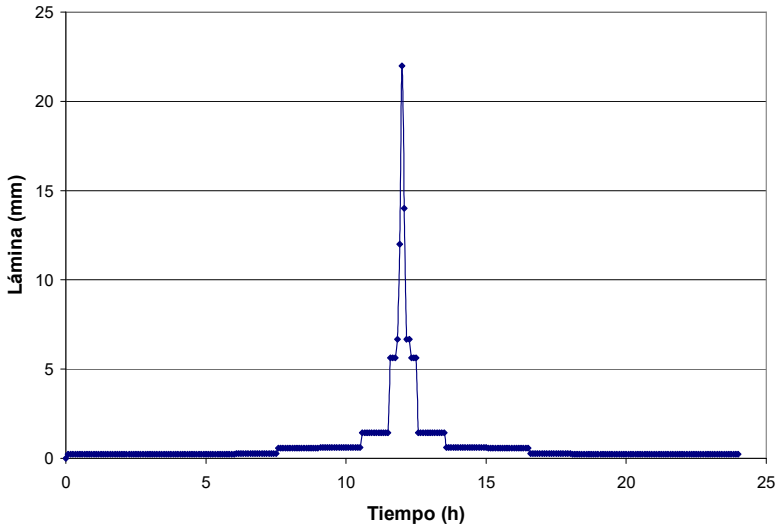


Figura 14.69 Tócome. Hietograma estación Los Chorros (Tr = 100 años).

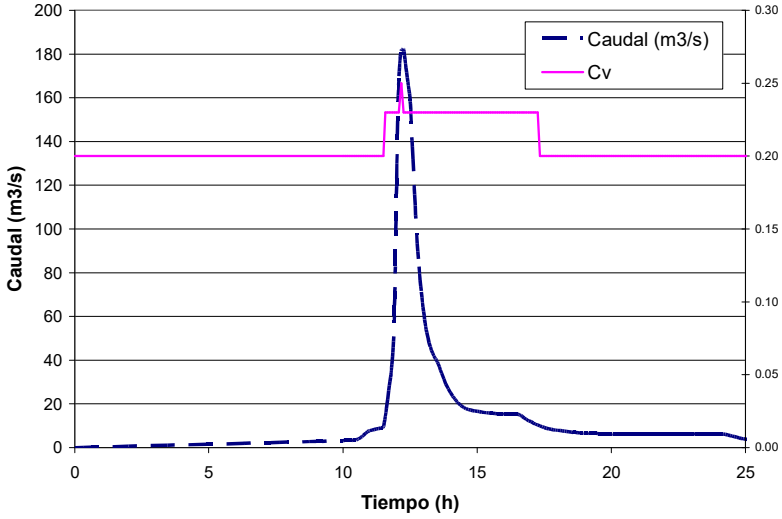


Figura 14.70 Quebrada Tócome. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 100 años).

14.3.2.2 Resultados

Las profundidades y velocidades máximas para el evento de 100 años de período de retorno son mostradas en la Figura 14.714.71 y la Figura 14.72, respectivamente.

Aguas abajo del Parque Los Chorros la sección del cauce está confinada por la topografía y por los muros de las parcelas que colindan con el cauce. Hasta la Av. El Rosario se presentan profundidades máximas sobre los 6,00 m.

En la 5ª Transversal de Boleita, en el tramo entre las Quebradas Tócome y la Julia se registran profundidades de flujo de hasta 2,71 m.
El flujo que no entra en el embaulamiento en la Av. El Rosario, se va por topografía hasta incorporarse nuevamente al cauce en el área de los terrenos de la antigua Cervecería Zulia en la Av. Rómulo Gallegos.
Aguas abajo del Boleita Center se desborda la Quebrada La Julia, escurre por la topografía hasta llegar a la confluencia con la Quebrada Tócome donde se reincorporan las aguas al cauce.
La topografía define cursos de agua en el área de la ciudad diferentes a los afluentes con cuenca en el Ávila.
Entre las Avenidas Rómulo Gallegos y Fco. de Miranda la profundidad máxima es de 8,42 m.. Aguas abajo de la Av. Fco. de Miranda, en el área de la entrada del embaulamiento de los Cortijos la profundidad máxima del canal es 9,00 m.. Es un área problemática, debido al embaulamiento y a la confluencia con la Quebrada Berna.
Los resultados del modelo indican que el volumen total de los hidrogramas de entrada mas lluvia es de 2 millones de metros cúbicos. 450 ha fueron inundadas, tanto por la lluvia como por el flujo de los cauces, de los cuales 3,3 ha corresponden a áreas de canalizaciones.

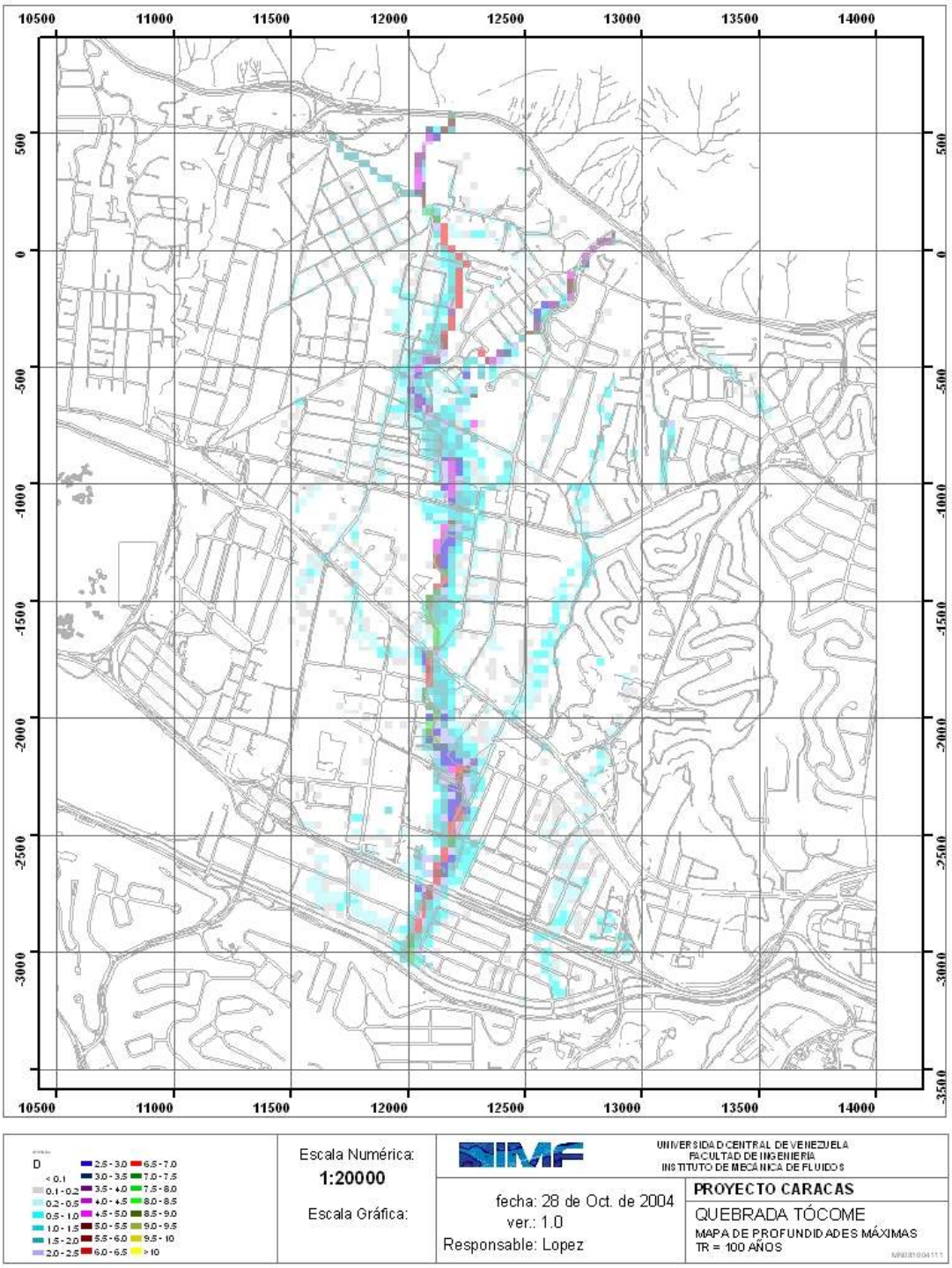


Figura 14.71 Tócome. Profundidades Máximas para Tr = 100 años.

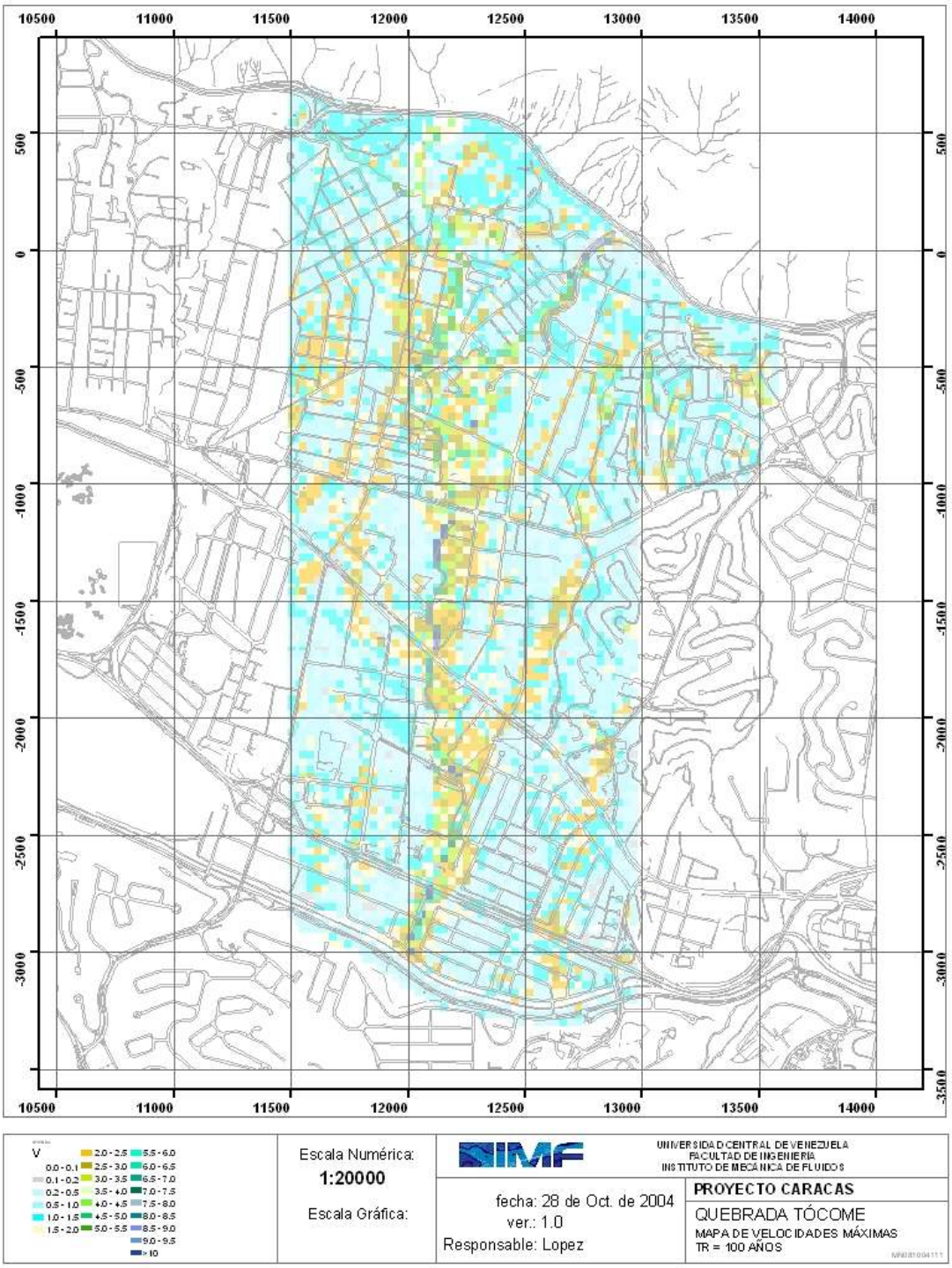


Figura 14.72 Tócome. Velocidades Máximas para Tr = 100 años.

14.3.3 SIMULACION PARA PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS

14.3.3.1 *Condiciones de la simulación*

Para este evento se emplea los hidrogramas de lluvia de cada quebrada (Figura 14.73673) y el hietograma de lluvia correspondientes a 500 años de período de retorno (Figura 14.74). El coeficiente volumétrico máximo de sedimentos es 0,30 para todos los tributarios de la cuenca. En la Figura 15 se muestra la distribución de Cv para el hidrograma de entrada de la Quebrada Tócome.

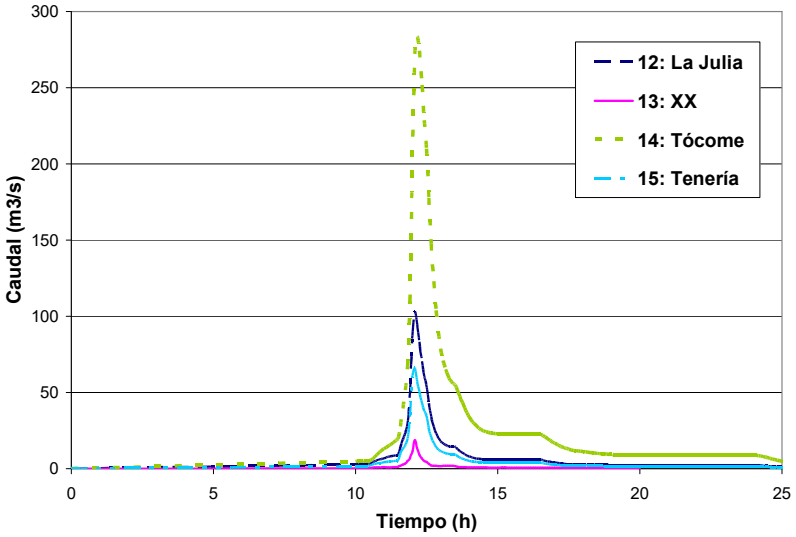


Figura 14.736 Tócome. Hidrogramas de afluentes principales de la Cuenca Tócome (Tr = 500 años).

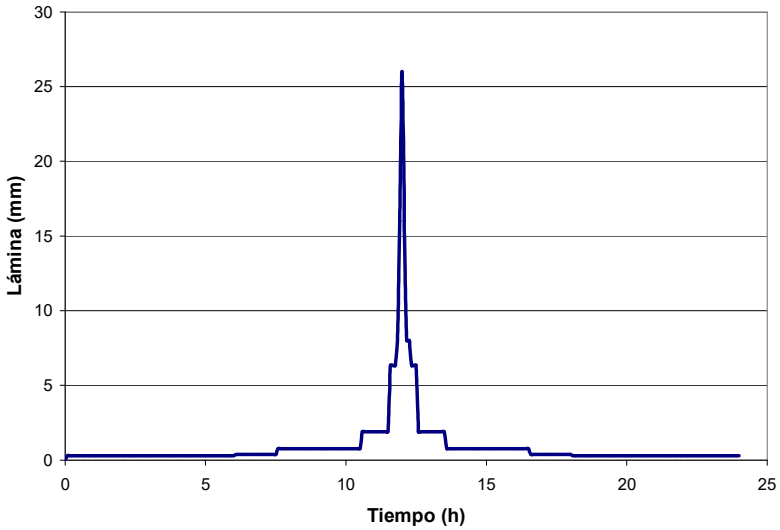


Figura 14.74 Tócome. Hietograma estación Los Chorros (Tr = 500 años).

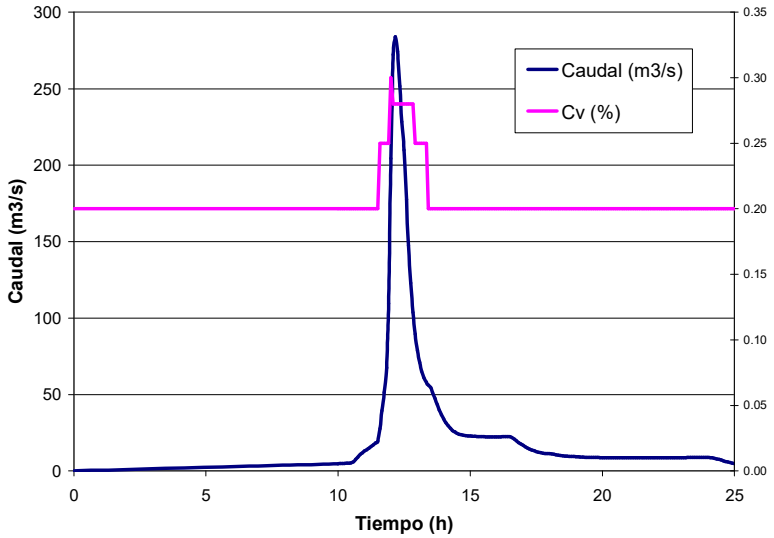


Figura 14.75 Quebrada Tócome. Hidrograma y distribución de la concentración volumétrica de sedimentos Cv (Tr = 500 años).

14.3.3.2 Resultados

El patrón de inundación para el evento de 500 años es similar al de 10 y 100 años de período de retorno, con la diferencia de que son mayores las profundidades del flujo.
En el Parque Los Chorros la inundación se confina al área del parque por ser un valle estrecho y con fuertes pendientes en los taludes laterales. La profundidad máxima obtenida es de 8,26 m. en el punto más aguas abajo del parque.
Aguas abajo del Parque Los Chorros se registran profundidades máximas alrededor de los 7m..
En los alrededores de la confluencia de las Quebradas Tócome y La Julia se obtienen profundidades cercanas a los 3 m. en el terreno.
Las profundidades del flujo en la desembocadura se elevan hasta los 8 m. La velocidad máxima obtenida es de 8,24 m/s aguas abajo de la Av. Fco. de Miranda.
Los resultados del modelo indican que el volumen total de los hidrogramas de entrada mas lluvia es de 3,4 millones de metros cúbicos. 455 ha fueron inundadas, tanto por la lluvia como por el flujo de los cauces, de los cuales 3,3 ha corresponden a área de canalizaciones.

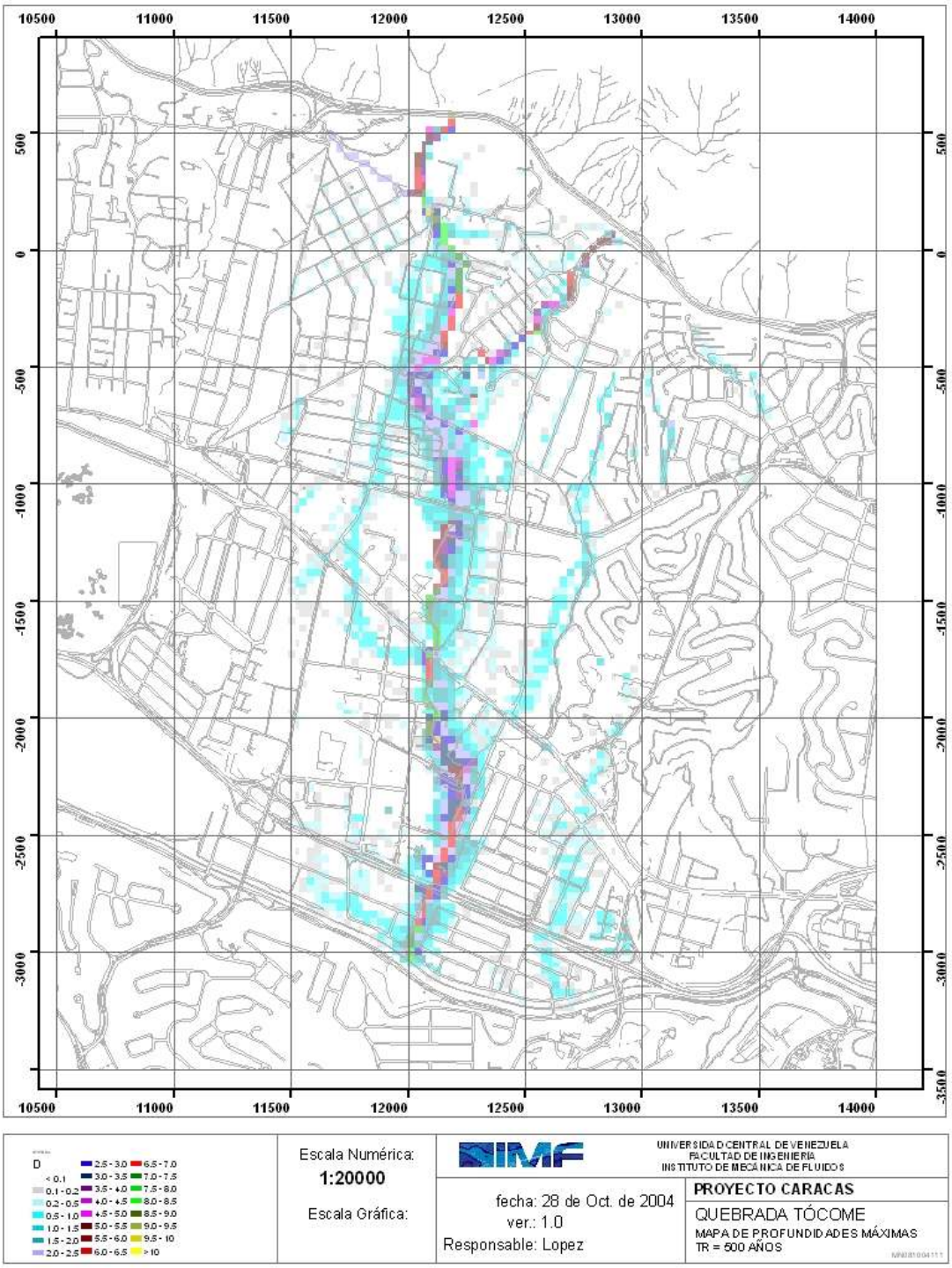


Figura 14.76 Tócome. Profundidades Máximas para Tr = 500 años.

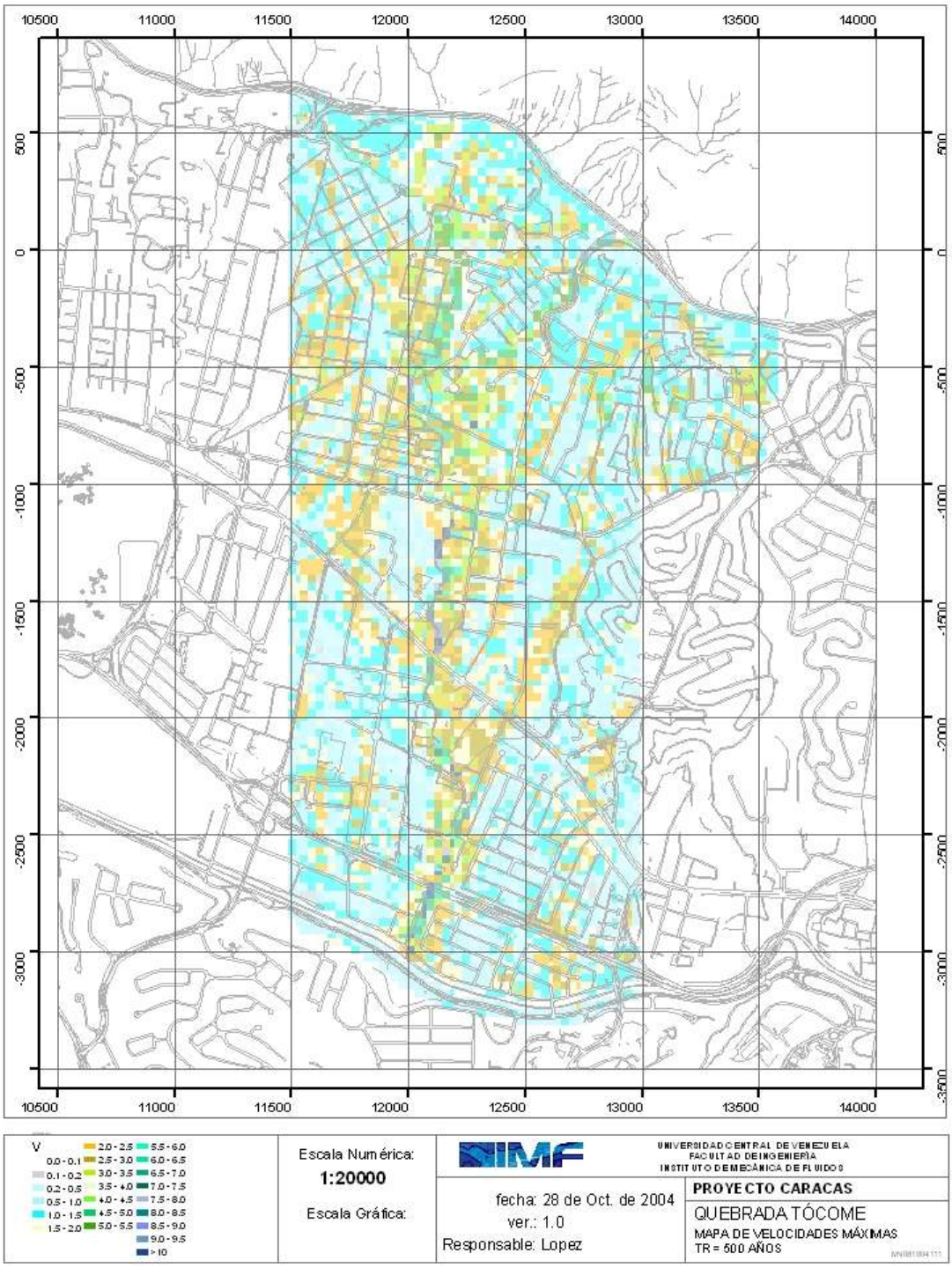


Figura 14.77 Tócome. Velocidades Máximas para Tr = 500 años.

14.4 MAPAS DE AMENAZA

Se presentan anexo el mapa de amenaza original producto de las tres simulaciones, y el mapa final rectificado.

La mancha de amenaza sigue el trazado de los cauces, se extiende por la topografía y sólo se desvía en algunos puntos siguiendo el alineamiento de las calles. Se producen áreas con amenaza alta lejos de los sitios por donde pasan los cauces, debido a las velocidades que se generan en el sector por las fuertes pendientes que existen en la parte alta del área urbanizada de la cuenca.

El área que se encuentra bajo amenaza alta básicamente sigue el alineamiento del cauce principal y sus afluentes. La mancha se amplia en sectores donde los embaulamientos no tienen la capacidad para conducir la totalidad del flujo y se extienden por las calles y avenidas. Este es el caso de la Urb. Montecristo, donde el caudal supera la capacidad del embaulamiento y el flujo se conduce por las calles. La tendencia del flujo es orientarse hacia el cauce y no ocurre trasvase del flujo hacia las subcuencas vecinas.

Las aguas de lluvia a través de las calles definen áreas de amenaza, debido principalmente a las velocidades que se generan en ellas.

A la altura de la Av. Fco. de Miranda, la mancha de inundación está prácticamente confinada al cauce. Aguas abajo vuelve a ampliarse y se reduce a medida que se aproxima a la confluencia con el Río Guaire.

15. ESTUDIO DE LA QUEBRADA CAURIMARE

15.1. Características del área

15.1.1 Ubicación geográfica

La cuenca de la Quebrada Caurimare está ubicada al este de la Quebrada La Julia y al oeste de la Quebrada Baquira, como se observa en la Figura 15.1. Fluye en dirección norte-sur hasta descargar en el río Guaire. Presenta dos afluentes en su ribera derecha, las quebradas Galindo y Pasaquire, las cuales serán igualmente objeto de estudio.

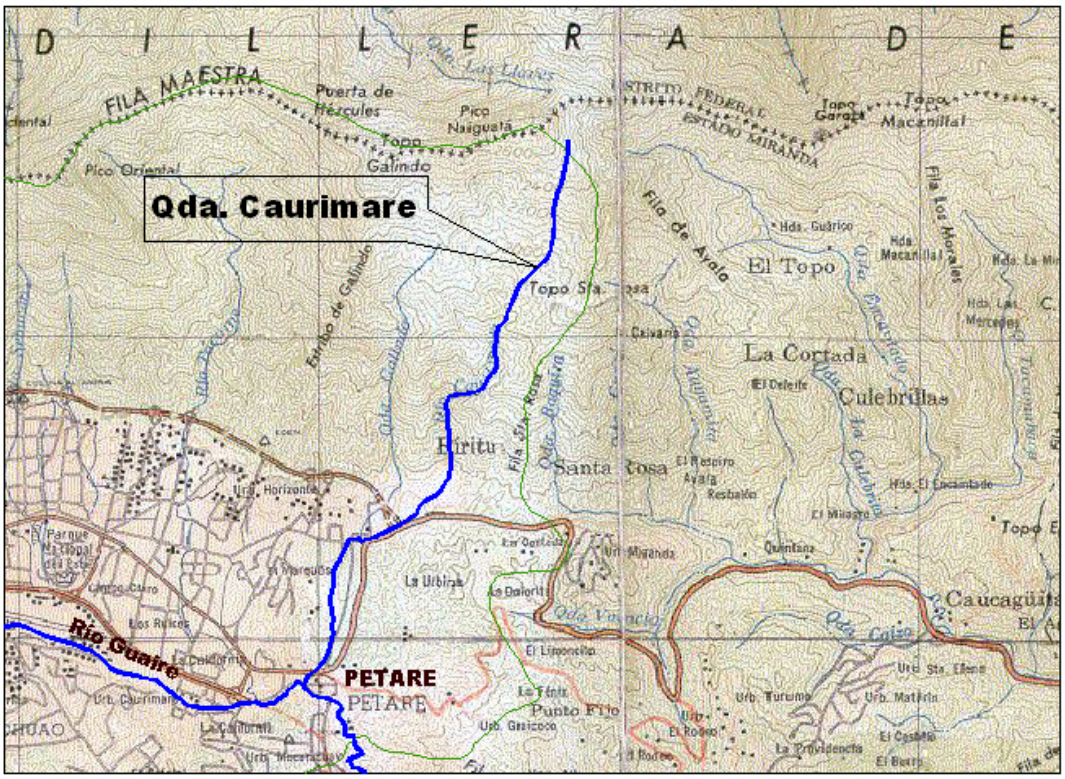


Figura 15.1 Caurimare. Ubicación de la subcuenca

15.1.2 Información disponible

15.1.2.1 Información cartográfica y fotográfica

Se utilizó la siguiente información cartográfica y fotográfica:

- Planos aereofotogramétricos digitales procesados por la empresa Estereofoto C.A., a escala 1:5.000, año 2.000, hojas Nº 9 y 16.

- Carta a escala 1:25.000 del año 1.975, hojas 6847-IV-SE y 6847-III-NE.

Por otra parte, se dispuso de fotografías aéreas en formato digital y en papel fotográfico y sus respectivos mosaicos en formato digital; esta información se indica en la Tabla 15.1

Año	Misión	Fotos	Formato	Escala original
1.944	8	900Z, 964Z, 962Z, 957Z, 955Z, 959Z, 891Z, 893Z, 895Z, 822Z, 824Z	Papel Fotográfico	1:8.000
1.983	0304166	145, 146, 147, 148, 149, 481, 480, 479, 478, 477, 156, 155, 154, 153, 152, 151, 150, 354, 355, 356, 357	Digital	1:10.000

Tabla 15.1. Caurimare. Fotos aéreas disponibles para la subcuenca Caurimare

Existe además una información fotográfica anterior sobre la Quebrada, proveniente de visitas de campo realizadas en el marco del Proyecto Ávila en Enero 2002.

15.1.2.2 Información hidrológica

Se utiliza los resultados del estudio hidrológico realizado para el presente Proyecto.

15.1.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica

De la información señalada para el Proyecto se utilizaron:

- Planos de construcción del Metro de Caracas, de 1.975, Contrato CP-003, Planta y Perfil progresivas 29+270,000 a 29+642,448
- B.P.P., 1.992

15.1.2.4 Estudios previos

La Quebrada Caurimare ha sido incluida en los siguientes estudios previos señalados para el Proyecto:

- I.G.N.S.B, 2002
- C.G.R. Ingeniería, 2001

15.1.3 Hidrografía

La Quebrada Caurimare se encuentra ubicada en el Valle de Caracas, entre la Quebrada La Julia y la Quebrada Baquira. Su cuenca extiende desde El Estribo de Galindo en El parque Nacional El Ávila (2.620 m.s.n.m.) hasta el Río Guaire (822 m.s.n.m.), con una extensión aproximada de 18,22 km^2. Las quebradas Pasaquire y Galindo nacen también en el Macizo El Ávila, y discurren hacia confluir con Caurimare Entre la Quebrada Galindo y la Quebrada Caurimare se encuentra el Topo Arvelo, y la Quebrada Caurimare colinda al este con el Topo Santa Rosa. El cono de deyección de la Quebrada Caurimare se sitúa entre la Avenida Boyacá, y su desembocadura en el río Guaire.

Las tres quebradas confluyen a la altura de la Avenida El Samán, en la divisoria de la Urbanización El Marqués y La Urbina y a partir de este punto, toman el nombre de la quebrada Caurimare. Luego de la confluencia la quebrada sigue su curso por una canalización paralela a la Avenida Principal de la Urbina, y hacia el final de su trayecto a través del cono de deyección, cruza Petare, desembocando en el Río Guaire a unos metros del Hospital Pérez de León.

La quebrada Caurimare atraviesa en su recorrido hacia el río Guaire las urbanizaciones Terrazas del Ávila, La Urbina y parte de Petare. La quebrada Galindo sólo pasa a través de la urbanización Terrazas del Ávila y la quebrada Pasaquire, a través de la urbanización El Marqués. La zona alta de estas cuencas, ubicada dentro del Parque Nacional El Ávila no presenta intervención humana. En la zona baja, es decir, en el cono de deyección, se observan zonas densamente pobladas e intervenidas. Las características principales de la Quebrada Caurimare y sus afluentes Galindo y Pasaquire, se presentan en la Tabla 15.2.

La Figura 15.2 presenta el perfil longitudinal del cauce principal tanto de las Quebradas Galindo y Pasaquire como Caurimare, desde su nacimiento hasta su descarga en el Río Guaire. Para su elaboración, se utilizó la carta a escala 1:25.000 para la zona alta de la cuenca (vegetada, aguas arriba de la Avenida Boyacá) y el plano en formato digital a escala 1:5.000, para la zona urbanizada, aguas abajo de la Avenida.

Los hidrogramas de caudal líquido de las tres quebradas, para 10, 100 y 500 años de período de retorno, estimados por el estudio hidrológico se presentan gráficamente en las figuras 15.3 a 15.5, mientras la tabla 15.3 muestra los valores de los caudales máximos.

Área de la subcuenca (km^2)	Vegetada:13,18	Total:18,22
	Urbana: 5,04	
Longitud del cauce principal	En área extra-urbana: 5,29	Total: 6,14
	En área urbana: 4,00	
Cotas (m.s.n.m.)	Superior: 2.620	
	Inferior (confluencia con el	
Pendiente del cauce (%)	En área extra-urbana: 28	Promedio:16
	En área urbana: 3,6	

Tabla 15.2. Caurimare-Galindo-Pasaquire. Características de la cuenca

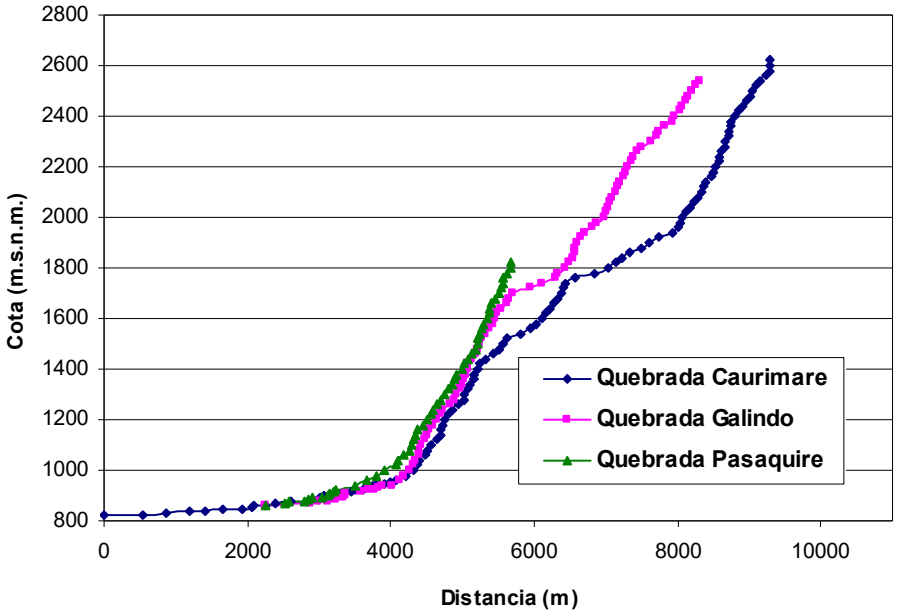


Figura 15.2 Caurimare-Galindo-Pasaquire. Perfil longitudinal

Quebrada	Caudal máximo (m^3/s)		
	Tr = 10 años	Tr = 100 años	Tr = 500 años
Caurimare	37,83	74,75	118,39
Galindo	39,60	68,04	111,42
Pasaquire	15,55	33,93	47,62

Tabla 15.3 Caurimare-Galindo-Pasaquire. Caudales máximos

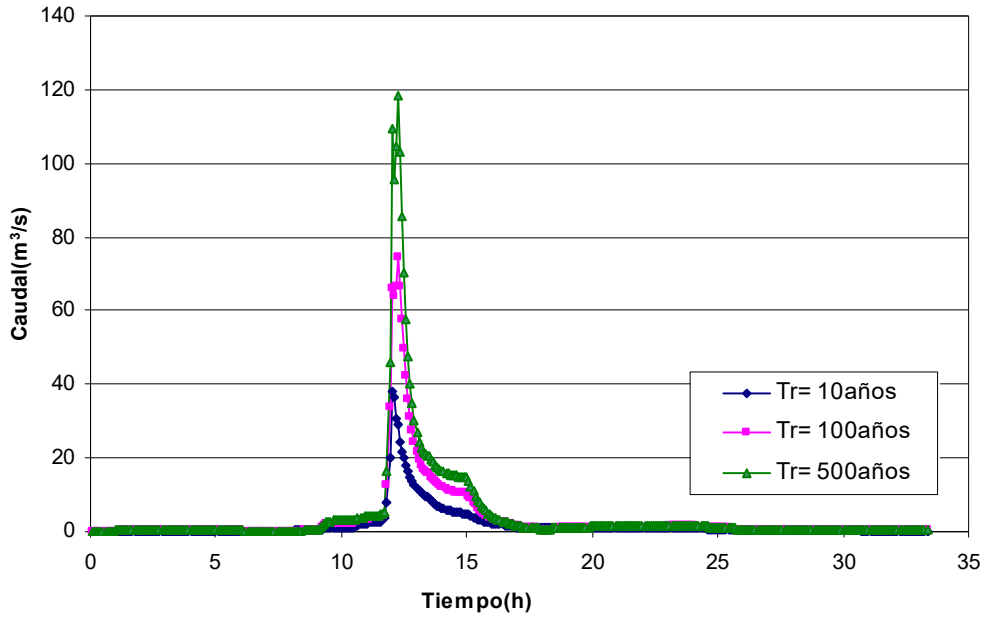


Figura 15.3 Caurimare. Hidrogramas de caudal líquido en la Avenida Boyacá para diferentes períodos de retorno.

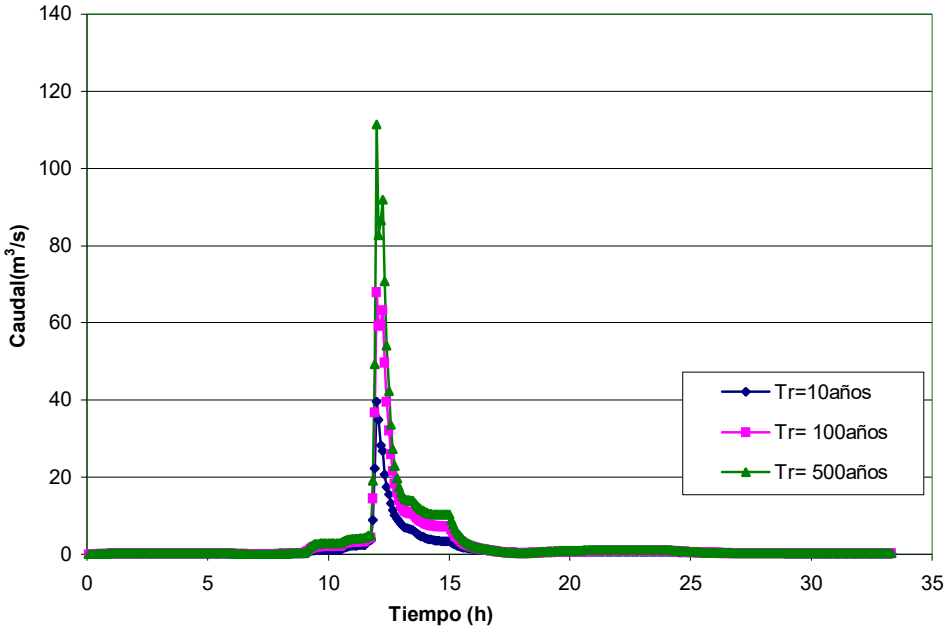


Figura 15.4 Galindo. Hidrogramas de caudal líquido en la Avenida Boyacá para diferentes períodos de retorno.

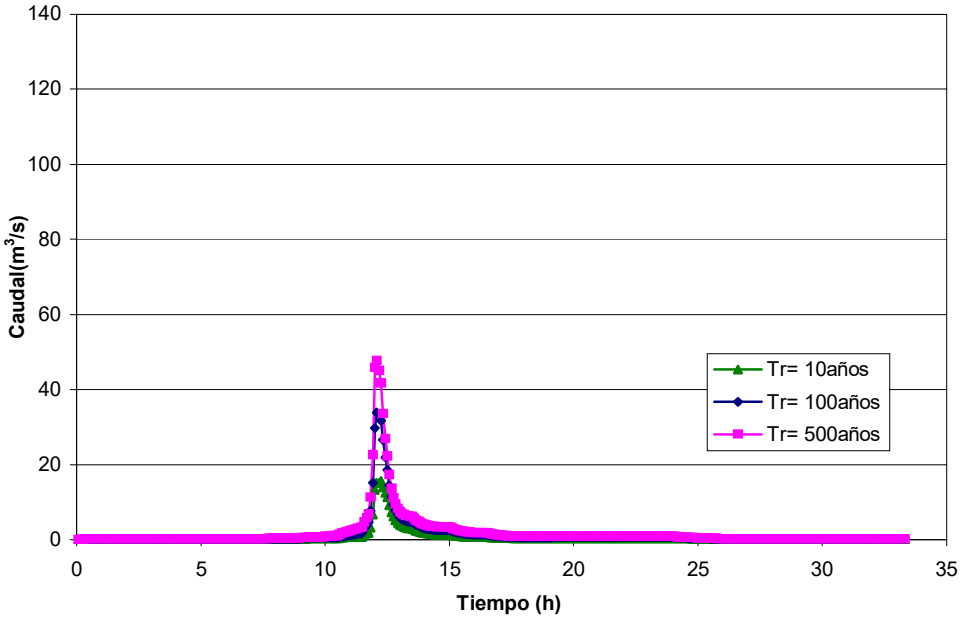


Figura 15.5 Pasaquire. Hidrogramas de caudal líquido en la Avenida Boyacá para diferentes períodos de retorno.

15.1.4 Usos del suelo

La subcuenca presenta dos zonas bien diferenciadas, separadas por la Avenida Boyacá (Cota Mil): una zona alta vegetada perteneciente al Parque Nacional El Ávila, con 72,34 % de la superficie, y una zona baja urbanizada con 27,66 % de la misma.

Las quebradas Galindo, Pasaquire y Caurimare atraviesan en su recorrido áreas con diferentes usos del suelo. A continuación se expone el uso dado a la zona dividiéndola en sectores y por quebrada, y los sitios estratégicos presentes en ella tales como centros asistenciales, bomberos y vías de importancia.

- **Quebrada Pasaquire**

Esta quebrada atraviesa primero la Avenida Boyacá y luego una zona residencial, la Urb. El Marqués.

- **Quebrada Galindo**

Esta quebrada pasa a través de una zona de la Urb. Terrazas del Ávila y de la urbanización El Marqués, ambas residenciales. En su recorrido, la quebrada atraviesa la Avenida Boyacá.

El punto de mayor interés en la zona es la Sede de la Policía de Sucre. Por otra parte, en su cauce fue construida una presa con fines de riego, pero que nunca entró en funcionamiento. Actualmente la presa interfiere el libre paso de la quebrada y en diciembre de 1.999, quedó parcialmente destruida provocando infiltraciones por debajo de la fundación, lo cual coloca en grave peligro la integridad de la presa si llegase a ocurrir otra creciente de importancia.

- **Quebrada Caurimare**

En la zona más alta del cono de deyección la quebrada pasa a través de la Urb. Terrazas del Ávila.. Luego bordea una zona de crecimiento no controlado, el Barrio Antonio José de Sucre.

En la zona media atraviesa la urbanización La Urbina, la cual en el sector más alto es industrial y comercial y a medida que baja, se hace residencial. Por último, antes de su desembocadura en el río Guaire, pasa por Petare donde la zonificación es una mezcla entre comercial y residencial.

Los puntos de interés que se observan dentro del cono de deyección son:

- Tienda Makro.
- Hospital Materno Infantil.
- Estacionamiento del Metro de Caracas.
- Terminal de Petare.
- Hospital Pérez de León.

- Bomberos del Municipio Sucre.
- Estación Petare del Metro de Caracas.

En su recorrido atraviesa las siguientes vías importantes:

- Autopista Petare-Guarenas.
- Autopista Francisco Fajardo.
- Avenida Francisco de Miranda.

15.2 Red de drenaje pluvial

15.1 Características de la red de drenaje

La Quebrada Caurimare constituye el colector principal de la red de drenaje de las urbanizaciones que atraviesa. Existe un sistema de aguas pluviales que conduce dichas aguas a la quebrada.

Un esquema de la red drenaje se presenta en la Figura 15.6.

La Quebrada Caurimare se encuentra en gran parte de su trayectoria canalizada desde la urbanización Terrazas del Ávila antes del cruce con la Avenida Boyacá, hasta los terrenos que colindan con la tienda Makro, donde por un pequeño tramo se encuentra en su sección natural. Luego, vuelve a estar canalizada hasta desembocar en el río Guaire. Las características de los distintos tramos se describen a continuación.

- **Tramo 1: Parque Nacional El Ávila – Calle 5 de la Urb. Terrazas del Ávila.**

El cruce con la calle 5 de la urbanización Terrazas del Ávila es el punto más alto de la zona urbana, donde la Quebrada Caurimare deja el Parque Nacional El Ávila. En este punto, existe un pontón de aproximadamente 5 m de altura y 5,10 m de ancho, aguas arriba del cual la quebrada se encuentra en estado natural y hacia aguas abajo, se inicia la canalización de la quebrada. Lo anterior se aprecia en las Figuras 15.7 a 15.10. Se observó gran cantidad de rocas en el cauce y se tiene evidencia de arrastre de material de gran tamaño que puede obstruir el paso, tal como se observa en la Figura 15.11, tomada en abril de 2.002.

Aguas arriba del inicio de la canalización, a unos 100 m se encuentra una estación del Instituto Municipal de Aguas de Sucre, IMAS, y más aguas arriba, la toma que abastece a la urbanización Terrazas del Ávila y eventualmente la zona de Petare. En el sitio, habitan los operadores de la estación y estuvieron presentes durante la creciente de diciembre de 1.999. Ellos narran que ese día la quebrada fluyó casi a sección plena, arrastrando un puente de madera que se encontraba a aproximadamente 2,85 m del fondo y tenía un ancho de unos 5,30 m. El puente que se muestra en la Figura 15.12 sustituyó al original. Se estimó que la sección aguas arriba de este puente, en la entrada de la estación del IMAS, tiene de

3,5 a 4 m de profundidad y 20 m de ancho superior. A esta cota ascendió el nivel de la quebrada en diciembre de 1.999, según comentaron los operadores y como se pudo constatar en el resquebrajamiento del talud del camino que lleva a la estación el cual es a su vez la margen izquierda de la quebrada (ver Figura 15.13). Es interesante acotar que en el otro lado del camino se observan rocas que parecieran haber sido depositadas por aludes torrenciales anteriores (ver Figura 15.14), que se encuentran a una cota más elevada que la máxima a la cual se elevó la creciente de 1.999. Para esa fecha, la quebrada transportó al sitio rocas desde arriba y movilizó las que existían hacia aguas abajo. Narran que las rocas parecían flotar, que el agua era de color oscuro y tenía mal olor, quizás por haber arrastrado maleza descompuesta que se encontraba estancada, según refieren ellos.

Otras crecientes semejantes a las de 1.999 se vivieron en diciembre de 1.952 y en 1.956. La primera de mayor magnitud que la segunda según los testimonios recogidos.

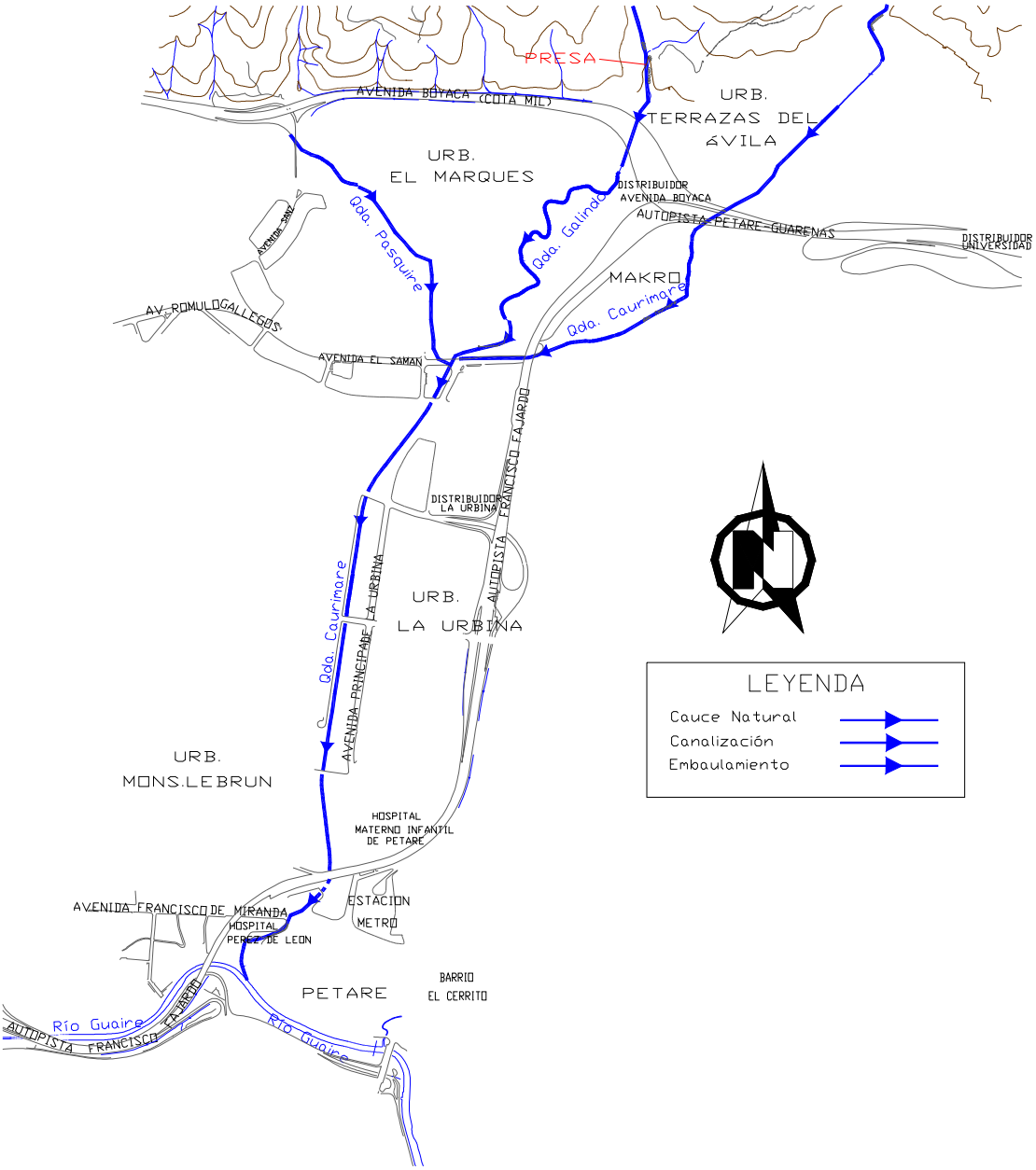


Figura 15.6 Caurimare. Esquema de la red de drenaje

Figura 15.7 Caurimare. Inicio de la canalización de la quebrada Caurimare. Vista hacia aguas abajo desde el pontón en la calle 5 de la Urb. Terrazas del Ávila.

Figura 15.8 Caurimare. Inicio de la canalización. Vista hacia aguas arriba desde el pontón en la calle 5 de la Urb. Terrazas del Ávila.

Figura 15.9 Caurimare. Vista hacia aguas abajo desde el inicio de la canalización.

Figura 15.10 Caurimare. Vista hacia aguas arriba desde el inicio de la canalización de la quebrada Caurimare.

Figura 15.11 Caurimare. Arrastre de material vegetal y rocas, aguas arriba de la Calle 5 en la Urb. Terrazas del Ávila. Abril 2.002.

Figura 15.12 Caurimare. Vista hacia aguas arriba del puente que sustituyó el original puente de madera. Obsérvese el material rocoso en el lecho de la quebrada.

- **Tramo 2: Calle 2 - Calle 1 de la Urb. Terrazas del Ávila.**

La canalización de la quebrada atraviesa un parque ubicado entre las calles 5 y 1 de la urbanización Terrazas del Ávila. La misma presenta tres tramos según las características de su sección. El primer tramo, se extiende desde el pontón de la calle 5 donde por un espacio de unos 35 m tiene una sección rectangular de 4,25 m de ancho y 5,00 m de altura. En esta zona los edificios ubicados a ambos lados de la canalización no conservan una distancia de retiro sino que prácticamente sus muros son los muros de la canalización (ver Figura 15.14). El segundo tramo tiene una longitud de unos 300 m, presenta una sección trapecial, con un canal para gastos bajos en el centro. El ancho de este canal central es 1,40 m y su profundidad 0,30 m. El ancho base de la canalización es 3,80 m y su profundidad 2,54 m. La inclinación de los taludes se estimó en 1,5:1. Este tramo presenta caídas a todo lo largo de su extensión, tal como se observa en la Figura 15.15. Según testimonio de un vecino, de 3 a 4 veces al año el nivel sube hasta llegar a ¾ de la altura de la canalización. En las riberas del canal, funciona el parque, en el cual se aprecia la presencia de grandes rocas, evidencias de antiguos aludes torrenciales (ver Figura 15.16).

Figura 15.13 Caurimare. Sección de la quebrada a la entrada de la estación del IMAS.

Figura 15.14 Caurimare. Rocas a un lado del camino que lleva a la estación del IMAS.

Figura 15.15 Caurimare. Canalización de la quebrada. Cambio de sección de rectangular a trapecial. Obsérvese la inexistencia de retiro de los edificios aledaños. Fin tramo 1.

Figura 15.16 Caurimare. Canalización de la quebrada Caurimare. Tramo 2.

Figura 15.17 Caurimare. Rocas de gran tamaño observadas en parque de la Urb. Terrazas del Ávila.

El siguiente tramo tiene una longitud aproximada de 200 m. Es rectangular, de 4,9 m de ancho base y 4,0 m de profundidad (ver Figuras 15.18 y 15.19).

Antes de llegar a la calle 1, se embauló la quebrada con una sección de entrada de 5,0 m de ancho y 5,0 m de altura. Este embaulamiento funciona como una alcantarilla.

Figura 15.18 Caurimare. Canalización de la quebrada Caurimare. Tramo 3

Figura 15.19 Caurimare. Canalización de la quebrada. Tramo 3

La quebrada Galindo pasa cerca de un punto de guardaparques dentro de la Urb. Terrazas del Ávila. En este sitio existe una presa (ver Figuras 15.20 y 15.21) la cual se destinó inicialmente al riego de las tierras que hoy pertenecen a la Urb. Terrazas del Ávila y cultivadas antaño. Esta presa colapsó en diciembre de 1.999 al abrirse un agujero en el estribo derecho y constituye hoy un obstáculo al flujo, además de una amenaza a los vecinos. En los alrededores se observan rocas de gran tamaño, como la llamada Piedra del Indio, la cual se muestra en la Figura 15.22.

La sección de la quebrada en esta zona se aprecia en la Figura 15.23 y se estima un ancho base de 2 a 3 m y un ancho superior de 15 m aproximadamente.

Dentro de la urbanización Terrazas del Ávila existe un sistema de colectores de drenaje con sumideros de ventana en todas las calles, las cuales tienen en general fuerte pendiente. No se localizaron puntos bajos susceptibles de inundarse. El pontón en la calle 5 podría obstruirse, ya que la quebrada arrastra material grueso e inclusive árboles y desviar el flujo de la quebrada aguas abajo de la calle 5. Otro punto potencial a obstruirse podría ser el embaulamiento en la calle 1.

Figura 15.20 Galindo. Presa en Quebrada Galindo.

Figura 15.21 Galindo. Presa en Quebrada Galindo

Figura 15.22 Galindo. Piedra del Indio, aguas abajo de la presa sobre la Quebrada Galindo.

Figura 15.23 Galindo. Sección transversal de la quebrada Galindo al pie del Parque Nacional El Ávila.

- **Tramo 3: Calle 1 – Avenida El Samán de la Urb. El Marqués.**

Aguas abajo del embaulamiento, la quebrada recupera su sección natural. Más adelante atraviesa la Autopista Petare-Guarenas, bordea la tienda Makro, la carretera Petare-Guarenas, atraviesa la autopista Francisco Fajardo y se dirige a la confluencia con las otras dos quebradas en la Avenida El Samán de la urbanización El Marqués. Al atravesar las vías cambia su sección de natural a embaulada. En este tramo, no se dispone por los momentos, de las dimensiones de la sección de la quebrada. En la Figura 15.24 se muestra la sección de la Quebrada Caurimare aguas abajo del embaulamiento sobre la Autopista Francisco Fajardo.

- **Tramo 4: Avenida El Samán de la Urb. El Marqués – Autopista Francisco Fajardo.**

Después de la confluencia de las tres quebradas, la quebrada se dirige a la urbanización La Urbina, paralela a la calle 1. Está canalizada y pasa a través de varios puentes en su recorrido hacia Petare. Aguas arriba del puente sobre la calle 8 hay un cambio de sección rectangular a trapecial como se aprecia en la Figura 15.25.

Figura 15.26 Caurimare. Vista hacia aguas abajo de la Quebrada Caurimare después del embaulamiento en la autopista Francisco Fajardo.

Figura 15.27 Caurimare. Cambio de sección en la canalización de la quebrada Caurimare a nivel de la calle 8 de la Urb. La Urbina

Aguas abajo del puente, la sección es trapecial con un canal central para gastos bajos (ver Figura 15.28). Se estimó que el canal central tiene un ancho de 1,50 m, el ancho base total, 5,0 m y el ancho superior, unos 8,0 m. No fue posible estimar la altura. La sección se mantiene igual a través de la urbanización La Urbina hasta el paso por debajo de la Autopista Francisco Fajardo.

.

Figura 15.28 Caurimare. Canalización de la quebrada Caurimare aguas abajo del puente sobre la calle 8 de la Urb. La Urbina.

- **Tramo 5: Autopista Francisco Fajardo – Descarga en el Río Guaire.**

Aguas abajo de la Autopista Francisco Fajardo la quebrada está embaulada y canalizada en tramos, para atravesar la Avenida Francisco de Miranda y la línea 1 del Metro de Caracas. No se tienen aún las dimensiones de los embaulamientos y canalizaciones.

Aguas abajo de la Avenida Francisco de Miranda, la quebrada atraviesa Petare y descarga en el río Guaire, muy cerca del Hospital Pérez de León.

A continuación se presentan tablas resumen de las características hidráulicas de Caurimare y sus afluentes: Galindo y Pasaquire.

	Tramo	Tipo	Dimensiones	Pendiente (%)	n
1	Paso bajo calle 5 Terrazas del Ávila	Canal concreto rectangular	4.70x4.10	3	0.03
2	Paralelo a calle 3 Terrazas del Ávila	Canal concreto Trapezoidal	B=3 H=2.8 m=.7	2.5	0.03
3	Paralelo a calle 3 Terrazas del Ávila	Canal concreto rectangular	3.80x4.0	2.2	0.03
4	Paso Autopista Caracas-Guarenas	2 cajones rectangulares	2.0x3.5	2	0.03
5	Estacionamiento	Canal natural trapezoidal	B=2,H=2, m=1	1.8	0.05
6	Detrás de Makro	Embaulamiento rectangular de concreto	4.0x4.0	1.5	0.03
7	Paso Autopista Francisco Fajardo	2 cajones rectangulares	2.0x3.8	1.5	0.03
8	Paralelo Av. Principal de la Urbina	Canal concreto Trapezoidal	B=3 H=3 m=1.5	1.2	0.03
9	Mercado de Petare	Canal concreto rectangular	4.0x4.0	1	0.03
10	Descarga en el Río Guaire	Estructura rectangular	4.0x4.0	0.5	0.03

Tabla 15.4. Quebrada Caurimare. Características hidráulicas del cauce principal

	Tramo	Tipo	Dimensiones	Pendiente (%)	n
1	Aguas arriba de Dique	Canal natural	1.5x2.0	3	0.01
2	Paralelo a calle 1 Terrazas del Ávila	Canal concreto rectangular	1.5x2.0	2.5	0.03
3	Paso Av. Boyaca	Alcantarilla circular	D=3	2.0	0.03
4	Cuartel Poli-Sucre	Canal natural	1.50x2.0	1.8	0.01
5	Aguas arriba conf. Con qda. Caurimare	Canal concreto rectangular	2.5x1.5	1.5	0.03

Tabla 15.5. Caurimare. Características hidráulicas de la Quebrada Galindo.

	Tramo	Tipo	Dimensiones	Pendiente (%)	n
1	Aguas arriba conf. Con qda. Caurimare	Canal concreto rectangular	2.0x2.0	1.8	0.03

Tabla 15.6. Caurimare. Características hidráulicas de la Quebrada Pasaquire.

- **Consideraciones sobre la cuenca de la Quebrada Camburí**

Tanto en el Proyecto Ávila como al inicio del presente, se ha considerado como afluentes de la Quebrada Caurimare a las quebradas Galindo y Pasaquire, mientras que la quebrada Camburí, colindante del lado oeste, se consideró parte de la cuenca de la quebrada Tócome. Después del análisis de fotografías aéreas de investigaciones de campo, se tiene buenas razones para pensar la quebrada Camburí podría en realidad formar parte de la cuenca de Caurimare.

Es posible identificar claramente en planos dos quebradas a saber: una en El Avila, llamada Camburí, y otra en el área urbana con aproximadamente la misma dirección conocida localmente con el nombre de Quebrada Berna. Esta última aparece en ciertos planos con el nombre de quebrada Camburí y por estas razones se había estimado que Berna era la continuación de Camburí, es decir, se trata de un solo curso de agua. Sin

embargo, se pudo luego observar en fotografía aérea del año 1951, antes de la construcción de la Avenida Boyacá, que para la época la quebrada Camburí bajaba del cerro El Ávila en dirección noroeste (Figura 15.29) y que al llegar a la Urbanización Horizonte cambiaba de alineamiento en sentido noreste para internarse en la cuenca de la quebrada Caurimare, bordeando el lindero oriental de dicha urbanización. En su trayectoria recogía las aguas de tres pequeños torrentes que bajan del Ávila. Por otra parte, al norte de la Urbanización Horizonte, nacía la quebrada Berna que pasaba por el lindero occidental de dicha urbanización en sentido noroeste, para internarse en la cuenca de la quebrada Tócome.

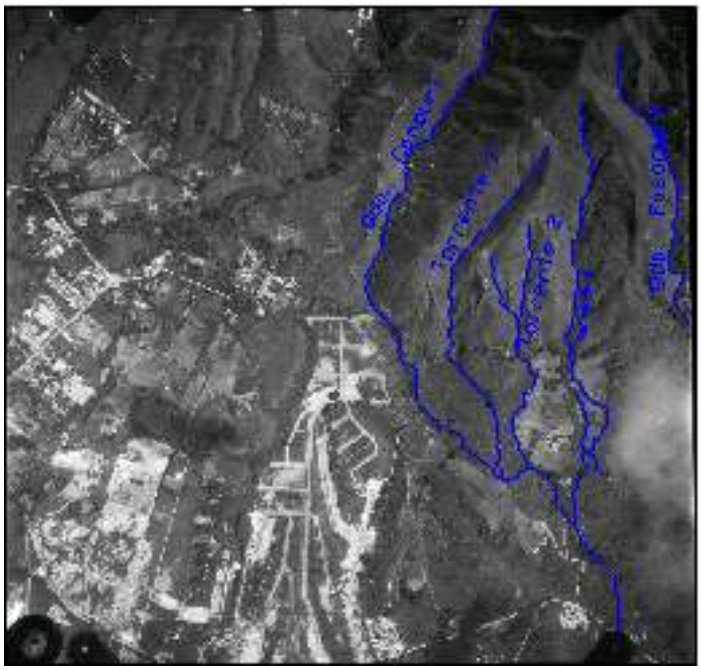


Figura 15.29. Caurimare. Fotografía aérea del año 1951. Quebrada Camburí y otros afluentes.

Analizando las evidencias anteriores, se pudo concluir entonces que originalmente se trataba de dos quebradas distintas y que así deben haber quedado, al menos que se haya desviado el curso de la primera.

La información que brindan los habitantes de la zona en estudio, relacionada con la canalización de la quebrada Camburí es contradictoria: algunos mencionan un desvío de la quebrada hacia la quebrada Berna en el momento de la construcción de la Avenida Boyacá mientras que otros dicen que conserva el mismo alineamiento que poseía antes de la construcción de la mencionada avenida.

Por otra parte, en fotografía aérea del año 1999-2000 se observa que la avenida Boyacá (Cota Mil) intercepta a la quebrada Camburí, justo al noreste de la Urb. Horizonte (Figura 15.30). Los cauces de esta quebrada se mantienen en forma natural en el Ávila, pero fueron embaulados con colectores cerrados en la parte urbana, aguas abajo de la Avenida

Boyacá, por lo tanto no se puede distinguir la trayectoria de los mismos para decidir entre las afirmaciones anteriores.

Figura 15.30. Caurimare. Fotografía aérea del año 1999-2000. Quebradas al norte de la Avenida Boyacá.

En las inspecciones de campo realizadas se localizó una descarga en la quebrada Caurimare, ubicada entre las calles 7 y 8 de la Urb. La Urbina, de dimensiones aproximadas 1,5 x 2,5 m, (Figura 15.31). No fue posible establecer el alineamiento de esta quebrada aguas arriba, ni localizar planos de proyecto o de construcción de este embaulamiento. En todo caso, esta podría ser precisamente la quebrada Camburí, confirmando que la configuración original se ha mantenido.

Debido a que la evidencia principal de la ubicación de las quebradas se encuentraría a nivel de la Cota Mil, se realizaron varias inspecciones en la zona. El 27 de noviembre 2003 se trató de observar las estructuras de paso de la Quebrada Camburí y los torrentes 1,2 y 3, construidos para atravesar la Avenida Boyacá, (Figura 15.32). Para el momento no se pudo tener acceso a la quebrada Camburí, debido a lo tupido de los matorrales. La alcantarilla del Torrente 1, construida de acero corrugado de diámetro 1,70 m, aproximadamente se muestra en la Figura 15.33. Se pudo llegar a la estructura de entrada de la alcantarilla que conduce el Torrente 2, pero no pudieron medir sus dimensiones porque estaba totalmente azolvado con troncos de árboles de grandes dimensiones. La alcantarilla del Torrente 3 es rectangular de concreto armado, no se determinaron sus

dimensiones debido por las dificultades de acceso al sector y por encontrarse cubierta por matorrales, (Figura 15.34).

Figura 15.31. Caurimare. Descarga de colector rectangular a la quebrada Caurimare, ubicado entre las calles 7 y 8 de la Urb. La Urbina. Se trata probablemente de la quebrada Camburí.

Figura 15.32. Caurimare. Alcantarilla de acero corrugado y 1,70 m de diámetro, por medio de la cual el Torrente 1 atraviesa la avenida Boyacá.

Figura 15.33. Caurimare. Aleta derecha de la estructura de entrada a la alcantarilla perteneciente al Torrente 2, utilizada para atravesar la avenida Boyacá. Obsérvese que se encuentra azolvada.

Figura 15.34. Caurimare. Sitio de entrada a la alcantarilla perteneciente al Torrente 3, al fondo la avenida Boyacá y parte del Valle de Caracas Gran cantidad de matorrales impiden observar la alcantarilla.

15.2.2 Antecedentes de inundaciones

Los siguientes eventos han tenido efecto en la subcuenca Caurimare:

1. Año 1.952: Inundación de la zona donde hoy se encuentra la urbanización Terrazas del Ávila, según los operadores de la estación del Instituto Municipal de Aguas de Sucre, IMAS.

2. Año 1.956: Inundación de la zona donde hoy se encuentra la urbanización Terrazas del Ávila, según los operadores de la estación del Instituto Municipal de Aguas de Sucre, IMAS.

3. Año 1.999: Elevación del nivel del agua, aguas arriba de la calle 5 de la urbanización Terrazas del Ávila, destruyendo un puente sobre la quebrada y socavando el talud de una de las márgenes.

15.2.3 Resumen de Puntos Críticos

Se determinaron puntos críticos susceptibles a inundación en la zona, a partir visitas de campo, información suministrada por vecinos y ocurrencia de eventos en fechas anteriores. Estos puntos críticos se enuncian a continuación:

- Calle 5 de la urbanización Terrazas del Ávila.
- Calle 1 de la urbanización Terrazas del Ávila.

La Figura 15.35 muestra la ubicación en planta de las imágenes presentadas en las figuras desde la 15.6 a la 15.25, así como de los puntos críticos y de los antecedentes de inundaciones.

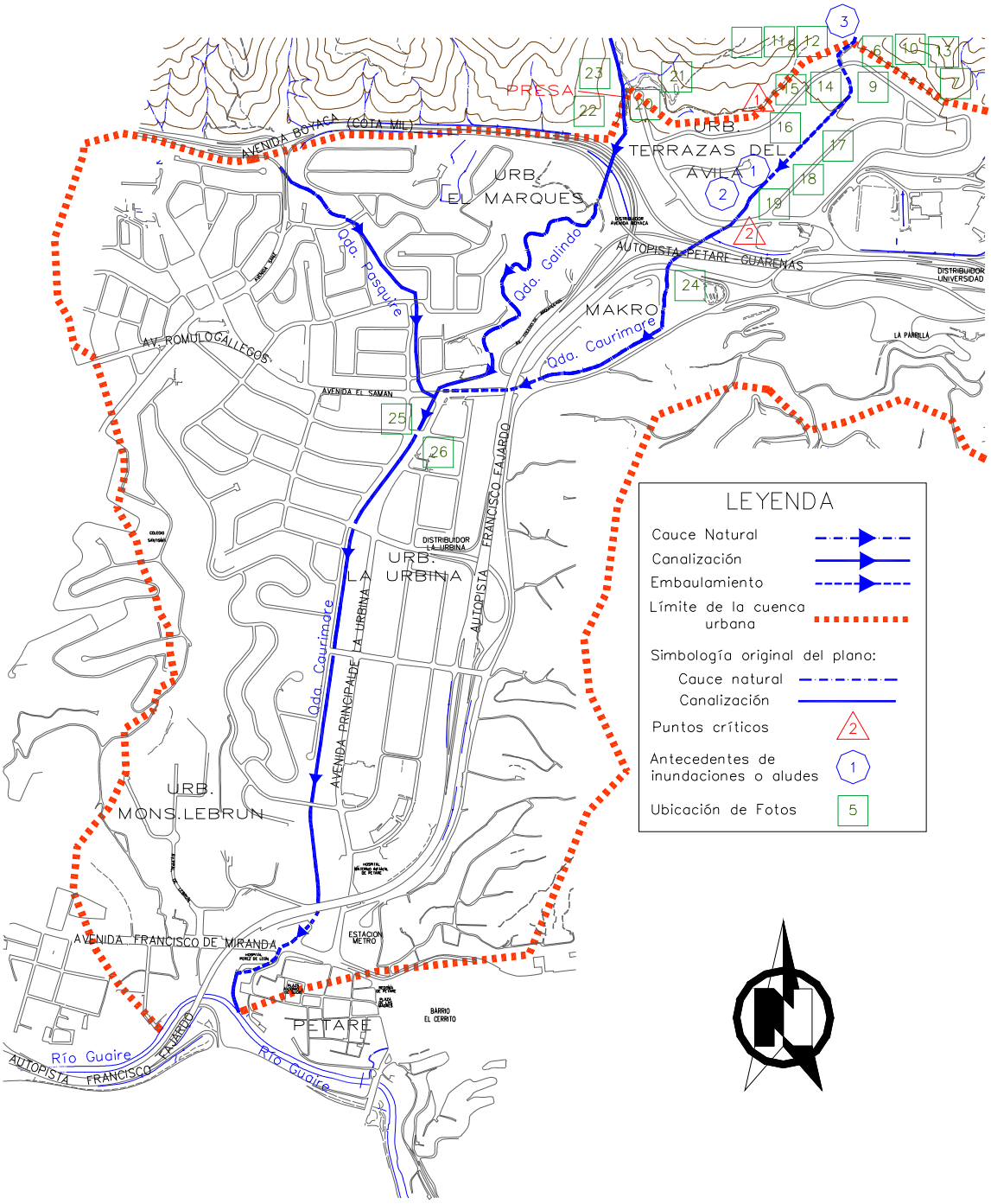


Figura 15.35 Caurimare. Características de la Red de drenaje

15.3 Simulación de inundaciones

15.3.1 Condiciones generales de simulación

Se simuló la subcuenca en estudio, utilizando hidrogramas de tres períodos de retorno, a saber: 10, 100 y 500 años. Las características comunes a las tres simulaciones realizadas, se presentan a continuación:

- Los valores de las *n* Manning considerados inicialmente son los siguientes:
  - Canal: los valores en cada tramo se presentan en la tabla 15.3, 15.4 y 15. 5, ubicadas en el ítem 15.1.5, Red urbana de drenaje pluvial
  - Planicie de inundación n = 0.065
  - Calles n = 0.028.
- Se consideró en todas las celdas de la planicie de inundación una reducción de área (ARF) igual a:
  - 40% en zonas urbanas con una concentración de edificaciones y viviendas moderada.
  - 0% en todos los canales y calles.
- A lo largo de todas las calles se utilizó un factor de reducción de ancho de la celda (WRF) para el intercambio de flujo igual a 60%.
- Las calles consideradas fueron las siguientes:
  1. Calle 1, 2, 3 y 5 de la Urb. Terrazas del Ávila, con un ancho igual a 10.00 m.
  2. Avenida El Samán, con un ancho igual a 20.00 m.
  3. Avenida Principal de la Urbina, con un ancho igual a 20.00 m.
  4. Calle 1 de la Urbina, con un ancho igual a 10.00 m.
  5. Avenida Francisco de Miranda, con un ancho igual a 20.00 m.
- La alcantarilla existente se considera obstruida y no se toma en cuenta en ninguna simulación.

15.3.2 Simulación para un periodo de retorno de 10 años

Para este período de retorno se simula un flujo de agua con el hidrograma de la Figura 15.36.

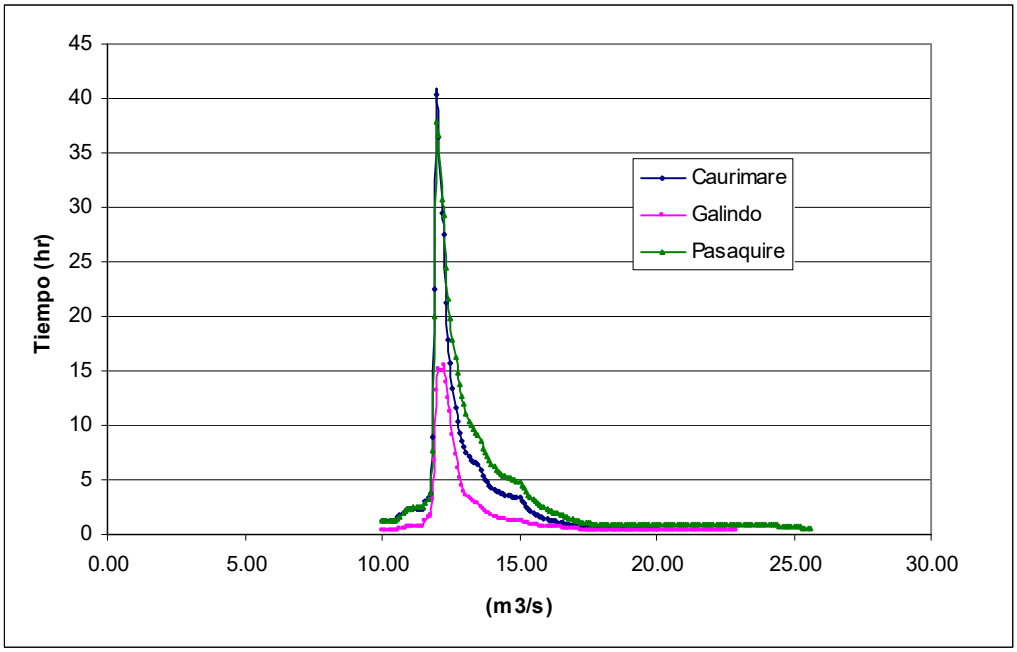


Figura 15.36. Caurimare. Hidrogramas para Caurimare, Galindo y Pasaquire (Tr = 10 años).

La Tabla 15.7 resume algunos parámetros usados en la simulación y los resultados obtenidos.

QUEBRADA		**CAURIMARE**
Fecha		**Agosto 2004**
Escenario		**10 años**
Tamaño celda		30 m x 30 m
Número celdas		8470
Área simulada	km2	7.6
n Manning	canal	Variable
	planicie inundación	Variable
Puentes	número	5
Alcantarillas	número	6
Reducción de área		20-40%
Calles	número	7
Caudal pico	m3/seg	36.42
Bulking Factor		0.20
Vol. hidrograma	M3	465687
Vol. lluvia	M3	1058529
Vol hidrograma + lluvia	M3	1524216

Tabla 15.7. Caurimare. Resultados y algunos parámetros usados en la simulación para Tr=10 años

Las figuras 15.37 y 15.38 representan los resultados obtenidos para profundidades y velocidades máximas, respectivamente. Los resultados obtenidos de las simulaciones indican que hay desbordamiento en el área donde confluyen las tres quebradas, aguas arriba de la Avenida Rómulo Gallegos y la zona que comprende desde el Terminal de Petare hasta el Hospital Pérez de León. A lo largo de los canales las profundidades máximas varían entre 0.3 y 5.0 m, alcanzándose el mayor valor en el cauce principal, en la parte final del tramo que va desde el terminal de Petare hasta el Hospital Pérez de León. En cuanto a las velocidades, en la zona de inundación donde confluyen las tres quebradas, aguas arriba de la Avenida Rómulo Gallegos, las velocidades oscilan entre 1 y 2 m/s y en la zona que comprende desde el Terminal de Petare hasta el Hospital Pérez de León, las velocidades van de 1 m/s a 7 m/s. A lo largo de los canales las velocidades máximas varían entre 2 m/s y 15.0 m/s, alcanzándose el mayor valor en la parte baja del cauce principal.

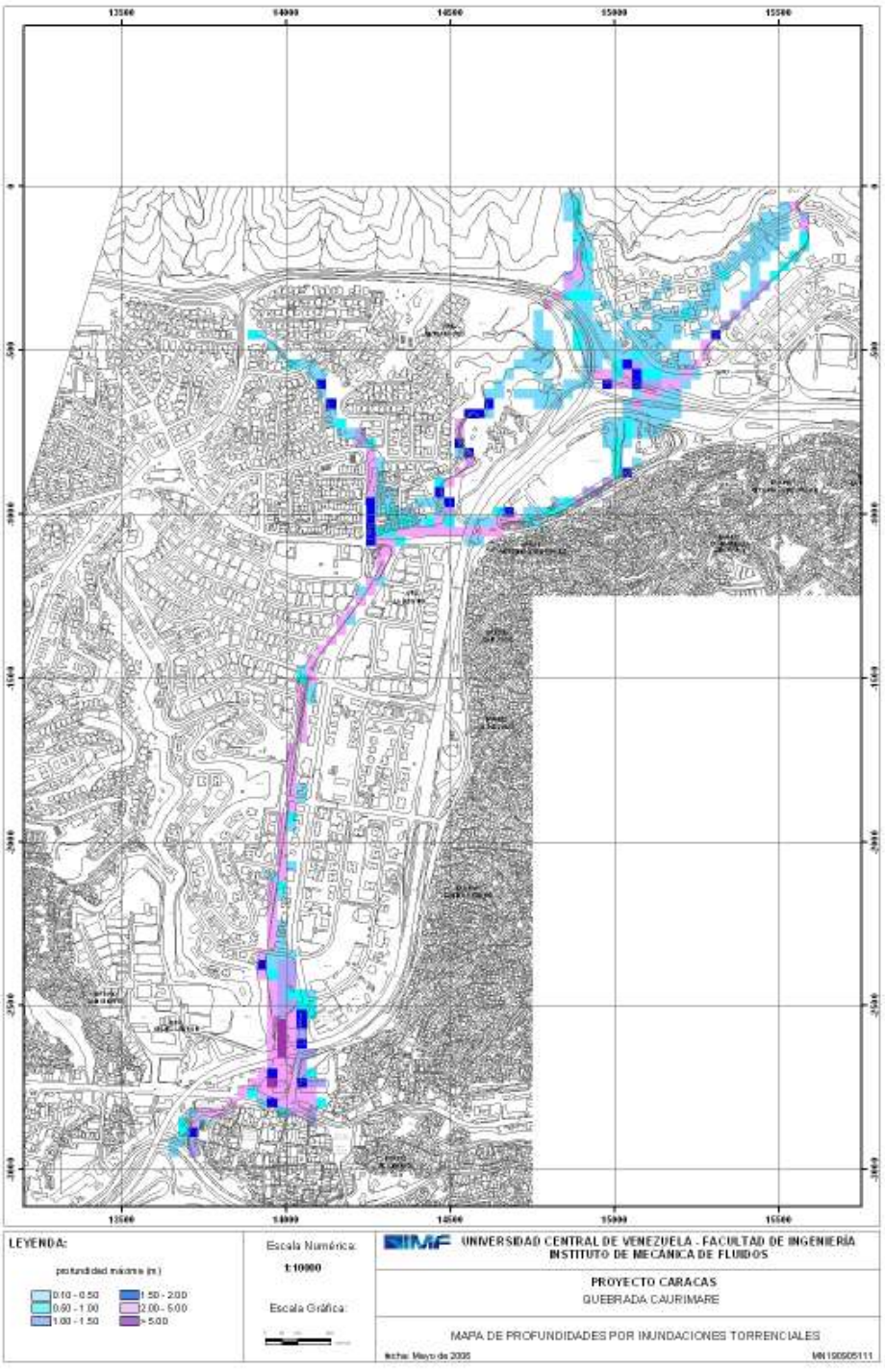


Figura 15.37. Caurimare. Profundidades Máximas para Tr=10 años.

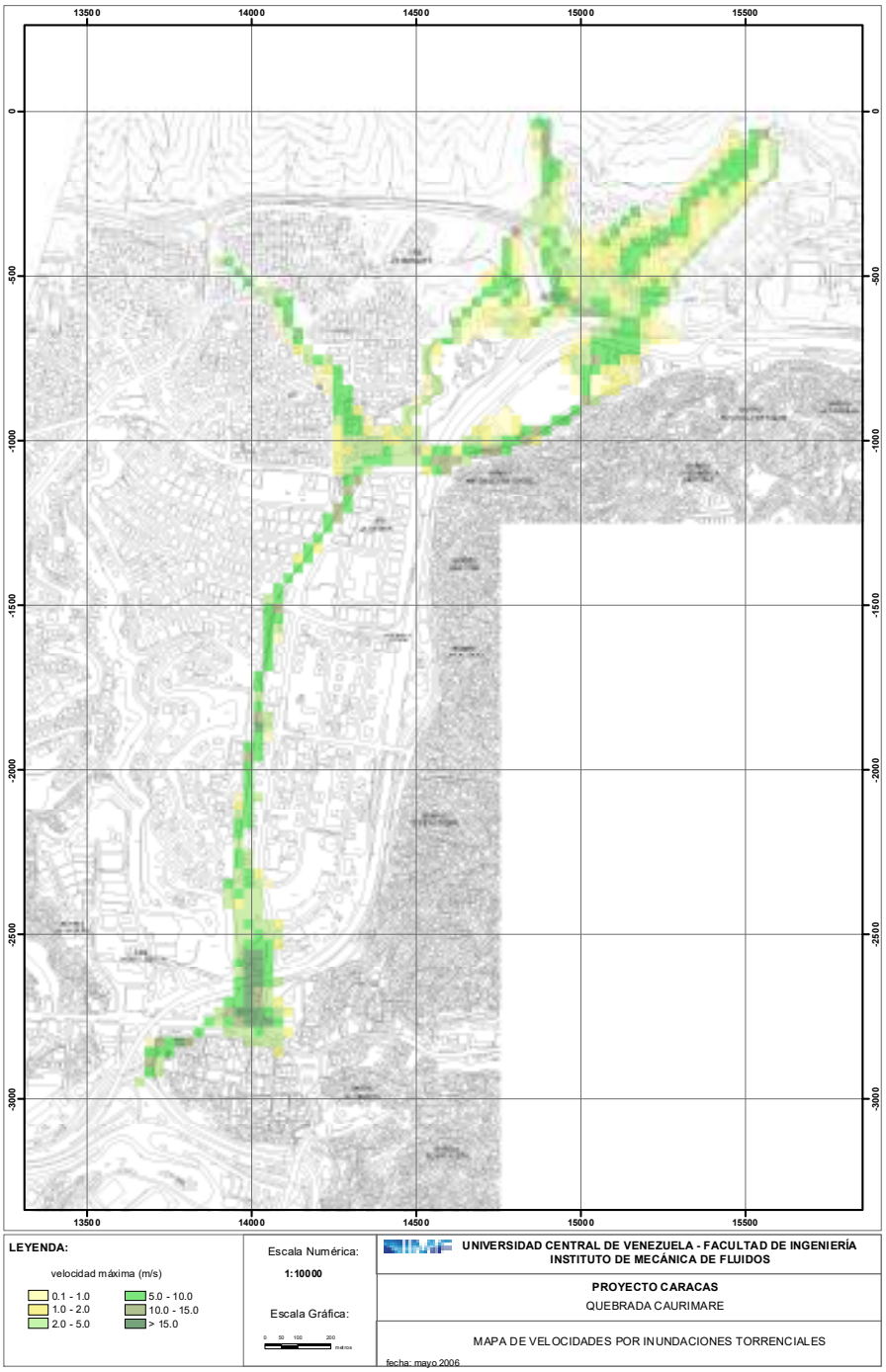


Figura 15.35. Caurimare. Velocidades Máximas para Tr=10 años.

15.3.3 Simulación para un periodo de retorno 100 años

Para este periodo de retorno se consideró una concentración volumétrica de sedimentos comprendida entre 20% y 25%. En la Figura 15.36 se presenta el hidrograma utilizado y la concentración volumétrica de sedimentos.

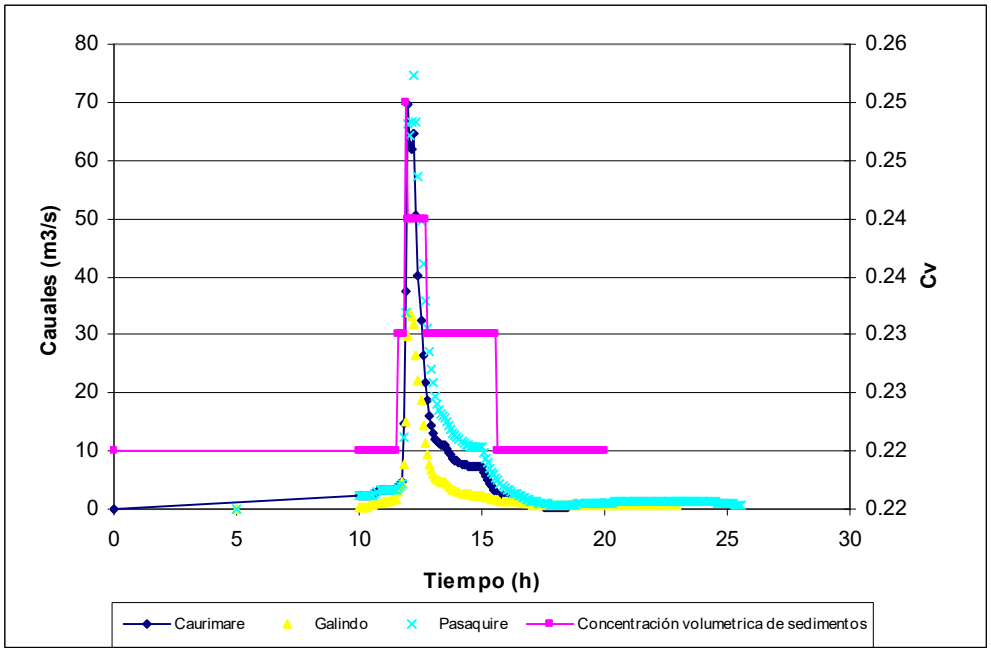


Figura 15.36. Caurimare. Hidrogramas para Caurimare, Galindo y Pasaquire (Tr=100 años).

La Tabla 15.7 resume parámetros y resultados obtenidos para Tr=100 años.

QUEBRADA		**CAURIMARE**
Fecha		**Agosto 2004**
Escenario		**100 años**
Tamaño celda		30 m x 30 m
Número celdas		8470
Área simulada	km2	7.6
n Manning	canal	Variable
	planicie inundación	Variable
Puentes	número	5
Alcantarillas	número	6
Reducción de área		20-40%
Calles	número	7
Caudal pico	m3/seg	36.42
Bulking Factor		0.20
Vol. hidrogramas	M3	868398
Vol. lluvia	M3	1675040
Vol hidrograma + lluvia	M3	2543438

Tabla 15.7. Resultados y algunos parámetros usados en la simulación para Tr=100 años

En las Figuras 15.38 y 15.39 se presentan los resultados obtenidos de profundidades y velocidades máximas, respectivamente.

Al igual que en el escenario anterior, los resultados obtenidos de las simulaciones indican se presentan desbordamiento en el área donde confluyen las tres quebradas, aguas arriba de la Avenida Rómulo Gallegos donde las profundidades alcanzan los 2 m. y en la zona que comprende desde el terminal de Petare hasta el Hospital Pérez de León, donde las profundidades van de 0.5m a 3 m y las velocidades de 2 m/s a 5 m/s. A lo largo de los

canales las profundidades máximas varían entre 0.3 y 6.0 m, alcanzándose el mayor valor en la parte final del tramo que va desde el terminal de Petare hasta el Hospital Pérez de León. En las calles simuladas las velocidades máximas alcanzadas van de 0.50 m/s a 3.00 m/s.

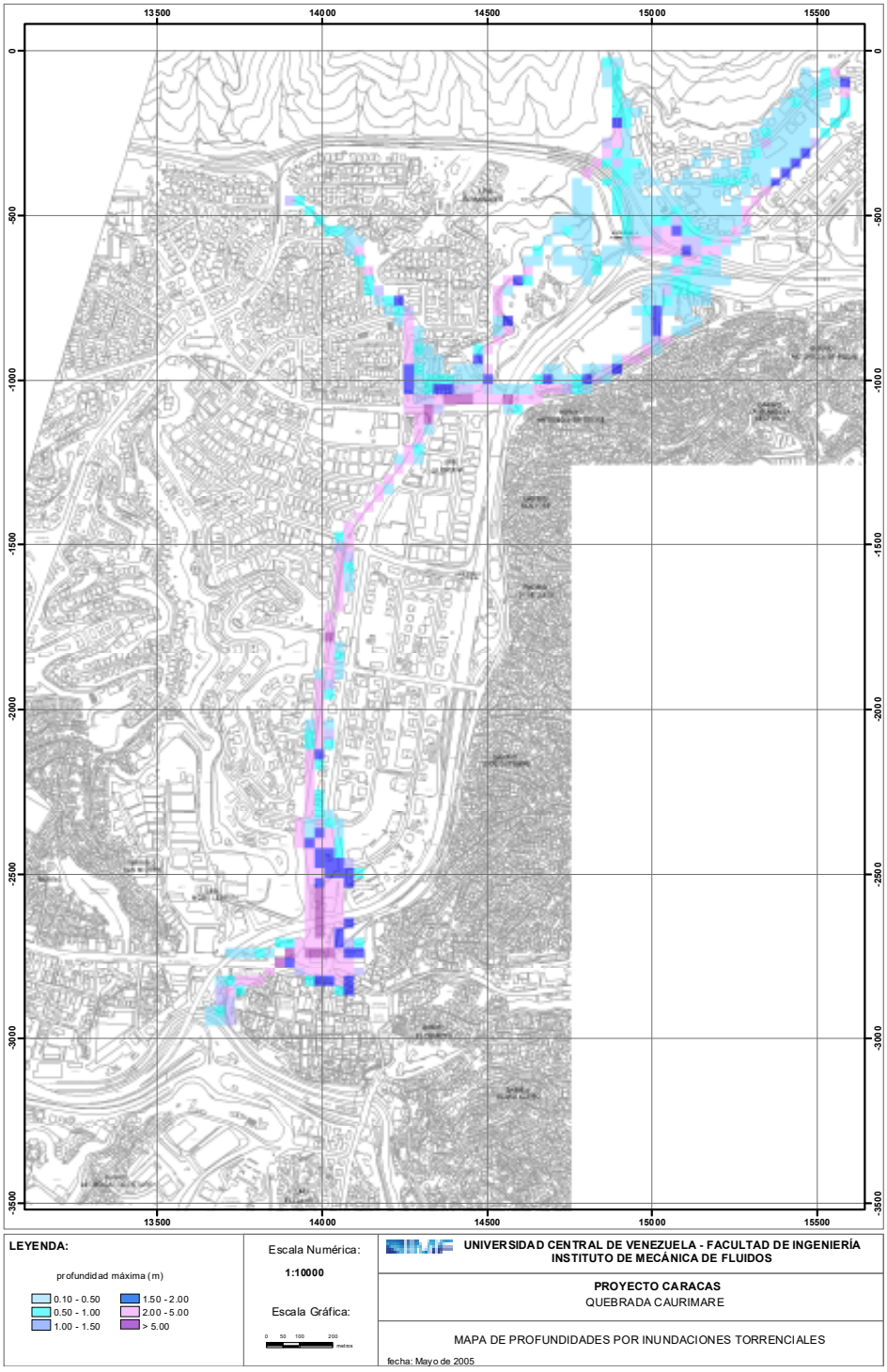


Figura 15.38. Caurimare. Profundidades Máximas para Tr=100 años

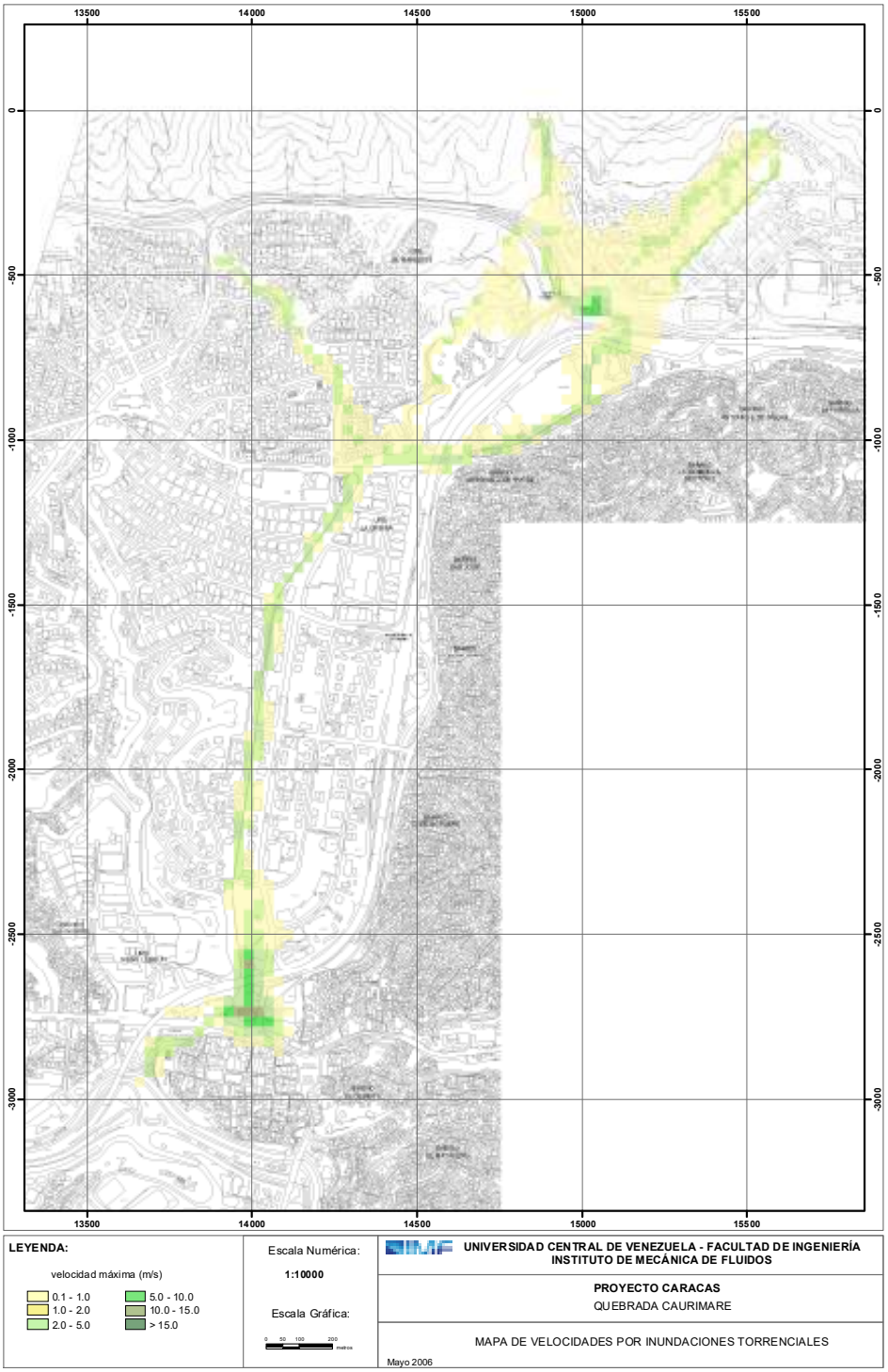


Figura 15.39. Caurimare. Velocidades Máximas para Tr=100 años.

5.11.4. Simulación para un periodo de retorno 500 años

Se consideró una concentración volumétrica de sedimentos comprendida entre 20% y 35%. En la Figura 15.40 se presenta el hidrograma utilizado y la concentración volumétrica de sedimentos

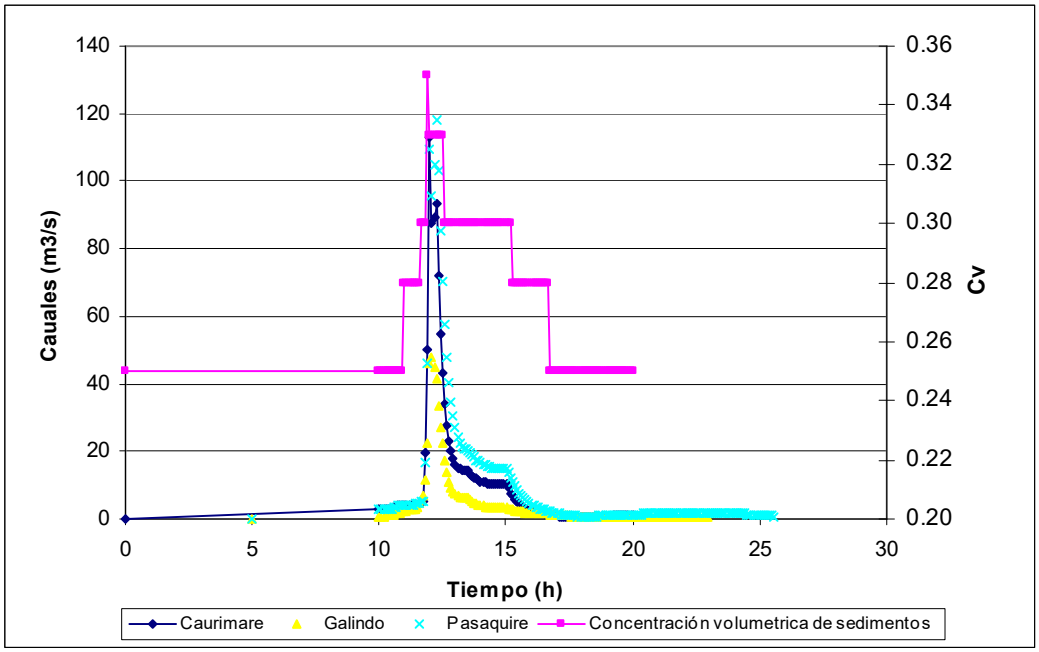


Figura 15.40. Caurimare. Hidrogramas para Caurimare, Galindo y Pasaquire (Tr=500 años).

La Tabla 15.8 resume parámetros y resultados obtenidos para Tr=500 años

QUEBRADA		**CAURIMARE**
Fecha		**Agosto 2004**
Escenario		**500 años**
Tamaño celda		30 m x 30 m
Número celdas		8470
Área simulada	km2	7.6
n Manning	canal	Variable
	planicie inundación	Variable
Puentes	número	5
Alcantarillas	número	6
Reducción de área		20-40%
Calles	número	7
Caudal pico	m3/seg	36.42
Bulking Factor		0.20
Vol. hidrograma	M3	868398
Vol. lluvia	M3	1856680
Vol hidrograma + lluvia	M3	2725078

Tabla 15.8. . Resultados y algunos parámetros usados en la simulación para Tr=500 años

5.11.4.2. Resultados

En las Figuras 15.41 y 15.42 Se presentan los resultados obtenidos de profundidades y velocidades máximas, respectivamente, para el escenario de Tr=500 años.

Al igual que en los escenarios anteriores, las profundidades de agua observadas en la planicie de inundación indican que se presentan desbordamiento en el área donde confluyen las tres quebradas, aguas arriba de la av. Rómulo Gallego y la zona que comprende desde el terminal de Petare hasta el Hospital Pérez de León, presentándose en estas zonas profundidades que van de 0.5 m a 5.5 m y velocidades entre 1 m/s y 6 m/s. A lo largo de los canales las profundidades máximas varían entre 0.3 y 6.0 m, alcanzándose el valor de 6 metros en la parte final del tramo próxima al Hospital Pérez de León. Las velocidades varían entre 5m/s y 15.5 m/s, alcanzándose los valores máximos en el tramo final del cauce principal. En las calles simuladas las velocidades máximas alcanzadas van de 1.0 m/s hasta 3.50 m/s.

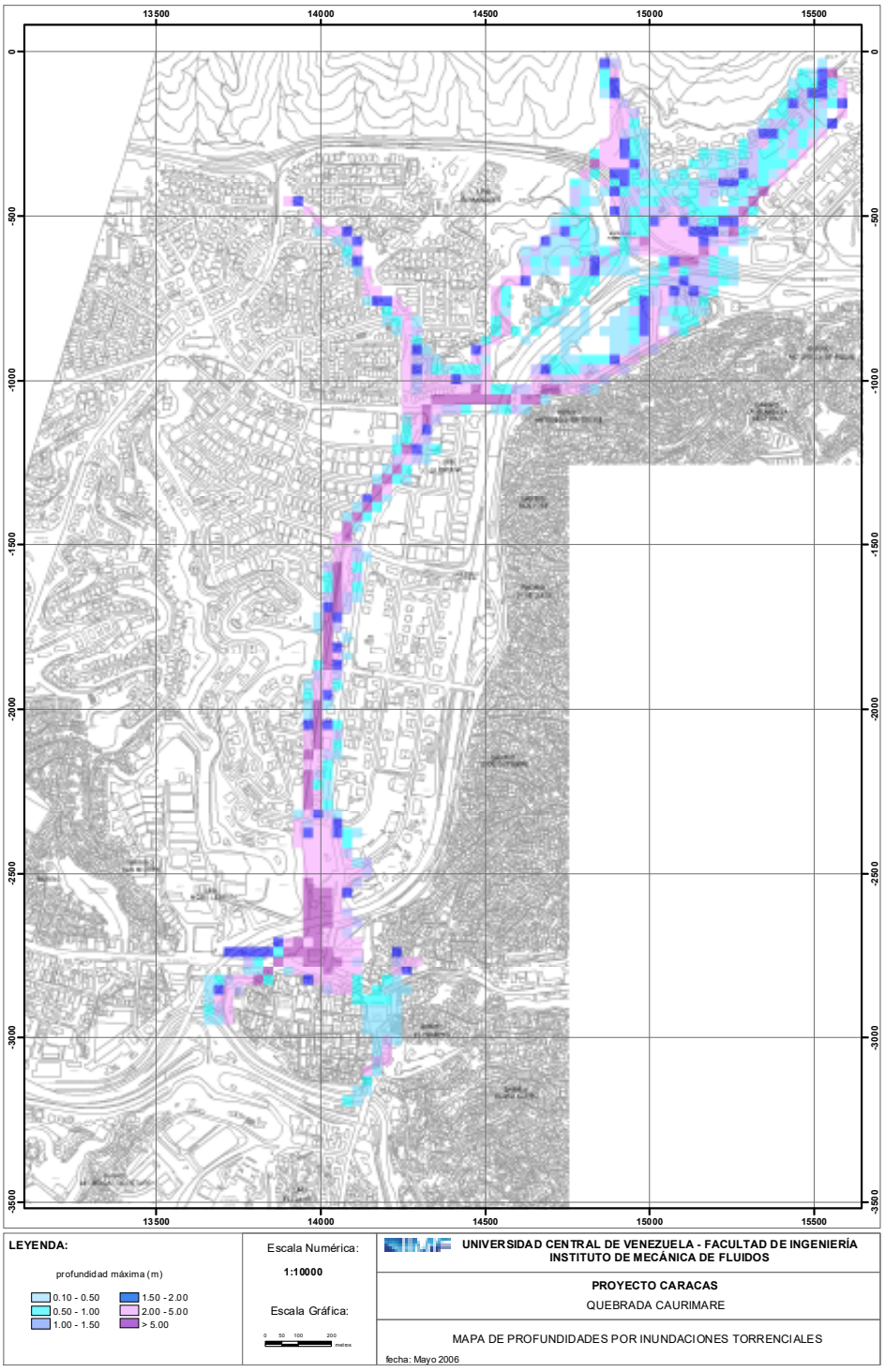


Figura 15.41. Caurimare. Profundidades Máximas para Tr=500 años.

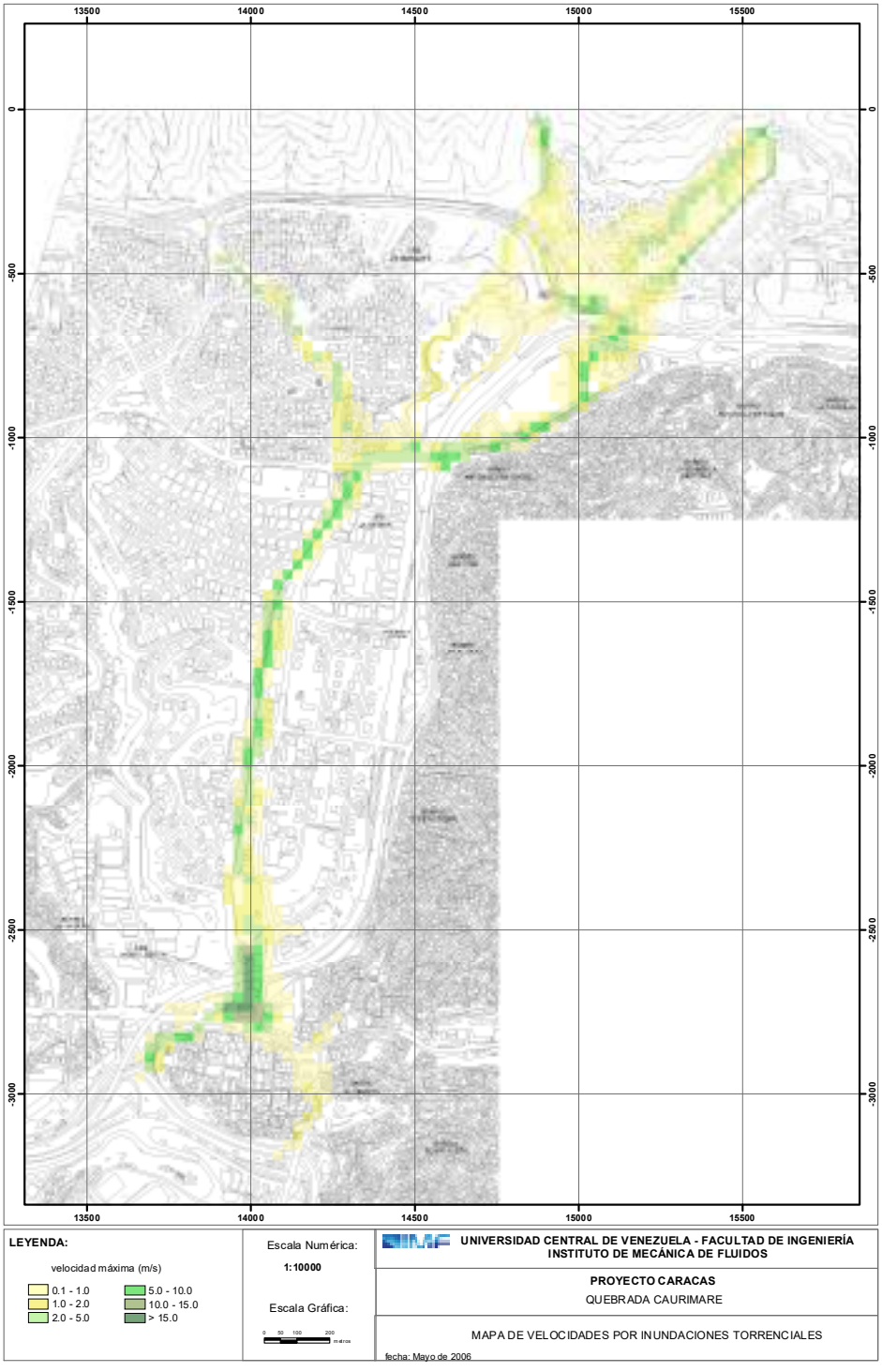


Figura 15.42. Caurimare. Velocidades Máximas para Tr=500 años.

15.4 Mapa de amenaza

Se presentan a continuación el mapa de amenaza reticulado, tal como lo arroja el programa AMENAZA y el mapa final rectificado.

Se puede observar una amenaza alta:

- a lo largo de la Qda Caurimare y sus afluentes
- en el paso de las quebradas por la Avenida Boyacá
- en parte de la Urbanización Terrazas del Ávila
- en la parte baja de la cuenca, correspondiente a la zona aledaña al Terminal de Petare y el Hospital Pérez de León

16. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

16.1 QUEBRADA HONDA

16.1.1 Ubicación geográfica

Quebrada Honda se ubica en la vertiente sur del macizo Ávila, al centro norte del área en estudio y fluye en dirección norte-sur hasta descargar en el río Guaire, a la altura del parque Los Caobos. La subcuenca pertenece en su totalidad al Municipio Libertador del Distrito Capital.

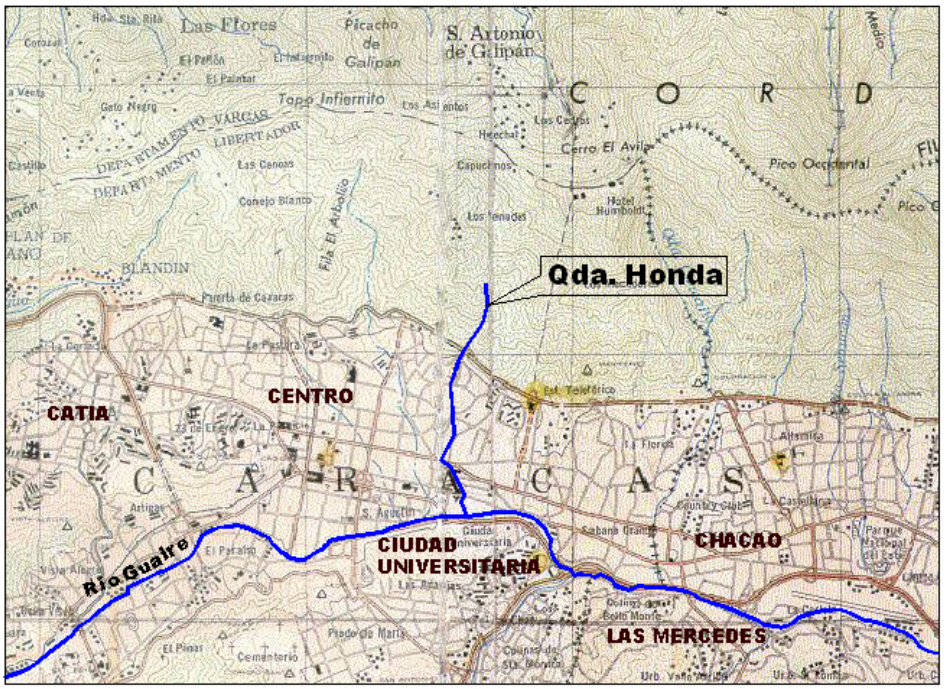


Figura 16.1 Qda Honda. Ubicación geográfica

16.1.2 Información disponible

16.1.2.1 Información cartográfica y fotográfica

De la información cartográfica señalada para el Proyecto se utilizaron más específicamente:

- Plano digital a escala 1:5.000 del año 2000, número 07
- Plano en papel a escala 1:25.000 del año 1.975, hoja 6847-III-NE.
- Raster a escala 1:25.000

16.1.2.2 Información hidrológica

La fuente de información es el estudio hidrológico de la cuenca realizado en el marco del presente Proyecto.

16.1.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica

De la información señalada para el Proyecto, se utilizaron más especialmente:

- Plano en papel Quebradas principales del Municipio Libertador. Alcaldía de Caracas, año 1.995, hoja 03 (escala 1:10.000) y hoja F-44 (escala 1:5.000)
- Planos de construcción del Metro de Caracas, de 1.975, tramo Plaza Venezuela – Colegio de Ingenieros.
- Planos de construcción del Metro de Caracas, de 1.994, tramo Plaza Venezuela – Capuchinos.

16.1.3 Hidrografía

La subcuenca se extiende desde el Cerro Papelón en El Ávila (1.180 m.s.n.m) hasta el Río Guaire (847,54 m.s.n.m.), con una forma alargada muy estrecha y una extensión aproximada de 1,15 km^2 .

Quebrada Honda está conformada por la confluencia de la quebrada Sarría y la quebrada Guaicaipuro. En el presente proyecto se denominará Quebrada Honda al curso de agua más importante, siendo la longitud de este de 3.45 km. La longitud de la quebrada Guaicaipuro es de 1.13 km. Sus características principales se resumen en la Tabla 8.1.

Área de la cuenca (km^2)	Vegetada: 0,095 (8%)	Total:1,15
	Urbana: 1,05 (92%)	
Longitud del cauce principal (km)	En área extra-urbana: 6,5 (19%)	Total: 9,3
	En área urbana: 2,8 (81%)	
Cotas (m.s.n.m.)	Superior:1.180	
	Inferior (confluencia con el río Guaire): 847,54	
Pendiente del cauce principal (%)	En área extra-urbana: 26 %	Promedio:16,4
	En área urbana: 6,7 %	

Tabla 16.1. Quebrada Honda. Características de la subcuenca

La Figura 16.2 presenta el perfil longitudinal del cauce en estudio a partir de la confluencia con el Río Guaire, elaborado a partir del raster 1:25.000 para la parte alta (por encima de los 1.000 m.s.n.m) y el plano digital 1:5.000 para la parte baja.

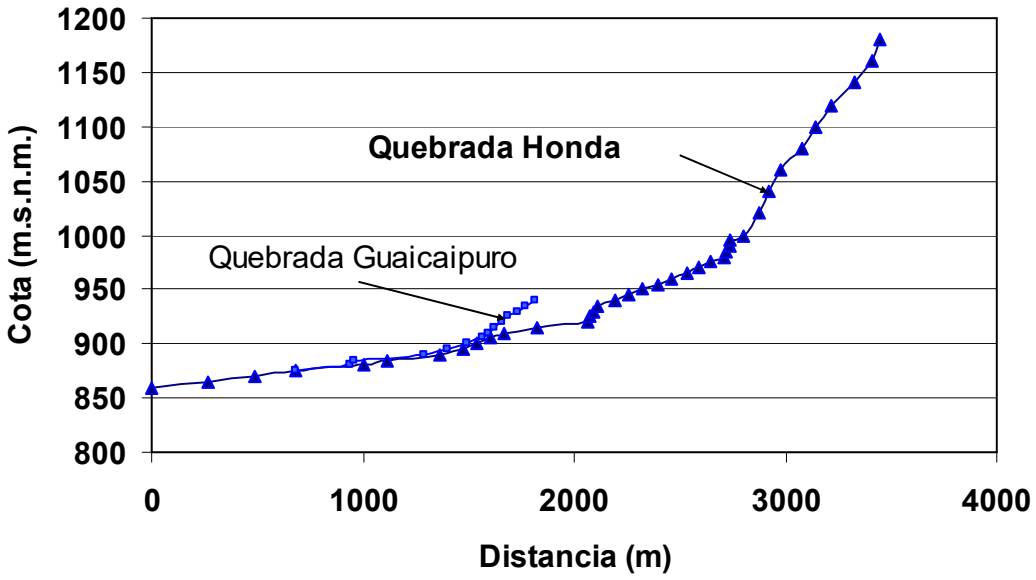


Figura 16.2 Quebrada Honda. Perfil longitudinal

16.1.4 Usos del suelo

La subcuenca presenta dos zonas bien diferenciadas, separadas por la avenida Boyacá (Cota Mil): una parte alta vegetada con 8% de la superficie, y una parte baja urbanizada con 92% de la misma.
El área vegetada pertenece al Parque Nacional Ávila, donde las pendientes son altas y se encuentra poco intervenida, con árboles, arbustos y gramíneas.
El área urbana presenta una densidad poblacional media. En su curso hacia su desembocadura en el Guaire, la Quebrada Honda atraviesa la urbanización Simón Rodríguez, el Barrio Sarría, un sector del Barrio Santa Rosa y el parque Los Caobos, zonas residenciales, comerciales y de esparcimiento.
La quebrada cruza algunos ejes viales importantes: Avenida Boyacá, Avenida Andrés Bello y Avenida Libertador.

16.1.5 Red de drenaje pluvial

Los principales colectores de la zona son la Quebrada Honda y su afluente la Quebrada Guaicaipuro, completadas por algunos colectores secundarios cortos que descargan en ella. Las cuencas de Quebrada Honda y Canoas se encuentran muy cercanas. Un esquema de la red drenaje se presenta en la Figura 16.3

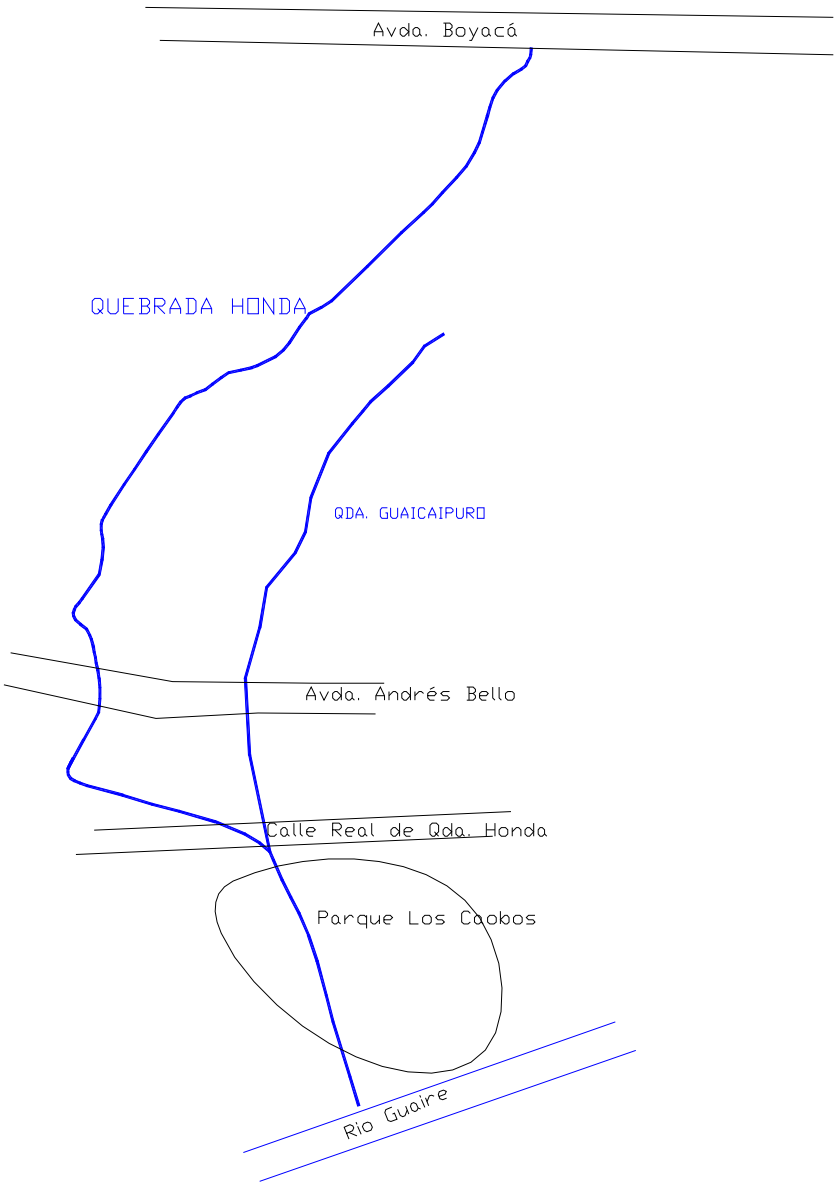


Figura 16.3. Quebrada Honda. Esquema de la red de drenaje

Quebrada Honda cruza la Avenida Boyacá por una alcantarilla de 80 cm de diámetro (Fig.16.4) y continúa embaulada en todo su recorrido. Luego de atravesar la Avenida Boyacá, fluye paralela al Alimentador de la Avenida Boyacá que pasa por Sarría. Luego, a la altura del Edificio Banco Mercantil, atraviesa la Avenida Andrés Bello, sigue por la Avenida Este de Los Caobos pasando por debajo de edificios de la zona hasta la Calle Real de Quebrada Honda, (actual Boulevard Amador Bendayán), donde confluye con la Quebrada Guaicaipuro, la cual se desplaza de norte a sur, pasando por el callejón Tejerías y por debajo del mercado Guaicaipuro y del taller Barros (ubicado en la Avenida Este)

Desde este punto continúa su trayectoria pasando por la pared divisoria de la Iglesia Maronita y el Museo de Bellas Artes y atraviesa el Parque Los Caobos hasta su desembocadura en el Río Guaire, a la altura de la entrada al estacionamiento del Parque los Caobos. Las dimensiones de los embaulamientos están por determinarse. La figura 16.5 muestra el lugar por donde pasa la quebrada Guaicaipuro pocos metros antes de su confluencia con la quebrada Sarría.

Figura 16.4. Quebrada Honda. Foto tomada desde la parte norte de la Avenida Boyacá.

Figura 16.5. Quebrada Guaicaipuro. Trayectoria de la quebrada antes de su confluencia.
La Figura 16.6 muestra la ubicación de los puntos críticos

16.1.6 Antecedentes de inundaciones y aludes

No se han reportado antecedentes de inundaciones en esta zona.

16.1.7 Resumen de puntos críticos

Se han efectuado las siguientes observaciones:

- El estado de mantenimiento de los sumideros no es bueno, encontrándose éstos tapados por desechos sólidos.
- El Boulevard Amador Bendayán, a la altura de la Mezquita es un punto bajo, que suele presentar acumulación de agua en la presencia de lluvias de poca magnitud.

Se identifican a continuación los puntos considerados de como más críticos:

1. Entrada al embaulamiento bajo la avenida Boyacá
2. Boulevard Amador Bendayán, a la altura de la Mezquita.

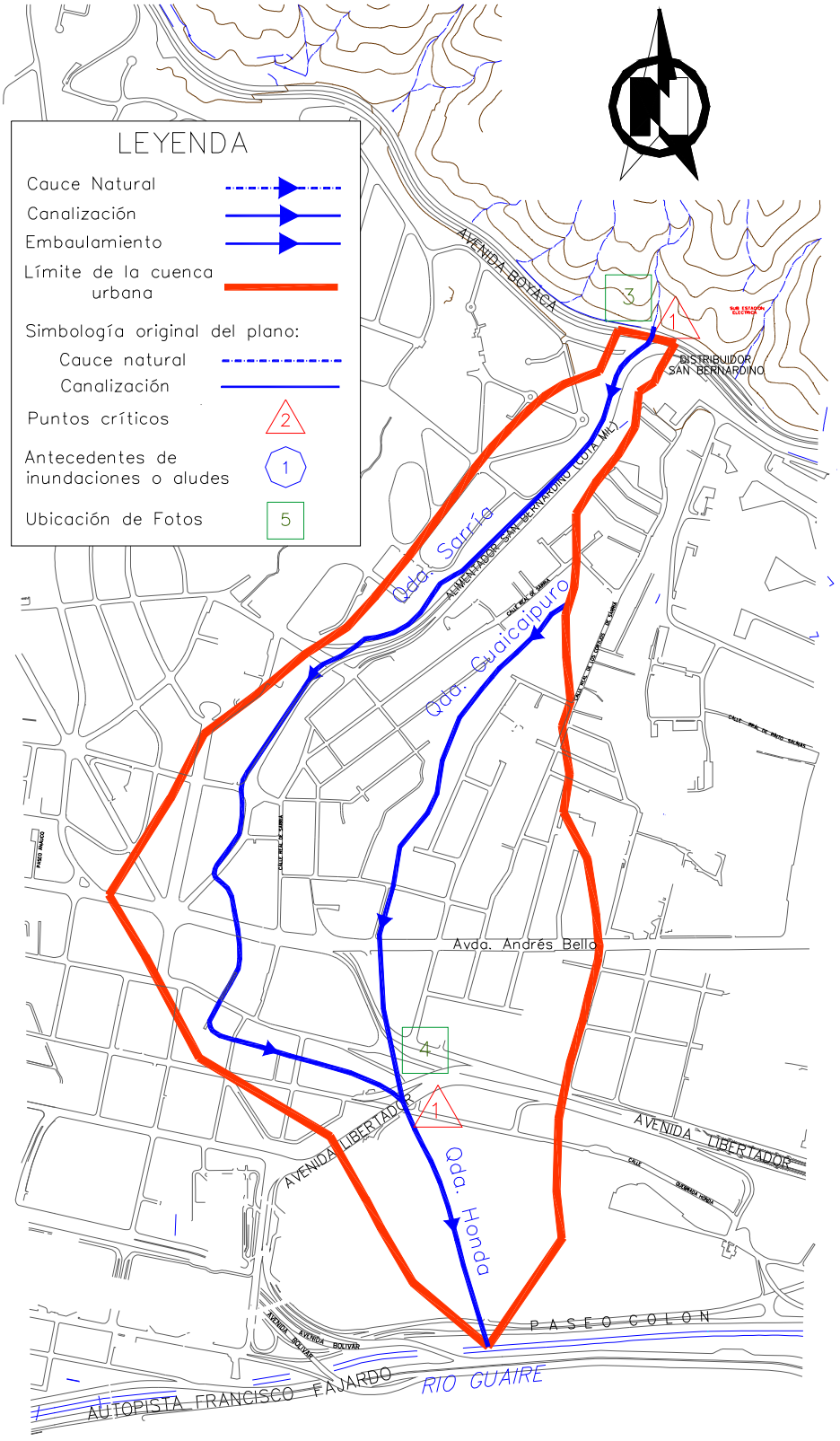


Figura 16.6. Quebrada Honda. Red de drenaje

16.2 QUEBRADA CANOAS

16.2.1 Ubicación geográfica

La quebrada Canoas se ubica en la vertiente sur del macizo Ávila, al centro norte del área en estudio y fluye en dirección norte-sur hasta descargar en el río Guaire, a la altura del Paseo Colón (Sector Plaza Venezuela). La subcuenca pertenece en su totalidad al Municipio Libertador del Distrito Capital.

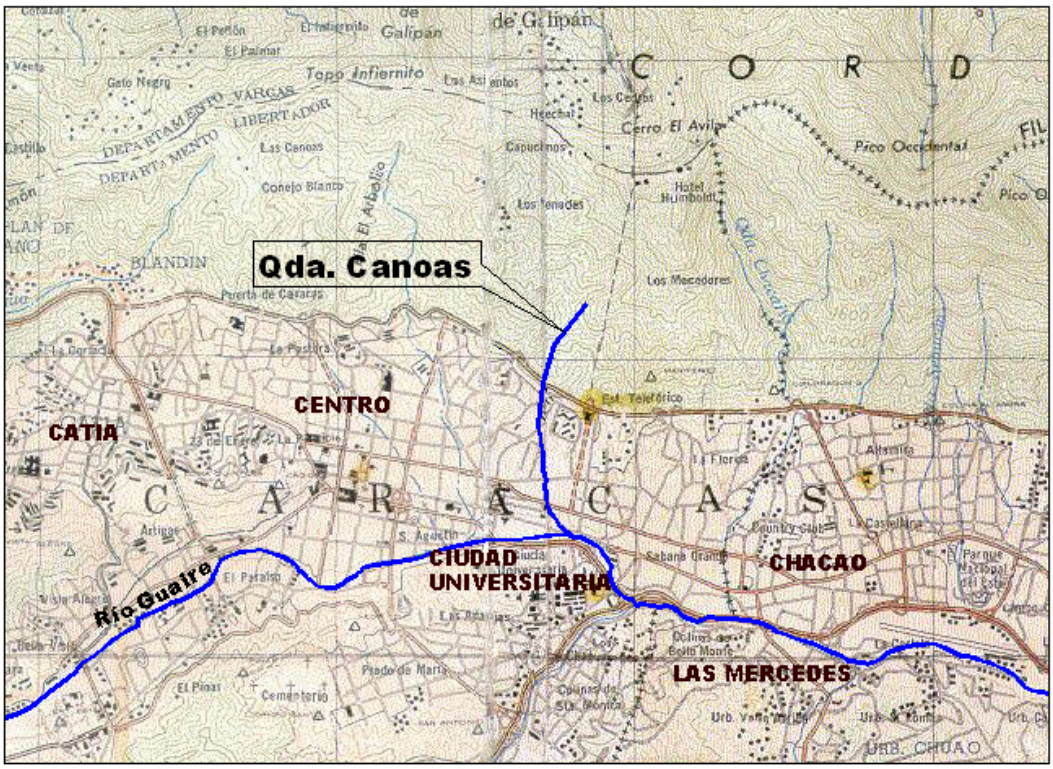


Figura 16.7 Canoas. Ubicación de la subcuenca

16.2.2 Información disponible

16.2.2.1 Información cartográfica y fotográfica

De la información cartográfica señalada para el proyecto, se utilizaron particularmente los siguientes planos:

- Plano digital a escala 1:5.000 del año 2000, número 07
- Plano en papel a escala 1:25.000 del año 1.975, hoja 6847-III-NE.
- Raster a escala 1:25.000

16.2.2.2 Información hidrológica

La información hidrológica proviene del estudio hidrológico del Proyecto.

Quebrada	Caudal máximo (m^3/s)		
	Tr = 10 años	**Tr = 100 años**	**Tr = 500 años**
Canoas	14.44	28.38	39.21

Tabla 16.2. Quebrada Canoas. Comparación de gastos pico

16.2.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica

De la información señalada para el Proyecto, se utilizaron más especialmente:

- Plano en papel Quebradas principales del Municipio Libertador. Alcaldía de Caracas, año 1.995, hoja 03 (escala 1:10.000) y hoja F-44 (escala 1:5.000)
- Planos de construcción del Metro de Caracas, de 1.975, tramo Plaza Venezuela-Colegio de Ingeniero
- Plano de construcción del Metro de Caracas, de 1.994, tramo Plaza Venezuela-Capuchinos.

Además se utilizaron los siguientes planos:

Origen	Nombre	Hoja	Escala	Año de elaboración	Descripción
Hidrocapital	Sistema Metropolitano de Caracas.Mixto	F-25	1:1000	2000	Planta
Hidrocapital	Alcantarillado Zona Metropolitana.Zona Central Norte. Catastro	G-25	1:1000	1975	Planta
Hidrocapital	Alcantarillado Zona Metropolitana.Zona Central Norte. Catastro	H-25	1:1000	1975	Planta
Metro de Caracas	Tramo La Hoyada-Chacaito. Servicios Públicos Existentes.	SC-002 SP-205	H 1:250 V 1:250	1976	Planta
Metro de Caracas	Tramo La Hoyada-Chacaito. Reubicación de los Servicios Públicos	SC-002 SP-213	H 1:250 V 1:100	1976	Reconstrucción de Cloacas.
Metro de Caracas	Tramo La Hoyada-Chacaito. Alineamiento del Metro	SC-002 IC-204	H 1:500 V 1:100	1975	Planta y Perfil

Metro de Caracas	Tramo Capuchinos-Pza Venezuela. Servicios Públicos Existentes	CV-03 SP-203	H 1:250 V 1:250	1994	Planta
Metro de Caracas	Tramo Capuchinos-Pza Venezuela. Reubicación de los Servicios Públicos	CV-03 SP-210	H 1:250 V 1:100	1994	Acueductos Cloacas - Drenajes
Metro de Caracas	Tramo Capuchinos-Pza Venezuela. Alineamiento del Metro	CV-03 IC-203	H 1:500 V 1:100	1998	Planta y Perfil
Alcaldía de Caracas	Quebradas Principales del Municipio Libertador	03	1:10000	1995	Planta
Alcaldía de Caracas	Quebradas Principales del Municipio Libertador	F-44	1:50000	1995	Planta

16.2.3 Hidrografía

La subcuenca se extiende desde el Cerro Papelón en El Ávila (1.480 m.s.n.m.) hasta el Río Guaire (845,77 m.s.n.m.), con una forma alargada muy estrecha y una extensión aproximada de 1,86 $km^{2.}$ .La Quebrada Canoas es el único curso de agua importante. Tiene una longitud aproximada de 3.51 km y una pendiente promedia de 32.19 %.

Sus características principales se resumen en la Tabla 9.1.

La Figura 16.8 presenta el perfil longitudinal del cauce en estudio a partir de la confluencia con el Río Guaire, elaborado a partir del raster 1:25.000 para la parte alta (por encima de los 1.000 m.s.n.m) y el plano digital 1:5.000 para la parte baja.

Área de la cuenca (km^2)	Vegetada: 0,66 (35,5%)	Total:1,86
	Urbana: 1,20 (64,52%)	
Longitud del cauce principal (km)	En área extra-urbana: 1,22 (34%)	Total: 3,51
	En área urbana: 2,29 (66%)	
Cotas (m.s.n.m.)	Superior: 1.480	
	Inferior (confluencia con el río Guaire): 845,77	
Pendiente del cauce principal (%)	En área extra-urbana: 32,74	Promedio:19,43
	En área urbana: 6,13	

Tabla 16.3. Canoas. Características de la subcuenca.

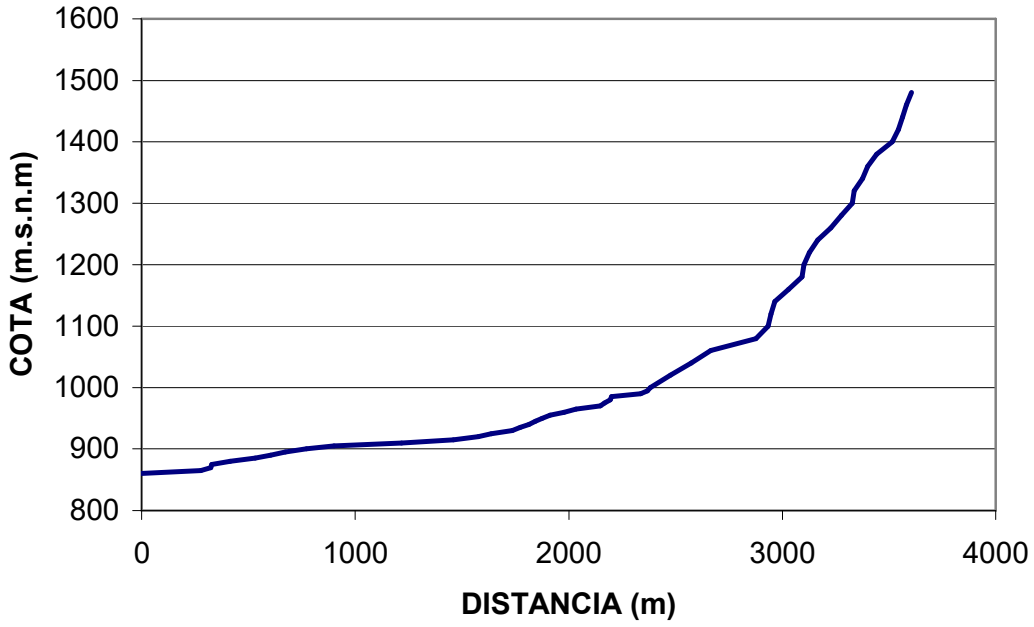


Figura 16.8. Canoas. Perfil longitudinal.

16.2.4 Usos del suelo

La subcuenca presenta dos zonas bien diferenciadas, separadas por la avenida Boyacá (Cota Mil): una parte alta vegetada con 35,48% de la superficie, y una parte baja urbanizada con 64,52% de la misma.

El área vegetada pertenece al Parque Nacional El Avila, donde las pendientes son altas y se encuentra prácticamente sin intervención.

El área urbana presenta una densidad poblacional media. En su curso hacia su desembocadura en el Guaire, la quebrada Canoas atraviesa la urbanización Simón Rodríguez, un sector del Barrio Santa Rosa y el Paseo Colón, zonas esencialmente residenciales. Existen algunos pequeños comercios sobre todo talleres mecánicos.

La quebrada cruza algunos ejes viales importantes: Avenida Boyacá, Avenida Andrés Bello, Avenida Libertador y el Paseo Colón.

16.2.5 Red de drenaje pluvial

Debido a la forma estrecha de la subcuenca, el principal colector de aguas de lluvia es la propia quebrada, completada por algunos colectores secundarios cortos que descargan en ella.

La quebrada Canoas cruza la Avenida Boyacá por una alcantarilla constituida por una batería de dos tubos circulares con diámetro aproximado de 1,30 m, luego fluye embaulada desde la avenida Principal de Simón Rodríguez hasta su desembocadura en el río Guaire.

La figura 16.9 muestra la alcantarilla por donde atraviesa la quebrada Canoas en la Avenida Boyacá.

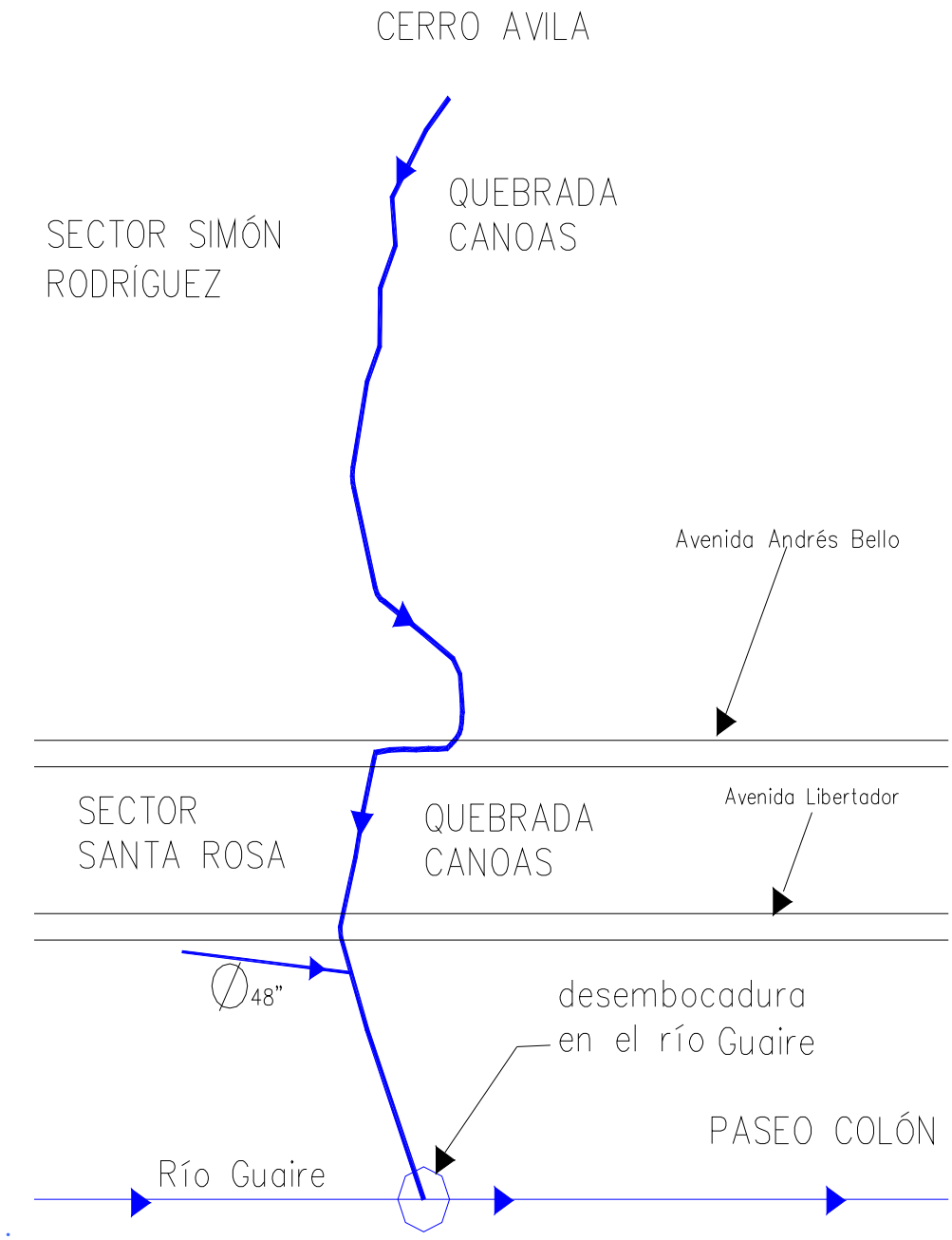


Figura 16.9. Canoas. Esquema de la red de drenaje

Figura 16.10. Canoas. Alcantarilla por donde fluye la quebrada desde el Ávila.

- **Tramo Av. Boyacá –Plaza Andrés Bello**

Las fotos de las Figura 16.11, 16.12 y 16.13 muestran la quebrada embaulada en la urbanización Simón Rodríguez.

Figura 16.11. Canoas. Quebrada embaulada a la altura de la Urbanización Simón Rodríguez.

En este tramo la quebrada se encuentra embaulada en una estructura trapecial de 3.5x 1.8x1.3m

Figura 16.12. Canoas. Vista general de la quebrada embaulada en la urbanización Simón Rodríguez.

Figura 16.13.Canoas. Empotramiento de aguas servidas de las viviendas ubicadas al margen de la quebrada.

- **Tramo Avenida Libertador– Paseo Colón**

La quebrada en este tramo continúa embaulada, pudiéndose apreciar una boca de visita en las adyacencias del Conjunto Residencial Venezuela (Fig. 16.14), en aparente discrepancia con los planos de la Alcaldía, en cuanto al trazado de la quebrada, al menos que se trate de un afluente no identificado de la misma..

Figura 16.14.Canoas. Boca de visita.

- **Tramo Paseo Colón – Río Guaire**

De acuerdo a la información recabada de los planos del metro de Caracas en este tramo se modificó el cauce que tenía la quebrada para la construcción de la línea 1.

En su cruce con la línea 1 del metro la quebrada pasa por una cota superior a la del túnel y con la línea 4 (en construcción) la quebrada pasa por debajo de ella. En este tramo la quebrada recibe el aporte de dos drenajes del Paseo Colón a través de tuberías de12" y 18"de diámetro. Las Figuras 16.15 y 16.16 muestran la descarga de la quebrada al Río Guaire.

Figura 16.15.Canoas. Cajón de salida de la quebrada al río Guaire.

Figura 16.16. Canoas. Confluencia de la quebrada con el río Guaire. Foto tomada desde el Paseo Colón

TRAMO	DESCRIPCIÓN	TIPO	LONGITUD (m)	DIMENSIONES (m)	PENDIENTE % (S)	n	CAPACIDAD m^3/s
1 --2	Desde estación eléctrica pasando por av. Boyacá hasta vuelta del beso en av. Trujillo de Sarria	Embaulamiento. Tubos corrugados	118	2xØ1.3	0.116	0.024	35.6
2 --3	Desde av. Trujillo (vuelta del beso) hasta entrada del barrio Lazareto por la plaza Andrés Bello	Embaulamiento. Cajón trapecial de concreto	872	3.5x1.8x1.3	0.104	0.017	36.0
3 --4	Desde entrada del barrio Lazareto pasando por el lado oeste de la plaza Andrés Bello hasta la avenida frente al edf. Las Fundaciones	Embaulamiento. Tuberia de concreto	330	Ø2.13	0.035	0.017	25.9
4 --5	Frente edf. Las Fundaciones hasta escaleras de la calle ppal del barrio Santa Rosa	Embaulamiento. Colector escalonado	52	2.28x2.30 (estimado)	0.076	0.017	84.9
5 --6	Desde escaleras del barrio Santa Rosa hasta salida de la av. Libertador hacia el Pase Colón a la altura del edf. Lara resd. Venezuela	Embaulamiento.	565	Ø2.50	0.049	0.017	46.7
6 --7	Desde resd. Venezuela hasta el Paseo Colón	Cajón rectangular de concreto	257	2.50x2.50	0.020	0.017	37.6
7 --8	Desde el Paseo Colón hasta desembocadura en el río Guaire	Cajón rectangular de concreto	39	2.95x4.00	0.054	0.017	144.6

Tabla 16.4. Quebrada Canoas. Características por tramo

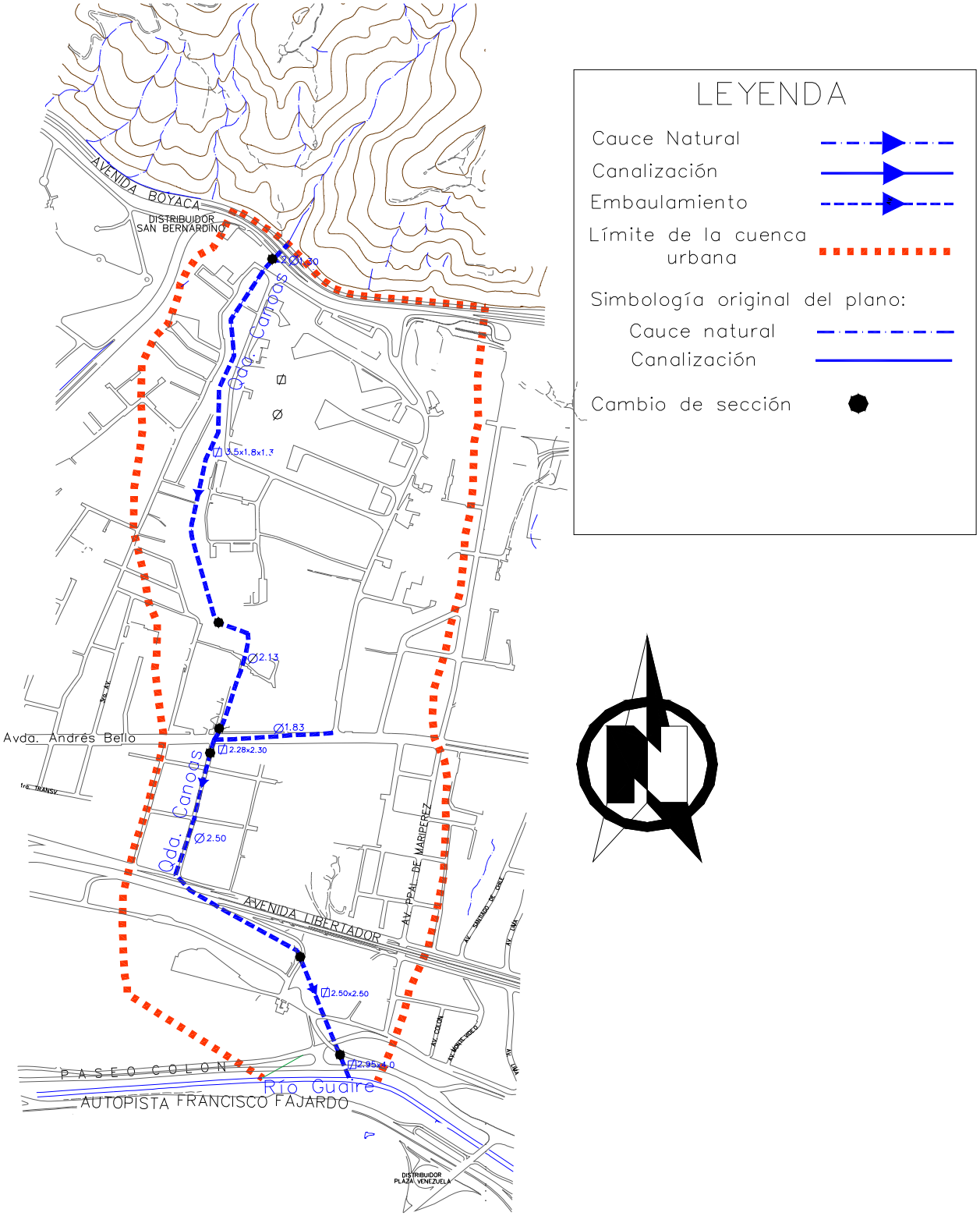


Figura 16.17. Quebrada Canoas. Características de la Red de drenaje.

16.3 QUEBRADA LA FLORIDA

16.3.1 Ubicación geográfica

La Quebrada La Florida nace en los límites de la Avenida Boyacá o Cota Mil, al pié del Ávila, y aparentemente no recolecta aguas que procedan del Parque Nacional El Ávila. Atraviesa las urbanizaciones La Florida, Las Palmas y San Antonio, del Municipio Libertador del Distrito Capital, y descarga en el Río Guaire a nivel de la antigua tienda Maxis, en Bello Monte (Figura 16.18).

La cuenca de la Quebrada La Florida limita al Norte con la Av. Cota Mil, por el Este con la cuenca de la Quebrada Chapellín, por el Oeste con la cuenca de la Quebrada Maripérez, y por el Sur con el Río Guaire.

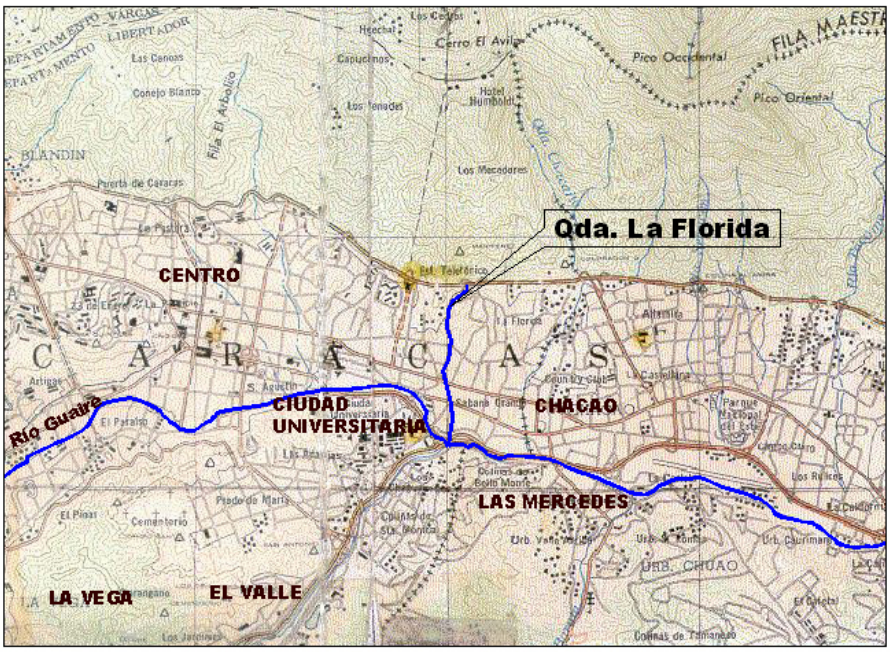


Figura 16.18 La Florida. Ubicación de la subcuenca

16.3.2 Información disponible

16.3.2.1 Información cartográfica y fotográfica

De la información cartográfica señalada para el Proyecto se utilizaron:

- Plano digital a escala 1:5.000 del año 2000, número 07.
- Plano en papel a escala 1:25.000 del año 1.975, hoja 6847-III-NE.
- Raster a escala 1:25.000 de la vertiente sur del Macizo Ávila.
- Ortofotomapas a escala 25.000 del año 1994, Hojas 6847-IV-SO y 6847-III-NO.
- Plano de Caracas de la Electricidad de Caracas, Hojas N° 4 y N° 13.

16.3.2.2 Información hidrológica

No se encontró información hidrológica relativa a esta subcuenca.

16.3.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica

De la información señalada para el presente Proyecto nse utilizaron específicamente los siguientes planos:

- Planos del Metro de Caracas, República de Venezuela, Ministerio de Obras Públicas, Oficina Ministerial del Transporte, Tramo La Hoyada Chacaíto:
    - Alineamiento del Metro Planta y Perfil SCD 20+250 a SCD 20+638,128, Contrato N° SC Sección N° 002, Lámina IC Modificación N° 206 Página N° 17 Septiembre 1975
    - Reubicación de los Servicios Públicos, Detalles de reconstrucción de cloacas, Contrato N° SC Sección N° 002, Lámina SP Modificación N° 235 Página N° 63 Enero 1976

16.3.3 Hidrografía

La subcuenca se encuentra bajo el nivel de la Av. Cota Mil (1.000 m.s.n.m.), en un área de 2,15 km^2, totalmente urbanizada hasta el Río Guaire (836,62 m.s.n.m.).

La Quebrada Las Acacias tiene una longitud aproximada de 1,19 km. y una pendiente promedio de 2,89 %. La Quebrada La Florida tiene una longitud aproximada de 1,93 km. y una pendiente promedio de 2,68 %. La parte alta de la cuenca se caracteriza por tener fuertes pendientes el terreno.

La quebrada es conocida en su parte alta por el nombre de cada uno de sus afluentes, Los planos del Metro de Caracas identifican a la quebrada como Quebrada La Florida en el área de cruce con la Línea 1 del Metro de Caracas, junto al Edificio La Previsora. El informe de BPP Consultores la identifica como Quebrada La Florida – Las Acacias. Los planos Quebradas Principales del Municipio Libertador identifican cada afluente pero no al cauce resultante de la confluencia. En el tramo aguas abajo en las cercanías de la descarga en el Río Guaire, es también conocida como Quebrada San Antonio.

Sus características principales se resumen en la Tabla 16.1.

La Figura 16.19 presenta el perfil longitudinal del cauce en estudio a partir de la confluencia con el Río Guaire, elaborado a partir del raster 1:25.000 para la parte alta (por encima de los 1.000 m.s.n.m) y el plano digital 1:5.000 para la parte baja.

Área de la cuenca (km^2)	Vegetada: 0,00 (0%)	Total:2,15
	Urbana: 2,15 (100%)	
Longitud del cauce principal (km)	En área extra-urbana: (0%)	Total: 0,85
	En área urbana: 0,85 (100%)	
Cotas (m.s.n.m.)	Superior: 1.000	
	Inferior (confluencia con el río Guaire): 836,62	

Tabla 16.5 La Florida. Características de la subcuenca.

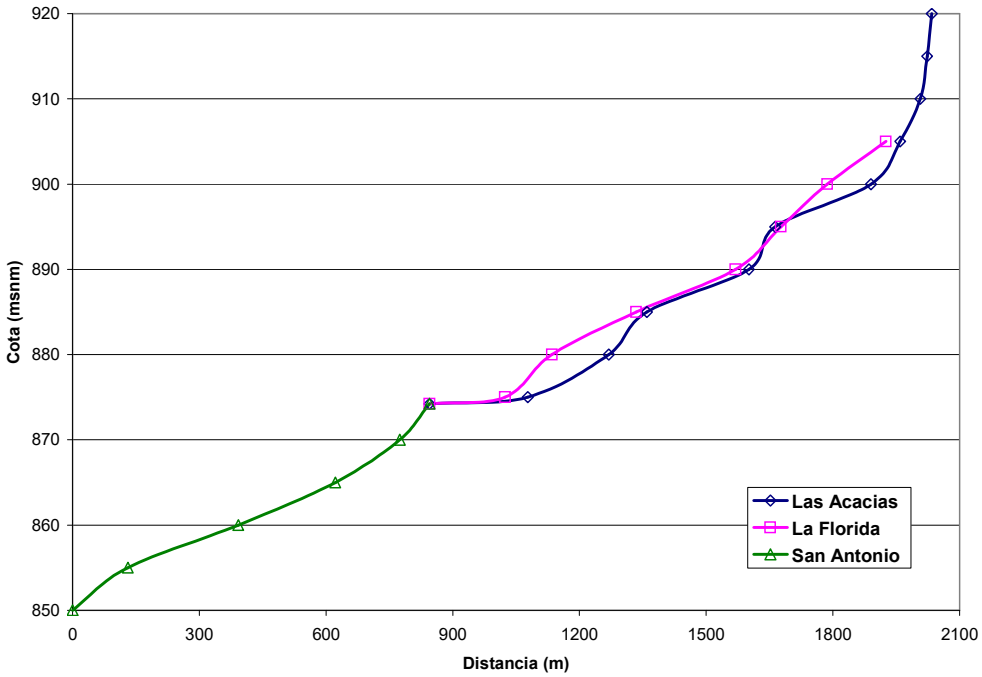


Figura 16.19 La Florida. Perfil longitudinal

16.3.4 Usos del suelo

Toda la extensión de la cuenca está urbanizada. Es de uso residencial en la parte alta de la cuenca hasta llegar a la Av. Libertador, con locales comerciales que se encuentran en las avenidas y algunas calles principales. El sector comercial y de oficinas va desde la Av. Libertador hasta la desembocadura en el Guaire, esta área cuenta también con edificaciones destinadas a viviendas. Las áreas destinadas a la recreación son las del Boulevard de Sabana Grande. En general existen grandes áreas asfaltadas y recubiertas en concreto, son pocas las áreas no recubiertas, se limitan principalmente a las áreas de los pequeños parques pertenecientes a las urbanizaciones o a los jardines de las edificaciones.

Las principales vías que atraviesan la cuenca son la Av. Andrés Bello, cuya dirección principal es Este – Oeste, la Av. Libertador, en dirección Este – Oeste, la Av. Francisco Solano López, en dirección Este – Oeste, la Av. Abraham Lincoln, en dirección Este – Oeste, la Av. Casanova, en dirección Este – Oeste, la Av. Venezuela, en dirección Este – Oeste, la Av. Las Palmas, en dirección Norte – Sur, la Av. Las Acacias – Los Mangos, en dirección Norte – Sur, la Av. Los Jabillos, en dirección Norte – Sur, y la Línea 1 del Metro de Caracas, Estación de Metro de Plaza Venezuela en dirección Este – Oeste.

El Barrio Los Manolos fundado hace más de 40 años se encuentra asentado en el inicio del embaulamiento de la Quebrada Las Acacias.

Los Centros Asistenciales identificados en el área son el Instituto Diagnóstico de La Florida (Calle los Almendros) y la Policlínica Mendez Gimón (Av. Andrés Bello).

Otras Instalaciones importantes en el área son el Cuerpo de Bomberos, ubicado en el área de la Zona Rental de Plaza Venezuela (entrada por la Av. Las Acacias), y el Módulo de la Policía Metropolitana, ubicado en la Av. Los Jabillos con Av. Los Castaños**.**

16.3.5 Red de drenaje pluvial

La subcuenca recibe el aporte de dos quebradas. Cada una conduce no solamente aguas de lluvia sino también aguas servidas debido a empotramientos ilegales. Un esquema de la red drenaje se presenta en la Figura 16.20.

Figura 16.20: La Florida. Esquema de la red de drenaje

La Quebrada La Florida y sus afluentes están totalmente embaulados salvo el último tramo de la quebrada antes de la confluencia con el Río Guaire, donde está canalizado con sección rectangular. Las características de los distintos tramos se describen a continuación.

- **Tramo Quebrada Las Acacias:**

La Quebrada Las Acacias nace en la Urbanización Las Palmas, al Sur del Colegio La Salle de La Colina. Los planos de BPP Ingenieros Consultores (BPP, 1992) indican que pasa por la Plaza Caracas, desciende por la Av. Las Palmas y se desvía hacia el oeste, este tramo no se hizo evidente en sitio. Se observaron bocas de visita de un colector sobre la Av. Las Palmas, que seguía en esta vía hacia el Sur. Siguiendo el trazado de la quebrada indicada en los planos se ubicó el comienzo de esta en la parte alta del Barrio Los Manolos (ver Figura 16.21).

Figura 16.21: La Florida. Inicio de la Quebrada Las Acacias, vista a la parte alta del Barrio Los Manolos.

La Quebrada Las Acacias bordea el Barrio Los Manolos por el Este, con un embaulamiento que data de hace aproximadamente 45 años (Gobierno de R.Betancourt). Al salir del barrio, la quebrada pasa por debajo del Preescolar Santiago S. Machado, allí se puede observa en una tanquilla con paso del flujo con malos olores, lo que hace hace presumir que funciona como colector de aguas servidas. En este punto gira hacia el Sureste, pasa a través del estacionamiento de un edificio residencial donde se pueden observar las bocas de visita de la quebrada (ver Figura 16.22).

Figura 16.22. La Florida. Estacionamiento de edificio residencial por donde pasa el embaulamiento de la quebrada.

Esta quebrada pasa por debajo de un puente para cruzar la Av. Las Palmas en dirección Oeste-Este (ver Figura 16.23), y continúa por un estacionamiento al área interna de una "manzana" o bloque (ver Figura 16.24), se desvía hacia el Sureste para luego cruzar la Av. Andrés Bello entre la Av. Las Palmas y la Av. Las Acacias (ver Figura 16.25). La quebrada pasa a través de dos manzanas antes de llegar a la Av. Libertador, donde en algún punto se une con la Quebrada La Florida.

Figura 16.23 La Florida. Puente sobre la Av. Las Palmas para paso de la Quebrada Las Acacias

Figura 16.24 La Florida. Vista a estacionamiento con el embaulamiento de la Quebrada Las Acacias.

Figura 16.25 La Florida. Paso de la quebrada Las Acacias por Av. Andrés Bello, se observan las alcantarillas que recogen las aguas de lluvia del sector.

- **Tramo Quebrada La Florida:**

La Quebrada La Florida nace en la Urbanización La Florida, al este de la Quebrada Las Acacias. Se dirige hacia el Suroeste cruzando varias calles y avenidas del sector. Cruza la Av. Andrés Bello entre la Av. Las Acacias y la Av. Los Samanes cerca de la Iglesia de La Chiquinquirá (ver Figura 16.26). En este punto pasa por debajo del Edificio Cattleya (ver Figura 16.27).

Figura 16.29 La Florida. Paso de la Quebrada La Florida en la Av. Andrés Bello.

Figura 16.30 La Florida. Paso de la Quebrada La Florida bajo la Av. Andrés Bello y el Edificio Cattleya.

- **Tramo Quebrada La Florida: Confluencia – Av. Libertador:**

Justo antes de llegar a la Av. Libertador se encuentra la confluencia de las Quebradas Las Acacias y La Florida. Aguas abajo de la confluencia, el cauce también es conocido como Quebrada San Antonio, aunque para efectos de este informe se seguirá llamando La Florida. Este tiene que salvar al menos 5,30 metros de profundidad que tiene la avenida este punto (ver Figura 16.31), va embaulado en un cajón de 3,00 X 1,50 metros. A pesar de ser una depresión importante en el trayecto de la quebrada, esta avenida no ha sufrido inundaciones en esta área.

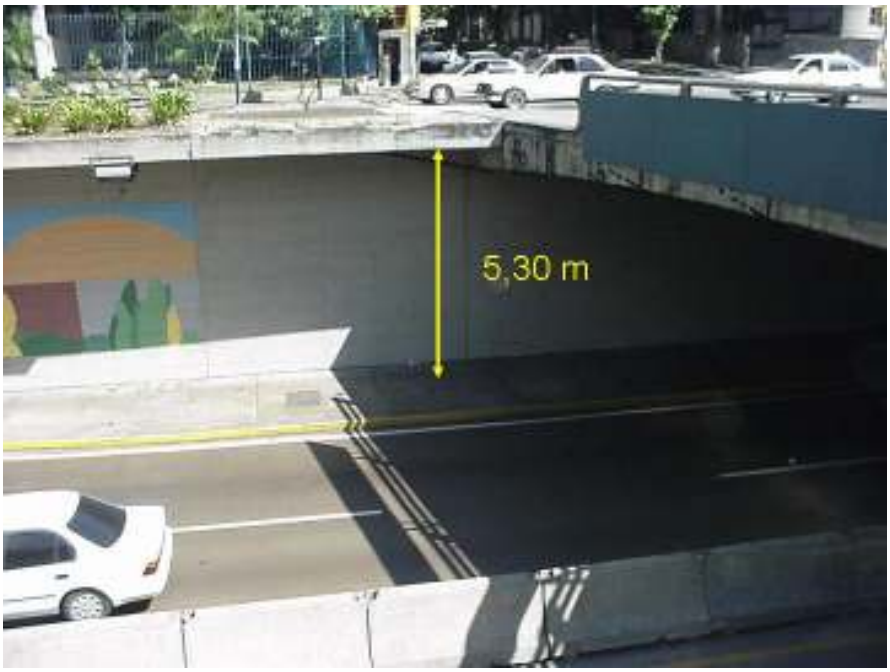


Figura 16.31 La Florida. Sitio de paso en la Av. Libertador de la Quebrada La Florida.

El embaulamiento de la quebrada en este tramo es de 3,00 m X 1,50 m.

- **Tramo Quebrada La Florida Av. Libertador – Av. Casanova:**

La quebrada se dirige hacia el Sur por la Av. Las Acacias. En el cruce con la Av. Abraham Lincoln, el embaulamiento de la quebrada pasa por encima del túnel de la Línea 1 del Metro.

Según los planos del Metro de Caracas, en el cruce con la Av. Abraham Lincoln, el embaulamiento de la quebrada pasa aproximadamente a unos 3 metros por encima del túnel de la Línea 1 del Metro, en este sitio la quebrada llega con una sección rectangular de base de 3,50 metros y altura 2,00 metros (ver Figura 16.32). Sobre la estructura del Metro la sección fue reconstruida en concreto armado, las dimensiones del embaulamiento son 3,50 metros de ancho por 2,00 metros de altura (ver Figuras 16.33 y 16.34). Aguas abajo de este cruce sigue con el embaulamiento que existía, sección tipo bóveda de altura máxima 3,60 metros y ancho 3,20 metros con paredes de ladrillo, (ver Figura 16.35). En las Figuras 16.36 y 16.37 se muestran los detalles en planta y en corte del paso del embaulamiento sobre la Línea 1 del Metro de Caracas.

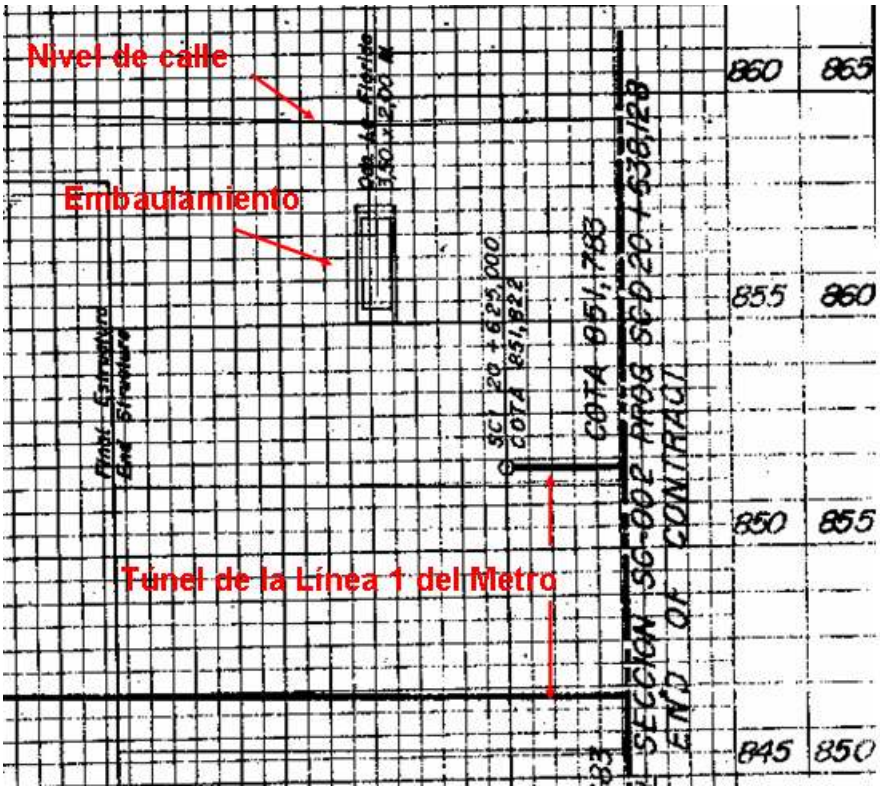


Figura 16.32 La Florida. Detalle de Plano del Metro de Caracas “Alineamiento del Metro”. Sección longitudinal escala V 1:100 H 1:500.

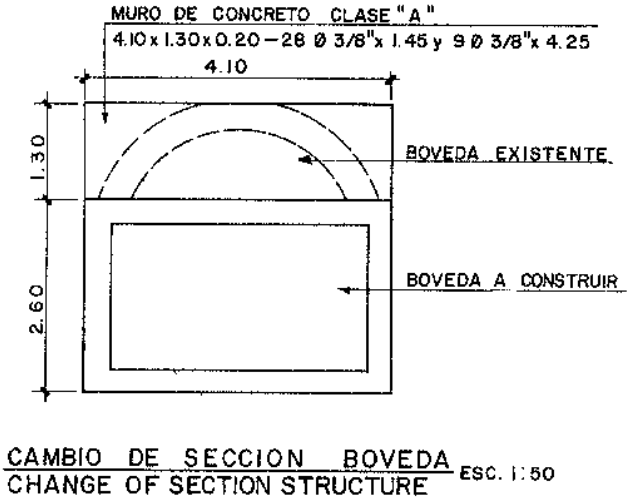


Figura 16.33 La Florida. Detalle de Plano del Metro de Caracas “Reubicación de los Servicios Públicos”. Cambios efectuados por el Metro de Caracas al embaulamiento de la Quebrada La Florida.

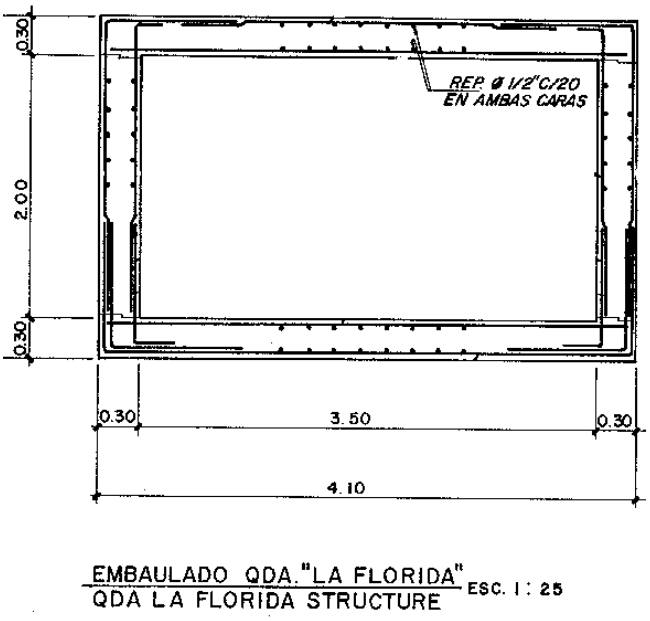


Figura 16.34 La Florida. Detalle de Plano del Metro de Caracas "Reubicación de los Servicios Públicos". Embaulamiento construido por el Metro de Caracas en el sitio de cruce de la Quebrada La Florida con la Línea 1 del Metro.

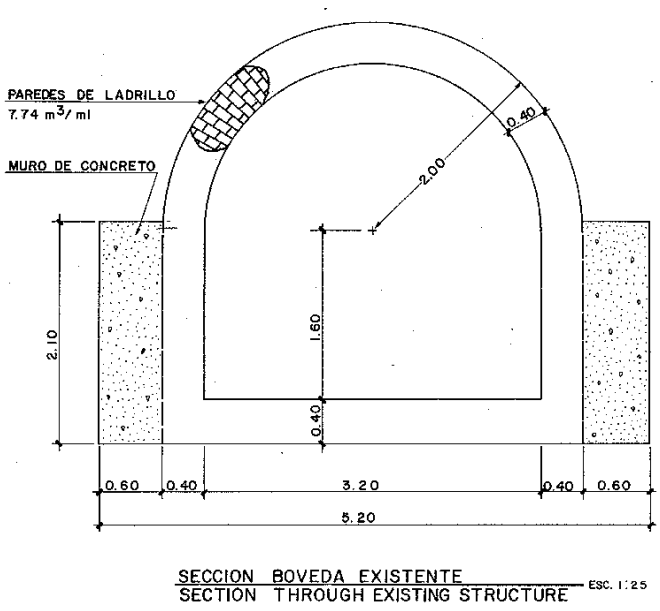


Figura 16.35 La Florida. Detalle de Plano del Metro de Caracas "Reubicación de los Servicios Públicos" Sección del embaulamiento existente aguas arriba del cruce con la Línea 1 del Metro.

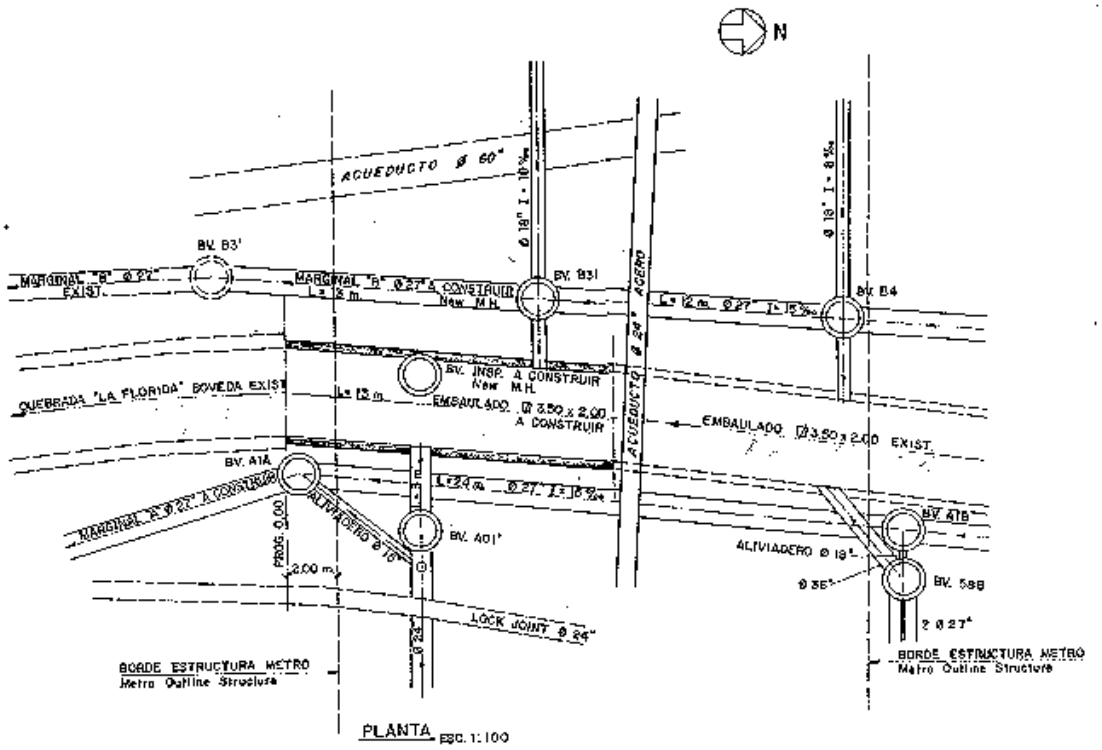


Figura 16.36 La Florida. Detalle de Plano del Metro de Caracas “Reubicación de los Servicios Públicos”. Vista en planta del paso del embaulamiento sobre la estructura de la Línea 1 del Metro.

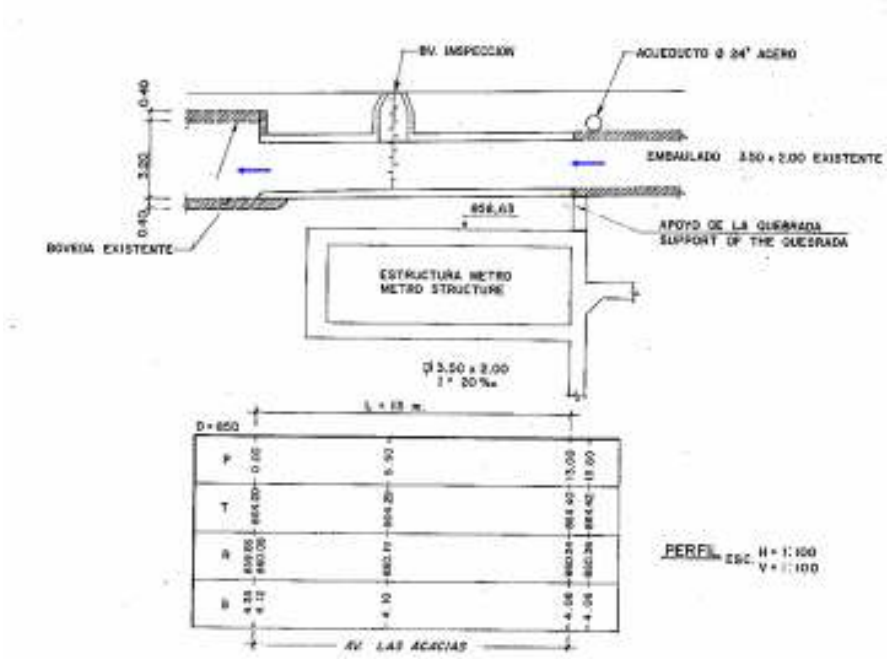


Figura 16.37 La Florida. Detalle de Plano del Metro de Caracas "Reubicación de los Servicios Públicos". Sección transversal de la estructura de la Línea 1 del Metro donde se muestra el paso de la Quebrada La Florida.

- **Trato Quebrada La Florida Av. Casanova– Río Guaire:**

Antes de llegar a la Av. Casanova se desvía hacia el Sureste. La quebrada al cruzar la Av. Casanova se dirige hacia el Sur, está canalizada en concreto armado con sección rectangular de 3.00 X 2.00 metros y un colector marginal, tubería de concreto de 0,91 metros (36") de diámetro. La quebrada atraviesa una manzana hasta cruzar la Av. Venezuela, en este punto se puede observar el aporte de pequeños colectores de aguas negras (ver figuras 16.38 y 16.39), pasa por debajo de la Autopista Francisco Fajardo y desemboca en el Río Guaire junto al Puente San Antonio en la Urbanización San Antonio (ver figuras 16.40 y 16.41).

La canalización es en concreto armado con una sección rectangular de 3.00 X 2.00 metros y un colector marginal, construido con tuberías de concreto de 0,91 metros (36") de diámetro.

Figura 16.38 La Florida: Vista al cauce desde el puente en la Av. Venezuela.

Figura 16.39 La Florida: aporte de colectores de aguas negras al cauce.

Figura 16.40 La Florida: final de la canalización del cauce.

Figura 16.41 La Florida: confluencia con el Río Guaire.

16.3.6 Antecedentes de inundaciones y aludes

El Barrio Los Manolos fue construido aproximadamente en el año 1960 y la quebrada Las Acacias no ha presentado problemas de inundación en este sector El problema de inundación se presenta desde hace unos años cuando se puso un piso de caico y los centro de pisos y alcantarillas que recogían las aguas de lluvias fueron tapados.

La canalización de la quebrada en la Urb. San Antonio, ya cerca de su confluencia con el Río Guaire no ha presentado problemas de inundación, al menos en los últimos años.

16.3.7 Resumen de puntos críticos

Después de analizar la información recopilada, se identificaron algunos aspectos hidráulicos y ambientales que se mencionan a continuación:

.

- Estado de los cursos de agua: la Quebrada La Florida y sus afluentes están embaulados, se han observado flujos en los cauces aún sin llover. Se han percibido fuertes olores provenientes de las aguas servidas que por ella circulan.
- Estado de sumideros y colectores: están en aparente buen funcionamiento, no se observaron grandes cantidades de basura en las rejas de las alcantarillas y sumideros.

Se identifica de manera preliminar como punto crítico el Barrio Los Manolos (punto 1 de la Figura 16.42)

La Figura 16.42 muestra la ubicación, en un plano del sitio de estudio, de las imágenes presentadas en las figuras de la 5 a la 12, así como de los puntos críticos y de los antecedentes de inundaciones.

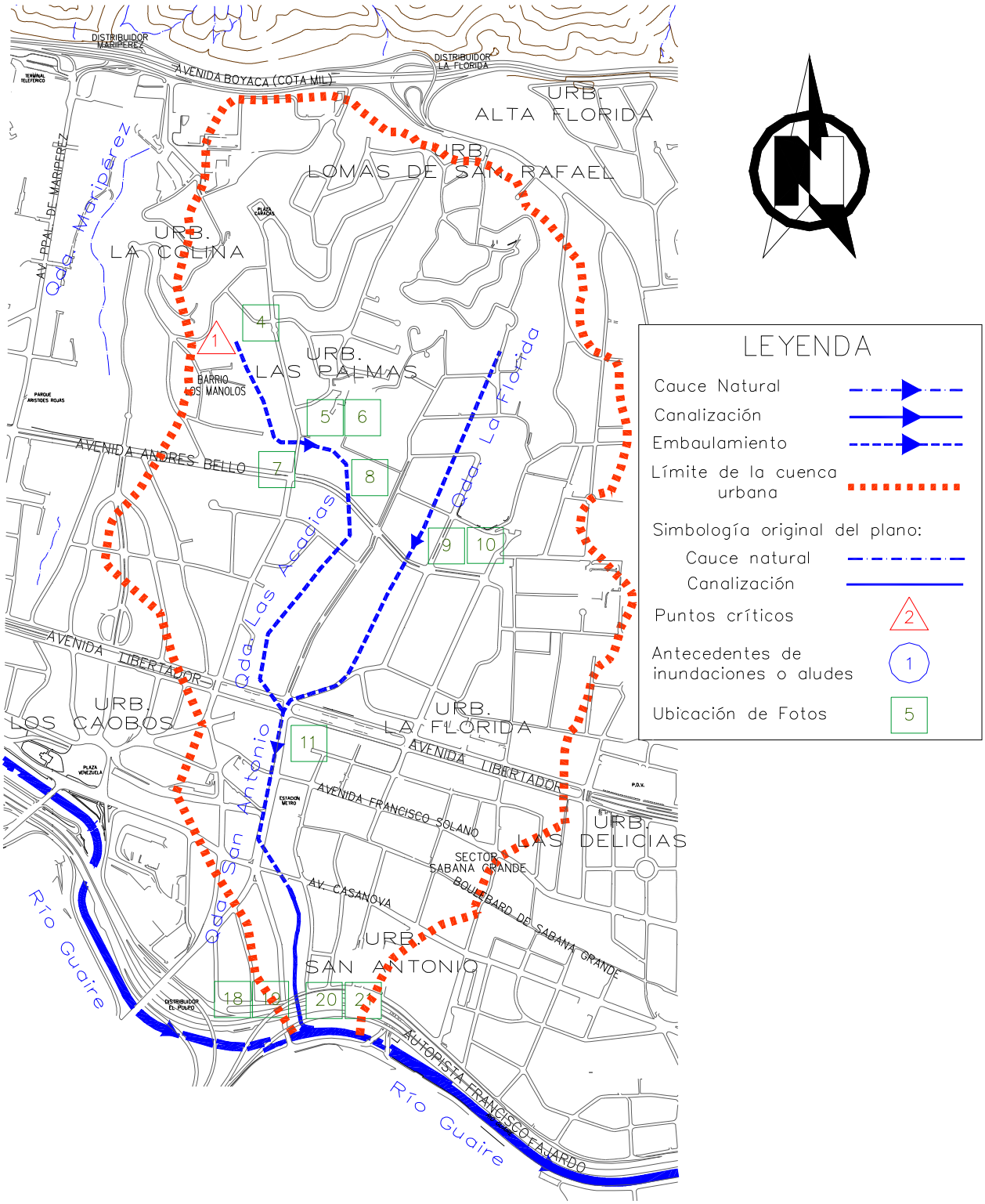

DISTRIBUIDOR MARIPÉREZ
AVENIDA BOYACA (COTA MIL)
DISTRIBUIDOR LA FLORIDA
URB. ALTA FLORIDA
URB. LOMAS DE SAN RAFAEL
Qda. Mariperez
A.V. PPAL DE MARIPEREZ
URB. LA COLINA
BARRIO LOS MANOLOS
URB. LAS PALMAS
Qda. La Florida
AVENIDA ANDRES BELLO
Qda. Las Acacias
AVENIDA LIBERTADOR
URB. LOS CAOBOS
URB. LA FLORIDA
Qda. San Antonio
AVENIDA FRANCISCO SOLANO
SECTOR SABANA GRANDE
A.V. CASANOVA
BOULEVARD DE SABANA GRANDE
URB. LAS DELICIAS
URB. SAN ANTONIO
Río Guaire
AUTOPISTA FRANCISCO FAJARDO
Río Guaire
LEYENDA
Cauce Natural
Canalización
Embaulamiento
Límite de la cuenca urbana
Simbología original del plano:
Cauce natural
Canalización
Puntos críticos
Antecedentes de inundaciones o aludes
Ubicación de Fotos

Figura 16.42

16.4. QUEBRADA CAROATA

16.4.1 Ubicación geográfica

La quebrada Caroata se ubica en la vertiente sur del macizo Ávila, al oeste del área en estudio y fluye en dirección oeste-este hasta descargar en el río Guaire, a la altura de Quinta Crespo. Su cuenca pertenece en su totalidad al Municipio Libertador del Distrito Capital.

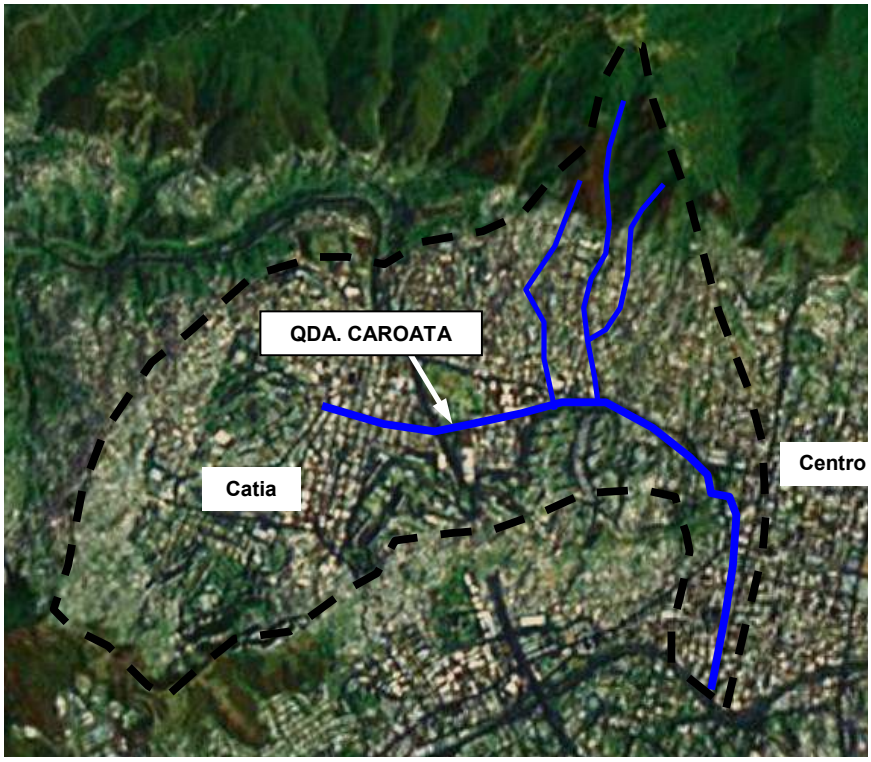


Figura 16.43. Caroata. Ubicación de la subcuenca

16.4.2 Información disponible

16.4.2.1 Información cartográfica y fotográfica

De la información cartográfica señalada para el Proyecto, se utilizaron más específicamente:

Plano digital a escala 1:5.000 del año 2000, números 05, 06 y 13

Plano en papel a escala 1:25.000 del año 1.975, hoja 6847-III-NE.

Ortofotomapa a escala 25.000 del año 1994, número 6847 – IV – SO

Se utilizaron además fotografías de las estructuras y de puntos de interés para el buen análisis de la quebrada.

16.4.2.2 Información hidrológica

Además del estudio hidrológico de los afluentes provenientes de El Ávila efectuado en el marco del presente Proyecto (ver capítulo 4), se realizó un análisis hidrológico de las lluvias ocurridas el 8 de febrero del 2005, las cuales provocaron desbordamientos locales de esta quebrada.

16.4.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica

De la información señalada para el Proyecto, se utilizaron más especialmente:

Plano en papel Quebradas principales del Municipio Libertador. Alcaldía de Caracas, año 1.995, hoja 03 (escala 1:10.000) y hoja F-43, F-42, E-43 (escala 1:5.000)
Planos de construcción del Metro de Caracas, de 1.975, Tramo Catia-Silencio, Proyecto de reubicación de la quebrada Caroata.

16.4.2.4 Estudios previos

La Quebrada Caroata no ha sido incluida en estudios previos de inundaciones y aludes torrenciales.

16.4.3 Hidrografía

La subcuenca es una de las más grandes del Proyecto, presentando una extensión aproximada de 13,39 km^2. Su cota más elevada se encuentra en el Cerro el Arbolito en El Ávila (1550 m.s.n.m.), en donde nace la quebrada Agua Salud, uno de los afluentes principales de la quebrada Caroata, hasta llegar a la desembocadura en el Río Guaire a unos 869,5 m.s.n.m.

El cauce de la quebrada Caroata tiene una longitud aproximada de 5,4 km y una pendiente promedio de 1,82 %.

Sus características principales se resumen en la Tabla 16.6.

Área de la cuenca (km^2)	Vegetada: 0,65 (4,86%)	Total:13,39
	Urbana: 12,74 (95,14%)	
Longitud del cauce principal (km)	En área extra-urbana: 0 (0%)	Total: 5,4
	En área urbana: 5,4 (100%)	
Cotas (m.s.n.m.)	Máxima: 1550	
	Mínima (confluencia con el río Guaire): 870	
Pendiente del cauce principal (%)	En área extra-urbana: -	Promedio:1,82
	En área urbana: 1,82	

Tabla 16.6 Caroata. Características de la subcuenca

La Figura 16.44 presenta el perfil longitudinal del cauce en estudio y de dos de sus principales afluentes, a partir de la confluencia con el Río Guaire.

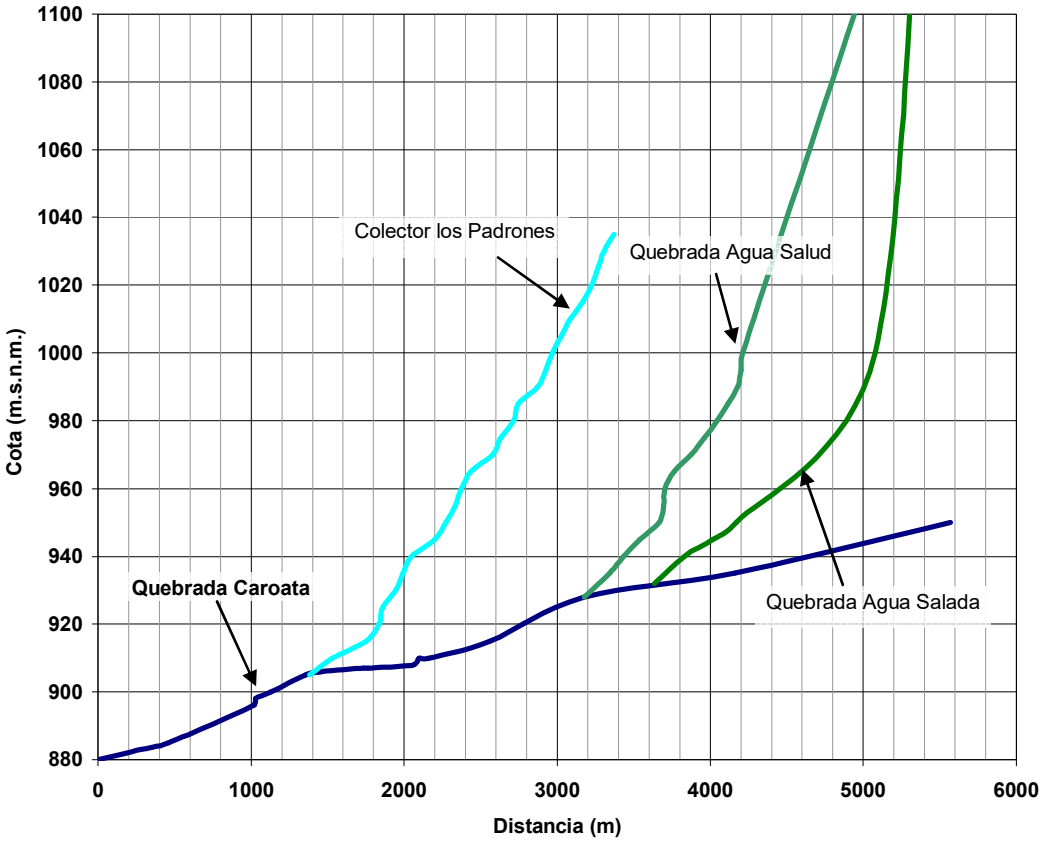


Figura 16.44 Caroata. Perfil Longitudinal

16.4.4 Usos del suelo

La subcuenca presenta un desarrollo urbano en casi toda su extensión, con una diversidad importante de tipos de usos del suelo: zonas residenciales formales uni y multifamiliares (23 de Enero, Catia, el Silencio, etc.), zonas informales (al norte de la Ada Sucre),zonas industriales (Ciudad Industrial), zonas comerciales (Quinta Crespo, Centro de Caracas, etc.), zonas de oficina y de administración pública (Centro).-*/

Incluye además un área vegetada perteneciente al Parque Nacional El Avila, desde donde drenan los afluentes más importantes de la quebrada, Agua Salud y Agua Salada.

La densidad poblacional presente en la subcuenca es variada. Densidad alta en zonas tales como el 23 de Enero, densidad media en la parte correspondiente al centro de la Ciudad y una densidad baja en la zona vieja de Catia.

En su curso hacia su desembocadura en el Guaire, la Quebrada atraviesa la urbanización Nueva Caracas, Los Flores, Catia, un sector de la urbanización 23 de Enero, Caño Amarillo, el Silencio y Quinta Crespo. Existen zonas comerciales y centros educacionales, así como sedes del Poder público como El Palacio de Miraflores, sedes de ministerios y organismos gubernamentales.

La subcuenca presenta algunos ejes viales importantes: Avenida Baralt, Avenida Sucre y la Autopista Caracas-La Guaira, la cual cruza el primer tramo embaulado de la quebrada Caroata luego del túnel La Planicie. Un sector importante del casco central de la ciudad, donde se encuentra la Plaza Bolívar y las sedes de la Alcaldía Mayor y de la Alcaldía del Municipio Libertador es contiguo, pero no pertenece a la subcuenca en condiciones normales.

Dentro de la cuenca se encuentran zonas de desarrollo no controlado entre las cuales se pueden destacar como las más importantes los barrios Manicomio, El Polvorín, Lídice, Los Frailes, Propatria, Cúpira.

16.4.5 Red de drenaje pluvial

Dentro de la subcuenca se puede considerar la propia quebrada como el colector principal de drenaje, en el cual descargan otros colectores naturales o artificiales provenientes de las partes altas

Un esquema de la red drenaje se presenta en la Figura 16.45

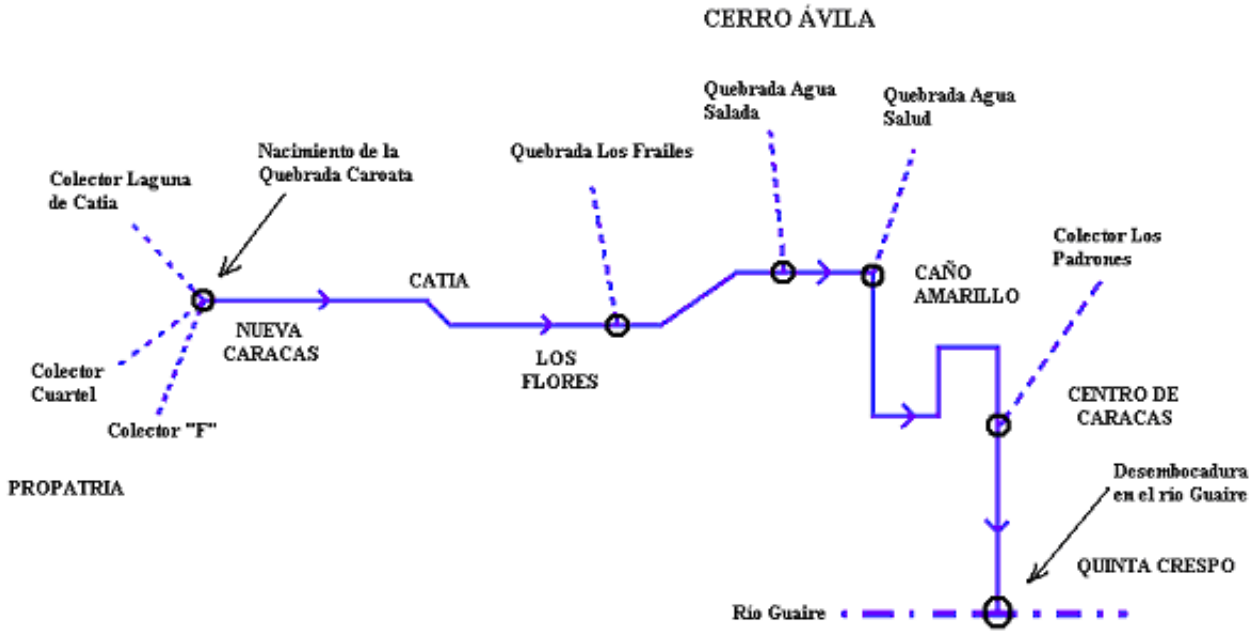


Figura 16.45 Caroata. Esquema de la red de drenaje

La quebrada Caroata nace en Catia y atraviesa en dirección oeste-este las zonas de la Nueva Caracas, Los Flores de Catia, la Ciudad Industrial, Caño Amarillo. Luego toma la dirección norte-sur pasando por el Palacio de Miraflores, El Silencio y sigue paralela a la avenida Baralt, hasta desembocar en el río Guaire. La quebrada está canalizada en toda su extensión,

presentando tramos en donde se encuentra totalmente embaulada. Las características de los distintos tramos se describen a continuación.

- Tramo Calle Argentina – Distribuidor Los Flores

El nacimiento de la quebrada tiene lugar en la calle Argentina de la Nueva Caracas con la unión de tres colectores: Colector Laguna de Catia, Colector Cuartel y Colector "F". A partir de este punto fluye embaulada paralelamente a la calle Panamericana, hasta llegar al distribuidor Los Flores.

- Tramo Distribuidor Los Flores – Calle Real de Los Flores

Desde el Distribuidor Los Flores la quebrada fluye abierta en una canal rectangular, el cual pasa cerca del Parque del Oeste Jóvito Villalba, sigue paralela a la calle Real de Los Flores, atraviesa el barrio la Línea y termina en un nuevo embaulamiento al final de la calle Real. En este tramo descarga la quebrada Los Frailes en la zona del Parque del Oeste (Jóvito Villalba), conducida por un colector de 42" de diámetro desde este punto hasta el barrio Ruperto Lugo. Sirve a Los Frailes, Ruperto Lugo, Cúpira y Altos de Cúpira.

Tramo Calle Real – Estación Caño Amarillo

Al final de la calle Real de Los Flores se encuentra el comienzo de un tramo embaulado de sección rectangular cuyas dimensiones en la entrada son 4,75 m x 6,50 m reduciendo su altura progresivamente hasta llegar a 4,05 m. A 10 metros de la entrada se produce un desnivel de 3 metros aproximadamente. A ambos lados existen colectores cloacales rectangulares de 1,15 m x 0,90 m el derecho y 0,90 m x 0,90 m el izquierdo, los cuales acompañan a la quebrada en todo su recorrido. La quebrada va paralela a la línea del Metro entre las estaciones Agua Salud y Caño Amarillo. En este tramo descargan los principales afluentes de la quebrada. La quebrada Agua Salada descarga entre la entrada del 23 de Enero y la entrada de Los Flores de Catia. Está embaulada por medio de una estructura rectangular de dimensiones 2,10 m x 1,30 m, para pasar por debajo de la avenida Sucre, unos 100 metros en total. Drena toda la zona del Manicomio, Simón Rodríguez y parte de Cúpira.

La cloaca del Cerro Piloto descarga sus aguas en la quebrada Caroata aproximadamente 70 metros aguas abajo de la descarga de la quebrada Agua Salada. Se encuentra embaulada en un cajón rectangular de dimensiones 1,30 m x 1,10 m.

Un poco antes de la subida al Manicomio descarga sus aguas la quebrada Agua Salud, embaulada en un cajón de 2,40 metros de ancho y 1,60 metros de alto. Drena toda la zona de Lídice y Altos de Lídice y parte del Polvorín. Solo está embaulada en su paso de la avenida Sucre.

Tramo Estación Caño Amarillo – Palacio de Miraflores

Aproximadamente unos 200 metros aguas arriba de la estación Caño Amarillo termina el embaulamiento y desde ahí la quebrada fluye canalizada hasta la zona donde se encuentra la Quinta Santa Inés en donde comienza un pequeño tramo embaulado de aproximadamente 70 metros que obliga a la quebrada a realizar una fuerte desviación de casi 90 grados, luego

vuelve a ser abierta y llega hasta las inmediaciones del Palacio de Miraflores a través de un canal rectangular de 5 metros de ancho (Figura 5.10) hasta llegar a otro embaulamiento.

Tramo Palacio de Miraflores – Plaza Miranda

Cerca del Palacio de Miraflores la quebrada Caroata entra nuevamente en un embaulamiento el cual pasa debajo de la Plaza O´Leary y recibe el aporte del colector Los Padrones a la altura de la esquina de Aserraderos. Luego continúa hasta llegar a la parte sur de la Plaza Miranda en donde termina el embaulamiento cerca de uno de los edificios sedes de la Alcaldía Libertador. Las dimensiones del embaulamiento están por determinarse.

Tramo Plaza Miranda – Río Guaire

Al terminar el embaulamiento en la Plaza Miranda la quebrada comienza su último tramo en un canal rectangular. En su recorrido hacia el Guaire se encuentra con el puente Junín (Figura 5.8) cuya altura es de 4,00 m y en donde el ancho del cauce es de 6,50 m, el puente Arauca (Figura 5.9) que tiene 2,10 m de altura, el cual representa un punto crítico por su poca altura. El ancho medido del cauce en esta sección es de 7,50 m. El puente Casacoima (Figura 5.6) posee una altura de 3,50 metros aproximadamente y en su sección, la quebrada presenta unos 8 metros de ancho los cuales se mantienen hasta llegar a la desembocadura en el río Guaire. El puente de la Avenida Oeste 20 (Figura 5.5) presenta una altura de 3,20 m y el cauce en su sección tiene 8 m de ancho. Bajo este puente se encuentra un tronco de grandes dimensiones posiblemente arrastrado en algún evento de carácter torrencial anterior, el cual representa una importante obstrucción y puede traer problemas al momento de presentarse una crecida significativa de la quebrada (Figura 5.11).

Un poco más abajo del puente Casacoima descargan los colectores marginales a la quebrada, debido a que nunca se realizó su empotramiento a los marginales del Río Guaire. Sin embargo llevan poca agua, lo que significa que han estado aliviando a la quebrada aguas arriba. Las dimensiones del colector marginal izquierdo en su descarga en la quebrada Caroata son 1,00 m. de ancho por 1,50 m. de alto (ver Figura 5.7) y las dimensiones del colector marginal derecho son 1,00 x 1,00 m.

Información gráfica adicional

Se presenta a continuación una información gráfica adicional sobre la quebrada y sus sitios más notables.

Figura 16.46 Caroata. Vista de la desembocadura en el río Guaire.

Figura 16.47 Caroata. Vista de la quebrada poco antes de su descarga al Río Guaire.

Figura 16.48 Caroata. Puente Casacoima en Quinta Crespo.

Figura 16.49 Caroata. Escombros en el lecho de la quebrada. Descarga del colector marginal izquierdo

Figura 16.50 Caroata. Puente Junín.

Figura 16.51 Caroata. Puente Arauca

Figura 16.52 Caroata. Vista del curso de la quebrada desde el Viaducto República.

Figura 16.53 Caroata. Tronco de gran tamaño obstruyendo el cauce.

	Tramo	Tipo	Dimensiones base x altura (m)	Pendiente (%)	n	Capacidad (m3/s)
1	Desde calle Panamerican c/c Av. Simón Bolívar	Cajón de Concreto	3.80 x 3.00	1.60	0.025	64
2	Desde abajo de la autopista hasta la entrada al embaulamiento en Los Flores	Canal rectangular de concreto con colectores marginales	7.00 x 6.40	0.70	0.030	215
3	Paralelo a la Av. Sucre debajo de los rieles del metro, en este tramo descargan Agua Salud y Agua Salada	Cajón de Concreto	6.50 x 5.00	0.75	0.030	228
4	Canalización que pasa al lado del Metro de Caño Amarillo	Canal rectangular de concreto con colectores marginales y taludes en tierra	4.50 x 3.00	1.10	0.030	56 (sin incluir los taludes)
5	Corto embaulamiento en un cruce de la quebrada de 90º debajo del Viaducto República	Cajón de Concreto con colectores marginales y taludes en tierra	8.00 x 5.00	1.10	0.030	240
6	Canalización que pasa al lado del estadio de Miraflores y entra en un embaulamiento después del Viaducto Republica, ya dentro de los espacios del Palacio	Canal rectangular de concreto con colectores marginales y taludes en tierra	5.00 x 2.50	1.50 – 0.80	0.030	50 (sin incluir los taludes)
7	Embaulamiento que pasa por debajo de la Plaza O´Leary y captando la descarga del colector Los Padrones	Cajón de Concreto	3.50 x 4.30	1.0	0.030	92
8	Canal abierto desde las cercanias a la Plaza Miranda hasta la descarga en el Río Guaire	Canal rectangular de concreto con colectores marginales	Desde 6.50 x 4.00 hasta 8.00 x 3.00	1.10	0.030	130

Fig 16.54- Resumen de las características de los tramos de la Qda Caroata

	Tramo	Dimensiones	Pendiente (%)	n	Capacidad (m3/s)
1	Av. Simón Bolívar, Tramo 1	2.00 x 2.00	1.00	0.025	12
2	Av. Simón Bolívar, Tramo 2	2.30 x 2.50	1.50	0.025	24
3	Av. El Cuartel, Tramo 1	0.95 x 1.00	2.00	0.025	2.5
4	Av. El Cuartel, Tramo 2	0.80 x 1.00	2.00	0.025	2
5	Av. El Cuartel, Tramo 3	2.20 x 2.20	1.50	0.025	20

6	Esq. Telecuba por la Av. Simón Bolívar	4.50 x 2.60	1.00	0.025	53

Fig 16.55- Resumen de las características de los drenajes

16.4.6 Antecedentes de inundaciones

1. Noviembre de 1996: luego de intensas lluvias en la cabecera de la quebrada Agua Salada, se produjo una crecida que ocasionó el bloqueo del Puente Sta. Bárbara. El agua comenzó a pasar por encima del puente y destruyó varias casas del sector. (*El Nacional,* 20 de Noviembre de 1996)

2. Junio de 1997: vecinos del sector 2 de la Calle la Línea, ubicada entre la calle Real de Los Flores y la quebrada Caroata, denuncian una serie de daños causados por una crecida de la quebrada a consecuencia de unas lluvias torrenciales sucedidas el mismo año. La reparación de dichos daños implicó el desvío de la quebrada hacia otros colectores. (*El Nacional*, 1° de Junio de 1997)

3. Diciembre de 1999: La quebrada de Agua Salud bajó con tanta fuerza la madrugada del día 16 de diciembre que arrasó con 70 viviendas, afectó otras 149 y tapió 23 vehículos. En el sector Campo Elías el agua destruyó 49 casas y dejó damnificados a 250 vecinos. Perros entrenados buscaban víctimas enterradas. El lodo tapó la primera planta de las casas y la planta baja de los bloques del INAVI; solo sobresalía el techo de algunos vehículos. En la prensa del 22 de Diciembre se informa que desde la entrada hasta el punto mas alto de la cuenca, se afectaron mas de 1200 viviendas y casi 400 están a punto de derrumbarse en los sectores Campo Elías y Redoma a Bosque. (www.pnud.org.ve/archivo/documentos/desastres_naturales/lluvias/Efectos)

4. Agosto de 2001. Se denuncia ante la Alcaldía del Municipio Libertador el deterioro del embaulamiento de la quebrada Caroata entre las esquinas de Puente Nuevo y Puerto Escondido, en la parroquia San Juan, por causa de torrenciales aguaceros registrados el domingo 19 de agosto del mismo año. (*El Nacional*, 7 de Diciembre del 2001)

5. Año 2002: intensos aguaceros provocaron una crecida de la quebrada Caroata. Vecinos del sector cercanos al Puente Junín reportaron que el agua alcanzó alturas considerables, llegando a tocar el tablero del puente, aunque no se produjo un desbordamiento. (Comunicación personal, vecinos de la zona)

6. Febrero 2005. Entre los días 7 y 8 de febrero del presente año, debido a una vaguada, ocurrió una fuerte precipitación en todo el valle de caracas, la cual trajo consigo innumerables problemas entre los que destacan el desbordamiento del río Guaire en varios puntos y el desbordamiento de la quebrada Caroata, la segunda a lo largo del cauce principal, especialmente en los sectores ubicados entre la plaza Francisco de Miranda hasta su desembocadura al río Guaire. Este evento es reseñado en detalle a continuación a partir de la

información recopilada en una inspección de campo realizada por personal del IMF y de FUNVISIS el día 12 de febrero de 2005.

El recorrido de esta quebrada fue realizado en la parte urbana, visitando los principales sitios de inundación o de desbordamiento, lo cual fue mayormente en la zona urbana. En cuanto a la parte correspondiente a las faldas del Ávila, principalmente lo que viene a ser las cabeceras de la quebrada Agua Salud, se hizo una inspección visual desde un punto alto de la cuenca ubicado por las cercanías al Hospital de El Lídice y se interrogó a los habitantes del sector. Como una información coincidente a la quebrada Catuche, el pico de la crecida de la quebrada en los distintos puntos estuvo alrededor de las 3 de la tarde. A continuación se presentan las conclusiones más importantes de la visita a esta quebrada y se expondrán en el orden de los sitios visitados:

Cabeceras

Al igual que en la quebrada Catuche, no se observaron evidencias de inestabilidades en los taludes.

En las barriadas cercanas no se observaron viviendas caídas o alguna vivienda perdida, motivado a inundación o a deslizamiento.

Según testimonios de los pobladores, no hubo ningún desastre en las zonas cercanas a la cabecera, ni ningún estado de alarma

Zona Urbana

Los principales sitios afectados fueron: Casco Central de Catia, Los Flores de Catia, Caño Amarillo, centro de Caracas y Quinta Crespo, a continuación se resumirán los acontecimientos en cada uno de los sitios:

Casco Central de Catia: según testimonios de los habitantes de la zona, la principal zona afectada correspondió a la calle Panamericana, en donde se deduce, de acuerdo a los testimonios, que los niveles alcanzaron hasta 1 metro de profundidad. En esta calle ocurre con mucha frecuencia eventos similares, ya que por debajo de ella pasa el colector principal de lo que más adelante se convierte en la quebrada Caroata, por ser el punto más bajo y por ser confluencia de colectores importantes como lo son los que vienen de la avenida Simón Bolívar, de la calle El Cuartel, calle La Laguna y de Los Magallanes.

Los Flores de Catia: fue uno de los sectores más afectados por las lluvias. La principal zona afectada corresponde a la redoma de Los Flores, en donde se concentran las aguas provenientes del 23 de Enero y de todo el sector de Los Flores, ya que aquí es el punto más bajo del sector. Se sobrepasó 1.50 metro de agua en la calle real de Los Flores, llegando hasta el techo de algunos vehículos. Según testimonios de los habitantes, en las cercanías de la entrada de la alcantarilla construida por el Metro de Caracas, el nivel alcanzado no fue alto, así como tampoco existían manchas en las paredes que indicasen un desbordamiento en ese sector, por lo que se presume que el desbordamiento no fue causado por obstrucción de la alcantarilla, sino mas bien se supone que fue por obstrucción del puente que se dirige a la 2da. Calle Industrial.

Sector Caño Amarillo: la quebrada se desbordó en este sector debido a la falta de capacidad de conducción del embaulamiento que pasa por debajo de la escuela de artes. La quebrada inundó un estacionamiento ubicado en el sector y afectó a varias viviendas de la zona. En el paso de la quebrada por retornar a su cauce, entre las estructuras

afectadas está una comandancia de la Policía Metropolitana, en donde los policías tuvieron que subirse al techo de la estructura para no ser arrastrados por la corriente.
Centro de Caracas: hubo varios sectores afectados por esta quebrada. El primero de los sitios afectados fue el edificio de El Nacional, en donde por el alto nivel alcanzado por la quebrada, una pared de bloques se rompió inundando el estacionamiento. Más aguas abajo, en un estacionamiento ubicado entre la esquina Pescador y Puente Junín, la quebrada se desbordó de la misma manera que en El Nacional y derribó una pared de bloques inundando el estacionamiento público, hasta el punto de hacer flotar a algunos vehículos estacionados. En unas residencias ubicadas en la otra orilla, la quebrada entró por poco tiempo, por lo que no causó graves daños a los bienes allí ubicados. Al parecer, la quebrada se desbordó en esa zona porque la altura del puente ubicado al lado de la residencia (puente Arauca) no fue suficiente para el paso del agua y este se represó.
Quinta Crespo: la quebrada volvió a desbordarse aguas abajo, al sobrepasar el nivel del tablero del puente Casacoima e inundó el estacionamiento del edificio Santa Inés ubicado al lado del puente a un nivel inferior al mismo justo en las cercanías al mercado de Quinta Crespo. El agua inundó también todo el mercado, el cual se encuentra a un nivel inferior al de la calle. Por último la quebrada sobrepasó el nivel del puente de la calle Oeste 20 (calle 500), desbordándose en el estacionamiento de una fábrica de alimentos aledaña pero alcanzando un nivel muy bajo, según testimonios de algunos vigilantes, aproximadamente 20 cms sobre el nivel del estacionamiento. .

A continuación se muestran las fotos correspondientes al recorrido y otras tomadas en el mismo momento del desastre

Figura 16.56. En esta foto se aprecia la cuenca alta de la quebrada Agua Salud, en el sector El Lídice y se ve que no hay ninguna evidencia clara de inestabilidad de talud, ni de deslizamientos en las viviendas existentes.

Figura 16.57.
Sector Los Flores de Catia, aquí se evidencia el nivel alcanzado en el desbordamiento de la quebrada Caroata, apreciándose como el agua cubre un poco mas de la mitad de las puertas de las viviendas y se extiende a lo largo de la calle real de Los Flores. Esta foto fue tomada en un edificio ubicado en la plaza en dirección oeste, la quebrada se encontraría ubicada detrás de las casas del lado derecho . Del lado izquierdo está la plaza.

Figura 16.58
Foto tomada desde el mismo edificio ubicado en la redoma, a la calle Real de Los Flores, pero ahora en sentido este. Se puede apreciar la gran extensión de la inundación y como una muestra de la profundidad alcanzada esta encerrado en un círculo el lecho de un vehículo familiar, lo cual indica un nivel de 1.5 metros aproximadamente

Figura 16.59.
Foto tomada desde el mismo edificio en la redoma de Los Flores, en donde se aprecia que las personas presentes (marcadas por el círculo) tuvieron que subirse a la redoma para poder escapar de la inundación. Se logran ver los vehículos tapados casi completamente por las aguas de la quebrada

Figura 16.60.
Foto tomada desde la entrada del embaulamiento de la quebrada Caroata hacia aguas arriba, punto ubicado al final de la calle Real de Los Flores. Aquí no se encontraron evidencias, ni marcas en las paredes que indiquen altos niveles de la quebrada en esta zona,. Según los habitantes del sector, no se alcanzaron altos niveles por estos sitios.

Figura 16.61.
Entrada del embaulamiento de Caño Amarillo, con la línea azul se resalta el nivel de agua alcanzado en la inundación. En las paredes se ven las marcas dejadas por el agua.

Figura 16.62.
Foto tomada en el sitio de inundación en Caño Amarillo. Una trabajadora del sector señala la marca dejada en la pared por el desbordamiento de la quebrada.

En el plano siguiente se muestra la ubicación de las fotos presentadas (figura 6.19) y una mancha de inundación aproximada de acuerdo a la información recabada, tanto por la visualización en campo, como por las fotografías y por los testimonios de las personas aledañas a la zona.

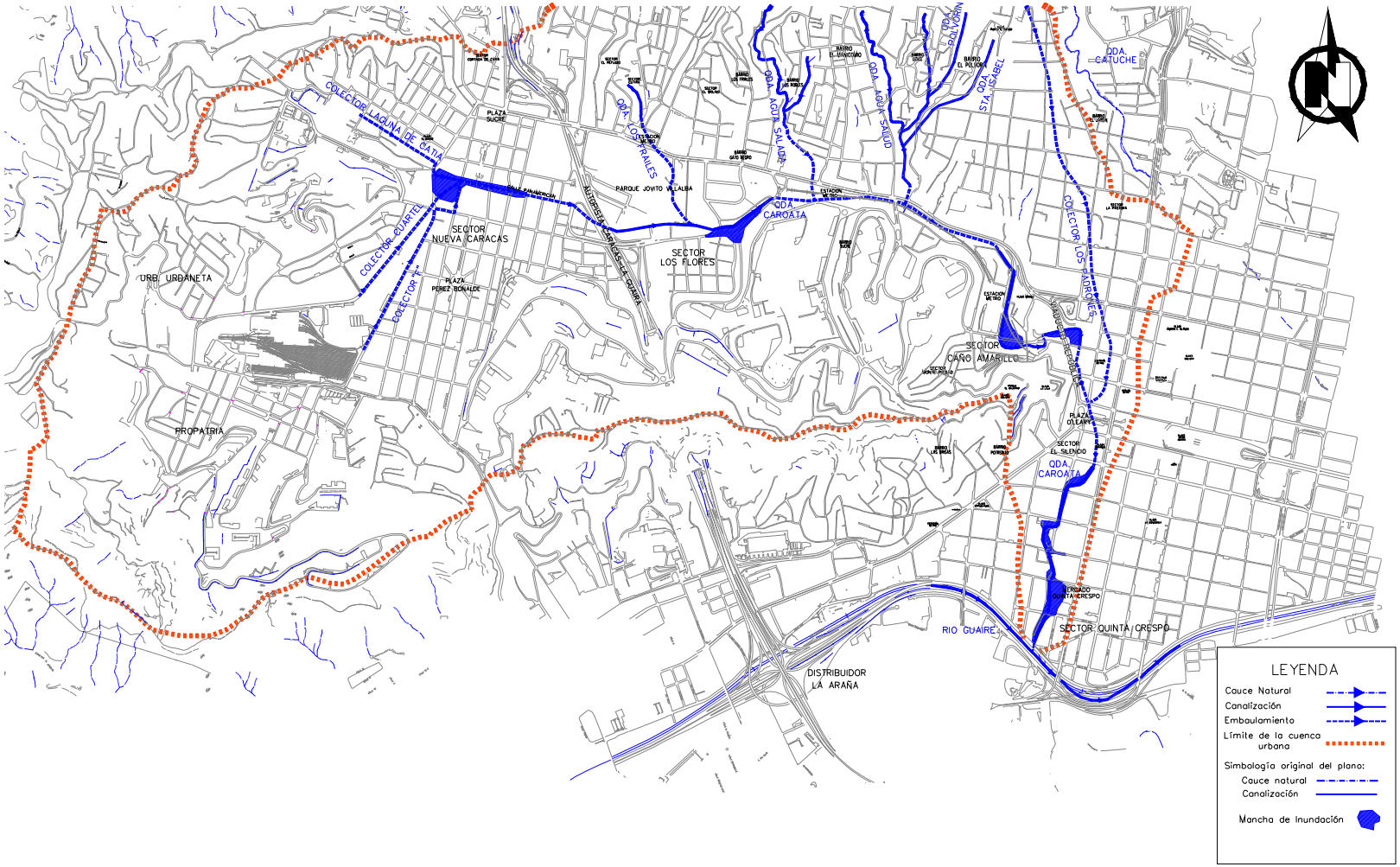


Figura 16.63. Plano indicativo de la inundación generada por el evento del 8 de Febrero 2005.

16.4.7. Resumen de puntos críticos

Se identifican a continuación los puntos considerados como críticos en la subcuenca Caroata:

- Final de la calle Panamericana (Catia).
- Puente sobre la Qda. Caroata de la calle El Centro de Los Flores de Catia.
- Embaulamiento con cruce de 90° cerca de la estación de Metro de Caño Amarillo.
- Embaulamiento a 50 metros del Viaducto República (bóveda Mc Gregor).
- Entrada a embaulamiento en Miraflores.
- Puente Nuevo.
- Puente Junín y zona cercana aguas abajo, debido a los dos cruces en 90° del cauce.
- Puente Arauca.
- Puente Casacoima, Mercado de Quinta Crespo.
- Puente calle Oeste 20 (ultimo puente antes de la desembocadura en el Guaire)

Para finalizar se efectuarán algunos comentarios adicionales acerca del estado del drenaje en la subcuenca:

Se pueden observar en los tramos canalizados con superficie libres escombros de diversos tamaños, gran cantidad de basura arrojada por los vecinos y objetos diversos como colchones, neveras, troncos de gran tamaño, los cuales representan obstrucciones importantes que pueden traer problemas significativos a la hora de una crecida de la quebrada.

Existen problemas graves de conducción de las aguas servidas que terminarán probablemente por llevar a un embaulamiento total de la quebrada.. Los colectores marginales se encuentran fuera de funcionamiento o muy deteriorados por lo cual todas las aguas negras de la hoya drenan directamente al canal central . El marginal izquierdo está obstruido en la calle Panamerican de Catia, un poco más arriba del Hospital Periférico y luego presenta otra obstrucción en Caño Amarillo; el marginal derecho presenta obstrucciones a lo largo de su recorrido, además en varios puntos están rotos.

Muchas de las captaciones, sumideros y rejas recolectoras de agua de lluvia existentes se encuentran totalmente tapadas o fuera de funcionamiento por desechos arrojados a estas y por falta de un mantenimiento adecuado.

La Figura 16.64 muestra la ubicación, en un plano del sitio de estudio, de las imágenes presentadas, así como de los puntos críticos y de los antecedentes de inundaciones.

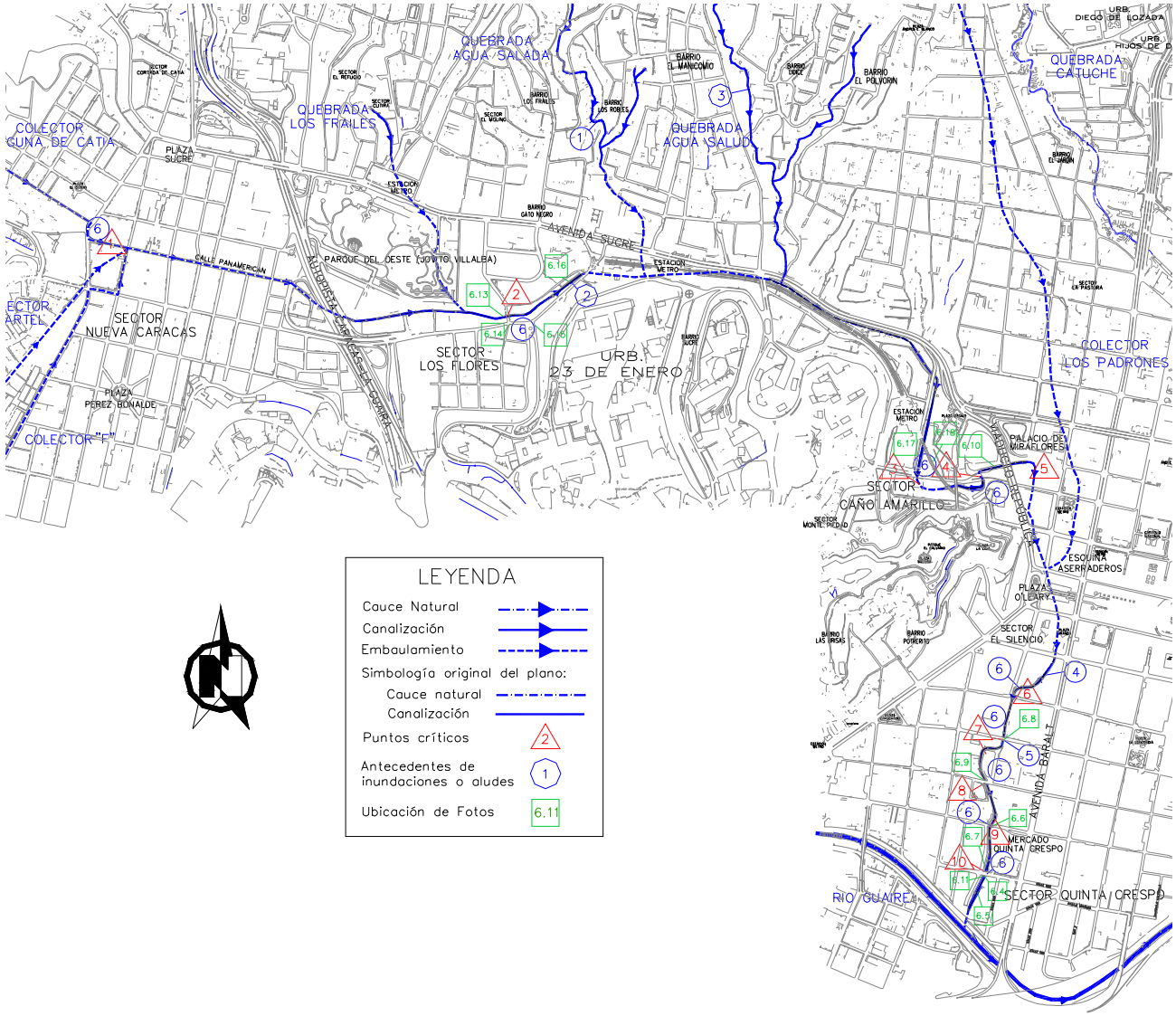


Figura 16.64. Resumen de puntos críticos y antecedentes de inundación

16. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS 1
16.1 QUEBRADA HONDA 1
16.1.1 Ubicación geográfica 1
16.1.2 Información disponible 1
16.1.2.1 Información cartográfica y fotográfica 1
16.1.2.2 Información hidrológica 1
16.1.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica 2
16.1.3 Hidrografía 2
16.1.4 Usos del suelo 3
16.1.5 Red de drenaje pluvial 3
16.1.6 Antecedentes de inundaciones y aludes 6
16.1.7 Resumen de puntos críticos 6
16.2 QUEBRADA CANOAS 8
16.2.1 Ubicación geográfica 8
16.2.2 Información disponible 8
16.2.2.1 Información cartográfica y fotográfica 8
16.2.2.2 Información hidrológica 9
16.2.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica 9
16.2.3 Hidrografía 10
16.2.4 Usos del suelo 11
16.2.5 Red de drenaje pluvial 11
16.3 QUEBRADA LA FLORIDA 19
16.3.1 Ubicación geográfica 19
16.3.2 Información disponible 19
16.3.2.1 Información cartográfica y fotográfica 19
16.3.2.2 Información hidrológica 20
16.3.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica 20
16.3.3 Hidrografía 20
16.3.4 Usos del suelo 21
16.3.5 Red de drenaje pluvial 22
16.3.6 Antecedentes de inundaciones y aludes 35
16.3.7 Resumen de puntos críticos 36
16.4. QUEBRADA CAROATA 38
16.4.1 Ubicación geográfica 38
16.4.2 Información disponible 38
16.4.2.1 Información cartográfica y fotográfica 38
16.4.2.2 Información hidrológica 38
16.4.2.3 Información sobre obras de infraestructura hidráulica 39
16.4.2.4 Estudios previos 39
16.4.3 Hidrografía 39
16.4.4 Usos del suelo 40
16.4.5 Red de drenaje pluvial 41
16.4.6 Antecedentes de inundaciones 49
16.4.7. Resumen de puntos críticos 56

17. ORIENTACIONES Y RECOMENDACIONES PARA MEDIDAS DE PREVENCIÓN

17.1 Los Flujos Torrenciales y sus Medidas de Mitigación

Para elaborar una estrategia adecuada de mitigación de inundaciones y aludes torrenciales se deben reconocer las características particulares que definen a este tipo de flujo. La mayoría de las quebradas que drenan la serranía del Ávila y el valle de Caracas, están constituidas por cursos de agua de régimen torrencial, también llamados torrentes, cuyas características más importantes son las de tener pendientes longitudinales pronunciadas y estar expuestas a crecientes repentinas. Cuando las tormentas son extraordinarias, las crecientes repentinas que se generan van acompañadas usualmente de procesos marcados de erosión, transporte y deposición de sedimentos en el lecho de las mismas. Se distinguen tres partes en un curso torrencial (Figura 18.1): a) la cuenca receptora, donde se forman los flujos y se produce la mayor parte de los materiales de arrastre; b) la garganta, que es la parte estrecha al final de la cuenca receptora, donde predomina el transporte de sedimentos; y c) el abanico aluvial o cono de deyección, un área de pendiente suave a la salida de la montaña donde predomina la sedimentación. En es esta zona donde los aludes torrenciales depositan su carga sólida, dando origen a las inundaciones de sedimentos. Hay que hacer notar que la mayoría de las urbanizaciones del noreste de Caracas, están asentadas sobre los abanicos aluviales de las quebradas que drenan el Macizo Ávila.

Las lluvias prolongadas e intensas en áreas montañosas pueden producir derrumbes y deslizamientos, debido a la saturación de los suelos que reduce su capacidad de resistencia a la fuerza de gravedad. El colapso de estas grandes masas de suelo puede dar origen a los denominados aludes torrenciales, que son flujos con altas concentraciones de sedimentos que se generan en pendientes pronunciadas y que pueden estar conformados por agua, barro, rocas, y grandes restos de vegetación, así como por todo tipo de desperdicios y arrastres de materiales fabricados por el hombre. Los tamaños de los sedimentos arrastrados varían desde micrones (arcillas) hasta varios metros de diámetro (peñones). Se usan también indistintamente los términos “deslaves” o “flujos de barro y escombros” para referirse a este tipo de flujo.

Figura 17.1. Vista aérea de la cuenca del Río San José de Galipán y la población de Macuto en el Estado Vargas, indicando las partes que componen el cauce torrencial.

La seguridad total para protegerse contra aludes torrenciales no existe, se puede sólo mitigar (reducir) el riesgo y asumir el riesgo residual. La reducción de riesgo se busca mediante medidas dirigidas a disminuir tanto la amenaza como la vulnerabilidad. En el pasado se ha buscado actuar principalmente sobre la amenaza, mediante obras destinadas a disminuir la intensidad de los eventos, por lo menos en las áreas pobladas, una solución costosa y de eficiencia limitada, visto la magnitud y el carácter imprevisible de los fenómenos naturales que los originan.

La Figura 17.2 presenta en forma esquemática un enfoque integral de las medidas posibles de prevención y mitigación de inundaciones y torrenciales. Ellas se clasifican usualmente en medidas estructurales y no estructurales. Las primeras se relacionan con las obras civiles para mitigar el impacto de los aludes, y las segundas se refieren a otras acciones dirigidas a disminuir tanto la amenaza como la vulnerabilidad. Estas medidas deben ser aplicadas conjuntamente, en forma integral, a fin de reducir al máximo posible el riesgo de daños por ocurrencia del evento torrencial.

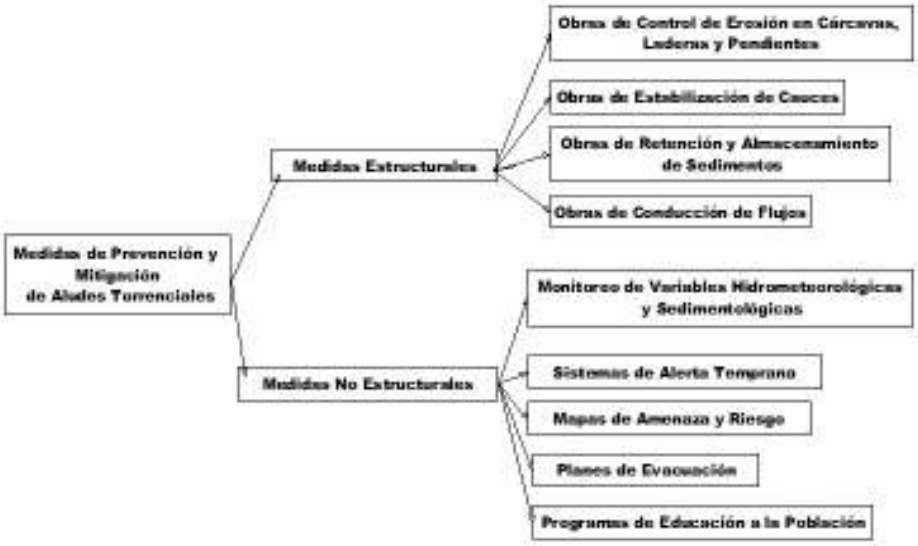


Figura 17.2. Enfoque integral para las medidas de prevención contra aludes torrenciales.

17.2 Las Medidas Estructurales

Las medidas estructurales se basan en la construcción de obras hidráulicas para el control de los flujos y de los sedimentos aportados por los torrentes. Estas obras de control consisten básicamente en: a) obras de control de erosión en cárcavas, laderas y pendientes inestables; b) obras de estabilización de cauces; c) obras de control y retención de sedimentos; y d) obras de conducción de flujos (canalizaciones).

Las obras de control de erosión tienen como objetivo disminuir el aporte de sedimentos en los tramos superiores de la cuenca, mediante pequeñas obras y trabajos de retención y protección de suelos, control de laderas y pendientes, reforestación, enfajinado, y obras de drenaje para

estabilización de taludes. Las obras de estabilización de cauces se refieren a una serie de pequeñas presas escalonadas que se construyen en los tributarios para estabilizar las pendientes de los cauces y laderas, reduciendo la energía del flujo para transportar los sedimentos. Las obras de control y retención de sedimentos consisten en presas para capturar y almacenar los arrastres sólidos, las cuales se construyen usualmente en la garganta del torrente o en sus afluentes principales. También se incluyen en este grupo las lagunas de sedimentación que cumplen el mismo propósito y se construyen en los abanicos aluviales cuando existen espacios suficientes para depositar los sedimentos. Las obras de conducción se utilizan para guiar y conducir los flujos desde las presas o lagunas de almacenamiento hasta un sitio seguro de descarga. Ellas consisten en canalizaciones, diques y bermas, estructuras de caída, y obras de disipación.

Las presas de control de sedimentos pueden ser del tipo cerrado o abierto, también llamadas impermeables o permeables, respectivamente. Ambas cumplen la función de reducir la concentración de sedimentos y la descarga pico de las crecientes. Las presas cerradas (impermeables) interceptan la mayor proporción del material arrastrado, excepto las partículas más finas que pasan cuando las crecientes desbordan la presa. Las presas abiertas (permeables) se construyen con aberturas en el cuerpo de la estructura las cuales pueden ser del tipo ranurado, cuando la abertura alcanza la cresta (presas ranuradas) o del tipo de ventanas, cuando no la alcanza (presas con ventanas). En esta forma se permite que parte del sedimento pase a través de la presa. Estas estructuras pueden mantener intacta su capacidad de almacenamiento por periodos mas largos de tiempo, además de reducir el impacto erosivo sobre los tramos aguas abajo ya que el caudal sólido no es interrumpido bruscamente. Si las aberturas son lo suficientemente grandes, los eventos ordinarios (crecientes anuales) no deberían reducir su capacidad de almacenamiento, dejándola intacta para las grandes crecientes. Dos ejemplos de este tipo de presa abierta se muestran en la Figura 17.3.

Figura 17.3. Presa abierta ranurada en Austria (izquierda), construida en concreto armado, y presa abierta con ventanas en China (derecha) construida con concreto ciclópeo.

La selección del tipo de presa a usar para el control de los sedimentos depende en buena medida del tipo de flujo o alud torrencial que se pueda generar en la cuenca. Por ejemplo, los flujos de detritos (preponderancia de material grueso) exigen la construcción de presas abiertas ranuradas en el cañón del torrente para remover los grandes clastos de la matriz del flujo. Los flujos de barros (preponderancia de material fino) por otro lado requieren de la construcción de presas abiertas con ventanas o de lagunas de sedimentación para almacenar los arrastres sólidos y reducir las concentraciones del flujo.

17.3 Las Medidas No-Estructurales

El enfoque moderno de la prevención busca actuar en primer lugar sobre la vulnerabilidad, reduciendo al máximo la exposición al peligro, mediante la regulación del uso del suelo en las áreas definidas como amenazadas, llegando eventualmente a la prohibición de nuevas construcciones en zonas de amenaza alta y a la reubicación de las viviendas y estructuras existentes. Se evita por otra parte la presencia de las personas en las zonas peligrosas en el momento que se produzca un evento adverso, gracias a los sistemas de alerta temprana.

En caso que no se puedan reubicar las edificaciones existentes en zonas de amenaza alta o que se estime posible la construcción de edificaciones nuevas en zonas de amenaza media, se buscará disminuir la vulnerabilidad física de las edificaciones, mediante la formulación de normas de construcción o de acondicionamiento de edificaciones.

Todas estas medidas deberán acompañarse por el fortalecimiento de la comunidad y de los organismos involucrados frente al riesgo.

Las medidas no estructurales se basan entonces en las siguientes estrategias: a) instrumentación de sistemas de monitoreo hidrometeorológico en la cuenca; b) implementación de sistemas de alerta temprana para dar aviso a la población; c) elaboración de mapas de amenaza y riesgo; d) elaboración de planes de contingencia y evacuación de la población; y e) ejecución de programas de educación a las comunidades, que conlleven al desarrollo de una cultura de prevención para disminuir los efectos de las amenazas naturales.

Para que se pueda instrumentar el sistema de alerta temprana se requiere que las estaciones de monitoreo hidrometeorológico sean telemétricas, es decir que transmitan información en tiempo real, a intervalos regulares (cada 5 o 10 minutos, por ejemplo) a un sistema de control central (centro de procesamiento) el cual debe encargarse de dar la señal de alerta a los organismos competentes. En cuencas pequeñas la variable más importante a monitorear es la precipitación o cantidad de lluvia, mientras que en cuencas grandes esa información debe complementarse con las mediciones del nivel del agua en los ríos. La implementación de un sistema de alerta temprana requiere también de la definición de los umbrales de lluvia o valores críticos que pueden generar aludes torrenciales

17.4 Las Experiencias de Vargas

A manera de ilustración, en este capitulo se discute brevemente el desempeño de las presas que fueron construidas para el control de sedimentos en el Estado Vargas, a raíz de los deslaves de 1999. Para Enero del 2005 se habían construido 20 presas repartidas entre las cuencas de Curucutí, Guanape, Piedra Azul, Dos Comadres, Osorio, El Cojo, Alcantarilla, San José de Galipán (Macuto), Camurí Chico y Anare. En la Figura 17.4 se muestran fotografías de 4 presas que tipifican el tipo de obra que se esta utilizando en Vargas para el control de los aludes torrenciales. Estas presas son:

a) Presa abierta ranurada construida de concreto armado en la Quebrada Guanape
b) Presa abierta ranurada construida de gaviones en la quebrada El Cojo
c) Presa abierta con ventanas construida de gaviones en el río Camurí Chico
d) Presa cerrada construida de gaviones en el Río San José de Galipán

La primera presa que se construyó en el Estado Vargas después de la tragedia fue la presa de Guanape, una presa ranurada de concreto armado de 4,5 m de altura, la cual se terminó de construir en Mayo del 2001. La secuencia de fotos de la Figura 17.5 muestra la evolución en el tiempo del proceso de sedimentación de la presa. A pesar de ser una presa abierta, la tormenta del 3 de Diciembre del 2001 (47 mm de lluvia en 2 horas con un periodo de retorno estimado de 2.5 años) la llenó completamente de sedimentos, debido a la obstrucción producida por los arrastres vegetales y troncos de árboles (Figura 17.5b y 17.5c). Sin embargo los flujos extraordinarios que ocurrieron del 7 al 10 de Febrero del 2005, los cuales fueron generados por una lluvia acumulada de 432 mm en 4 días (medida en la estación Macuto), erosionaron y removieron una buena parte de los sedimentos y restos vegetales atrapados en la presa. Estos pasaron a través de las ranuras y se acumularon entre el dique y el contradique, elevando el lecho del cauce del tramo aguas abajo en unos 3 m aproximadamente (Figura 17.5d).

La presa de El Cojo es una presa abierta de 4 m de altura del tipo ranurada con aberturas de 1 m de ancho, construida en gaviones. La obra dispone de un contradique aguas abajo y su construcción fue finalizada en Octubre del 2002. La tormenta de Febrero del 2005 colmató casi totalmente con sedimentos gruesos el vaso de la presa, sobresaliendo peñones de más de 1 m de diámetro. La Figura 17.6 muestra una vista del cuerpo de la presa después de su construcción y otra vista de la acumulación de sedimentos después de la tormenta de Febrero 2005.

La presa de Camurí Chico es también una presa abierta de 6 m de altura, hecha en gaviones, y cuya construcción quedó inconclusa. El diseño contemplaba una estructura metálica en su parte central, para permitir el acceso de maquinaria con fines de mantenimiento. Por razones presupuestarias la obra no pudo terminarse y se dejó la abertura central que se observa en la Figura 17.7c. La presa esta provista de ventanas de 4 m de altura por 1 m de ancho para dejar pasar los sedimentos finos. La presa presenta un ligero grado de sedimentación. Se observa una acumulación de sedimentos gruesos en las márgenes aguas arriba y aguas abajo de la presa, sin embargo en la parte central de la sección ocupada por la abertura mayor, el material fue activamente removido (Figura 17.7). La presa presenta daños por impactos de peñones producidos durante la crecida de Febrero del 2005

La presa de Macuto es una presa cerrada de gaviones de 7 m de altura y se terminó de construir en Marzo del 2003. La Figura 17.8 muestra los perfiles longitudinales del lecho medidos en diferentes fechas aguas arriba de la presa, indicando el proceso de sedimentación que ocurrió en el cauce. A pesar de no haberse producido tormentas significativas en la cuenca en el lapso de tiempo comprendido entre Marzo 2003 y Enero 2005, la presa se sedimentó casi totalmente en esos 2 años. Esto es atribuible a la ausencia de ventanas o aberturas para dejar pasar los flujos ordinarios y su carga de sedimentos. Observaciones hechas en Enero del 2005 mostraban que el nivel del lecho, conformado mayormente por material arenoso, limos y gravas, estaba a tan solo 0,75 m de alcanzar el tope de la cresta de la estructura (Figura 17.8a).

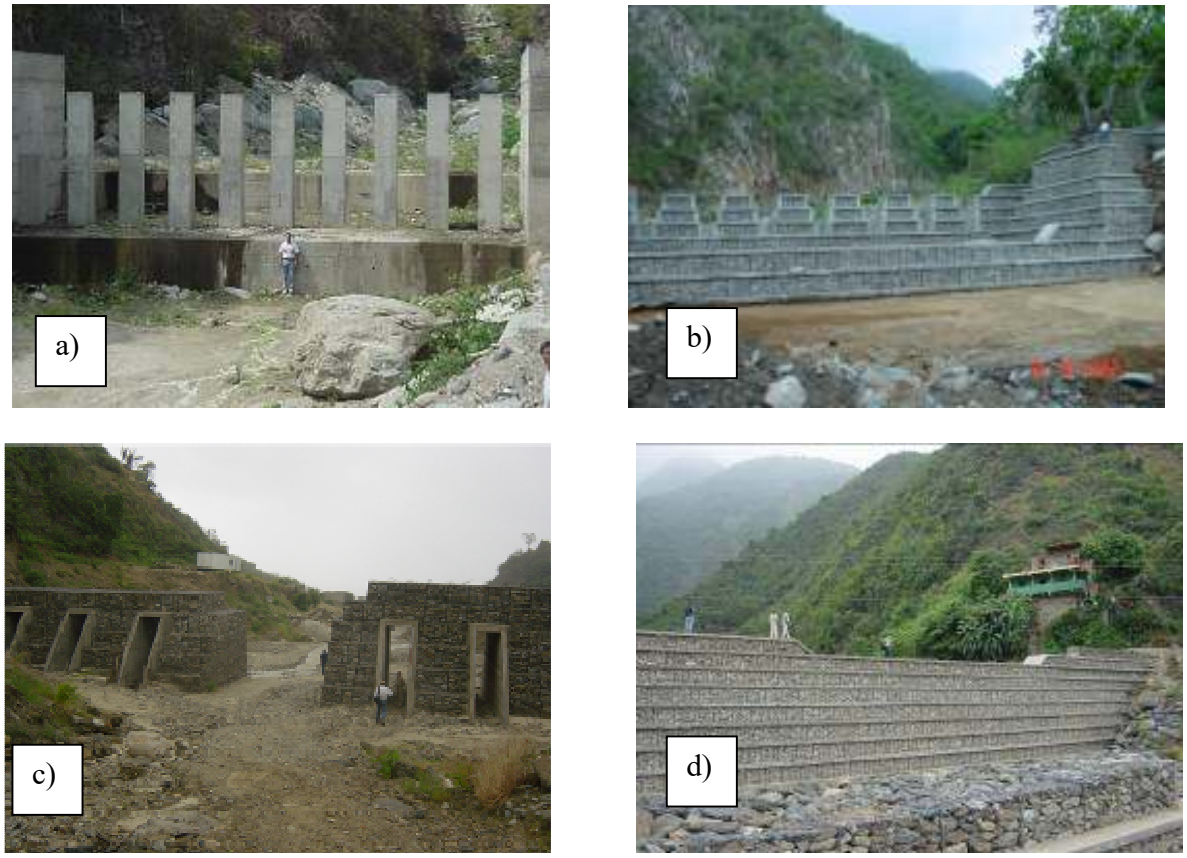


Figura 17.4. Ejemplos de presas de retención de sedimentos construidas en el Estado Vargas (vistas desde agua abajo): a) presa abierta ranurada en Guanape; b) presa abierta ranurada en El Cojo; c) presa abierta con ventanas en Camurí Chico; y d) presa cerrada en San José de Galipán (Macuto).

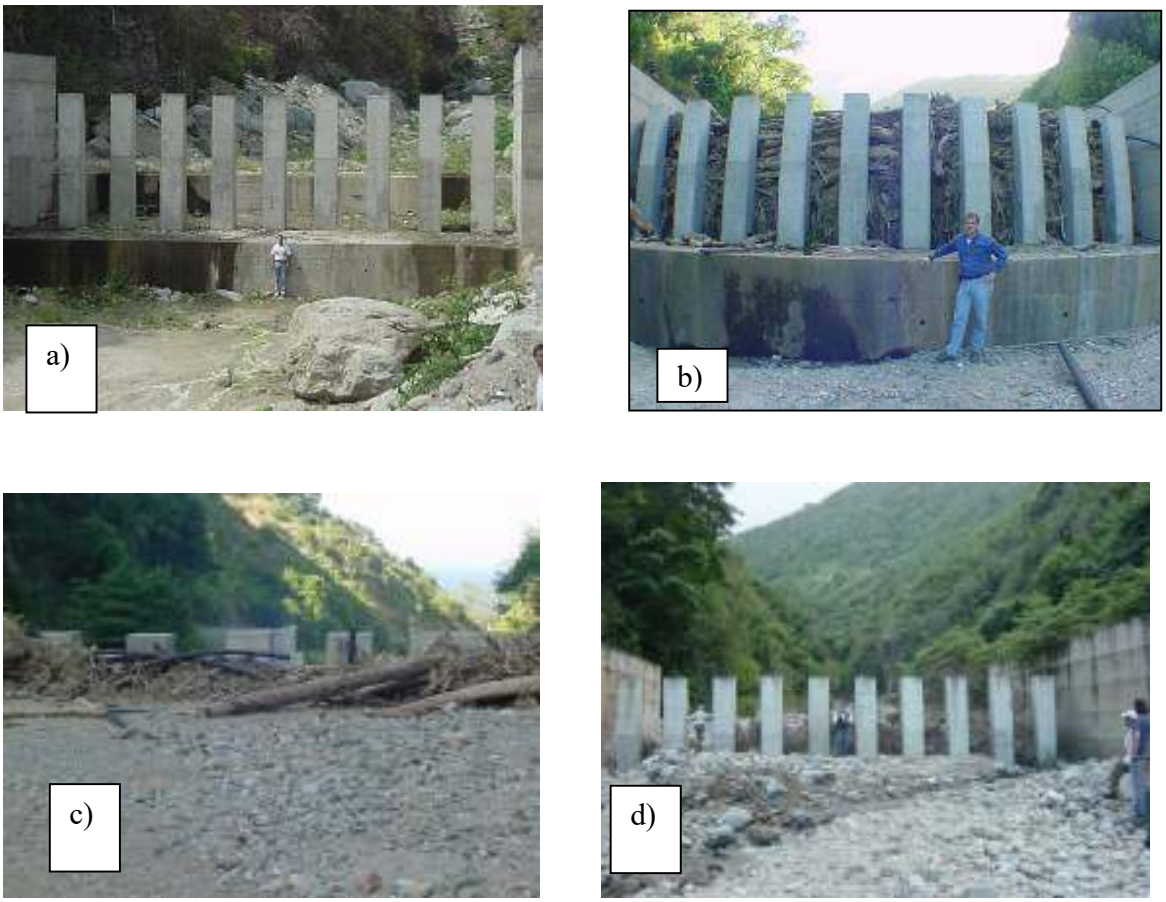


Figura 17.5. Presa abierta ranurada en la Quebrada Guanape: a) después de finalizada la construcción en Mayo 2001; b) después de la creciente de Diciembre 2001; c) vista del vaso sedimentado en Diciembre 2001; y d) después de la creciente de Febrero 2005.

Figura 17.6. Presa abierta ranurada en el Río El Cojo: a) vista frontal después de su construcción en Octubre 2002; b) vista de la acumulación de sedimentos gruesos aguas arriba del dique.

Figura 17.7. Presa abierta con ventanas en el Río Camurí Chico después de la creciente de Febrero 2005: a) vista desde aguas abajo; b) vista lateral del grado de sedimentación parcial y daños en el muro de engavionado.

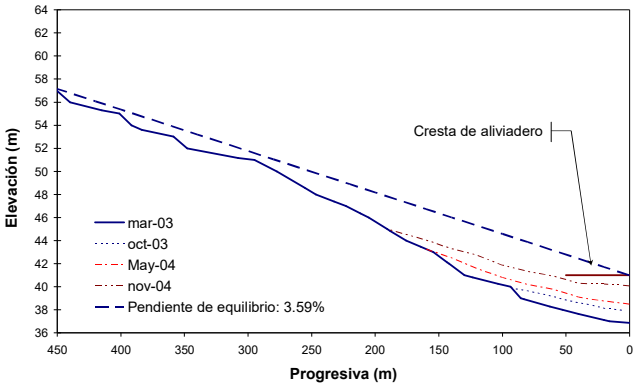


Figura 17.8 Presa cerrada de Macuto sobre el Río San José de Galipan, indicándose el nivel de acumulación de sedimentos para Enero del 2005 (izquierda) y la evolución en el tiempo del perfil longitudinal del lecho (derecha).

La conclusión que se desprende de las consideraciones anteriores, es que debido al gran potencial de producción de sedimentos de las cuencas, las presas que se han construido en el Estado Vargas se están sedimentando rápidamente, y que por no tener una capacidad adecuada de almacenamiento van a quedar fuera de servicio en un periodo corto de tiempo. Esto se acrecienta por la ausencia de ventanas o conductos de salida en algunas de las presas que no permiten el paso de los sedimentos transportados por las crecientes ordinarias.

17.5 Análisis de Propuestas Existentes en el Área de Estudio

17.5.1 Propuesta de JICA

En el marco de su Estudio sobre el Plan Básico de Prevención de Desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas, la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) ha propuesto a nivel conceptual un conjunto de obras de control de los flujos torrenciales de las quebradas nacidas en el Ávila. Se presentan a continuación algunos elementos de la propuesta.

- *Escenario de diseño*

Las obras se diseñaron originalmente para el siguiente escenario:

- la precipitación causante tiene un periodo de retorno Tr=100 años
- el alud torrencial asociado a esta precipitación se estima según una metodología expuesta en el estudio, a partir de la cantidad de sedimentos transportable y de la cantidad disponible en la cuenca. Según JICA la magnitud resultante es similar a la del evento de 1999

A raíz del estudio de los aspectos económicos, JICA propuso luego en la fase final del estudio la construcción de obras diseñadas para precipitaciones de Tr=25 años y presentó una segunda versión de las obras.

- *Tipo y combinaciones de presas*

JICA plantea en principio tanto el uso de presas abiertas como de presas cerradas, ubicadas solas o en serie (según el tamaño de la cuenca). Sin embargo su propuesta final incluyó solamente 2 presas cerradas.

- *Características de una presa-tipo*

Una presa-tipo fue diseñada, para establecer de manera preliminar el número y el costo de las presas necesarias. Sus características fueron las siguientes

- presa de concreto
- altura menor de 15 m
- altura efectiva con 2m menos que la altura total

- *Capacidad de retención*

Las presas ubicadas sobre una misma quebrada deben retener en conjunto la totalidad de los sedimentos del evento de diseño

Con estas orientaciones, JICA propone presas de retención de sedimentos para 42 de las 47 subcuencas existentes arriba de la Avenida Boyacá, muchas de ellas con varias presas en serie (las cuencas 1, 3, 26, 32, y 43 no tienen propuesta). De las 86 presas propuestas sólo 2 son cerradas, en Chacaíto y Caurimare. Para cada presa el estudio determinó las dimensiones de la presa de concreto equivalente según el modelo de la presa-tipo, que sirvió para evaluar su capacidad de retención de sedimentos y su costo. Se sugirieron además 5 tipos de estructura posibles para las presas abiertas definitivas, sin precisar más detalles constructivos.

La propuesta está resumida en las tablas anexas que incluyen dos versiones para cada cuenca, según que el diseño se haga para Tr= 100 años o para Tr=25 años.

Por otra parte el estudio de JICA propuso la construcción de canales para Catuche, Chacaíto y Tócome. Una sección típica se encuentra en la figura 17.8.

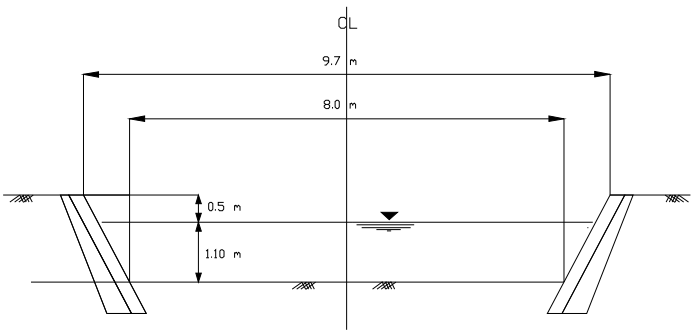


Figura 17.8. Quebrada Catuche. Sección del canal propuesto por JICA

17.5.2 Propuesta de Martínez Consultores para las Quebradas Catuche y Anauco

17.5.2.1 Quebrada Catuche

Le empresa Martínez Consultores S.A. propone en el *Estudio Hidráulico de la Quebrada Catuche entre Trilla y Toma* la construcción de dos tipos de obras:

1.- Presas:

- Una presa abierta aguas arriba de la Toma (con estribos en cota 1070) para retener grandes sólidos y modificar las propiedades físicas del flujo de barro y escombros para convertirlo en flujo de agua con sedimentos. La presa debe retener restos vegetales y rocas, pero no sedimentos. En crecientes que no acarreen barro, el agua debe pasar a través de ella.

- Una presa cerrada al comienzo del sector Los Mecedores (Cota 1050) para disminuir el poder de flujos hiperconcentrados, disminuyendo la pendiente del cauce.

2.- Canalización desde justo aguas debajo de la presa cerrada hasta aguas arriba del Puente Las Brisas (Sector La Trilla) para mejorar la capacidad de conducción de la quebrada, tanto de agua como de agua con sedimentos.

Estas obras han sido diseñadas para un caudal total (líquido + sólido) de 205 m^3/s, que según el estudio mencionado, corresponde a la creciente de Diciembre de 1999.

La Figura 17.9 presenta una planta de las obras propuestas y las figuras 17.10 y 17.11 las secciones del canal.

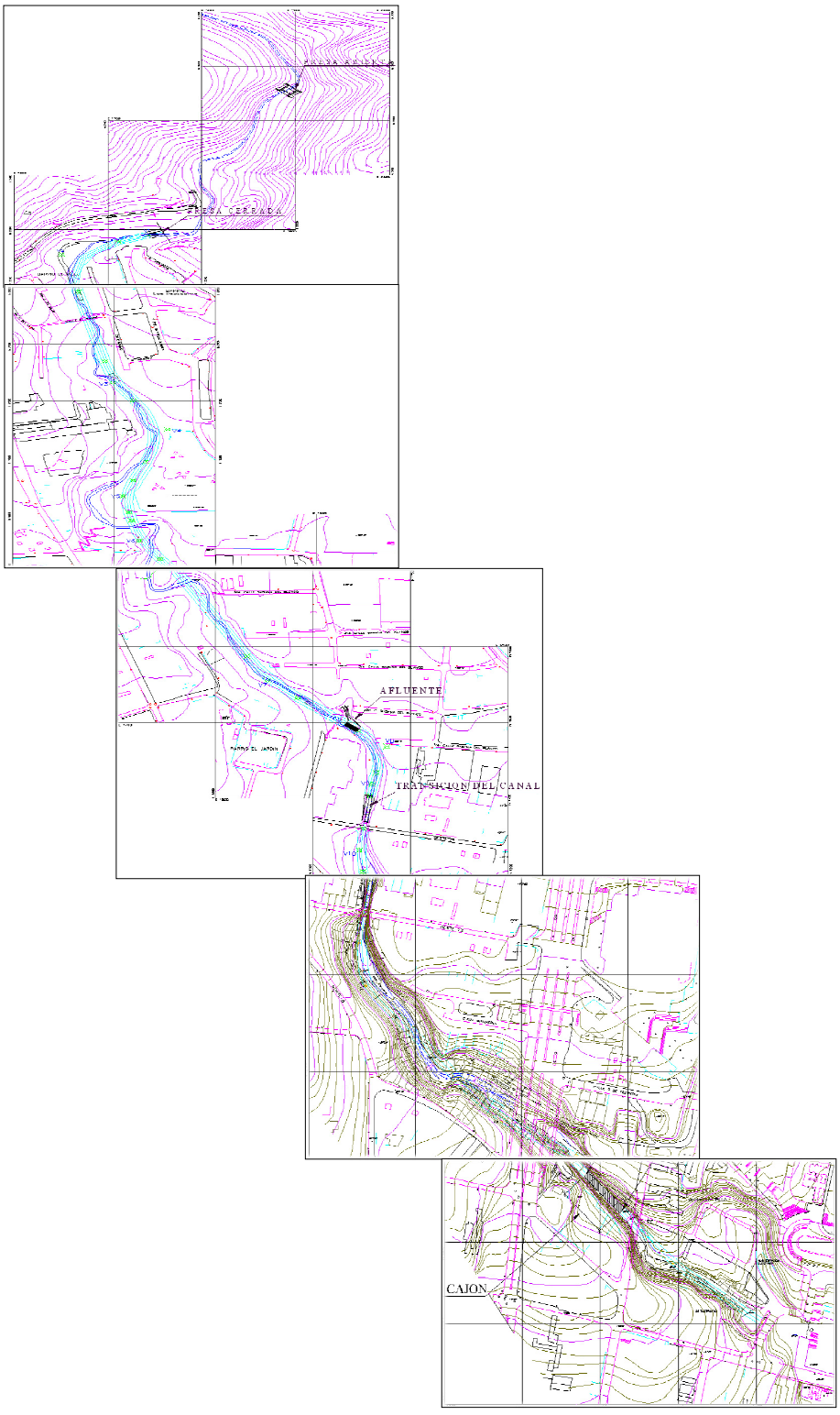


Figura 17.9. Catuche. Planta general de las obras propuestas por Martínez Consultores S.A.

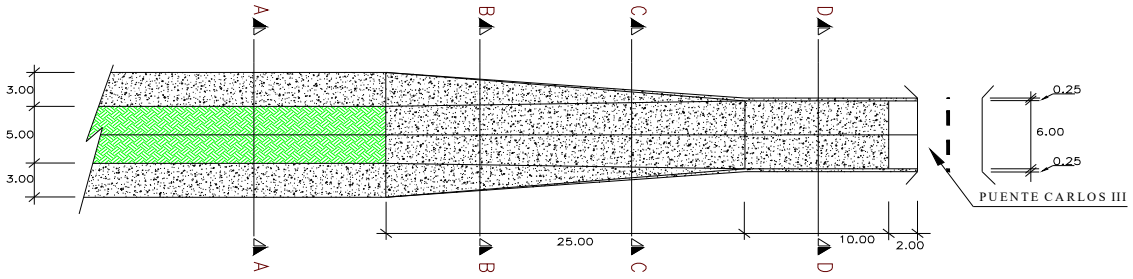


Figura 17.10. Catuche. Planta con indicación de las secciones del canal propuesto por Martínez Consultores S.A. (Toma-Carlos III).

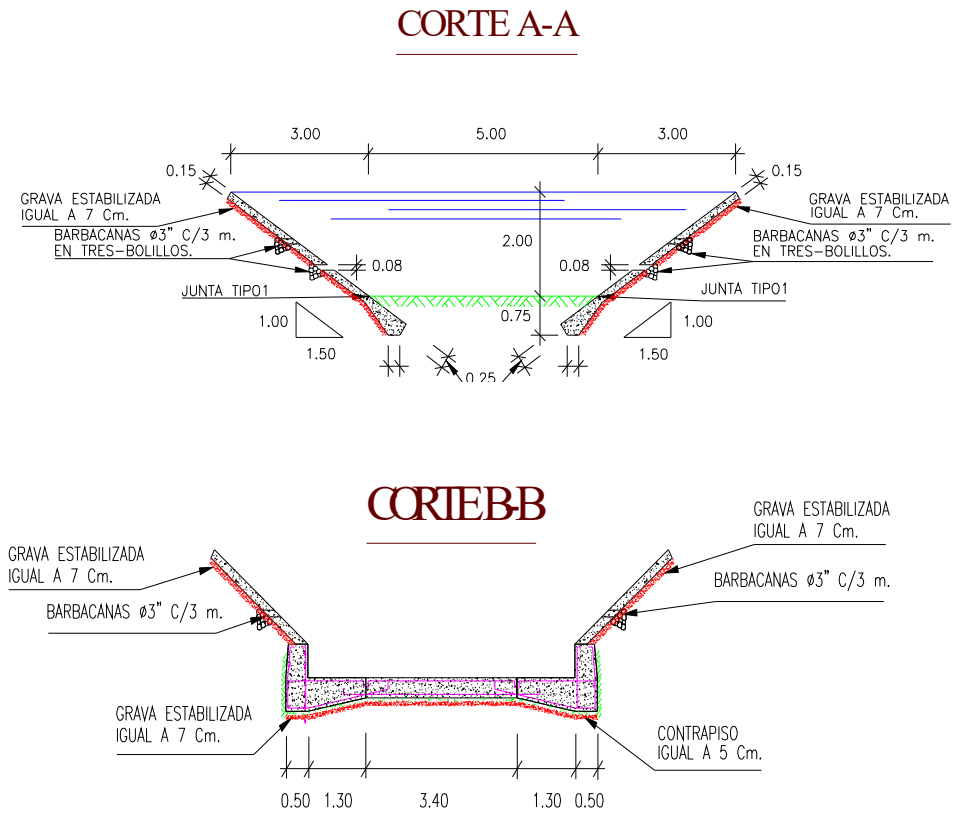


Figura 17.11-a. Catuche. Algunas secciones del canal propuesto por Martínez Consultores S.A. (Toma-Puente Carlos III).

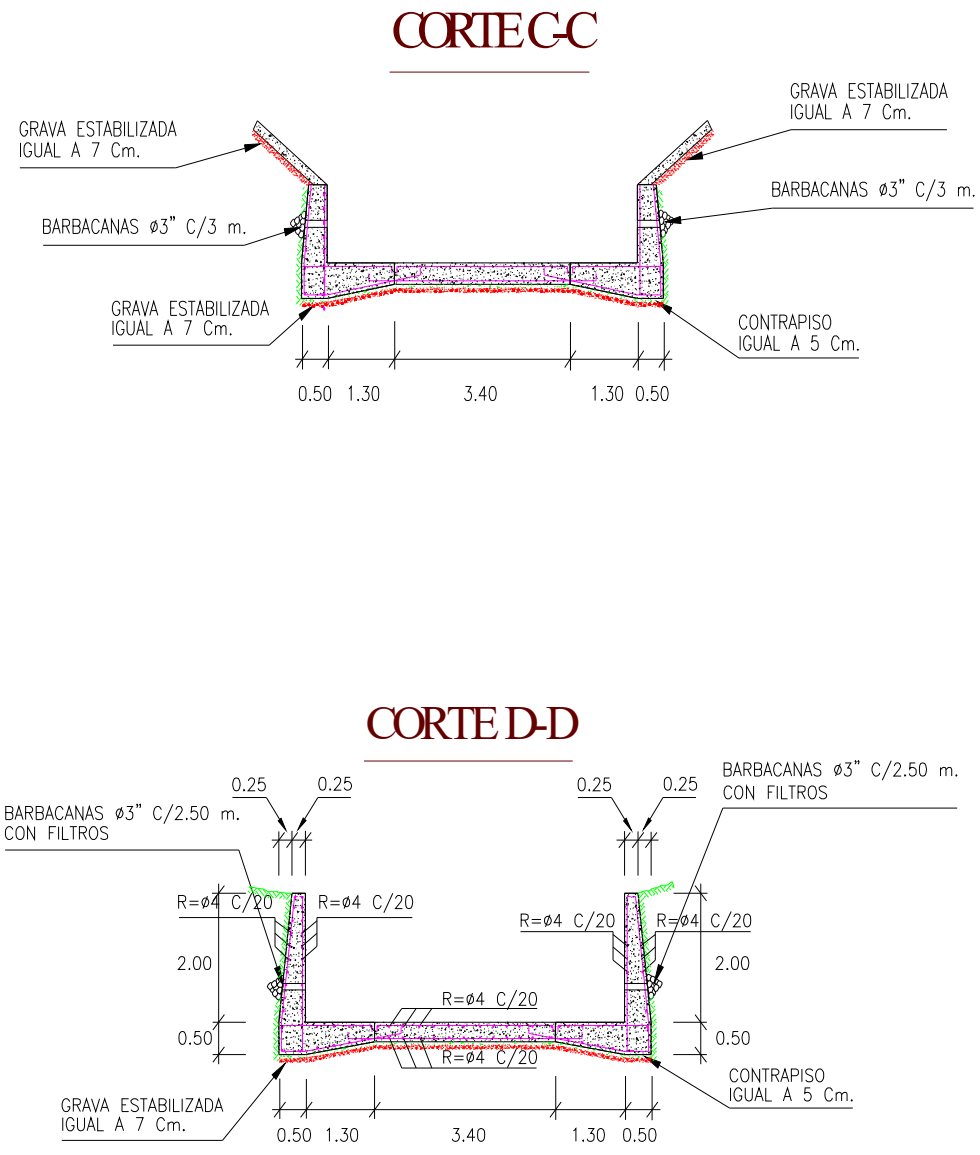


Figura 17.11-b. Quebrada Catuche. Algunas secciones del canal propuesto por Martínez Consultores S.A. (Toma-Puente Carlos III).

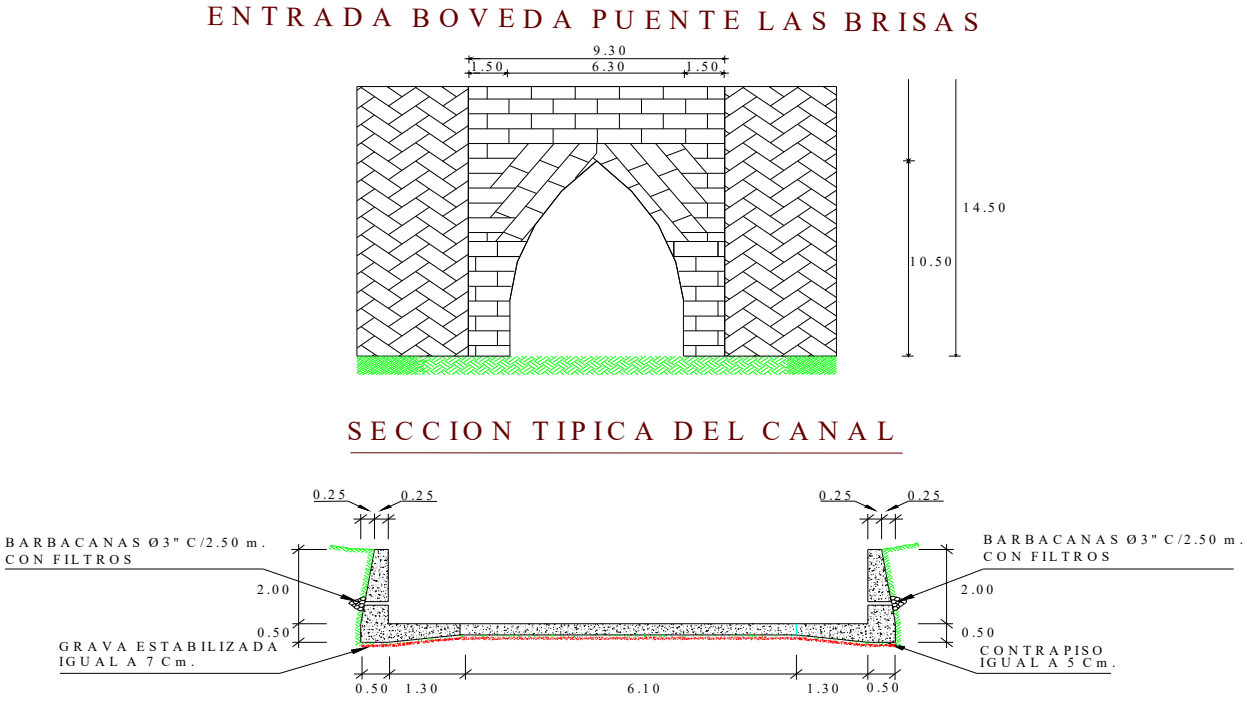


Figura 17.11-c. Quebrada Catuche. Algunas secciones del canal propuesto por Martínez Consultores S.A. (Puente Carlos III-Puente Las Brisas).

17.5.2.2 Quebrada Anauco

El proyecto de obras de control consiste en presas de retención antes de la Cota Mil y una canalización en el área urbana.

- **Presas**

Se proyectaron cuatro presas abiertas para retención de sedimentos: una en la Quebrada Anauco, una en la Quebrada Cotiza y dos en la Quebrada Gamboa. Las presas deberán ser objeto de vaciado y mantenimiento.

Según el proyecto, tienen como finalidad detener las grandes piedras y árboles que arrastra la corriente y así como la disminución del peso unitario y viscosidad de la lava torrencial, en el caso de eventos similares al ocurrido el pasado mes de diciembre de 1999. Para crecientes que no impliquen la formación de flujo de barro, las aguas deben pasar a través de ellas y en todo caso retener flotantes vegetales, pero no sedimentos o en muy poca cantidad.

- Canal

- Tramo Av. Cristóbal Rojas y Av. F. Peñalver, Aguas arriba del Sector Los Bambúes:

En este tramo existe un canal en concreto cuyo alineamiento no favorecía la entrada del flujo al embaulamiento aguas abajo. Se excavó en el terreno un nuevo canal, en la margen derecha del canal de concreto, como obra preliminar.
Se propone la construcción de un canal de concreto armado, adecuando el alineamiento a la entrada del embaulamiento. El canal es abierto con 2,89 m de ancho por 1,50 m de profundidad.

- Tramo Sector Los Bambúes – Dos Túneles:

En este tramo se propone que el flujo viaje a través de un canal cerrado de base 3 metros por 2,50 metros de profundidad. Se desvía la quebrada fuera del Sector Dos túneles a través de la Av. Humboldt.
Se presentan dos alternativas, se diferencian en el alineamiento en el área más baja del Sector Los Bambúes colindante con la Av. A. Humboldt. El alineamiento continúa por las avenidas Alejandro Humboldt y Cecilio Acosta donde se reincorpora el alineamiento al cauce original.

- Tramo Sector Los Lanos

- Aguas abajo de la Av. Cecilio Acosta el canal proyectado es abierto, manteniendo la sección del mismo hasta algunos metros antes de llegar a la confluencia con la Quebrada Cotiza.

- Cajón Quebrada Anauco- canal cerrado y abierto:
  Base = 3 metros
  Altura = 2,50 metros

***- Tramo Sector Gamboa*:**

En este sector el flujo viaja a través de un canal abierto rectangular el cual se propone reconstruir en concreto armado, siguiendo básicamente el mismo alineamiento con 5 metros de ancho por 3 metros de altura y n de Manning = 0,015.

17.5.3 Propuesta del IMF para la Quebrada El Algodonal

a) <u>Problemática Existente</u>

La microcuenca de la Quebrada El Algodonal se localiza en la vertiente Norte de la Cordillera de la Costa, en el ramal Litoral abarcando áreas de la zona protectora del área Metropolitana de Caracas. Tiene una superficie de 2,83 Km^2 y es drenada por un conjunto de quebradas que descargan en el Río Guaire (Figura 17.12).

El Complejo Hospitalario José Ignacio Baldó (El Algodonal) ocupa una amplia extensión de terreno cercana a las 44 hectáreas en la parte media de la cuenca, y esta constituido por un conjunto de 4 hospitales: el Ambulatorio Cesar Rodríguez, el Hospital General Simón Bolívar, el Pediátrico Luisa Cáceres de Arismendi, y la Maternidad Andrés Herrera Vega. También se encuentran en sus instalaciones un Centro de Fisiatría, un Centro Nacional de Estudios de Enfermedades Pulmonares, la Escuela Nacional de Enfermeras, y la Escuela de Salud Pública de la UCV. Las instalaciones fueron construidas durante la década de 1930.

Durante los últimos años, en la zona de transición de pendiente (cuenca media) donde se ubica el complejo hospitalario, se han producido inundaciones frecuentes con alta deposición de sedimentos causando obstrucción de canales y acumulación de sólidos en las áreas del hospital. Durante las visitas de campo realizadas se pudo verificar la colmatación con sedimentos del canal revestido en concreto que originalmente drenaba y descargaba las aguas de la quebrada principal, Quebrada El Algodonal. La altura de acumulación de sedimentos alcanza 1 m aproximadamente, sobre el piso de la edificación de El Sanatorio, donde se encuentra el depósito de materiales y las instalaciones eléctricas del hospital. Los sedimentos también han llenado y obstruido los sumideros y canales de drenaje existentes, lo cual hace que las crecientes escurran directamente sobre el pavimento y las calles del Hospital, depositando en ellas el material fino arrastrado por la corriente.

La intervención que ha sufrido la cuenca en su parte alta, mediante la construcción de viviendas en las laderas de los cerros, es responsable por la alta producción de sedimentos y desechos sólidos que se observan aguas abajo. Adicionalmente, esto ha modificado las condiciones naturales de retención (intercepción e infiltración) de las aguas, disminuyendo los tiempos de concentración y aumentando los escurrimientos y los caudales pico de las crecientes. Los sedimentos del lecho de la quebrada están constituidos por arena y grava con un tamaño medio en el rango de 2 a 2,5 mm. Los tamaños máximos están en el orden de 2 a 3 cm, sin presencia de cantos rodados.

Figura 17.12. Cuenca hidrográfica del Complejo Hospitalario El Algodonal (imagen de Google Earth).

b) Propuesta de obras de control de sedimentos

Debido a que el aporte de sedimentos constituye uno de los principales problemas que ha afectado al sistema de drenaje, se ha aprovechado la existencia de pequeños valles en las cuencas tanto de la Quebrada I como de la Quebrada II, para ubicar dos presas abiertas de baja altura, que cumplirán la función de realizar una retención parcial de los sedimentos. Se han localizado dos sitios de presa que se encuentran en la parte media de la cuenca, entre la carretera que conduce a la Maternidad y los restos del un acueducto antiguo construido en la época de Guzmán Blanco, para llevar el agua desde la toma de Macarao hasta El Calvario.

Las presas dimensionadas, en ambos casos, para la Quebrada I y la Quebrada II, tienen una altura máxima sobre la fundación, de seis (6) metros. Están provistas de cuatro (4) ventanas de ancho igual a un (1) metro y altura de tres (3) metros. Disponen de un aliviadero con ancho de 15 metros el cual no es más que un vertedero rectangular, que funcionará solo en caso de crecientes extremas. Se espera que la casi totalidad de las crecientes menores, puedan pasar a través de las ventanas. Estas dimensiones son comunes a ambas presas, ya que dependen básicamente de la

hidrología de la cuenca, caudales de agua y sedimentos, los cuales resultan semejantes. El ancho de estas presas, depende del sitio donde se las ubicó, resultando la presa en la Quebrada I de 53 metros y en la Quebrada II de 46 metros.

Las presas pudieran construirse de gaviones, en caso de existir disponibilidad de material sedimentario grueso (grava y cantos rodados) para el relleno de los mismos. Las experiencias con respecto al funcionamiento de estas estructuras, en algunas de las quebradas del Estado Vargas, han resultando hasta el presente bastante satisfactorias. La fundación de ambas presas puede hacerse con el mismo material constitutivo de los gaviones, el cual estará embebido en concreto, a los fines de evitar los arrastres del material de fundación a través de las oquedades o intersticios del gavión. Las ventanas de las presas y el aliviadero también se harán en concreto, en este caso con refuerzo metálico. La estructura de protección contra la erosión aguas abajo de la presas, estará constituida por un recubrimiento del lecho por medio de colchoneta de gaviones de 0,20 m de espesor, en una longitud estimada de 30 metros y ancho de 20 m. A nivel de diseño preliminar se muestra una vista frontal de la Presa No. 1 (Figura 17.13) y sus perfiles transversales correspondientes, tanto en la sección de aliviadero y ventanas como en sus laterales (Figura 17.14).

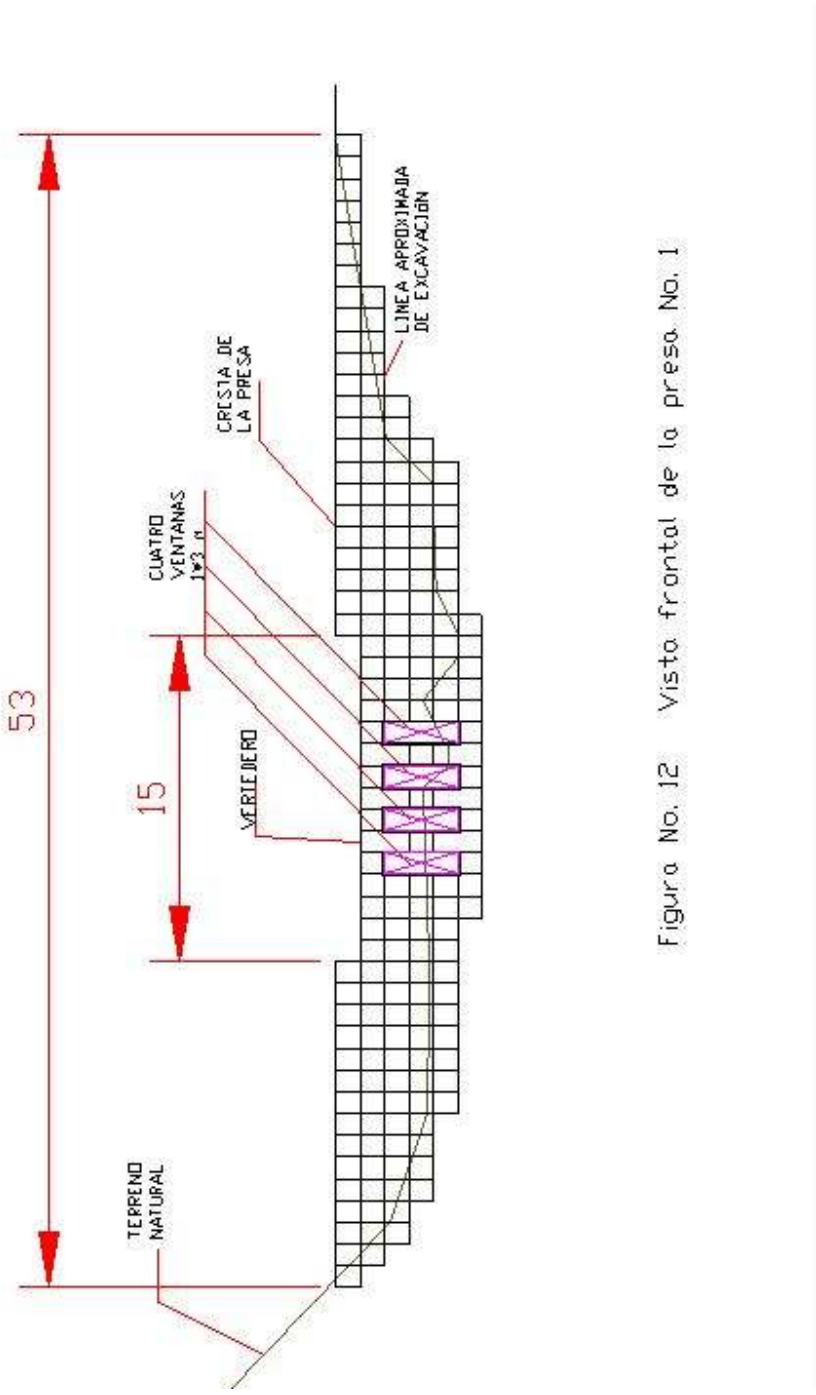


Figura No. 12 Vista frontal de la presa No. 1

Figura 17.13 Vista frontal de la presa de gaviones N° 1 en la Quebrada I.

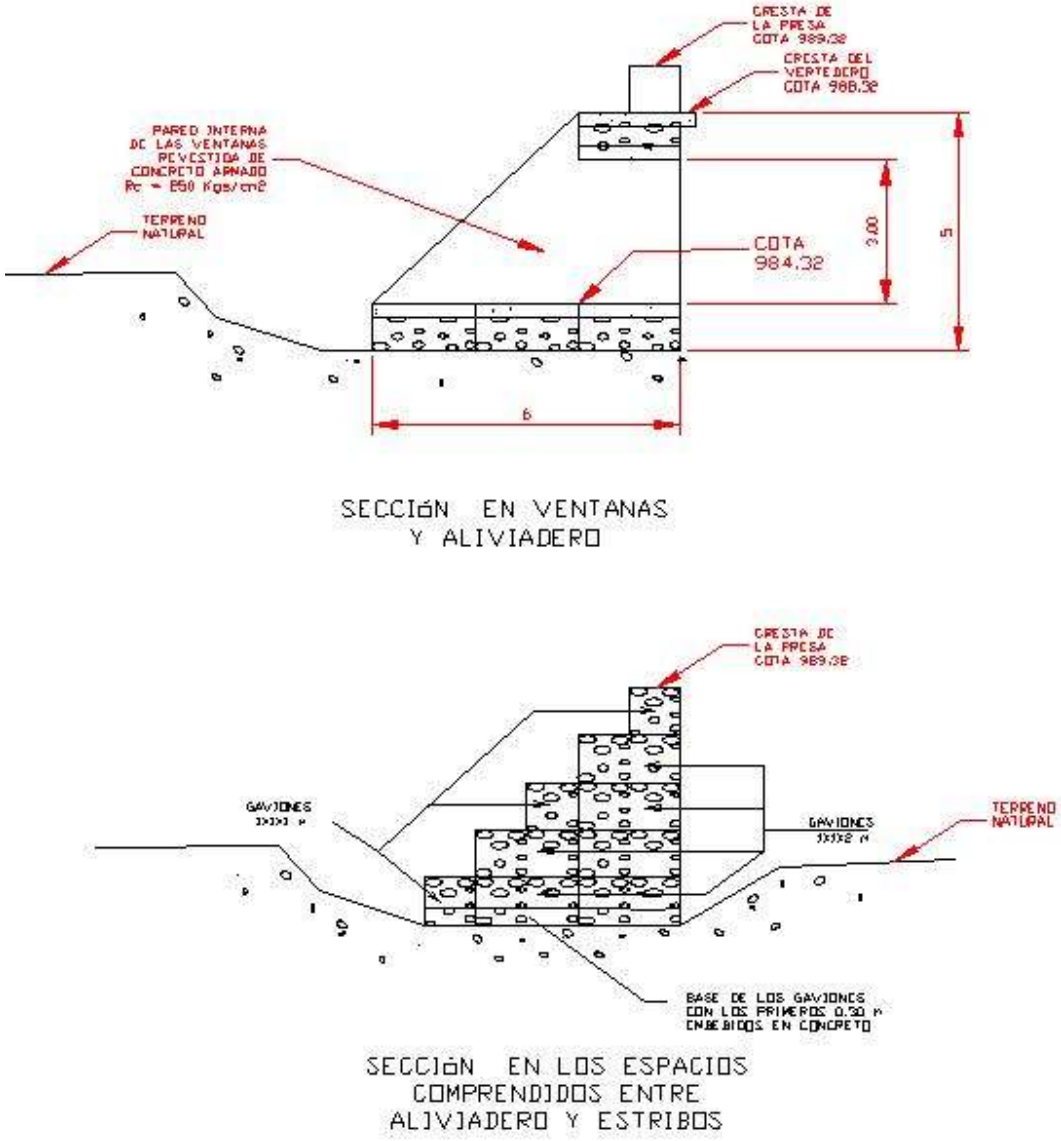


Figura 17.14 Vista de las secciones transversales en el aliviadero y ventanas de las presas de gaviones.

17.6 Orientaciones para un Programa de Medidas Estructurales en el Valle de Caracas

A continuación se establecen una serie de lineamientos generales que sirvan de orientación para establecer a futuro un plan de medidas estructurales para prevención de inundaciones en el valle de Caracas.

17.6.1 En relación a las presas de retención de sedimentos

a) Deben construirse presas para retención de sedimentos en los principales afluentes que drenan las cuencas de la vertiente sur del Ávila. El objetivo principal de esta presas es el de poder retener una proporción significativa de los arrastres sólidos en época de crecientes, y reducir la concentración del flujo y el caudal pico aguas abajo. Las cuencas prioritarias que deben ser tratadas son las de las quebradas Catuche, Anauco (incluyendo sus tributarios Cotiza y Gamboa), Chacaito, Tócome y Caurimare. La ubicación de las presas debe ser lo más posible cercana a la Cota Mil, a fin de aprovechar los pequeños valles existentes en los tramos inmediatamente aguas arriba de ésta para almacenar la mayor cantidad de sedimentos posible.

b) En base a las experiencias con las presas que se han construido en el Estado Vargas, se estima conveniente que estas sean abiertas, del tipo con ventanas (ver Figuras 17.13 y 17.14), que permitan el paso de los sedimentos finos transportados por las crecientes ordinarias, pero que retengan los arrastres vegetales (ramas y troncos de árboles) y sedimentos gruesos durante las crecientes. La determinación del número de presas requerido en cada cuenca, y las dimensiones de las mismas, se escapan del alcance de este estudio, pero el tamaño de las presas debe ser de una magnitud tal que el conjunto de ellas (en una cuenca) sea capaz de almacenar al menos el 80% de la carga sólida arrastrada por la creciente centenaria.

c) Para que las presas puedan cumplir su función de retención de material sólido, es importante que ellas estén vacías, es decir que tengan intacta su capacidad de almacenamiento en el momento en que ocurra el alud torrencial. Por lo tanto la remoción periódica de los depósitos de sedimentos y restos vegetales acumulados en las presas es vital para que las presas cumplan con su función de atrape y selección del sedimento arrastrado.

d) Las presas deben construirse en concreto o en engavionado, en caso de existir la disponibilidad del material adecuado (cantos y peñones). Otra opción que puede plantearse es el uso de las llamadas barreras flexibles, conformadas por redes de anillos de acero, que se colocan transversalmente al cauce o quebrada, formando un dique o presa abierta. Esta es una tecnología desarrollada recientemente en Suiza, la cual se encuentra en estado experimental, y no hay experiencias previas en Venezuela. Los materiales constitutivos incluyen anclas de cable, cables de

soporte y la red de anillos (Figura 17.15). La ventaja principal radica en la facilidad para el transporte (puede hacerse por el mismo cauce) y la rapidez para su instalación. Comparadas con las construcciones en concreto las barreras resultan más económicas. La Figura 17.15 presenta fotografías de la barrera flexible en el momento de la construcción y después de la ocurrencia de un evento extraordinario, en Japón.

Figura 17.15. Barreras flexibles de redes de anillos (experiencias en Japón).

17.6.2. En relación a las canalizaciones de las aguas pluviales (drenajes primarios)

Como se ha explicado en capítulos anteriores, además del alto grado de ocupación de las zonas aledañas a las quebradas que drenan el flanco sur del Ávila, el problema del drenaje de las aguas pluviales se complica por que la mayor parte de dichas quebradas han sido embauladas en la mayor parte de su recorrido, es decir, los cauces naturales, y las canalizaciones abiertas, han sido sustituidas por canalizaciones cerradas, con lo cual se aumenta el riesgo de inundaciones debido a la posibilidad de obstrucción y a la dificultad en darle un mantenimiento adecuado. Por otra parte, la existencia de estructuras de drenaje transversal (alcantarillas y puentes) que datan de los años 50, dificulta aún más el drenaje de la escorrentía superficial, ya que estas fueron diseñadas para otras condiciones de desarrollo urbano en la cuenca, donde había mayores superficies permeables y un porcentaje mucho menor de áreas pavimentadas. Al transformarse grandes áreas rurales en áreas urbanas, el potencial de infiltración disminuye, aumentando la escorrentía superficial y disminuyendo también los tiempos de concentración, por lo que se produce el aumento de los picos de las crecidas. Esto ha hecho que las canalizaciones y estructuras de drenaje existentes no tengan capacidad suficiente para evacuar las crecientes. Los siguientes lineamientos pueden establecerse en relación a los drenajes primarios de las quebradas de Caracas:

a) Rehabilitación de los cauces de las quebradas, lo cual implica eliminar los embaulamientos y diseñar nuevas canalizaciones abiertas.

b) Sustitución de las alcantarillas metálicas (abovedadas) que fueron construidas hace más de 50 años, por alcantarillas en concreto armado. Estas estructuras han superado su período de vida útil y algunas de ellas pudieran estar en peligro de falla debido a la corrosión producida por las aguas servidas que se descargan a las quebradas. En particular se mencionan los casos de las alcantarillas de las Quebradas Agua de Maíz y Sebucán en sus respectivos cruces por debajo de la Autopista del Este, para descargar al Río Guaire.

c) Rehabilitación de la canalización del Río Guaire. Esto implica: la limpieza del canal en sectores donde se aprecia acumulación de sedimentos; la remoción de los árboles que han crecido en los taludes dentro del cauce; y la reparación de los paños de concreto dañados.

d) Adicionalmente se han identificado algunos puentes sobre el Río Guaire, que por sus características geométricas obstaculizan el paso de las crecientes extraordinarias del flujo. Se mencionan en particular los casos del Puente Macaracuay, Puente La California, y Puente Las Mercedes. Los dos primeros (Macaracuay y La California) constituyen una obstrucción vertical al paso de las crecientes, ya que la viga inferior de la placa del puente esta por debajo del nivel tope de la canalización, produciendo un cierto grado de contracción vertical del flujo (Figura 17.16). El segundo (Las Mercedes) es un puente construido en la década de los años 50, el cual presenta una sección transversal mas angosta que la sección de la canalización, produciéndose en consecuencia una contracción horizontal de la sección del flujo durante las crecientes (Figura 17.17). Esta fue sin lugar a dudas la causa de los desbordes e inundaciones que se produjeron en Febrero del 2005 en el sector de Bello Monte, los cuales se originaron en el efecto de remanso aguas arriba producido por la contracción del Puente Las Mercedes.

Figura 17.16. Puente La California (Río Guaire). Observe grado de contracción vertical en la sección transversal de la canalización.

Figura 17.17. Puente Las Mercedes (Río Guaire). Observe grado de contracción horizontal en la sección transversal de la canalización.

17.7 Orientaciones para un Programa de Medidas No-estructurales en el Valle de Caracas

17.7.1 Medidas de Reglamentación

- **franja de protección de quebradas**.

La Ley Forestal de Agua y Suelos de 1965 declara en su artículo 17 como zona protectora una zona mínima de veinticinco (25) metros de ancho a ambas márgenes de cursos de agua no navegables permanentes o intermitentes.

La descripción de las condiciones actuales de las quebradas, efectuada a todo lo largo del presente estudio, ha resaltado de manera reiterada el hecho bien conocido que las márgenes de las mismas en el área de estudio están en su mayor parte ocupadas por viviendas informales o formales, que no respetan este retiro legal y se ubican con frecuencia en las orillas mismas de los cauces. La consecuencia es un confinamiento del flujo, particularmente grave en caso de un evento extremo, y una exposición directa de estas viviendas a crecientes con elevado potencial destructor. (Si bien el Río Guaire ha estado hasta el momento exento de este problema, se puede señalar con preocupación una incipiente ocupación de sus taludes y puentes por indigentes y viviendas improvisadas, especialmente en el tramo ubicado aguas arriba de la Ciudad Universitaria)

No cabe duda que la existencia de esta franja de protección hubiera evitado la mayor parte de los daños y pérdidas humanas del evento de 1999 en Catuche, Anauco y los afluentes de Caroata.

Con respecto a esta orientación, se puede formular algunos comentarios adicionales:

- la aplicación de la medida debe efectuarse en cada cuenca a todo lo largo del cauce. Por ejemplo, si bien un despeje previo de la quebrada Catuche por parte de los sectores informales de la parte alta (entre La Trilla y Los Mecedores) hubiera evitado gran parte de los daños en esta zona, el alud, al no verse frenado a esta altura, hubiera embestido con fuerza mucho mayor la zona formal ubicada más abajo, la cual igualmente confina el flujo. De algún modo, como lo dicen los vecinos de la parte alta, en esa oportunidad “la ciudad informal salvó a la ciudad formal”.
- el hecho de embaular una quebrada no elimina por si sólo la utilidad de una franja protectora. En efecto, tal como se explicó más arriba, en casos de eventos extremos el alud correrá por el techo del cajón y los efectos para las casas ubicadas en las orillas podrán ser hasta peores que en ausencia de embaulamiento, sobre todo si las plantas bajas están ubicadas por debajo del nivel de éste, como es frecuente encontrar en algunos tramos de las quebradas Anauco y Cotiza.
- la franja protectora presenta también como beneficio la posibilidad de vigilar y controlar las condiciones hidráulicas del cauce, impidiendo la permanencia de sedimentos y desecho, y más aún impidiendo las modificaciones desafortunadas efectuadas por los ribereños, especialmente en las áreas formales, como son el estrechamiento del cauce o incluso el cierre del mismo por rejillas (ver Quebradas Chacaíto, Seca o Tócome)
- un beneficio adicional, en caso de los cauces abiertos, es evitar la descarga directa de

aguas servidas desde las casas ribereñas (tanto formales como informales) y permitir el paso de colectores marginales de aguas servidas
- el proyecto de saneamiento integral del Río Guaire, que lleva a cabo actualmente el MARN, vuelve más oportuno y factible la medida propuesta, ya que al alcanzar las aguas cierto nivel de calidad no existirá la justificación "sanitaria" del embaulamiento.
- las áreas despejadas en las orillas podrán ser utilizadas para tránsito de vehículos, áreas verdes y hasta paseo peatonales si la calidad del agua lo permite.

Si bien la medida propuesta tiene la ventaja de tener un asidero legal, está claro que presenta el inconveniente de tener un costo social elevado, en caso que implique el desalojo y la reubicación de muchas viviendas, más si se trata de edificios. Por lo tanto se puede pensar concretamente en su aplicación prioritaria en los casos siguientes:

- reordenamiento de sectores desvastados por crecidas. (Es particularmente preocupante que se haya producido en algunos partes la reconstrucción de viviendas afectadas por el desastre de 1999, aunque la amenaza no haya disminuido por efecto de alguna medida de control estructural[1]).
- acciones puntuales en sectores definidos como amenaza muy alta
- movilización de la comunidad amenazada alrededor de un plan integral implicando reubicación, reordenamiento urbano y obras de control. Se puede tomar como referencia el caso de la comunidad de Catuche (zona alta), cuyo Plan de reordenación se inició antes del evento del 99, y se sigue desarrollando en la actualidad

- **reglamentación de actividades y edificaciones en áreas amenazadas**

Como resultado del estudio de la amenaza, se recomienda al planificador urbano las acciones pertinentes en función del nivel de amenaza indicadas en el cuadro 17.1. En términos generales el grado de intervención recomendado crece con el nivel de amenaza. Se acostumbra resumir esta relación en los términos siguientes:

- el área de ***amenaza baja*** es un área de ***sensibilización***
- el área de ***amenaza media*** es un área de ***reglamentación***
- el área de ***amenaza alta*** es un área de ***prohibición***

Después de un estudio del uso actual del suelo en las áreas amenazadas, y del uso potencial, el planificador podrá decidir en cada caso sobre la manera de concretar estas orientaciones.

En todo caso la aplicación debería ser estricta para los centros asistenciales y los centros de decisión importantes para la vida de la ciudad y del país, en caso que estén amenazados. Se han señalado en los respectivos capítulos algunos centros asistenciales en situación de amenaza, el caso más notable siendo el Hospital Pérez de León en Petare.

[1] Ver caso de sectores de la Quebrada Cotiza, ya afectados en 1999, y nuevamente en Enero 2006.

Amenaza	Origen de la amenaza	Infraestructuras y equipamientos vitales o muy vulnerables		Edificaciones	
		Existentes	Nuevas	Existentes	Nuevas
Alta	Intensidad alta Tr=10 Intensidad media Tr=10 Intensidad alta Tr=100 Intensidad alta Tr=500	Reubicar	Prohibir	Reubicar (excepcionalmente: acondicionar)	Prohibir
Media	Intensidad baja Tr=10 Intensidad media Tr=100	Reubicar	Prohibir	Acondicionar	Reglamentar
Baja	Intensidad baja Tr=100 Intensidad media Tr=500 Intensidad baja Tr=500	Acondicionar	Reglamentar	Sin restricción	Sin restricción

Cuadro 17.1 Acciones recomendadas en función del nivel de amenaza.

El caso de los hospitales amerita una atención especial, en vista que los pacientes constituyen un sector de la población particularmente desprotegido, y que estas instituciones deben poder funcionar de manera óptima para prestar auxilio en caso de una contingencia de gran magnitud. No será inútil mencionar además que una inundación del río Guaire, receptor en la actualidad de gran parte de las aguas servidas de Caracas podría producir daños sanitarios colaterales.

En caso de los hospitales ubicados en zonas de amenaza o en zonas aledañas, se recomienda:

- Reubicar los servicios que pueden ser afectados ante la ocurrencia de una inundación y son de gran importancia para la atención de los pacientes, y acondicionar las estructuras de los que no pueden ser relocalizados.
- Adecuar los hospitales ubicados en áreas seguras y sus vías de acceso para la atención masiva de víctimas.

Con respecto a los otros usos, (residenciales, comerciales, etc.), considerando las dificultades que se presentan para hacer respetar la franja de retiro de las orillas, donde existe una amenaza evidente y comprobada, sería poco realista pensar en un desalojo general del resto de las áreas de amenaza altas más alejadas de los cauces, o en una "congelamiento" absoluto de las construcciones en ellas, sobre todo si se trata de zonas con alto potencial urbano.

Por lo tanto se debe proponer un segundo tipo de medidas que incluya el acondicionamiento de edificaciones y líneas vitales existentes para hacerlas menos vulnerables, y la reglamentación de aquellas que eventualmente se autoricen. Estas medidas contemplarán por ejemplo:

- prohibición del uso residencial en los niveles inundables de edificaciones, principalmente la planta baja.
- uso de técnicas que disminuyan la vulnerabilidad de equipos vitales (distribución de agua, centrales telefónicos, aire acondicionado, ascensores, instalaciones eléctricas y de gas), ubicando los componentes encima del nivel esperado de las aguas cuando sea posible o protegiéndolos contra el efecto de las mismas
- supresión en lo posible de aperturas (puertas, ventanas) dirigidas hacia la dirección del flujo esperado
- protección de sótanos contra la entrada de flujos.
- reducción de actividades presentando un riesgo ambiental en caso de inundación, tal como el almacenamiento de sustancias nocivas u obligación de medidas especiales de protección

Se deberá también reducir la vulnerabilidad en las áreas de amenaza alta de las redes de infraestructura (electricidad, gas, agua, aguas servidas, teléfono) y de transporte (Metro de Caracas). Se señaló en el estudio que son inundables varias estaciones del Metro, las cuales sin embargo han sido sugeridas como posibles sitios de refugio por organismos de protección civil.

- **preservación de las zonas de expansión de los cursos de agua**

Las simulaciones hidráulicas muestran que en algunas de las áreas determinadas como áreas de inundación existen parques y áreas abiertas, por ejemplo: Parque Los Caobos, Jardín Botánico,

Base Aérea La Carlota, campos de golf del Country Club, Parque Las Piedras en Terrazas del Ávila, Parque Los Chorros, Parque Arístides Rojas en Maripérez. El caso de éste último es particularmente interesante visto que, debido a la barrera que constituye la Avenida Andrés Bello, el parque constituye una verdadera laguna de amortiguación de crecientes o trampa de sedimentos en caso de aludes torrenciales.

Es importante que las medidas de ordenación preserven la existencia de estas áreas y limiten las construcciones en ellas[2].

- conservación de las cuencas altas

Las áreas no urbanizadas representan todavía más del 60% de la cuenca del Río Guaire medida en Petare, incluyendo los afluentes del Ávila. La mayor parte está en principio amparada por regimenes especiales de administración, como son los Parques Nacionales Macarao y El Ávila y las Zonas Protectoras del Área Metropolitana de Caracas y del Embalse La Mariposa. Sin embargo es notable la intervención (legal o ilegal) de grandes sectores de esta área. Su conservación en estado natural es de gran importancia, visto que el deterioro de la vegetación se traducirá por un incremento de los caudales extremos de los cursos de agua., y de la erosión de los suelos.

17.7.2 Sistemas de Alerta Temprana

Una de las causas de la tragedia de Vargas fue que en ninguna de las cuencas afectadas existían sistemas de alerta que pudieran dar un aviso anticipado a la población para tomar las medidas de evacuación necesarias. La posibilidad de que se generen aludes torrenciales depende de la cantidad e intensidad de la lluvia, del grado de saturación de los suelos, de la presencia de pendientes pronunciadas en la cuenca, así como de las características de los suelos para proveer el material sedimentario para la formación de los aludes. Por esta razón, los dos factores más importantes para el establecimiento de un sistema de alerta temprana son el monitoreo continuo de la lluvia, mediante pluviómetros, y el monitoreo de la presión de poros del subsuelo, mediante piezómetros. Ambos instrumentos deben estar conectados a un sistema automatizado de adquisición y transmisión de datos.

Estos sistemas han sido instalados en muchas ciudades del mundo (E. Gajardo, 2000, Ortigao, et al., 2000). Sin embargo, las experiencias con los sensores para medir la presión de poros (piezómetros) indican que muchos suelos no muestran ningún signo de una falla inminente hasta que esta se produce bajo una tormenta severa (Ortigao, et al., 2000). Por otra parte los aludes torrenciales que se produjeron en Vargas se originaron por miles de deslizamientos y movimientos de masas, por lo cual se requeriría de una cantidad inmensa de sensores piezométricos para poder monitorear todos los potenciales sitios de fallas de taludes en las cuencas. Por esta razón se considera más conveniente concentrarse en el monitoreo de la lluvia a los fines de establecimiento de un sistema de alerta temprana en el valle de Caracas.

Para que se pueda instrumentar el sistema de alerta se requiere que las estaciones de monitoreo sean telemétricas, es decir que transmitan información en tiempo real, a intervalos regulares (cada

[2] El caso de la Base de La Carlota necesitaría un estudio especial, ya que puede tener un rol en la respuesta a las situaciones de desastres.

5 o 10 minutos, por ejemplo) a un sistema central de control el cual debe encargarse de dar la señal de alerta a los organismos competentes.

El la Tabla 17.1 muestra un resumen de las características más importantes de las estaciones hidrometeorológicas actualmente operativas en el valle de Caracas. En total hay 11 estaciones de las cuales solamente tres (3) de ellas son telemétricas. La ubicación aproximada se presenta en la Figura 17.5 Se observa en el mapa que hay áreas extensas sin ningún tipo de cobertura de estaciones.

Tabla 17.1 Características de las estaciones hidrometeorológicas actualmente en operación en el Valle de Caracas (CL = climatológica; PR = pluviométrica).

ESTACIÓN	TIPO	UBICACIÓN	INSTITUCIÓN	OBSERVACIONES
San Martín	PR	Caracas	MARN	
Chacaíto	PR	Caracas	MARN	
Caurimare	PR	Caracas	MARN	
La Mariposa	PR	Caracas	MARN	
Campo Alegre	PR	Caracas (El Ávila)	MARN	Telemétrica
Los Venados	CL	Caracas (El Ávila)	MARN-IMF	Telemétrica
La Carlota	CL	Caracas	FAV	
Cagigal	CL	Caracas	Armada	
Humboldt	CL	Caracas (El Ávila)	MARN-IMF	Telemétrica
UCV	CL	Caracas	DIH-UCV	
IVIC	CL	Caracas	IVIC	

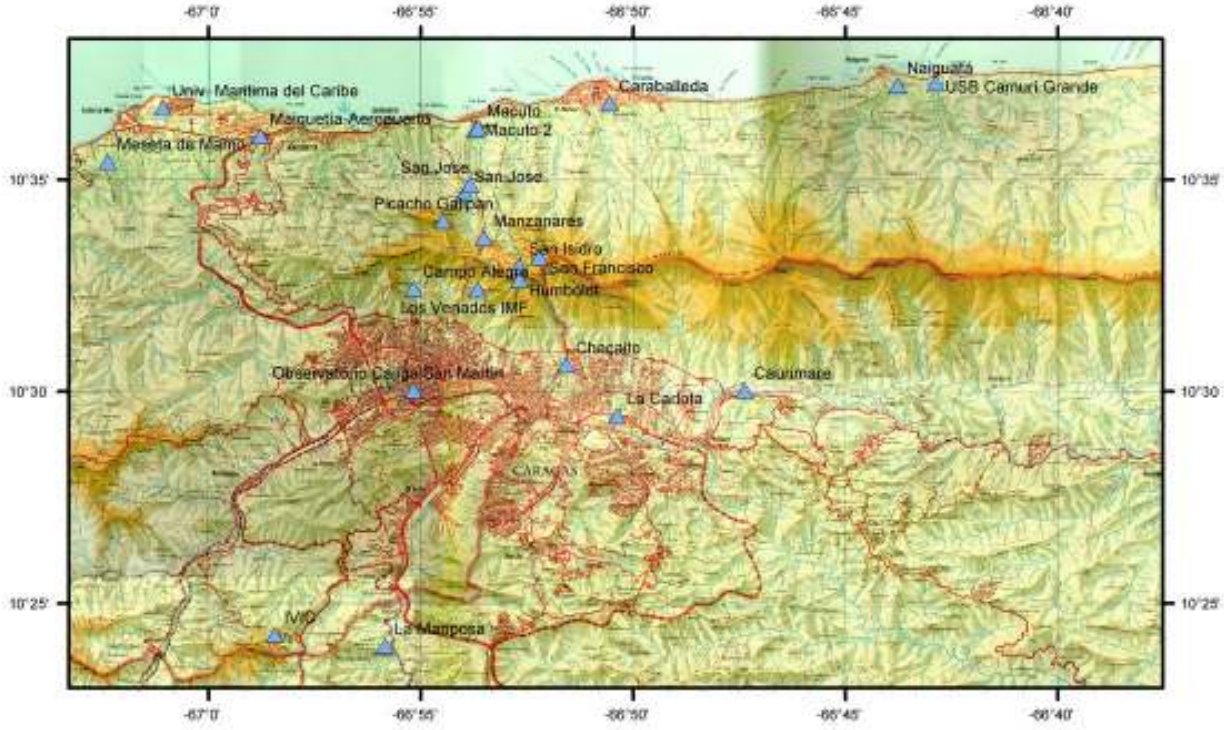


Figura 17.5 Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas actualmente operativas en las cuencas del Estado Vargas y del valle de Caracas.

Recientemente, el año 2004, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos naturales (MARN) instaló un radar meteorológico Doppler en la Colonia Tovar (Figura 17.16), el cual constituye una herramienta importante a los fines de predicción anticipada de la lluvia con varias horas o días de antelación. El radar permite un barrido atmosférico con un radio de alcance de hasta 150 km y se basa en el efecto Doppler, de emitir ondas que rebotan en las gotas de agua de las nubes, por lo que se puede medir la cantidad de agua que ellas transportan. El radar es parte del programa VENEHMET que tiene como objetivo la actualización y modernización de la red de estaciones hidrometeorológicas de todo el país. Las imágenes del radar Dopler van a ser procesadas y analizadas en un centro de control a instalarse en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMETH) cuya sede se tiene prevista en Sartenejas.

Figura 17.16 Radar Meteorológico Doppler, instalado en la Colonia Tovar.

Un ejemplo de una estación pluviométrica automática y telemétrica se presenta en la Figura 17.17, correspondiente a la Estación de San Isidro, la cual es parte del proyecto que adelantan el IMF y el DIH-UCV en la cuenca de San José de Galipán. Esta estación, diseñada y construida por la empresa TECNUM, combina equipos de registro (data-logger) elaborados en Venezuela, con sensores importados para producir tecnología nacional. La configuración típica de una estación pluviométrica diseñada para estos propósitos consta de un pluviómetro, un sistema de adquisición y registro de datos (data logger) con su gabinete, un radio RF con antena, un panel solar, una batería, un pararrayos, y un recipiente con sal higroscópica para absorber humedad.

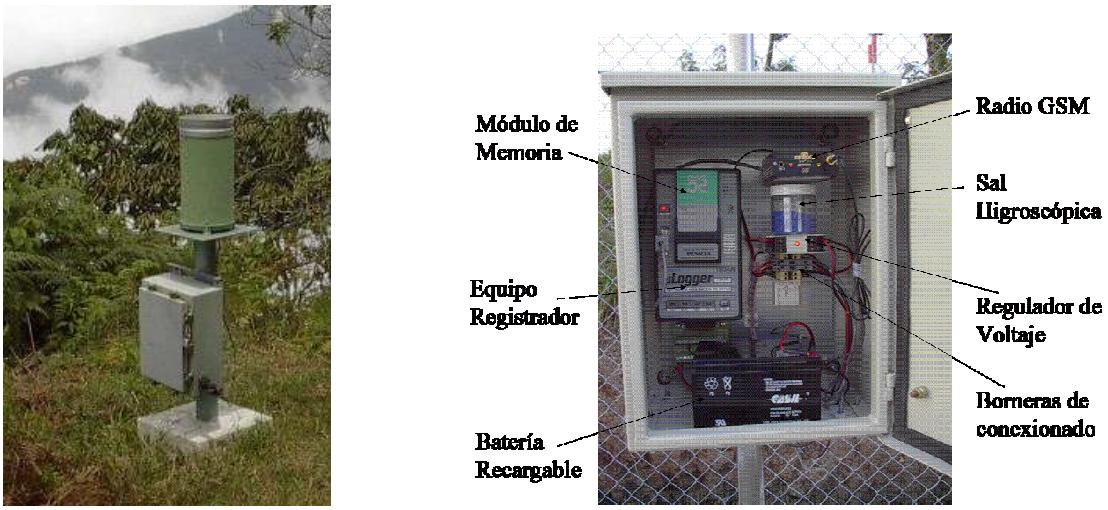


Figura 17.17 Estación Pluviométrica telemétrica en San Isidro (cuenca de San José de Galipán) y vista de interior del gabinete.

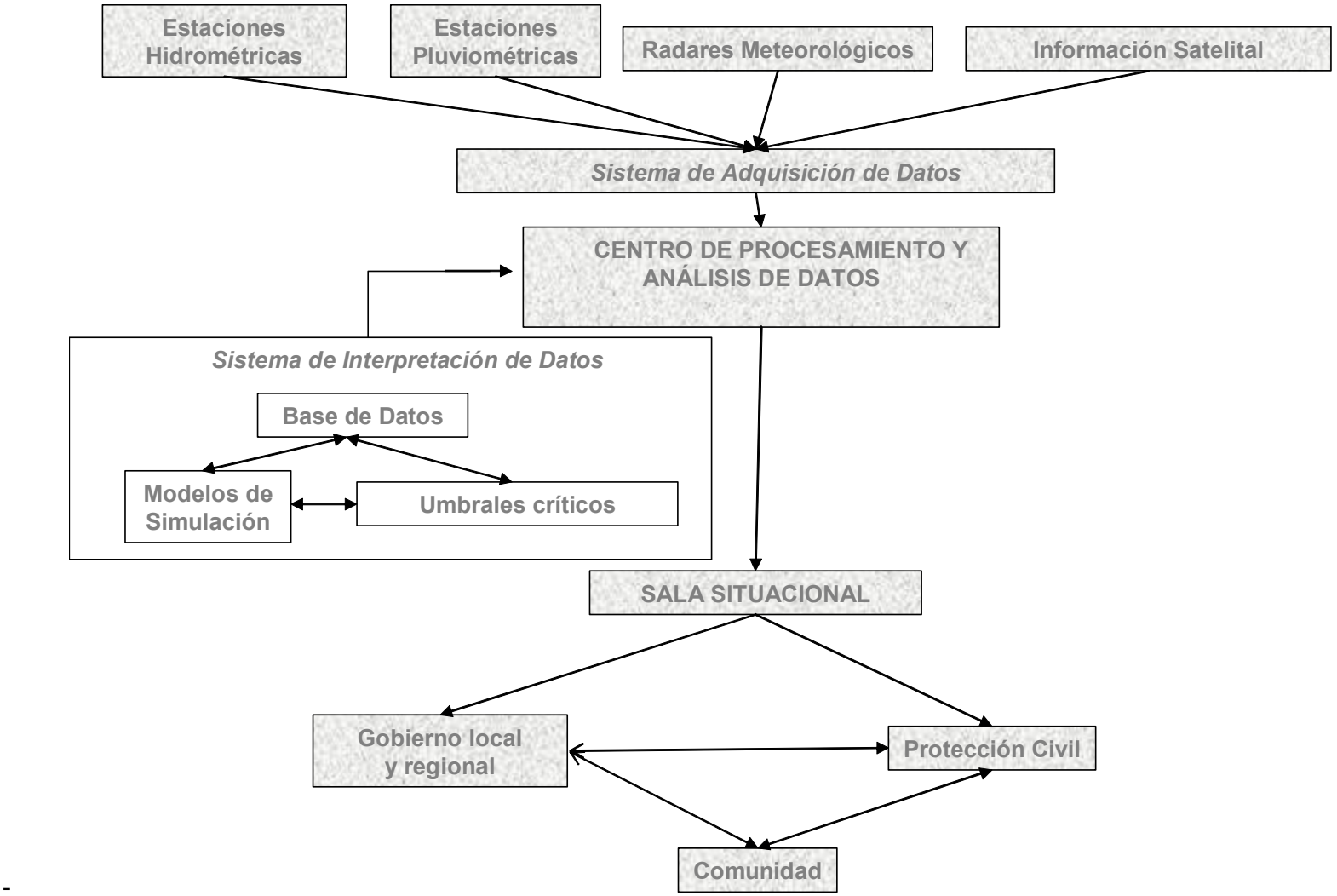
La Figura 17.18 indica los distintos componentes necesarios para el funcionamiento del Sistema de Alerta.

Este Sistema abarcaría todo el Valle de Caracas y tendría como objetivo la protección tanto contra inundaciones como aludes torrenciales. Sería incluso deseable la integración en un sistema regional que cubra el conjunto Valle de Caracas-Litoral Vargas.

El sistema no sería excluyente con los sistemas locales comunitarios ya existentes (como él de Catuche expuesto en la sección 17.7.3), que más bien vendría a completar. Estos sistemas se basan en efecto sobre la observación directa de la precipitación local del nivel de los cauces y las características de los flujos en las áreas urbanas. Funcionan entonces con tiempo de anticipación muy breves. El sistema regional podría ofrecer anticipaciones mayores en base a informaciones en tiempo real sobre las precipitaciones en las cuencas altas (pluviómetros) y en el seguimiento del desplazamiento de las tormentas en el aire (radares), sin hablar de las observaciones satelitales.

Se propone que, sin esperar la instalación de un sistema regional, se desarrolle en una cuenca piloto un sistema de alerta temprana, que integre por una parte un sistema de alta tecnología, basado en mediciones en tiempo real en toda la cuenca y procesamiento automatizado de la información, y por la otra, un sistema comunitario funcionando en el área urbana. La cuenca de Anauco reúne por ejemplo condiciones para ser esta cuenca piloto:

- una exposición a riesgo notoria, demostrada por sus antecedentes
- la presencia de una comunidad organizada, con experiencia en sistemas de alerta
- un acceso fácil por carretera
- la existencia de tres estaciones hidrometeorológicas telemétricas en la cuenca o su cercanía (Los Venados, Humboldt y Campo Alegre)
- el hecho de ser contigua con la cuenca experimental San José de Galipán en la Vertiente Norte (Proyecto PROCEDA)



-

Figura 17.18 Esquema conjunto del Sistema de Alerta Temprana

17.7.3 Concientización de la Población y Fortalecimiento Institucional

Una condición necesaria para el éxito de las medidas de prevención es la participación y la concientización de la población, y el fortalecimiento de las instituciones competentes (alcaldías, organismos de protección civil, bomberos, ministerios, et.)

Se propone en particular divulgar ampliamente los resultados contenidos en estudios como el presente en los diferentes sectores de la población por medio de charlas, talleres , folletos etc.

Con respecto a la acción comunitaria, se propone apoyarse en las experiencias exitosas identificadas en el transcurso del estudio como son las de Anauco y Catuche. Se puede señalar además el Proyecto PREDERES llevado por CORPOVARGAS con cofinanciamiento de la Unión Europea, en las cuencas Tacagua, La Zorra y Mamo del Estado Vargas. El Proyecto está dirigido hacia la Prevención de Desastres y la Reconstrucción Social, e incluye la construcción de obras de control, la evaluación de la amenaza remanente y la implementación de un Sistema de Alerta Temprana basado en una red de estaciones hidrometeorológicas, todo ello con participación de las comunidades e instituciones del área.

Se sugiere que las acciones de concientización se extiendan al nivel escolar, con el objetivo de "educar para el riesgo" a través de programas que desarrollen una cultura preventiva a temprana edad.

Para finalizar, en calidad de ejemplo, se expone el caso de Catuche, donde la organización de la comunidad ha permitido logros como la reubicación parcial de la población en situación de peligro y el funcionamiento de un sistema de alerta comunitario.

- *Organización vecinal*

La organización vecinal en Catuche comienza en 1990 cuando los Padres Jesuitas crean un Dispensario en la zona del Guanábano y se refuerza luego de la tragedia de 1999. La zona aledaña a la quebrada está organizada en cuatro sectores (ver Figura 17.19), cuyos nombres identifican el área de acción de cada uno. Estos sectores son:

1 Bosque-Boulevard
2 Kinder-Quinta
3 Carlos III-Guanábano
4 Trilla

Los sectores 1, 2 y 3 son apoyados por los Padres Jesuitas del Centro Gumilla y el Consorcio Catuche (Asociación sin fines de lucro, cuyo objetivo primordial es mejorar las condiciones de vida de la comunidad de Catuche) y se adelantan estudios para que sean reubicados en su totalidad en edificios construidos por el Consorcio. Sin embargo, la comunidad de Guanábano presenta problemas severos de invasiones en terrenos de alto riesgo de inundación, bajo el puente El Guanábano y bajo el puente de la Avenida Baralt.

El sector 4 es un ejemplo de organización vecinal, donde además de trabajar también con el Consorcio y el Centro Gumilla para la construcción de viviendas seguras para los habitantes del sector, se realizan labores de educación cívica y religiosa cuyo resultado se ve reflejado (en lo que a nuestro interés respecta), en la manera como se maneja el riesgo por inundación. Esta parte será descrita en el siguiente item.

- *Alerta Temprana en caso de Inundación*

En 1990 los Padres Jesuítas instruyen a la comunidad para avisarse de casa en casa cuando se vea un cambio en la quebrada. Esto puede considerarse el primer sistema de alerta temprana establecido en la zona.

Los indicadores de peligro de inundación usados por la comunidad son, además del nivel, el olor y el color del agua y la diferencia de temperatura notable entre el agua de la lluvia y el agua de la quebrada. Se reporta que en el evento de Diciembre del año 1999, el olor fétido normal del agua de la quebrada fue sustituido por olor a gas doméstico y a azufre y el color natural (gris), cambió a amarillo y luego a ocre. Este último color del agua indica para los habitantes de la zona un alto riesgo inundación.

En la zona de La Trilla, la Asociación Civil La Trilla (*ASOCITRILLA*), que agrupa a 307 familias del sector ha establecido un sistema de alerta temprana que consiste en tres sirenas colocadas estratégicamente en las tres zonas en las que está dividido el sector. La comunidad ha sido entrenada mediante charlas y volantes para responder a dos tipos de sonido: un sonido corto para preparación y un sonido largo para evacuación. Las rutas de escape son perfectamente conocidas por los vecinos y además están dibujadas en una pared de la zona, donde son visibles para todos. Los vecinos poseen un kit de emergencia y están organizados para ayudar a las madres con niños en brazos y a las personas con movilidad limitada a evacuar la zona. Este sistema de alerta comenzó a funcionar a mediados del año 2001.

Las sirenas son activadas por representantes vecinales responsables, una vez que el nivel del agua ha alcanzado 1.5 m en la parte más ancha del canal. Se han realizado dos simulacros de evacuación. El primero se realizó en el 2001 y tardó 14 minutos; el segundo en el 2002 y tardó 8 minutos 40 segundos. Este último fue supervisado por Protección Civil.
Los sectores 1, 2 y 3 no disponen de plan de evacuación.

- *Ubicación y uso de Limnímetros como alerta temprana*

La Agencia JICA, en su estudio *Plan Básico de Prevención de Desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas en la República Bolivariana de Venezuela*, recomienda colocar en la Quebrada Catuche dos limnímetros, cuyas medidas sean indicadores de alarma. Un limnímetro se colocó en el puente El Millo (sector Bosque-Boulevard) y otro aguas arriba del tubo de Hidrocapital (de Portillo a Reja, sector Kinder-Quinta), como se muestra en la Figura 17.20. Las Figuras 17.21 17.22 corresponden a fotos tomadas en los sitios de ubicación.
Si bien algunos representantes de la comunidad recibieron instrucción sobre la lectura de estos limnímetros, no se encuentran motivados a usarlos y prefieren seguir con el método tradicional de observación de las características del agua que fluye por la quebrada.

Figura 17.19. Catuche. Organización vecinal de la comunidad.

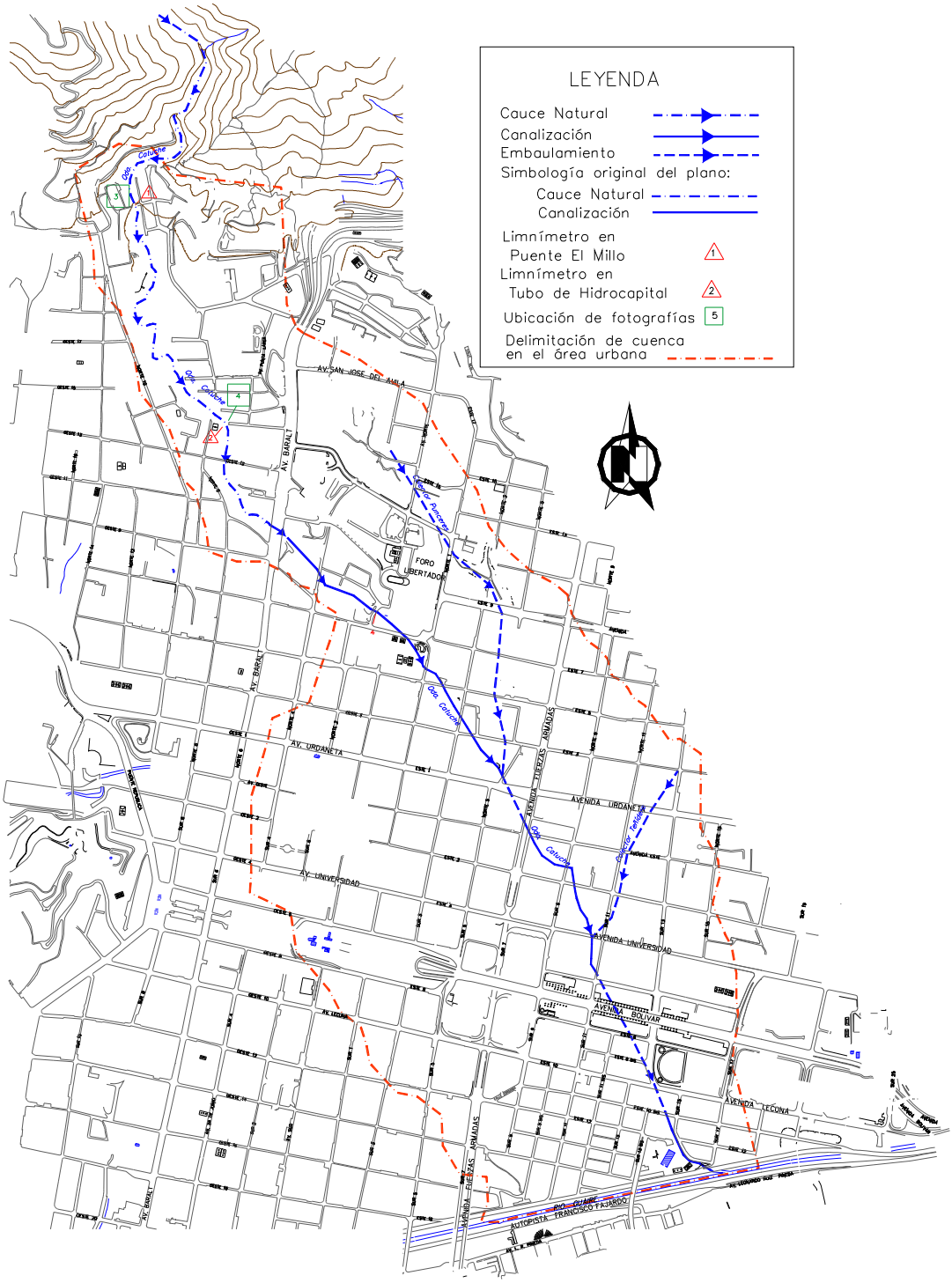


Figura 17.20. Catuche. Ubicación de Limnímetros y Fotografías

Figura 17.21. Catuche. Limnímetro en Puente El Millo

Figura 17.22. Catuche. Limnímetro aguas arriba del tubo de Hidrocapital

18. RECOMENDACIONES PARA PLANES DE CONTINGENCIA

18.1 Conceptos generales

Una de las medidas importantes para disminuir los efectos de un evento adverso es la implementación de planes de contingencia que hayan previsto las acciones a tomar por parte de los distintos actores, en particular la población afectada y los organismos encargados de la protección civil.

Entre los aspectos que debe contemplar un plan de este tipo, existen varios que se verán apoyados por el presente estudio:

- delimitación previa de las áreas potencialmente afectadas, en base a los mapas de amenaza, y de un estudio de uso del suelo, que evalúe el número de personas y las actividades existentes en ellas
- estimación de las características posibles del evento (Profundidad y velocidad del flujo, fuerza destructora medida por la intensidad), estimadas mediante las simulaciones y representadas en los mapas de profundidades máximas, velocidades máximas e intensidad)
- posibilidad de definir varios escenarios y de evaluar el impacto de cada uno en la poblción. (Una medición de la precipitación en tiempo real permitiría incluso de precisar con alguna anticipación el escenario al que corresponde un evento en desarrollo)
- determinación de rutas de escape a usar durante el evento, que permitan un tránsito seguro fuera de la zona afectada
- determinación de sitios de refugio ubicados fuera de las áreas afectadas.

En este capítulo se profundizarán los dos últimos aspectos, proponiendo de manera preliminar para cada cuenca indicaciones relativas a las rutas de escape y los sitios de refugio posibles, en función de las simulaciones realizadas y de los mapas elaborados en el estudio. Estas indicaciones proporcionarán a los organismos de Protección Civil criterios para escoger las vías y los sitios definitivos en sus Planes de Contingencia, y descartar algunos, que aunque siendo aptos bajo otros criterios (carácter público, espacio disponible, proximidad de sitios de residencia) están expuestos a la amenaza por inundaciones y aludes torrenciales. Es el caso de algunos lugares mencionados públicamente como sitios posibles de refugio, como son la Base de La Carlota y las estaciones del Metro, que están en realidad por lo menos parcialmente ubicados en áreas de amenaza, e incluso han sido inundadas en eventos anteriores.[1]

[1] Por ejemplo, la Estación de Bellas Artes en 1999, y la zona Este de La Carlota en 2003, en oportunidad del desbordamiento de la Qda Agua de Maíz (ver capítulo correspondiente)

RIO GUAIRE

A continuación se indica para cada sector estudiado las vías afectadas, las posibles rutas de escape y los sitios de refugio. Se trata de recomendaciones preliminares destinadas a los organismos competentes, en calidad de apoyo a la elaboración de los Planes y la atención de la emergencia.

Cabe resaltar que las posibles vías de escape y sitios de refugio se establecieron en base a los mapas de amenaza por inundación del Guaire. En caso de producirse el desbordamiento simultáneo del río Guaire y de una quebrada del Ávila se debe complementar esta información con los mapas de amenaza generados para estas quebradas.

- Sector Caricuao

Los mapas de amenaza indican que la autopista, el bulevar Ruíz Pineda y el tramo final de la carretera vieja Caracas-Los Teques presentan un grado de amenaza por inundación alto, por lo que estas vías no se deben emplear. Como vía de evacuación se podría utilizar la avenida principal de Caricuao. Los sectores bajo amenaza son: Sector UD-7, Sector Ruíz Pineda, y la parte baja de los barrios Los Picapiedras, La Majada y La Gran Parada.

En el sector UD-7 existe el Hospital Materno Infantil, el cual está en el límite del área de amenaza, por lo que no se recomienda que se lleven las víctimas a este hospital en caso de producirse un desbordamiento del río. Es conveniente que en la planta baja del hospital no se presten servicios básicos y de emergencia, o que en todo caso se puedan reubicar, además de establecer rutas de evacuación en caso de emergencia.

Como sitios de refugio posibles se presentan el Polideportivo Alejandro Carrasquel y los campos deportivos de la Escuela Superior F.F.A.A.C.

- Sector Plaza Venezuela

Están bajo amenaza el Teatro Teresa Carreño, el Parque Los Caobos, la Plaza Venezuela, el Estadio Universitario de la UCV. Las vías afectadas son la autopista, la avenida Las Acacias, avenida Principal de Bello Monte y final de avenida Casanova hacia Chacaíto.

Las personas que se encuentran en las zonas afectadas al norte del río deben emplear como vía de escape la avenida Libertador, mientras que los que se encuentran al sur deben dirigirse hacia Las Acacias. Los hospitales más cercanos son: el Hospital de Clínicas Caracas al norte y el Hospital Clínico de la Ciudad Universitaria al sur.

- Sector Bello Monte

En caso de desbordarse el río las principales vías afectadas son la autopista Francisco Fajardo, las avenidas Orinoco y Venezuela en Bello Monte y las avenidas principales de Bello Monte y Beethoven en Colinas de Bello Monte y la avenida principal de Las Mercedes en el tramo que comunica El Rosal con Las Mercedes.

Las personas que transitan y/o habitan las urbanizaciones San Antonio y Bello Monte pueden utilizar como ruta de escape las avenidas Casanova y subir hacia la avenida Francisco Solano por Las Delicias, mientras que las personas que se encuentran al sur deben dirigirse hacia la parte alta de Colinas de Bello Monte. En cuanto a sitios de refugio,

se puede establecer la Plaza Brion de Chacaíto y adecuar un sitio en el boulevard de Sabana Grande hacia Plaza Venezuela.

- Sector Las Mercedes

La situación de este sector es quizás la más grave, ya que los mapas de inundación indican que gran parte de Las Mercedes y de El Rosal tienen un alto grado de amenaza por inundación. Con grado de amenaza media y baja está el Centro Comercial Ciudad Tamanaco y los edificios IBM, PDVSA y Cubo Negro en Chuao.

El área afectada de la urbanización El Rosal corresponde al sector sur entre la avenida principal de Las Mercedes y la avenida El Retiro. Las Mercedes está afectada entre la avenida principal en el cruce con la avenida Río de Janeiro hasta la avenida Veracruz, limitada al sur por la avenida Orinoco. De esta manera queda incomunicado el sur de la ciudad con la parte norte, como ruta de escape de Las Mercedes se recomienda dirigirse hacia la urbanización Los Naranjos de Las Mercedes y tomar la autopista de Baruta hacia Santa Fe.

La Policlínica Las Mercedes y la Clínica Rescarven están en un área de amenaza alta, por lo que se deben evaluar las estructuras y en caso de soportar un evento de esta naturaleza se deben reubicar los pacientes hacia los pisos altos de la edificación y establecer rutas de evacuación del mismo. Los pacientes internados y las posibles víctimas quizás se puedan trasladar a la Clínica San Pablo en Chuao.

- Sector California Sur

Los mapas de amenaza indican que las áreas bajo amenaza alta por inundación son: el sector de la urbanización Chuao comprendido entre las avenidas Río de Janeiro y Araure, toda la avenida Río de Janeiro hasta La California Sur por ser paralela al río Guaire, el sector oeste del Aeropuerto La Carlota, Los Ruices Sur entre la autopista Francisco Fajardo y la avenida Río de Janeiro, toda la urbanización California Sur y la parte sur de la urbanización California Norte, por lo que no se recomienda utilizar las avenidas Río de Janeiro, avenidas Araure, Trieste, autopista Francisco Fajardo a la altura de la California Sur y el distribuidor Macaracuay que son las vías principales, se puede emplear el distribuidor Los Ruices para conectar el sector sur con el norte de la ciudad. Las personas afectadas por una inundación pueden dirigirse hacia la Clínica Metropolitana que es centro de salud más cercano y está ubicado en un sector que no está bajo amenaza.

Otra zona afectada es la de Petare, el río Guaire en caso de desbordarse a parte de impedir la circulación por la autopista Francisco Fajardo, coloca en un alto grado de amenaza el Hospital Pérez de León, en especial las edificaciones que se están construyendo actualmente para su ampliación y la nueva sede del Hospital Materno Infantil. Aguas abajo del Puente Baloa, se encuentran unos terrenos por la margen izquierda que se han inundado en varias oportunidades y que en los mapas de amenaza están señalados como área de alto grado de amenaza, en caso del desbordamiento del río no se recomienda atravesar el río por el puente Baloa, dada la alta peligrosidad que eso implica. Las personal que se encuentran en el sector pueden dirigirse hacia la redoma de Petare para resguardarse y el centro hospitalario mas cercano es el Hospital de El Llanito.

QUEBRADA CATUCHE

La comunidad de Catuche se encuentra bastante organizada y ha tomado conciencia en cuanto al riesgo por inundación que existe en la zona.

Si bien existe conciencia de riesgo, en los sectores 1, 2 y 3 debe idearse un plan de evacuación, en cuya estructuración participe activamente la comunidad.

Los planes de emergencia a nivel de detalle deben ser elaborados de manera mancomunada por los entes de respuesta (Protección Civil) y los entes sociales (Comunidad organizada). Como una primera aproximación, se recomienda una evacuación en situación de emergencia hacia las zonas que se indican a continuación y se representa gráficamente en la figura anexa.

- Los habitantes del sector Bosque-Boulevard, ubicados en la margen izquierda de la quebrada deben evacuar hacia la zona 1A y los de la margen derecha hacia la zona 1B.
- Los habitantes del sector Kinder-Quinta, ubicados en la margen izquierda de la quebrada deben evacuar hacia la zona 2-A y los de la margen derecha hacia la zona 2-B.
- Los habitantes del sector Carlos III-Guanábano, ubicados en la margen izquierda de la quebrada deben evacuar hacia la zona 3-A y los de la margen derecha hacia la zona 3-B.
- Los habitantes del sector La Trilla ubicados en la margen izquierda de la quebrada deben evacuar hacia la zona 4-A, (Foro Libertador) y los de la margen derecha hacia la zona 4-B, (Avenida Panteón).
- Los habitantes de la ciudad formal deben evitar los sótanos de los edificios.

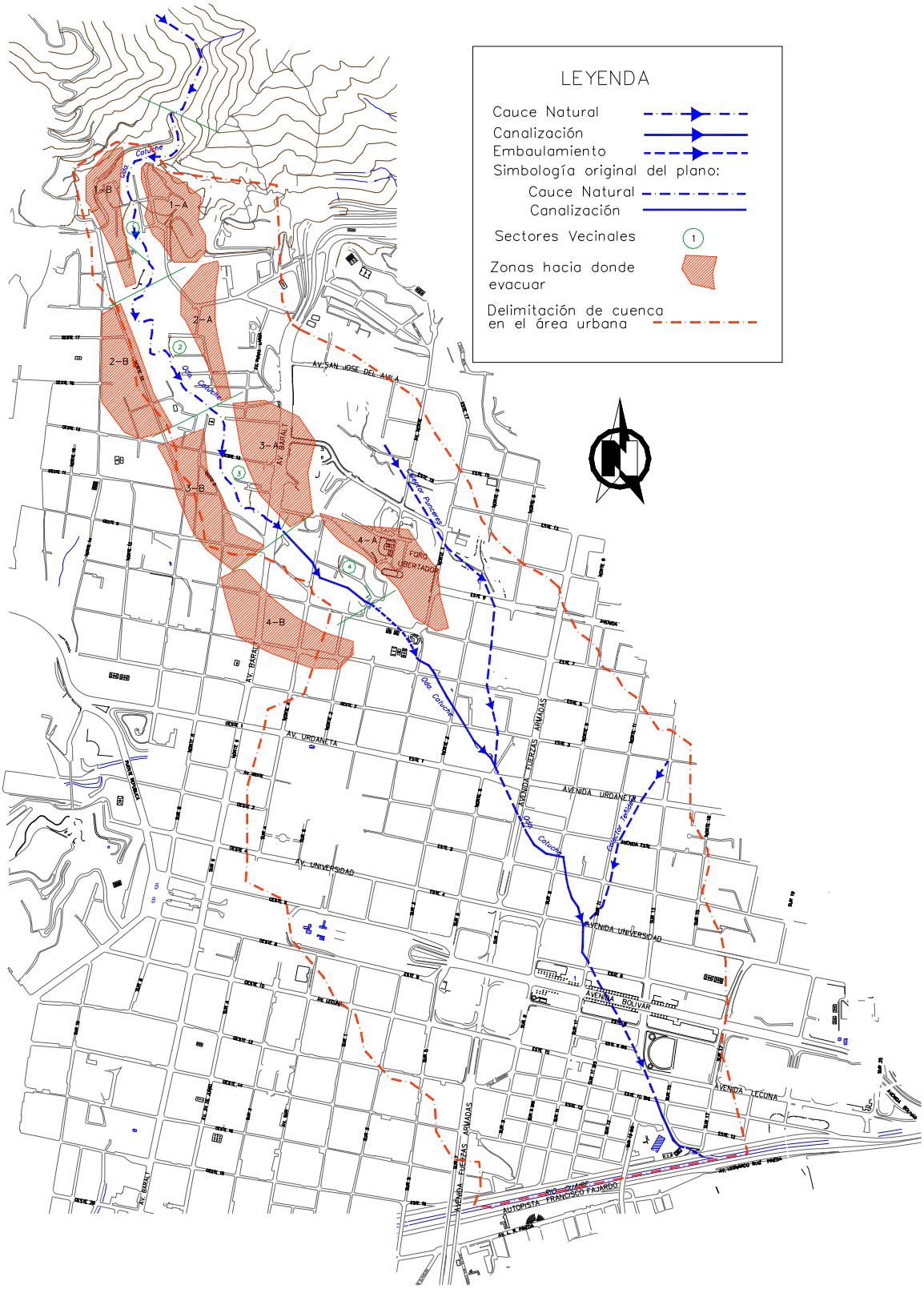


Figura 18.1. Catuche. Zonas hacia donde evacuar en caso de emergencia.

QUEBRADA ANAUCO

SISTEMA DE ALERTA

En este sector existe ya un sistema de alerta comunitario que debería favorecer la protección de la población. El sistema de alerta temprana debe manejar las siguientes variables:

- la profundidad del flujo
- color del flujo
- olor del flujo
- antecedentes inmediatos de lluvia
- experiencia y conocimiento de los vecinos del cauce

Deben desarrollarse varias etapas en el sistema de alerta, al menos dos donde se le dé una primera alerta a la comunidad para prevenir de la situación y otra para indicar la necesidad de desalojar las áreas en riesgo. En una etapa intermedia se podría iniciar el desalojo y escape para personas con dificultad de traslado.

El sistema de alerta temprana debería incluir tanto a la ciudad informal como a la formal. Por ejemplo las comunidades que habitan los cauces de la Qdas. Anauco, Cotiza, Los Erasos y Gamboa, el estado de amenaza en el que se encuentran ya ha sido comprobado en anteriores crecientes. Cuando el sistema de alerta indique que las comunidades se encuentran en riesgo, también se deben implementar las advertencias aguas abajo, específicamente sobre el Paseo Anauco y la Av. México, para en principio advertir del posible riesgo y si persisten las condiciones por un tiempo estipulado previamente o una vez empezada la inundación aguas arriba proceder a la evacuación de las personas de las calles, de los locales al nivel de esta, de la estación del Metro, y al desvío del tránsito por vías más seguras.

RUTAS DE EVACUACIÓN Y SITIOS DE REFUGIO

Observando el Mapa de Amenaza de la cuenca muy pocas calles e inmuebles del sector formal de la ciudad son afectados por el flujo de las quebradas, ya que sus cauces, en general, están varios metros bajo el nivel de calle. Pero si pueden ser afectadas las calles y avenidas por las aguas que caen directamente de lluvias torrenciales sobre la ciudad y que el sistema de recolección de lluvias de la ciudad no es capaz de captar.

No debe descartarse la posibilidad de que las viviendas vecinas a la Av. Boyacá sean afectadas por deslizamientos de tierra de la montaña o del talud de la misma avenida.

Se observa que aguas abajo de la confluencia de la Qda. Anauco con la Qda. Caraballo, la margen derecha del cauce el riego es menor que en la margen izquierda. Esto es debido a que la elevación del valle de Caracas baja hacia el sur y hacia el este.

En la parte alta de la Urb. San Bernardino, el área entre la Quebrada Anauco y la Quebrada Tócome, donde están las Avenidas Arturo Michelena, F. Peñalver, etc., no es afectada por las inundaciones de estas quebradas. Es un sitio seguro por el cual no pasa ninguna quebrada que venga desde el Ávila, pero tiene el riesgo de quedar aislada durante la creciente. Esta área tiene varias vías de acceso, una por Cotiza, cruzando el puente de la Av. Parque Forestal, que se encuentra sobre el embaulamiento de la Q. Cotiza. Otro acceso por la Av. A. Rojas, siempre y cuando el flujo no interrumpa el paso, o buscando un acceso seguro por el talud de la vía. Durante la evacuación se debe evitar que personas y bienes que puedan ser arrastrados por la corriente, permanezcan o circulen por las Avenidas Alejandro Humboldt, Lic. Aranda, Arturo Michelena, A. Rojas y sobre el puente de la Av. Parque Forestal.

Al oeste de la Qda. Cotiza se encuentra la Qda Caraballo y sus afluentes. El área de la cuenca dentro del Parque Nacional El Ávila es pequeña y el cauce funciona básicamente como recolector de las aguas de lluvia que caen sobre la ciudad y de aguas negras de las construcciones informales del área. Se recomienda en esta área alejarse de los sitios por donde pasan los embaulamientos y la calle Real

Entre las Quebradas Anauco y Gamboa están al menos otras tres quebradas pequeñas y la Quebrada Las Beatas. Estas fueron desviadas hacia el cauce de la Q. Anauco a nivel de la Av. Boyacá, lo que reduce el riesgo por aludes torrenciales en la zona. Se debe evacuar en caso de inundaciones y lluvias torrenciales las Avenidas Cecilio Acosta, Rafael Baralt y la parte baja de la Av. Fermín Toro.

Las calles amenazadas entre las Quebradas Gamboa y Los Erasos son las avenidas, Manuel Felipe Tovar, Panteón al este de la Q. Anauco, Galipán, Ávila, Cajigal, Gamboa, Anauco, José Félix Rivas, y Soublette.

En el Distribuidor la Estrella confluyen siete calles, tres de ellas tienen dirección norte-sur y traen las aguas que escurren superficialmente desde la parte alta de la cuenca, y que no fueron captadas por el colector de aguas de lluvia de la ciudad. En la Av. Anauco, específicamente entre la Av. Panteón y el Distribuidor, los vecinos y comerciantes del sector han informado sobre el arrastre de carros y camiones por la corriente de agua que escurre por la calle durante lluvias torrenciales. Otras calles a ser evacuadas ya que revisten igual peligro es la Av. El Parque y en menor grado las avenidas Caracas y La Estrella. La calle paralela a la Av. EL Parque llamada Calle Paralela en este trabajo, también debe ser evacuados los vehículos y los transeúntes ya que el flujo superficial cruza por el puente en el Distribuidor La Estrella e inunda el sector.
Hacia el sur de la Av. Andrés Bello – Urdaneta, el flujo superficial tiende a irse hacia el este. Actualmente el terreno ubicado entre las avenidas Andrés Bello y Este, y Vollmer y Sur 17, se encuentra en construcción y la excavación ha llegado a aproximadamente a dos niveles bajo el nivel de la calle, según la arquitectura que se desarrolle tendrá mayor o menor riesgo de inundarse por el flujo superficial.

El Paseo Anauco es otro de los lugares que debe ser evacuado en caso de una creciente, así como la Av. México desde el Hotel Hilton hasta la casi llegar al Liceo Andrés Bello. El espacio del Parque Vargas donde se construye la nueva sede de la Galería Arte Nacional y

donde se desarrollan los cultivos hidropónicos debe ser evacuadas las personas y o vehículos y dirigirse hacia la Av. Bolívar o a los pisos altos de la sede de la Galería. El flujo que caiga en este terreno tomará la calle puede afectar los niveles inferiores de Parque Central. En esta área el riesgo por flujo de escombros que puedan dañar las estructuras de las edificaciones es mínimo, pero sí es alto el riesgo por inundaciones, por tanto se considera que la amenaza en los niveles del nivel de calle hacia abajo es peligrosa la permanencia en ellos, pero en los niveles superiores es segura.

MARIPEREZ

En caso de emergencia es recomendable que las personas que se encuentren en zonas de alto riesgo, sean trasladadas a lugares que brinden seguridad, entre ellos están: el Centro de Protección Civil, el Módulo de la Policía Metropolitana y el Colegio La Salle, los tres ubicados al Norte de la Avenida Principal de Maripérez.

QDA SECA

Se estableció con las simulaciones que existen vías que no deben ser transitadas en caso de inundación como la 2da Avenida, la 10ma transversal y las Avenidas Luis Roche y San Juan Bosco alrededor de la Plaza Altamira. La estación del Metro de Altamira no debe ser utilizada y en ningún caso destinarse como sitio de refugio. A las clínicas Ávila y La Floresta se les debe acceder preferiblemente desde el Este, aunque se encuentran en zonas libres de amenaza. Existen amplias zonas con amenaza media donde las personas corren menos peligro dentro de las edificaciones que fuera, en las calles, aunado al hecho que la mayoría de las calles con dirección Norte-Sur presentan amenaza media debido a las altas velocidades que en ellas se producen dada la alta pendiente. Tratándose entonces de una zona en alto porcentaje residencial, es conveniente informar a los residentes sobre las zonas donde es preferible estar dentro de la edificación (zonas anaranjada y amarilla) y en cuáles es perentorio alejarse hacia sitios más seguros (zona roja) y la ruta más apropiada, moviéndose sobre las vías con dirección Este-Oeste o utilizando con cuidado las que tienen dirección Norte-Sur, cuando sea imprescindible usarlas.

El punto más crítico de esta cuenca lo constituye el acceso al puesto de guardaparques Sabas Nieves por la 10ma transversal debido a la falta de capacidad de las estructuras hidráulicas para conducir crecientes con frecuencia inferior a 10 años, y debido a la afectación que la inundación produce en todo el cono. Reviste también una situación de peligro, la Quebrada Blandín en la 9na transversal a la entrada del Sector Popular Bucaral, donde dicha calle constituye un punto bajo y el agua después de almacenarse, se mueve dentro del Barrio el cual está construido dentro del cauce. El principal problema es que el Sector no cuenta con un sistema de drenaje efectivo que procure una salida rápida del agua sino que ésta es represada por los muros de las viviendas formales vecinas y sólo hasta que el nivel de la quebrada baja, el agua retorna lentamente al cauce. Mientras eso ocurre las personas presentes en el Sector se encuentran bajo serio peligro ya que pudieran quedar atrapadas sobre todo en caso de tormentas extremas.

SEBUCAN

De acuerdo a los resultados obtenidos con las simulaciones, el conocimiento de la red hidrográfica adquirido con las visitas de campo, permitió definir manchas de inundación más circunscritas y acordes a las experiencias narradas por los habitantes de la zona. También la modificación de la topografía y la actualización del modelo reportaron cambios sustanciales respecto a los resultados en el Proyecto Ávila.

A partir del mapa de amenaza se pueden definir rutas de escape y zonas de refugio, además de catalogar las vías cuya circulación debe evitarse.

Para el primer aspecto, se observa que la 4ta Avenida de Los Palos Grandes es una vía principal con acceso de Norte a Sur a todas las transversales del sector y que puede ser utilizada para agrupar personas en la zona comprendida entre las Quebradas pajaritos y Los Palos Grandes, la cual se manifiesta como de baja amenaza. La 3ra Avenida, paralela a la 4ta, se encuentra bajo amenaza media, por lo tanto debe restringirse el tránsito por ella durante eventos pluviométricos intensos. Avenidas cuya circulación debe evitarse ya que se encuentran bajo amenaza alta son la Avenida Principal Santa María, la décima segunda Avenida, la 7ma Avenida al Norte de la 7ma transversal y la Autopista Francisco Fajardo entre el Distribuidor Altamira y la alcantarilla de la Quebrada Agua de Maíz. Las vías que deben transitarse con precaución son las Avenidas San Juan Bosco y Luis Roche entre la 6ta y 2da transversal, la 8va Avenida, la 7ma Avenida al Sur de la 7ma transversal, la 1ra, 2da y 3ra transversal entre la 1ra Avenida y la Andrés Bello, la 1ra Avenida de Santa Eduvigis (Av. Luis Guillermo Villegas Blanco) y transversales que a ella confluyen y Las Avenidas José Félix Sosa al Sur de la San Carlos y ésta propiamente dicha, en la Urbanización La Floresta.

Debe acotarse que aunque la estación del Metro Parque del Este se encuentra bajo amenaza media debe evitarse como sitio de refugio ya que es un punto de concentración de las aguas sin posibilidad de salida. El Parque Rómulo Betancourt (Parque del Este) se encuentra en amenaza baja y media, colocándolo en un sitio aparentemente seguro.

En general las zonas que no se encuentran propiamente en los cauces o colindando con ellas, se presentan bajo amenaza media y baja lo cual indica que lo más recomendable es permanecer dentro de las viviendas durante la ocurrencia de la tormenta.

TOCOME

En caso de un evento que requiera la evacuación de la población, se debe tener especial cuidado en no permanecer en las calles y avenidas que van en dirección norte-sur y que se encuentran por encima de la Av. Fco. de Miranda, ya que el flujo que en esas calles se pueden generar tienen la capacidad de arrastrar vehículos, personas y otros bienes. En caso de no poder desalojar se recomienda entonces buscar puntos altos en las calles que tengan dirección este-oeste.

La parte alta de la cuenca urbanizada colinda con la Av. Boyacá. Hay evidencias de que en esta zona han ocurrido aludes torrenciales. Por ejemplo, hoy en día todavía se observan en varios sitios del área, grandes peñones que quedaron apilados después de haber sido extraídos durante las excavaciones efectuadas en la construcción de edificios ubicados cerca de la Av. Boyacá. Por tanto al momento de la evacuación se recomienda dirigirse hacia la parte baja de la cuenca, desalojando principalmente las áreas que se encuentran entre quebradas. Toda el área que se encuentra entre las Quebradas Tócome y La Julia debe ser evacuada, ya que al crecer ambos torrentes dejarían incomunicada el área. Se puede tomar como vía de escape la Av. Ppal. de Boleita preferiblemente por la vía Este, ya que la oeste va pegada al cauce y la este tiene mayor elevación.

Aguas abajo del Parque Los Chorros el flujo tiende a inundar las urbanizaciones asentadas en la margen derecha u oeste del cauce, ya que esta tiene menor elevación que la margen izquierda.

Se observa en el Mapa de Amenaza que se produce Amenaza Media al desviarse el flujo hacia la Av. Ppal. de Los Ruices. El espacio que queda entre el cauce y esta vía debe considerarse de amenaza media al quedar rodeado y sin posibilidad de evacuación. Las áreas al oeste de la Av. Ppal. de los Ruices están libres de peligro por inundaciones o aludes torrenciales del cauce de la Quebrada Tócome.

La Av. El Sanatorio del Ávila (5ª transversal), es cruzada por las Quebradas Tócome y La Julia, esta avenida se inunda cuando se desbordan ambos cauces y han llegado a quedar atrapados vehículos rústicos entre ambas corrientes. En caso de alerta por inundación las personas y los bienes que pueda arrastrar la corriente deben ser evacuadas del sector. En especial el terreno donde funciona un estacionamiento por el cual se pasan los embaulamientos de ambas quebradas, aguas arriba de la confluencia.

La zona industrial de los Ruices es afectada en las calles y edificaciones cercanas al cauce, sin llegar a afectar un bloque o “manzana” completa.

Justo aguas abajo de la Av. Fco. de Miranda la amenaza es mayor para los terrenos ubicados en la margen izquierda de la quebrada.

18. RECOMENDACIONES PARA PLANES DE CONTINGENCIA 1
18.1 Conceptos generales 1

19. CONCLUSIONES Y PRODUCTOS DE LA INVESTIGACIÓN

19.1 Conclusiones

En los capítulos anteriores que conforman este documento, se han presentado conclusiones y recomendaciones particulares para cada componente de la investigación. A continuación se describen brevemente un conjunto de conclusiones relacionadas con los objetivos específicos que se plantearon al inicio de la investigación:

1) Se ha desarrollado una metodología para la estimación de la producción total de sedimentos (arrastre suspendido y arrastre de fondo) en cuencas de montaña mediante una relación funcional entre la producción de sedimentos por erosión laminar y la producción por arrastre de fondo, que acoplada a un modelo continuo lluvia-escorrentía permita estimar la producción medial mensual y anual de sedimentos. Esta metodología permite evaluar la afinidad entre la porción transportada en suspensión y la porción transportada por arrastre de fondo de los sedimentos producidos por cuencas de montañas, mediante la integración de modelos que estiman la erosión laminar y el arrastre de material del lecho. La metodología se ha aplicado a 19 quebradas de las cuencas que drenan la vertiente sur del Parque Nacional El Ávila.

2) Se mejoró la metodología desarrollada por investigadores del IMF para la determinación de mapas de amenaza por inundaciones torrenciales. La metodología contempla varias innovaciones con respecto a la presentada anteriormente (López et al., 2002):

a) Se utilizó un nuevo algoritmo de interpolación topográfica para densificar el Modelo Digital de Terreno DTM, lo que se tradujo en una mayor homogeneización de las manchas de inundación y en algunos casos en su reducción.

b) Se efectuaron tanto simulaciones de aludes torrenciales (para los afluentes provenientes de El Ávila) como simulaciones de flujos de agua con transporte convencional de sedimentos (para los Ríos Guaire y Valle, y las quebradas con cuenca de montaña reducida).

c) Además de los hidrogramas líquidos que representan el aporte de las cuencas altas, se simuló la lluvia directa sobre las áreas estudiadas, llevando a una mejor estimación del gasto en los canales y a una representación más adecuada de los flujos en las calles.

d) Se hizo mayor énfasis en el flujo en las calles (representadas como canales), lo que permitió una mejor distribución del flujo de agua en el área de inundación. Se calculó además la intensidad y la amenaza en éstas, lo que aportó información adicional para la elaboración de mapas de amenaza y planes de contingencia.

e) Se prestó más atención a las condiciones de obstrucción de las alcantarillas y de los puentes, simulando obstrucciones parciales o totales según sea el caso.

f) Los criterios de amenaza se afinaron para considerar situaciones especiales como son los límites entre rangos y los valores muy bajos de las variables.

3) Se desarrollaron mapas de amenaza en escala 1:10.000 para las principales quebradas del valle de Caracas: Anauco (incluyendo Cotiza y Gamboa), Catuche, Maripérez, Chacaito, Quebrada Seca, Sebucán, Agua de Maíz, Tócome, y Caurimare. Los resultados indican que una porción significativa del área urbana de la ciudad está expuesta a sufrir inundaciones en el caso de ocurrencia de lluvias extraordinarias. Algunas de las áreas clasificadas con amenaza alta han sido afectadas por eventos pasados, pero el estudio señaló otras no tocadas todavía, de uso residencial (formal e informal), comercial, administrativo o industrial. A continuación se resumen las áreas con el mayor grado de amenaza por flujos torrenciales en las quebradas que drenan el flanco sur del macizo Ávila:

a) En general todas las orillas de los cursos. Nótese que como el uso actual del suelo, por parte de edificaciones tanto formales como informales, no respeta casi en ninguna parte la franja protectora de 25 m. prevista por la Ley de Suelos y Aguas, es en esta franja que se encuentran la mayor parte de los daños potenciales.

b) Una zona cercana al Centro de la ciudad, perteneciente a las áreas informales del norte de Catuche y Anauco, a la urbanización San Bernardino y a los sectores La Candelaria, Parque Carabobo y Bellas Artes.

c) Una extensa zona al este de la ciudad, perteneciente en su mayor parte a los municipios Chacao y Sucre, la cual se extiende desde la quebrada Chapellín hasta la quebrada Caurimare, y está expuesta a:

    - amenaza alta: además de áreas cercanas a los cauces, se trata de áreas residenciales aledañas al Ávila como las zonas altas de La Castellana y Altamira, y más aún la Urbanización Terrazas del Ávila, expuesta al impacto directo de un alud torrencial.
    - amenazas media y baja, debidas a confinamientos y cambios de sección en los canales, posibles obstrucciones de las alcantarillas y flujos por las calles de las distintas urbanizaciones.

4) Se elaboraron mapas de amenaza en escala 1:10.000 para el Río Guaire en el tramo comprendido entre Las Adjuntas y Petare. Los resultados indican que el área de amenaza alta es de 560 ha, aproximadamente. A partir de estos resultados y mediante la superposición con los mapas de amenaza locales de las quebradas, se preparó un mapa de amenaza general del valle de Caracas, el cual se muestra en la Figura 19.1.

El mapa de amenaza integrado de las quebradas y del Río Guaire se presenta también en tamaño ampliado al final de este capitulo.

Las áreas amenazadas por inundaciones del Río Guaire en el primer tramo son sectores de Las Adjuntas y Caricuao. Luego, hasta Puente Mohedano, son pocas las áreas amenazadas, ubicadas principalmente en Mamera y Antímano. A partir de Puente Mohedano, después de la confluencia con la Qda Anauco, se extiende un área de amenaza continua hasta Petare, la cual incluye:

- áreas residenciales o residenciales-comerciales: Bello Monte (ambas márgenes), Las Mercedes, Chuao (margen derecha), Los Cortijos, La California Sur, y La California Norte.
- administrativas: Chuao (margen izquierda).
- industriales (Los Ruices Sur).
- áreas abiertas: Parque Los Caobos, Jardín Botánico, Estadios Universitarios, y Base Aérea La Carlota.

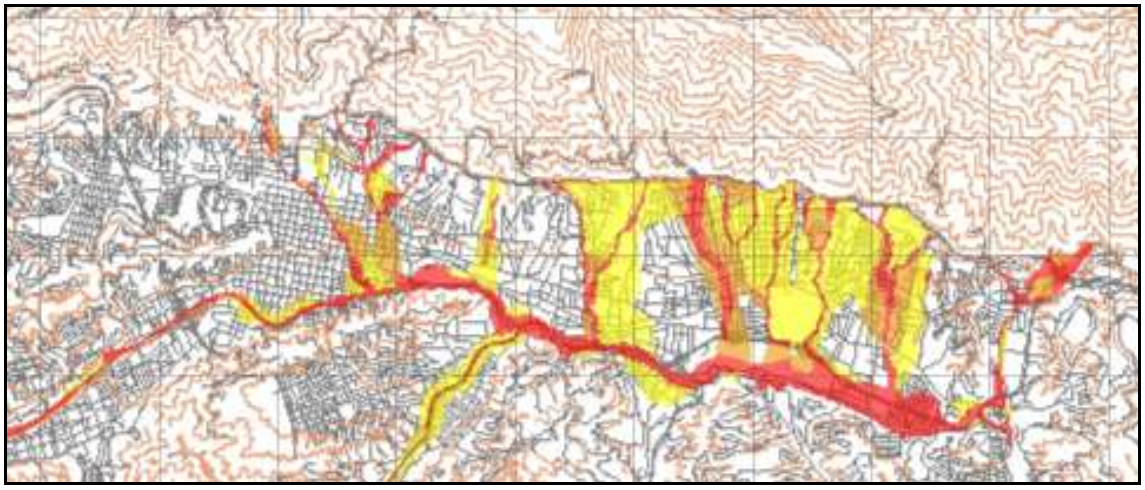


Figura 19.1. Mapa de amenaza por inundaciones y aludes torrenciales en el Valle de Caracas.

5) Se han establecido (Capítulo 17) unos lineamientos generales para elaborar un programa de medidas estructurales y no-estructurales de prevención y mitigación contra inundaciones y flujos torrenciales. Las áreas amenazadas deberán recibir la atención de los planificadores urbanos con el fin de implementar medidas tales como reglamentación del uso del suelo, re-acondicionamiento de edificaciones existentes e incluso reubicación, la medida más apropiada cuando están ubicadas en la franja de protección de los cursos de agua.

6) Se ha propuesto (Capítulo 18) de manera preliminar para cada cuenca un conjunto de indicaciones relativas a las rutas de escape y los sitios de refugio posibles, en función de las simulaciones realizadas y de los mapas elaborados en este estudio. Estas indicaciones proporcionarán a los organismos de Protección Civil criterios para escoger las vías y los sitios definitivos en sus Planes de Contingencia, y descartar algunos, que aunque siendo aptos bajo otros criterios (carácter público, espacio disponible, proximidad de sitios de residencia) están expuestos a la amenaza por inundaciones y aludes torrenciales.

19.2 Productos de la Investigación

Mapas

1. Mapas de amenaza en escala 1:10.000 para las principales quebradas del valle de Caracas.
2. Mapas de amenaza en escala 1:10.000 para el Río Guaire en el tramo comprendido entre Las Adjuntas y Petare.

Publicaciones

(Ver Anexo IV)

1. López, José L., "Estrategias de mitigación y control de inundaciones y aludes torrenciales en el estado Vargas y en el valle de Caracas: situación actual y perspectivas futuras", aceptado para publicación en la Revista de la Facultad de Ingeniería, UCV, Diciembre, 2005.

2. Artígas, J., López, J.L., Córdova, J.R. "Metodología para estimar el acarreo total de sedimentos en cuencas montañosas", aceptado para publicación en la Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Junio, 2006.

3. Courtel F. López, J.L., Noya, M., Bello, M.E., y Paredes, G., "Mapas de amenaza por inundaciones y aludes torrenciales en el valle de Caracas", enviado al XXII Congreso Latinoamericano de Ingeniería Hidráulica, Puerto Ordaz, Venezuela, 9 al 12 de Octubre, 2006.

Tesis de Grado

1) Jacinto Artigas, "Estimación de la Producción de Sedimentos en Cuencas de Montaña", Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UCV. Diciembre, 2004.

2) Leidy Torres, "Inundaciones de la quebrada Canoas", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, UCV, Escuela de Ingeniería Civil (en ejecución).

20. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Academia Nacional de La Ingeniería y el Habitat. *Las aguas del Valle de Caracas*, Caracas, Junio 2001.

2. Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA)- Distrito Metropolitano de Caracas. *Estudio sobre el Plan Básico de Prevención de Desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas*, Marzo 2005

3. Alcaldía de Chacao, Instituto Autónomo de Protección Civil y Ambiente. *Informe sobre Gestión de Riesgo*, Caracas, Diciembre 2001.

4. Arroyo Pedro Francisco, *Informe técnico en relación con obras construidas en el cauce de las quebradas Tócome y Camburí.*. Caracas 5 Septiembre de 1975.

5. Avellán, H. *Estudio de Frecuencia de Crecientes en la Cuenca del Río Guaire*, Dirección de Estudios y Proyectos Hidráulicos, Dirección General de Infraestructura, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, Caracas, 1977.

6. Ayala U., L. *Estudio Hidrológico para la determinación de los Gastos de Diseño para el Plan General de los Drenajes del Área Metropolitana de Caracas*., Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS), Caracas 1975.

7. Ayala U., L. *Estudio Hidrológico del río Guaire*, Dirección de Estudios y Proyectos Hidráulicos, Dirección General de Infraestructura, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, Caracas, 1982.

8. Ayala U., L y Ochoa J. *Estudio Hidrológico para el aprovechamiento de fuentes del sistema de abastecimiento de agua potable de la zona metropolitana*, Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS), Caracas 1982.

9. Basabe P., Neumann A. & Singer A. *Aporte a la Prevención de Desastres "Naturales" en Venezuela* (PREVENE), Cooperación: Venezuela-Suiza-P.N.U.D. (Proyecto VEN/00/005), Caracas, Mayo 2001.

10. BPP, Ingenieros Consultores S.A. *Diagnóstico y Rehabilitación de las Cloacas de Caracas***,** Mayo 1992.

11. C.G.R. Ingeniería. M*ediciones Hidrométricas del Río Guaire en la Hacienda El Sitio, Estado Miranda*. Electricidad de Caracas-TECNOCONSULT-ASINCRO, Caracas, 1999.

12. C.G.R. Ingeniería. *Estudio de Crecidas de las Cuencas de la vertiente sur del Parque Nacional Ávila,* Caracas, Diciembre 2000.

13. Cuerpo de bomberos. Área de Planificación para casos de desastres. Gobierno del Distrito Federal. República de Venezuela. *Informe técnico con fines de evaluación de daños, sobre zonas afectadas por los eventos ocurridos en diciembre 1999 en el Área Metropolitana de Caracas (San Bernardino, Mecedores, Lídice, Blandín, Los Chorros*) (Caracas, 2000).

14. Douma, J.H. C*analization of Río Guaire and Tributaries*. Caracas, 1960.

15. Corro, D. L., Pérez H., D. y Escalona, C. *Análisis e interpretación de las causas y efectos de la inundación del Guaire*. Caracas, Agosto 1980.

16. Courtel F. *Diagnóstico de Recolección de Aguas de Lluvia. Plan de Desarrollo Urbano Local (PDUL) de Chacao.* Alcaldía de Chacao*,* Caracas, 1995.

17. Crespo, G. *Proyecto de Canalización del Río Guaire*. *Análisis Hidráulico progresivas 4+900 – 5+100*. Caracas, 1977.

18. Cuerpo de Bomberos del Distrito Federal, Área de Planificación para Casos de Desastre. *Informe Técnico con fines de evaluación daños sobre zonas afectadas por los eventos ocurridos en diciembre de 1999 en el Área Metropolitana de Caracas (San Bernardino, Los Mecedores, Lídice, Blandín, Los Chorros)*, Caracas, Febrero 2000.

19. El Nacional. *Atlas Práctico de Venezuela.*

20. Gajardo, E., 2000, *Un Sistema Automático y Telemétrico de Alerta Temprana para Aludes Torrenciales*, Seminario Internacional sobre los Aludes Torrenciales en Venezuela, Instituto de Mecánica de Fluidos, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Nov. 2000.

21. Grases, J. P., Amundaray, J.I., Malaver, A., Feliziani, P., Franceschi L. & Rodríguez J.C. *Efectos de las lluvias caidas en Venezuela en diciembre de 1999*, P.N.U.D.-C.D.B. Publicaciones, Caracas, 2000.

22. Henderson F. M. *Open Channel Flow*. Mac Millan, Toronto, Ontario, Canadá, 1966.

23. Instituto de Mecánica de Fluidos (IMF), *Proyecto Mapas de Amenaza por Aludes Torrenciales en las zonas del Estado Vargas y el Valle de Caracas*, definidas en el Proyecto Ávila. Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Junio 2002.

24. Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS). *Hidrología para la Canalización del Río Guaire*. *Área de Drenaje del Río Guaire, aguas arriba de Petare,* Caracas, Enero 1959.

25. Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS). *Canalización río Guaire*. *Informe justificativo*, Caracas, 1962.

26. López, J.L., García, R., Bello, M.E., Paredes, G., González, N., Vivas, M.I., y Noya, M.E., (2002), "Análisis y Mapeo de Inundaciones y Aludes Torrenciales en Abanicos Aluviales (Parte I: Descripción Metodológica)", Memorias del XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, La Habana, Cuba, 2 al 5 de Octubre, 2002.

27. MARAVEN. Serie de Estudios Regionales. *Sistemas Ambientales Venezolanos*. Región Capital y Central, Caracas, 1987.

28. Martínez Consultores S.A. *Informe Limpieza del cauce del Río Anauco*. Enero 2000.

29. Martínez Consultores S.A,. *Proyecto de Canalización del Río Valle*, Caracas, 1987.

30. Martínez Consultores S.A. *Embaulamiento Quebrada Caroata en un tramo aproximado de 350 m*, Caracas, 1993.

31. Michelena, Santos E. *Confluencia de canales abiertos en régimen supercrítico,* Informe interno INOS.

32. Michelena, Santos E., Franceschi A., L. & Rosqueta, A. *Sediment transport problems in the river Guaire watershed*.

33. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (MARNR). *Atlas de Tormentas de Venezuela*. Dirección de Hidrología DGIIA., Caracas,1984.

34. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (MARNR). *Estudio de frecuencias de crecientes del río Tuy en El* Clavo, Caracas, 1985.

35. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (MARNR). *Bases para desarrollar un modelo hidrológico Hidromecánico Aplicado a la operación del sistema de fuentes, aducciones, embalses de reserva y plantas de tratamiento*, Caracas*,* 1988

36. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (MARNR). *Boletín de actualización Hidrométrica Nacional zonas 1 y 2*, Caracas, 1988.

37. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (MARNR). *Recopilacion y Evaluación de los estudios realizados en la cuenca del río Tuy, (Información referente a caudales medios y mínimos)*, Caracas, 1988.

38. Ministerio de Obras Públicas (MOP). *Informe Preliminar sobre la Meteorología de la Cuenca Alta del Río Guaire*, Caracas, Septiembre, 1951.

39. Ministerio de Obras Públicas (MOP). República de Venezuela. Dirección General de Recursos Hidráulicos. Dirección de Información Básica, *Estudio Hidrológico de la Quebrada Anauco. Análisis de Frecuencia de Picos Máximos Anuales*, Caracas, Julio 1974.

40. Ministerio de Obras Públicas (MOP). República de Venezuela. Dirección General de Recursos Hidráulicos. Dirección de Información Básica. *Frecuencia de Picos Máximos Anuales Quebrada Arauco*, Caracas, Mayo 1975.

41. Ministerio de Obras Públicas (MOP). *Informe hidrológico preliminar de los ríos pertenecientes a la Hoya del río Tuy,* Caracas, 1965.

42. Ortigao, J., Avila, C., Justi, M., Orsi, R. Y Brito, H., "RIO-WATCH 2000: *The Rio de Janeiro Landside Alarm System*, Seminario Internacional sobre los Aludes Torrenciales en Venezuela, Instituto de Mecánica de Fluidos, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Nov. 2000.

43. Plano de Caracas con Guía de calles y avenidas. Electricidad de Caracas. Caracas 1990.

44. Pacheco T., G., *Las Iras de Serranía. Lluvias torrenciales, avenidas y deslaves en la Cordillera de la Costa, Venezuela: un enfoque histórico,* -Fondo Editorial Tropykos, Caracas, *2002*.

45. Raketich, Walter, *Report on design of hydraulic laboratory*. Instituto Nacional de Obras Sanitarias.

46. SARDIMAR C.A. *Modificación del Proyecto de Canalización y Zampeado de la Quebrada Anauco,* Junio 1977.

47. SARDIMAR C.A. *Análisis de Mejoramiento de la Canalización del Río Guaire, desde 150 metros aguas arriba del Puente Ginebra (California Sur) hasta su intersección con el tramo El Llanito-El Encantado,* Caracas, 1983.

48. SARDIMAR, C.A. *Proyecto de los Colectores Marginales del Río Guaire desde el Sector Quebrada Guereguere hasta El Encantado*. Anexos, Caracas, 1983.

49. Sardi S., V. *Cálculo del Disipador de Energía Río Guaire. Estudios Técnicos.*

50. Singer, A. *Tectónica Reciente, Morfogénesis Sísmica y Riesgo Geológico en el graben de Caracas, Venezuela,* V Congreso Geológico Venezolano, Caracas, del 19 al 23 de Noviembre, 1977.

51. Suárez Luis Miguel, *Proyecto de Canalización de la Quebrada Tócome,* Diciembre 2002. Proyecto y Supervisión de Obras Hidráulicas.

52. TECNOSAN C.A. *Proyecto de factibilidad económica de aprovechamiento múltiple del río Guaire en el sector Petare-Tuy Medio*.

53. US Army Corps of Engineers. *Accuracy of Computed Water Surface Profiles,* The Hydrologic Engineering Center. Davis, California, USA, 1981.

54. US Army Corps of Engineers. *Guidelines for the Calibration and aplication of Computer Program HEC-6,* The Hydrologic Engineering Center, Davis, California, USA, 1981.

55. Vivas, F., *Proyecto de Habilitación Física de la Unidad de Diseño Urbano San Bernardino- San José. Quebrada Anauco*, Caracas Julio 2000 Informes I, II, III y IV.

56. Wei, F., *Report on Hazard Zoning of Debris Flows in the Alluvial Fan of Chacaito*. Reporte interno. Instituto de Mecánica de Fluidos. , Octubre 2001.

57. Wiese R., Instituto Nacional de Obras Sanitarias. *Hidrología para la canalización del Río Guaire,* Caracas, 1959.

58. Wong, R. F., Hydraulic *Design Analysis for Rio Guaire from Antimano to Petare*, Caracas, Diciembre, 1960.

59. http://www.pnud.org.ve/archivo/documentos/desastres_naturales/lluvias/Efectos%20de%20las%20lluvias/AnexosGuaira.doc. Alud torrencial catastrófico de febrero 1951.

AIHR **AIIH**

XXII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
CIUDAD GUAYANA, VENEZUELA, OCTUBRE 2006

MAPAS DE AMENAZA POR INUNDACIONES Y ALUDES TORRENCIALES EN EL VALLE DE CARACAS

Francois Courtel, José L. López, María Elena Bello y María Esperanza Noya
Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Venezuela
fcourtel@imf.ing.ucv.ve ; jlopez@imf.ing.ucv.ve ; mebello@imf.ing.ucv.ve ; mnoya@imf.ing.ucv.ve ;

;

RESUMEN:

En este trabajo se presentan los resultados de aplicar una metodología, basada en modelos matemáticos de simulación de flujos, para el análisis de la amenaza por inundaciones y aludes torrenciales en el valle de la ciudad de Caracas (Venezuela). Se discute la problemática existente y se presentan los conceptos y criterios utilizados para la definición de los diferentes niveles de amenaza. La metodología se aplica a varias cuencas con un régimen de flujo torrencial, y al Río Guaire, que es el drenaje principal del Valle de Caracas. Los resultados indican que una parte importante del área urbana de la ciudad está expuesta a sufrir inundaciones en el caso de ocurrencia de lluvias extraordinarias. Se hacen recomendaciones para mitigar el riesgo y aliviar la problemática.

ABSTRACT:

In this paper the results of the application of a methodology for the analysis of flood hazards in the valley of the city of Caracas (Venezuela) are presented. The main problems are discussed and the concepts and criteria used for the definition of different hazard levels are presented. The methodology is applied to several torrential basins and to the Guaire River, which is the main drainage of the Valley of Caracas. The results indicate that an important part of the urban area is sensitive to be flooded in the case of the occurrence of extraordinary storms. Some recommendations are made to mitigate the risk and alleviate the problem.

PALABRAS CLAVES: mapas de amenaza, inundaciones, aludes torrenciales, Caracas.

INTRODUCCIÓN

Una gran parte de las urbanizaciones del Valle de Caracas se asientan sobre los abanicos aluviales de las quebradas que drenan el flanco sur del Macizo Ávila. Las inundaciones han sido frecuentes en estos ambientes y han ocurrido en varias formas: aludes torrenciales (quebradas Catuche, Anauco, y Tócome en 1999), inundaciones repentinas (Agua de Maíz, 2003), inundaciones del Río Guaire, el principal drenaje de la zona (1977, 1980, 2005). También se han encontrado evidencias geológicas y arqueológicas de grandes aludes torrenciales que ocurrieron en el valle en la época precolombina (Singer, 1977).

Además del alto grado de ocupación de las zonas aledañas a las quebradas, el problema del drenaje de las aguas pluviales se complica porque la mayor parte de las quebradas han sido embauladas en las áreas urbanas, es decir, las canalizaciones abiertas han sido sustituidas por canalizaciones cerradas, con lo cual se aumenta el riesgo de inundaciones debido a la posibilidad de obstrucción y a la dificultad en darle un mantenimiento adecuado. Por otra parte, la existencia de estructuras de drenaje transversal (alcantarillas y puentes) que datan de los años 50, dificulta aún más el drenaje de la escorrentía superficial, ya que estas fueron diseñadas para otras condiciones de desarrollo urbano en la cuenca, donde había mayores superficies permeables y un porcentaje mucho menor de áreas pavimentadas.

El objetivo de este artículo es presentar los resultados de un estudio de evaluación del impacto de las inundaciones de agua y sedimentos en el Valle de Caracas. Se ha utilizado y mejorado una metodología presentada en un congreso anterior (López, et al. 2002), para desarrollar mapas de amenaza por flujos torrenciales. La metodología se ha aplicado a las 12 quebradas y ríos principales que conforman la red de drenaje del valle, las cuales desembocan en el Guaire, y al propio Río Guaire en el área urbana.

METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA

La metodología utilizada contempla la aplicación de modelos matemáticos para la simulación de los flujos de agua y sedimentos en las quebradas, acoplados con sistemas de información geográfica. Para la simulación de los flujos se usa el modelo bidimensional FLO-2D (O'Brien et al., 1993), el cual calcula las profundidades y velocidades en zonas con alto grado de intervención urbana. El modelo permite la consideración de topografías complejas sobre áreas urbanizadas y planicies de inundación, con presencia de puentes, calles, alcantarillas, y presas de control. El modelo puede utilizarse para simular los flujos de agua o los aludes torrenciales (flujos hiperconcentrados). Como datos de entrada se requieren la topografía digital del terreno, la geometría del canal, los valores estimados de la rugosidad del canal y de la planicie de inundación, los hidrogramas de entrada de la creciente, o las características de la lluvia de diseño, y las propiedades reológicas de la mezcla sedimento-agua. El modelo se basa en la solución por diferencias finitas a las ecuaciones bidimensionales de continuidad y de cantidad de movimiento, verticalmente integradas, las cuales se complementan con un modelo reológico cuadrático, para considerar los flujos hiperconcentrados (fluidos no-newtonianos).

La topografía de la superficie se discretiza en una malla formada por celdas o elementos cuadrados de tamaño uniforme para toda el área de estudio, y a cada elemento se le asigna una posición en la malla, una elevación, una rugosidad, área y factores de reducción del flujo que atraviesa esta área, para simular bloqueo por edificaciones. Los pasos de tiempo varían según el criterio de estabilidad de Courant, lo que resulta en pasos de tiempo relativamente cortos, (típicamente entre 0.1 y 30 segundos), dependiendo de la rapidez de variación del hidrograma y de la geometría. Detalles de la solución numérica se encuentran en O´Brien (2000). Subrutinas para el pre-procesamiento de datos, y el post-

procesamiento de resultados se han incorporado al modelo matemático a fin de construir los mapas de amenaza en una forma interactiva y automática. El procedimiento consiste básicamente en los siguientes pasos: a) los mapas digitales del terreno en formato CAD se leen a través de un programa de generación de mallas (GDS), el cual construye la red de celdas de cálculo sobre el área de estudio; b) se ejecuta el programa FLO-2D, el cual calcula profundidades y velocidades en cada uno de los elementos de la malla de cálculo; c) se ejecuta el programa AMENAZA para construir el mapa de amenaza en formato ArcGIS, a partir de las profundidades y velocidades máximas calculadas en el paso anterior. para los diferentes escenarios analizados.

Para la zonificación de la amenaza se sigue, con ciertas modificaciones, el esquema de tres zonas sugerido por la metodología Suiza (PREVENE, 2001), donde la amenaza en una celda de cálculo es determinada en función de la intensidad y de la probabilidad de ocurrencia de varios escenarios de probabilidades baja, media y alta de ocurrencia.

Para la definición de la intensidad del fenómeno en cada uno de los escenarios, se hace una distinción entre inundaciones de agua y aludes torrenciales. Estos últimos se definen como aquellos flujos con concentraciones volumétricas de sedimentos mayores que 20%.

Para inundaciones de agua se usan los valores siguientes:

Intensidad alta	$h > 1{,}5$ m	ó	$v\,h > 1{,}5$ m^2/s
Intensidad media	$0{,}5$ m $< h = 1{,}5$ m	ó	$0{,}5$ m^2/s $< v\,h = 1{,}5$ m^2/s
Intensidad baja	$0{,}1$ m $< h = 0{,}5$ m	y	$0{,}1$ m^2/s $< v\,h = 0{,}5$ m^2/s

Para aludes torrenciales se proponen las siguientes intensidades:

Intensidad alta	$h > 1$ m	ó	$v\,h > 1$ m^2/s
Intensidad media	$0{,}2 < h = 1{,}0$ m	y	$0{,}2$ m^2/s $< v\,h = 1{,}0$ m^2/s
Intensidad baja	$0{,}2 < h = 1{,}0$ m	y	$v\,h = 0{,}2$ m^2/s

La tres probabilidades usadas corresponden a eventos de periodos de retorno iguales a 10, 100 y 500 años. La combinación de estos dos criterios (intensidad y probabilidad) permite la definición de los tres niveles de amenaza (o peligrosidad) que se describen en la Figura 1, representados en el mapa por colores rojo (amenaza alta), naranja (amenaza media) y amarillo (amenaza baja).

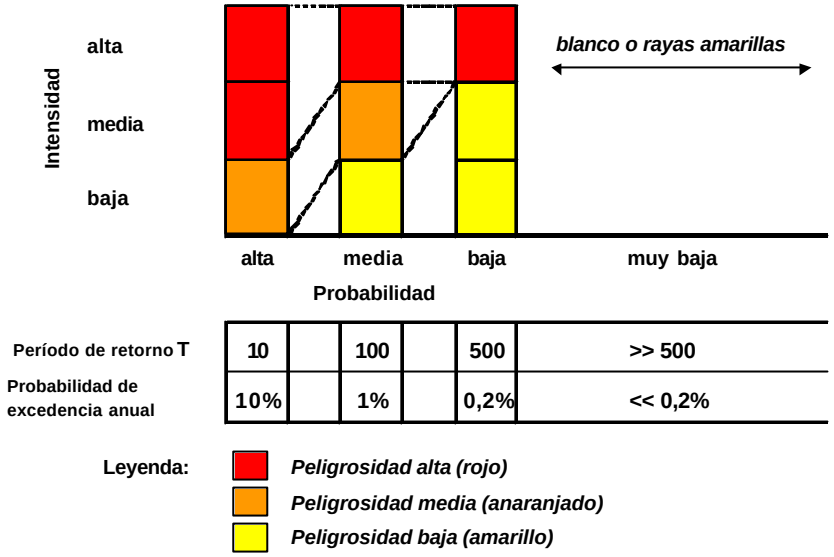


Figura 1.- Relaciones probabilidad - intensidad - peligrosidad (propuesta PREVENE, 2001)

APLICACIÓN A LA QUEBRADA ANAUCO

La cuenca de la Quebrada Anauco se ubica en el sector noroeste de Caracas. La quebrada del mismo nombre constituye el curso principal. Sus mayores afluentes son las Quebradas Caraballo, Cotiza, Gamboa, Las Beatas y Los Erasos. Nace en el Parque Nacional El Ávila, siendo 2153 m. la altura máxima de la cuenca alta, luego cruza la Avenida Boyacá o Cota Mil y atraviesa al área urbana, desembocando finalmente en el Río Guaire a un nivel aproximado de 849 m. Su pendiente promedio es de 13,6 % (24,7% en el área extra-urbana y 2,6% en el área urbana). La cuenca presenta un área total de 14,6 km^2, de los cuales 80% pertenecen al Parque Nacional El Ávila y 20% al área urbana. Esta última comprende áreas informales asentadas en sus márgenes y las de sus afluentes en la parte alta, y áreas formales que incluyen zonas residenciales, comerciales, centros asistenciales y culturales. La quebrada cruza además varios ejes viales importantes.

La Quebrada Anauco así como sus afluentes se encuentran en su mayor parte embaulados en el área urbana. Después de la construcción de los cajones cerrados, la parte superior de éstos se ha transformado con frecuencia en vías peatonales confinadas entre viviendas. Las plantas bajas o (en el caso de edificios) los sótanos, quedaron a un nivel inferior a estas vías.

En diciembre 1999, las precipitaciones que causaron el desastre del Estado Vargas, ubicado en la vertiente opuesta del Macizo El Ávila afectaron también la cuenca Anauco. El flujo de barro superó la capacidad de los embaulamientos, cuya entradas se obstruyeron en gran parte, y corrió por las vías ubicadas sobre ellos, causando grandes daños a las viviendas aledañas. El número de casas afectadas en la cuenca fue de 993, de las cuales 321 quedaron destruidas. Se reportaron decenas de muertos.

Las simulaciones para definir el mapa de amenaza tomaron en cuenta aludes asociados a precipitaciones de 24 horas de 10, 100 y 500 años de período de retorno, correspondientes a gastos máximos a nivel de la Cota Mil de 81, 202 y 299 m^3/s respectivamente. Las concentraciones volumétricas de sedimentos se consideraron variables en el curso de los tres eventos, con máximos de 0,20 , 0,25 y 0,30 respectivamente. Se simuló la precipitación directa sobre el área, con precipitaciones totales de 85, 123 y 148 mm respectivamente.

La malla generada a partir de la topografía digital original de escala 1:5.000 constaba de 8.692 celdas de 30 m x 30 m.. Se tomaron en cuenta las características de los canales, de los embaulamientos y de los puentes. Las entradas de los embaulamientos se consideraron como parcialmente obstruidas cuando el gasto se acercaba a su capacidad máxima. Para tomar en cuenta el tipo y la densidad de las edificaciones presentes en el área, se usaron "Factores de Reducción de Área" de hasta 0,40 y "Factores de Reducción de Ancho" de hasta 1,0. Se simularon además cerca de 40 calles.

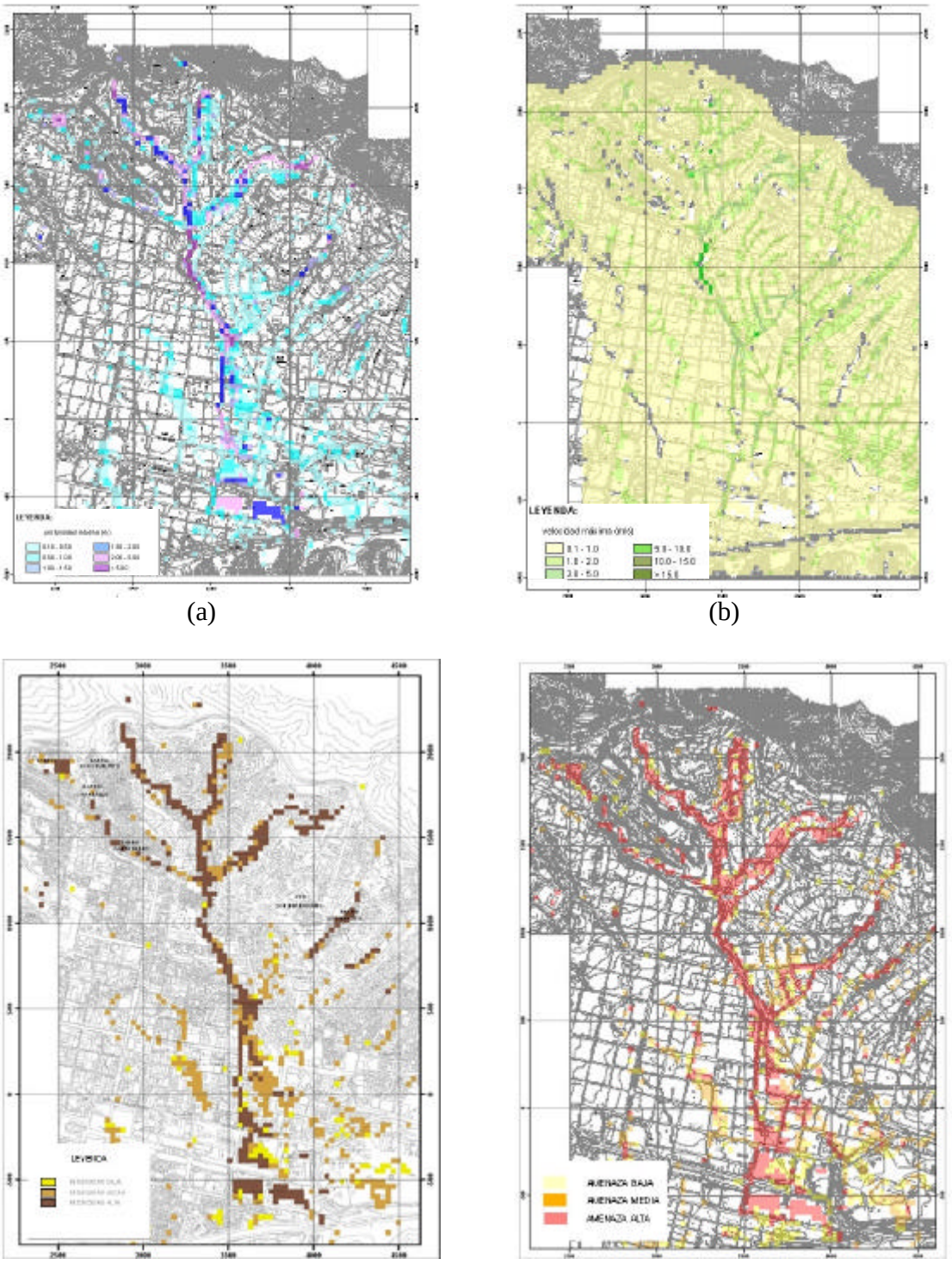
Las simulaciones realizadas permitieron definir las áreas de amenaza. Se presenta en la Figura 2 el mapa de amenaza resultante de la combinación de los tres eventos, en su forma reticulada original, y en calidad de ejemplo, los resultados de las simulaciones del evento asociados a una precipitación de 100 años de período de retorno (profundidades máximas, velocidades máximas e intensidad)

APLICACIÓN AL RÍO GUAIRE

La cuenca del Río Guaire tiene una superficie aproximada de 550 km^2 hasta Petare, extremo este del área de estudio. El río se forma por la confluencia en Las Adjuntas de los ríos Macarao y San Pedro. A lo largo de su recorrido de Las Adjuntas hasta Petare (27 km) recibe por su margen izquierda afluentes torrenciales provenientes del Macizo El Avila, y por su margen derecha otros de carácter fluvial como el Río Valle. Su pendiente varía en el recorrido de 0,38% a 0,35 %.

La precipitación media sobre la cuenca es de 900 mm. La mayor parte de ésta es todavía vegetada, correspondiendo principalmente a los Parques Nacionales Macarao y El Avila, relativamente bien preservados, y a un Área Protectora en reducción constante, lo que aumenta las superficies impermeables y el escurrimiento.

El río se encuentra canalizado en todo su recorrido, con sección trapecial y canaleta central. La parte inferior de los taludes está revestida de concreto, y la parte superior vegetada, frecuentemente invadida por maleza y árboles. El ancho superior varia de 17 m a 29,5 m. y la profundidad de 4,5 m a 6,5 m, incluyendo el área vegetada. La construcción del canal se empezó en los años 50 del siglo pasado y se extendió sobre tres décadas. No se le ha dado el mantenimiento adecuado, así que el mal estado de las losas y de los taludes ha reducido su capacidad original.



(a) (b)

(c) (d)

Figura 2.- Quebrada Anauco: a) mapa de profundidades máximas (Tr=100 años) b) mapa de velocidades máximas (Tr=100 años) c) mapa de intensidad (Tr=100 años) d) mapa de amenaza elaborado a partir de los mapas de intensidad de eventos de Tr=10, 100 y 500 años

El río está cruzado por varios puentes, los cuales en la parte final del recorrido, a partir del paso de la Autopista Francisco Fajardo en Puente Mohedano, pueden representar un obstáculo para crecientes extraordinarias, debido a la reducción de la sección libre en algunos casos. Se señalan particularmente los puentes Mohedano (autopista), Lincoln, Las Mercedes, Veracruz, La California, Macaracuay y Baloa.

Inundaciones puntuales se han producido en 1977 (Caricuao), 1980 (La California Sur) y 2005 (Bello Monte, Las Mercedes y La California Sur). Es de notar que afortunadamente, las crecidas mayores del Río Guaire no han coincidido con las de sus afluentes torrenciales de El Ávila, lo que parece explicarse por la diferencia entre los fenómenos meteorológicos que las provocan.

Para la simulación, el río se dividió en seis tramos. El gasto al principio de cada tramo fue determinado por un estudio hidrológico previo, para eventos de período de retorno de 10, 100 y 500 años. Los hidrogramas correspondientes presentaban máximos de 556, 1529 y 2252 m^3 /s respectivamente, a la salida del área de estudio en Petare. Para todos los eventos, los flujos se consideraron como flujos convencionales de agua con alta carga de sedimentos, para lo cual se contemplaron concentraciones volumétricas constantes, iguales a 15% para tiempo de retorno de 10 años y 10% para 100 y 500 años. Los puentes indicados anteriormente se consideraron obstruidos cuando el flujo alcanzaba el 70% de la capacidad de la sección.

En calidad de ejemplo se presentan para un tramo intermedio (parcialmente inundado en Febrero 2005) el mapa de amenaza final, producto de la rectificación del mapa reticulado resultante de las simulaciones (Fig. 3)

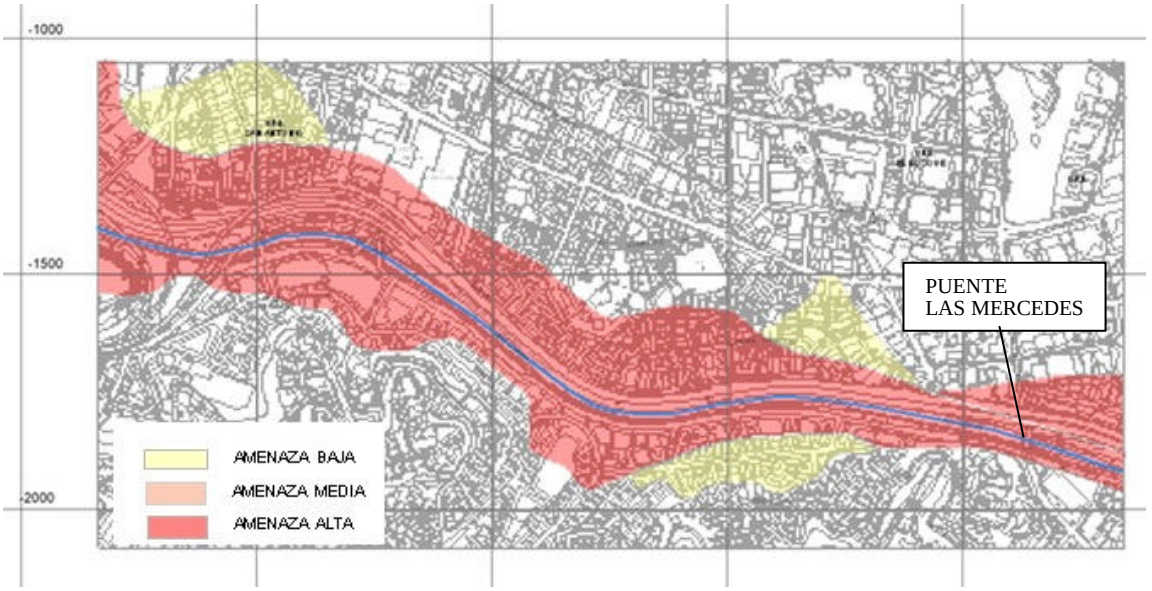


Figura 3.- Mapa de amenaza final del Río Guaire (Tramo Bello Monte-Las Mercedes)

MAPA DE AMENAZA GENERAL DEL VALLE DE CARACAS

El mapa de amenaza general del Valle de Caracas resulta de la superposición de los mapas de amenaza locales. En caso que existan amenazas por parte de varios cursos de agua, como es el caso de las zonas cercanas a las desembocaduras en el Río Guaire de las quebradas provenientes de El Ávila, se conserva el mayor de los dos niveles de amenaza. El mapa resultante se presenta en la figura 4. Para el caso del Río Guaire, los resultados indican que el área de amenaza alta es de 560 ha, aproximadamente.

Las áreas amenazadas por inundaciones del Río Guaire en el primer tramo son sectores de Las Adjuntas y Caricuao. Luego, hasta Puente Mohedano, son pocas las áreas amenazadas, ubicadas principalmente en Mamera y Antímano

A partir de Puente Mohedano, después de la confluencia con la Qda Anauco, se extiende un área de amenaza continua hasta Petare, la cual incluye:

- áreas residenciales o residenciales-comerciales: Bello Monte (ambas márgenes), Las Mercedes, Chuao (margen derecha), Los Cortijos, La California Sur, La California Norte
- administrativas: Chuao (margen izquierda)
- industriales (Los Ruices Sur)
- áreas abiertas: Parque Los Caobos, Jardín Botánico, Estadios Universitarios, Base Aérea La Carlota

En cuanto a las áreas más amenazadas por las quebradas de El Ávila, se puede citar:

a) en general todas las orillas de los cursos. Nótese que como el uso actual del suelo, por parte de edificaciones tanto formales como informales, no respecta casi en ninguna parte la franja protectora de 25 m. prevista por la Ley de Suelos y Aguas, es en esta franja que se encuentran la mayor parte de los daños potenciales.

b) una zona cercana al Centro de la ciudad, perteneciente a las áreas informales del norte de Catuche y Anauco, a la urbanización San Bernardino y a los sectores La Candelaria, Parque Carabobo y Bellas Artes.

c) una extensa zona al este de la ciudad, perteneciente en su mayor parte a los municipios Chacao y Sucre, la cual va desde la quebrada Chapellín hasta la quebrada Caurimare, y está expuesta a:

- amenaza alta: además de áreas cercanas a los cauces, se trata de áreas residenciales aledañas al Ávila como las zonas altas de La Castellana y Altamira, y más aún la Urbanización Terrazas del Ávila, expuesta al impacto directo de un alud torrencial.
- amenazas media y baja , debidas a confinamientos y cambios de sección en los canales, posibles obstrucciones de las alcantarillas y flujos por las calles de las distintas urbanizaciones.

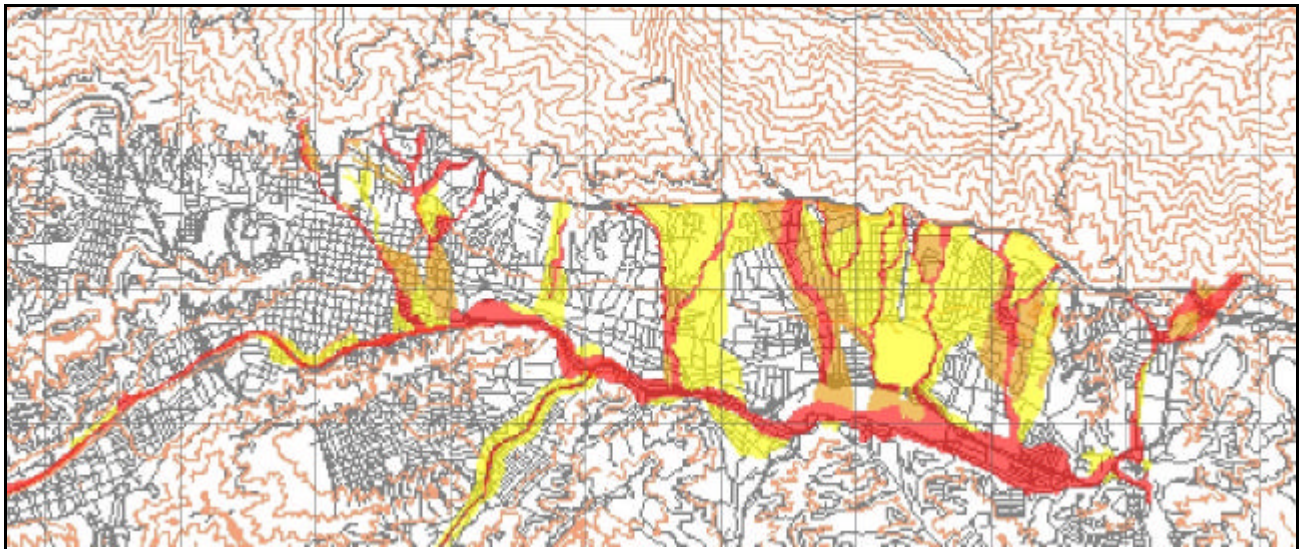


Figura 4.- Mapa de amenaza por inundaciones y aludes torrenciales del Valle de Caracas

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El trabajo presentado comporta varias innovaciones con respecto a la metodología presentada anteriormente (López, et al. 2002):

- se utilizó un nuevo algoritmo de interpolación topográfica para densificar el Modelo Digital de Terreno DTM, lo que se tradujo en una mayor homogeneización de las manchas de inundación y en algunos casos en su reducción.
- se efectuaron tanto simulaciones de aludes torrenciales (para los afluentes provenientes de El Ávila) como simulaciones de flujos de agua con transporte convencional de sedimentos (para los Ríos Guaire y Valle, y las quebradas con cuenca de montaña reducida)
- además de los hidrogramas líquidos que representan el aporte de las cuencas altas, se simuló la lluvia directa sobre las áreas estudiadas, llevando a una mejor estimación del gasto en los canales y a una representación más adecuada de los flujos en las calles.
- se hizo mayor énfasis en el flujo en las calles (representadas como canales), lo que permitió una mejor distribución del flujo de agua en el área de inundación. Se calculó además la intensidad y la amenaza en éstas, lo que aportó información adicional para la elaboración de mapas de amenaza y planes de contingencia.
- se prestó más atención a las condiciones de obstrucción de las alcantarillas y de los puentes, simulando obstrucciones parciales o totales según los casos
- los criterios de amenaza se afinaron para considerar situaciones especiales como son los límites entre rangos y los valores muy bajos de las variables.

Las simulaciones permitieron elaborar a escala 1:5.000 mapas de amenaza por crecidas de los principales cursos de agua del Valle de Caracas. Algunas de las áreas clasificadas con amenaza alta han sido afectadas por eventos pasados, pero el estudio señaló otras no tocadas todavía, de uso residencial

(formal e informal), comercial, administrativo o industrial. Todas ellas deberán recibir la atención de los planificadores urbanos con el fin de implementar medidas tales como reglamentación del uso del suelo, reacondicionamiento de edificaciones existentes e incluso reubicación, la medida más apropiada cuando están ubicadas en la franja de protección de los cursos de agua. Para las zonas más sensibles se podrán llevar a cabo nuevos estudios a escala más pequeña, según la metodología presentada en el presente artículo. Las medidas podrán ser también de tipo estructural, con la construcción de presas de retención de sedimentos y de canales, además de la rehabilitación de los canales existentes, y en el caso del Río Guaire de la reconstrucción de los puentes que obstaculizan el paso de las crecientes extremas, en particular los puentes Las Mercedes y Macaracuay. Los proyectos correspondientes podrán apoyarse en simulaciones similares a las descritas aquí.

Frente a las deficiencias actuales en cuanto a las mediciones de lluvia y caudales en la región, se hace por otra parte imprescindible la instalación de una red de estaciones pluviométricas e hidrométricas transmitiendo en tiempo real, que cubra el valle y las cuencas altas. Junto con el radar instalado en Jeremba, cerca de La Colonia Tovar, la red permitirá sentar la base para un Sistema de Alerta Temprana que complete las medidas de prevención mencionadas. Esta red permitirá el monitoreo constante de las variables hidrometeorológicas y abrirá un nuevo campo para la aplicación de los modelos de simulación similares al descrito en este trabajo, los cuales, una vez debidamente calibrados gracias a los datos medidos, podrán integrarse en la preparación y el funcionamiento del Sistema de Alerta Temprana.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al financiamiento del FONACIT y el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

REFERENCIAS

López, J.L., García, R., Bello, M.E., Paredes, G., González, N., Vivas, M.I., y Noya, M.E., (2002), "Análisis y Mapeo de Inundaciones y Aludes Torrenciales en Abanicos Aluviales (Parte I: Descripción Metodológica)", Memorias del XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, La Habana, Cuba, 2 al 5 de Octubre, 2002.

O'Brien, J.S., Julien, P.Y. & Fullerton, W.T, (1993), "Two-Dimensional Water Flood and Mudflow Simulation", Journal of Hydraulic Engineering, Vol.119 No.2, 244.

O'Brien, J.S., (2000), "FLO-2D User's Manual", Versión 2000.10. Nutrioso, Arizona.

PREVENE, (2001), "Aporte a la Prevención de Desastres Naturales en Venezuela". Cooperación Venezuela - Suiza - PNUD (Proyecto VEN/00/005), Mayo.

Singer, A, (1977) "Tectónica Reciente, Morfogénesis Sísmica y Riesgo Geológico en el graben de Caracas, Venezuela", V Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 19 al 23 de Noviembre, 1977