CLASIFICADO

ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.
Fondo de Prevención
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

MARÍA CAROLINA ROGELIS
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS
SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - DPAE
DIAGONAL 47 No 77B-09
BOGOTA, COLOMBIA

ACTUALIZACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA DE INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIALES DE LA QUEBRADA LIMAS - LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR

CONTRATOS: PS 17 DE 2007
PS 104 DE 2008
PS 504 DE 2008

VOL. 1 INFORME FINAL
ORIGINAL
Enero 2009

Nota Especial: De acuerdo con el artículo 20 de la Ley 23 de 1982, los derechos de autor pertenecen al FOPAE. La solicitud de reproducir este documento parcial o totalmente, se debe dirigir por escrito al director del FOPAE

ACTUALIZACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA DE INUNDACIONES DE LA QUEBRADA LIMAS – LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR

Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá D.C.– FOPAE
Dirección de Prevención y Atención de Emergencias — DPAE
Diagonal 47 # 77 B 09 Interior 11
PBX: 4292801
www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co
Bogotá – Colombia

Director: Ing. Guillermo Escobar Castro

Subdirector de Investigación y Desarrollo: Ing. Germán Barreto

Coordinadora de Estudios Técnicos: Ing. Dulfay Ortiz

Elaborado por: María Carolina Rogelis Prada - MSc Hidráulica

Publicación autorizada por la dirección de la DPAE, no es negociable y su reproducción total o parcial obliga a dar a la DPAE el crédito que le corresponde como autor del documento.

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 9
2 OBJETIVOS 10
2.1 General 10
2.2 Específicos 10
3 ALCANCE 10
4 MARCO TEÓRICO 11
4.1 Método de los bloques alternados 11
4.2 Método del SCS – número de curva 11
4.3 Avenidas torrenciales 13
4.4 Inundaciones en conos aluviales 16
5 DESCRIPCIÓN DE LA QUEBRADA LIMAS 17
6 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE AMENAZA 23
7 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 33
7.1 Tormentas para los escenarios de análisis 34
7.1.1 Duración de la tormenta 34
7.1.2 Precipitación acumulada de la tormenta 36
7.1.3 Hietogramas para los escenarios de análisis 37
7.1.4 Modelo lluvia – escorrentía de la cuenca 41
7.1.5 Resultados obtenidos para los caudales con diferentes periodos de retorno 45
8 EVENTOS HISTÓRICOS 52
8.1 Evento del 24 de noviembre de 2003 52
8.2 Evento del 18 de noviembre de 2004 56
8.3 Evento del 12 de octubre de 2007 62
9 ANÁLISIS DE AMENAZA 69
9.1 Geomorfología 69
9.1.1 Análisis del perfil del lecho 69
9.1.2 Análisis de las condiciones morfométricas de la cuenca 74
9.1.3 Análisis de la zona de inundación 76
9.2 Modelación matemática de la quebrada Limas 78
9.2.1 Procesamiento de topografía y elaboración del modelo en el software FLO 2D 78
9.2.2 Simulaciones de análisis 83
9.2.3 Consideración de la concentración de sedimento y parámetros reológicos 86
9.2.4 Análisis de los escenarios de amenaza 93
9.2.5 Trayectoria de flujo 116
9.2.6 Mapa de amenaza 124
10 CONCLUSIONES 128
11 RECOMENDACIONES 130

ANEXOS

Anexo A. ARTÍCULOS DEL DIARIO EL TIEMPO QUE HACEN REFERENCIA A LOS EVENTOS HISTÓRICOS EN LA QUEBRADA LIMAS 135
Anexo B. MAPA DE AMENAZA 145

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comportamiento del flujo como función de la concentración de sedimento (Fuente:O´Brien, 2006) 14
Tabla 2. Tipos de flujo de detritos debido al factor contribuyente 16
Tabla 3. Comportamiento del flujo de detritos según la pendiente del lecho 16
Tabla 4. Clases de intensidad resultado de flujos de detritos (fuente: Petrascheeck A., 2003) 23
Tabla 5. Clasificación de amenaza de inundación por desbordamiento - DPAE 25
Tabla 6. Clasificación de intensidades para agua clara (Según García, Lopez et al., 2003) 26
Tabla 7. Clases de intensidad (fuente: García, Lopez et al., 2003) 26
Tabla 8. Categorización de la amenaza de inundación por avenida torrencial 28
Tabla 9. Ecuaciones empíricas para cálculo de la magnitud de los flujos de detritos (tomado de Sodnik and Miko, 2006) 30
Tabla 10. Consideraciones tenidas en cuenta en estudios anteriores para la definición de la duración de tormenta 35
Tabla 11. Precipitación para los diferentes periodos de retorno de análisis 36
Tabla 12. Cálculo de los tiempos de concentración en las subcuencas de la Quebrada Limas 43
Tabla 13. Características del modelo hidrológico de la Quebrada Limas 44
Tabla 14. Hidrogramas para el periodo de retorno de 100 años 48
Tabla 15. Hidrogramas para el periodo de retorno de 10 años 51
Tabla 16. Registro para los días 17-18 de noviembre de 2004 tomados del Sistema de información hidrológica de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá 57
Tabla 17. Parámetros morfométricos de la Cuenca de la quebrada Limas 75
Tabla 18. Parámetros reológicos utilizados en las simulaciones (fuente: O´Brien, 2006) 86
Tabla 19. Cálculo de la magnitud del flujo de detritos mediante ecuaciones empíricas 88
Tabla 20. Cálculo del caudal detonante para la iniciación de un flujo de detritos 90
Tabla 21. Áreas inundadas para los escenarios planteados para el periodo de retorno de 10 años. 94
Tabla 22. Patrones de desborde para T=10 con modelo simplificado y con C=0.4 95
Tabla 23. Velocidades obtenidas para los escenarios con periodo de retorno de 10 años 105
Tabla 24. Áreas inundadas para los escenarios planteados para el periodo de retorno de 100 años. 107
Tabla 25. Velocidades obtenidas para los escenarios con periodo de retorno de 10 años 115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización de la quebrada Limas 18
Ilustración 2. Localización de la Quebrada Limas en la cuenca del río Tunjuelo 19
Ilustración 3. Quebrada Limas 20
Ilustración 4. Perfil de la quebrada Limas (Fuente: DAMA, 2005) 21
Ilustración 5. Clasificación de amenaza (fuente: Petrascheeck A., 2003) 24
Ilustración 6. Criterios de zonificación por amenaza de inundación por desbordamiento DPAE ... 25
Ilustración 7. Clasificación de la amenaza propuesto para el estudio 27
Ilustración 8. Clasificación a ser aplicada en el estudio 27
Ilustración 9. Procedimiento de definición de parámetros de flujos de detritos utilizando ecuaciones empíricas propuesto por Rickenmann (1999) 29
Ilustración 10. Metodología de zonificación de amenaza 32
Ilustración 11. Sistema de estaciones hidrometeorológicas en la cuenca de la Quebrada Limas .. 33
Ilustración 12. Precipitación media mensual multianual en las estaciones Casa Blanca, Santa Lucía y Jalisco. Fuente (Murcia, 2003) 34
Ilustración 13. IDF Tanque Quiba EAAB 36
Ilustración 14. Hietogramas para duración de 120 minutos obtenidos mediante el método del bloque alterno 37
Ilustración 15. Hietogramas para duración de 180 minutos obtenidos mediante el método del bloque alterno. 38
Ilustración 16. Patrones de precipitación registrados por la Red Hidrometeorológica de Bogotá para las 4 tormentas más importantes 39
Ilustración 17. Patrón de tormenta derivado de una tormenta anterior para una duración de 120 minutos 40
Ilustración 18. Patrón de tormenta derivado de una tormenta anterior para una duración de 180 minutos 40
Ilustración 19. Usos del suelo y tipos de suelo de la Quebrada Limas 42
Ilustración 20. Números de curva de la cuenca de la Quebrada Limas 42
Ilustración 21. Esquematización de la Cuenca en el software HEC HMS 45
Ilustración 22. Tormenta registrada en la estación Quiba-DPAE el 24/11/2008 52
Ilustración 23. Tormenta registrada en la estación Quiba-EAAB el 24/11/2008 53
Ilustración 24. Tormenta registrada en la estación Sierra Morena el 24/11/2003 54
Ilustración 25. Tormenta registrada en la estación Doña Juana el 24/11/2003 54
Ilustración 26. Distribución espacial de la tormenta del 24 de noviembre de 2003 55
Ilustración 27. Hidrograma creciente del 24/11/2003 tramo aguas arriba de la confluencia con la quebrada Trompetica 56
Ilustración 28. Hidrograma estimado en la confluencia con el río Tunjuelo para la avenida torrencial del 24 de noviembre de 2003 56
Ilustración 29. Tormenta registrada en la estación Quiba-DPAE el 17-18/11/2004 57
Ilustración 30. Tormenta registrada en la estación Sierra Morena el 18/11/2004 58
Ilustración 31. Hidrograma estimado para la creciente del 18nov2004 en el tramo inmediatamente aguas arriba de la confluencia de la quebrada Trompetica 58
Ilustración 32. Distribución especial de la precipitación del 17nov2008 23:20 al 18nov2004 2:10 59

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

Ilustración 33. Hidrograma estimado en la confluencia con el río Tunjuelo para la avenida torrencial del 18 de noviembre de 2004 59
Ilustración 34. Afectación evento del 24 de noviembre 2003 60
Ilustración 35. Área afectada evento del 18 de noviembre de 2004 61
Ilustración 36. Tormenta registrada el 12/10/2007 en la estación Doña Juana 63
Ilustración 37. Tormenta registrada el 12/10/2007 en la estación Quiba 63
Ilustración 38. Tormenta registrada el 12/10/2007 en la estación San Benito 64
Ilustración 39. Tormenta registrada el 12/10/2007 en la estación Sierra Morena 64
Ilustración 40. Distribución espacial de la precipitación tormenta del 12 de octubre de 2007 65
Ilustración 41. Afectación en la zona inundable de la quebrada Limas 66
Ilustración 42. Evento en la zona nororiental de la cuenca de la quebrada Limas 67
Ilustración 43. Afectación registrada en eventos históricos 68
Ilustración 44. Quebrada Limas y tributarios 69
Ilustración 45. Análisis de la pendiente del cauce principal de la Quebrada Limas 70
Ilustración 46. Análisis de la pendiente de las quebradas Honda y Quiba 71
Ilustración 47. Análisis de la pendiente de las quebradas Sin nombre y Tributario Limas 2 72
Ilustración 48. Análisis de la pendiente de la quebrada Trompetica 73
Ilustración 49. Análisis de la pendiente de las quebradas Tributario Limas 1 y Zanjón Derecho 74
Ilustración 50. Clasificación de eventos a los que es propensa la cuenca según Wilford, Sakals et al., 2004 75
Ilustración 51. Zona de inundación de la quebrada Limas 76
Ilustración 52. Vista tridimensional de la zona de confluencia de la quebrada Limas 77
Ilustración 53. Información topográfica utilizada para el desarrollo del modelo digital de la cuenca de la quebrada Limas 79
Ilustración 54. Modelo digital de terreno de la Cuenca de la Quebrada Limas 80
Ilustración 55. Modelo digital de terreno usado para la simulación en el software FLO2D 80
Ilustración 56. Vista de la información topográfica en el software FLO 2D 81
Ilustración 57. Perfil de la quebrada Limas visualizado en el software FLO 2D 81
Ilustración 58. Detalle de la zona de la desembocadura de la quebrada Limas en donde se localizaron los elementos de descarga 82
Ilustración 59. Detalle de los elementos de entrada de caudal al modelo en FLO 2D 82
Ilustración 60. Simulaciones de análisis 83
Ilustración 61. Modelo en el software FLO 2D incluyendo las calles de la zona de desborde 84
Ilustración 62. Modelo de la planicie de inundación modificado con factores ARF y WRF 85
Ilustración 63. Simulaciones planeadas para el análisis de agua y sedimentos 87
Ilustración 64. Hidrogramas y sedimentogramas para T=10 años 91
Ilustración 65. Hidrogramas y sedimentogramas para T=100 años 92
Ilustración 66. Áreas inundadas obtenidas para todos los escenarios de T=10 años 97
Ilustración 67. Escenario de T=10 años 99
Ilustración 68. Escenario de T=100 años con calles 99
Ilustración 69. Escenario de T=10 años 100
Ilustración 70. Escenario de T=10 años con calles y factores ARF y AWF 100
Ilustración 71. Escenario de T=10 años 101
Ilustración 72. Escenario de T=10 años C=0.2 101
Ilustración 73. Escenario de T=10 años C=0.4 101
Ilustración 74. Escenario de T=10 años con calles y factores ARF y AWF 102
Ilustración 75. Escenario de T=10 años C=0.2-0.3 Aspenpit 102

Ilustración 76. Escenario de T=10 años C=0.2-0.3 Glenwood 102
Ilustración 77. Escenario de T=10 años con calles y factores ARF y AWF 103
Ilustración 78. Escenario de T=10 años C=0.2-0.4 Aspenpit 103
Ilustración 79. Escenario de T=10 años C=0.2-0.4 Glenwood 103
Ilustración 80. Escenario de T=10 años con calles y factores ARF y AWF 104
Ilustración 81. Escenario de T=10 años C=0.2-0.55 Aspenpit 104
Ilustración 82. Escenario de T=10 años C=0.2-0.55 Glenwood 104
Ilustración 83. Áreas inundadas obtenidas para todos los escenarios de T=100 años 108
Ilustración 84. Escenario de T=100 años 109
Ilustración 85. Escenario de T=100 años con calles y factores ARF y AWF 109
Ilustración 86. Escenario de T=100 años 110
Ilustración 87. Escenario de T=100 años con calles y factores ARF y AWF 110
Ilustración 88. Escenario de T=100 años 111
Ilustración 89. Escenario de T=100 años C=0.2 111
Ilustración 90. Escenario de T=10 años C=0.4 111
Ilustración 91. Escenario de T=100 años con calles y factores ARF y AWF 112
Ilustración 92. Escenario de T=100 años C=0.2-0.3 Aspenpit 112
Ilustración 93. Escenario de T=100 años C=0.2-0.3 Glenwood 112
Ilustración 94. Escenario de T=100 años con calles y factores ARF y AWF 113
Ilustración 95. Escenario de T=100 años C=0.2-0.4 Aspenpit 113
Ilustración 96. Escenario de T=100 años C=0.2-0.4 Glenwood 113
Ilustración 97. Escenario de T=100 años con calles y factores ARF y AWF 114
Ilustración 98. Escenario de T=100 años C=0.2-0.55 Aspenpit 114
Ilustración 99. Escenario de T=100 años C=0.2-0.55 Glenwood 114
Ilustración 100. Trayectoria de flujo para un evento extremo instante 1 117
Ilustración 101. Trayectoria de flujo para un evento extremo instante 2 118
Ilustración 102. Trayectoria de flujo para un evento extremo instante 3 119
Ilustración 103. Trayectoria de flujo para un evento extremo instante 4 120
Ilustración 104. Trayectoria de flujo para un evento extremo instante 5 121
Ilustración 105. Trayectoria de flujo para un evento extremo instante 6 122
Ilustración 106. Zonas de concentración de altas velocidades 123
Ilustración 107. Zonificación de amenaza de la quebrada Limas 127

ACTUALIZACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA DE INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIALES DE LA QUEBRADA LIMAS – LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR

1 INTRODUCCIÓN

El estudio de las cuencas de respuesta rápida y sus amenazas asociadas ha constituido uno de los objetivos de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá - DPAE, ya que las condiciones geomorfológicas de la ciudad hacen que estas amenazas tengan una gran relevancia y por lo tanto su conocimiento constituye la herramienta fundamental para la gestión del riesgo en las cuencas de las zonas montañosas de la ciudad.

En la cuenca de la Quebrada Limas, en su historia reciente, se han presentado avenidas torrenciales que han afectado grandemente a la comunidad y la infraestructura, especialmente de la zona baja en donde se ubican los barrios San Francisco , La Acacia y El Chilcal. La problemática de esta cuenca condujo a la implementación de un plan de contingencia y a la emisión de los decretos 383 y 139 de 2004, en la búsqueda de la implementación de un plan de rehabilitación, reconstrucción y desarrollo de la cuenca.

La Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE ha dedicado esfuerzos a nivel técnico y social para reducir el riesgo de las comunidades ubicadas en zonas susceptibles a inundaciones en la cuenca de la Quebrada Limas. Uno de los esfuerzos más importantes con esta orientación corresponde a la implementación de un sistema de alerta temprana de inundaciones con la participación de la comunidad y la evaluación de los datos obtenidos de la instrumentación telemétrica instalada por la DPAE en la cuenca. De esta forma, la zonificación de amenaza de inundación y avenidas torrenciales constituye una herramienta fundamental tanto para el funcionamiento del sistema de alerta temprana, como para el ordenamiento territorial como instrumento para la gestión del riesgo.

En el año 2006, la Universidad de Los Andes llevó a cabo el proyecto denominado "Estudio para proponer la metodología para la evaluación, zonificación y reducción de riesgos por inundaciones y avenidas torrenciales y su articulación con los POT, aplicación de zonificación de amenazas en un caso piloto del Distrito de Bogotá." Contratado por El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. En este estudio la cuenca piloto correspondió a la cuenca de la Quebrada Limas. Debido a las condiciones dinámicas de la amenaza se identificó en la DPAE la necesidad de actualizar dicha zonificación teniendo en cuenta las modificaciones que han sido introducidas al cauce incluyendo dragados periódicos que han cambiado su capacidad hidráulica.

Este informe compila la propuesta metodológica para la zonificación de amenaza de inundaciones y avenidas torrenciales de la quebrada Limas, teniendo en cuenta las limitaciones de trabajo de campo con las que se plantea el alcance del estudio, en la búsqueda de un procedimiento simplificado que permita la delimitación de zonas de amenaza reduciendo en lo posible la información que se requiere sin perder la confiabilidad de los resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 General

Actualizar la zonificación de amenaza de inundación y avenidas torrenciales de la quebrada Limas.

2.2 Específicos

- Proponer una metodología de zonificación teniendo en cuenta las limitaciones de información existentes.
- Evaluar la posibilidad de hacer una evaluación de amenaza de inundación y avenidas torrenciales con información limitada o nula sobre el aporte de sedimentos de la cuenca.
- Establecer una serie de escenarios hidrológicos y sedimentológicos posibles en la cuenca para su estudio.
- Desarrollar un modelo matemático que permita la simulación de las condiciones de la quebrada Limas y su zona inundable bajo diferentes escenarios tanto hidrológicos como sedimentológicos.
- Estudiar la influencia de los parámetros reológicos y la concentración de sedimentos en los escenarios de inundación de la quebrada Limas.
- Llevar a cabo la zonificación de amenaza de inundación y avenidas torrenciales para la quebrada Limas como una herramienta para la gestión del riesgo.

3 ALCANCE

Este estudio aborda el comportamiento bajo diferentes escenarios de creciente hasta el periodo de retorno de 100 años del cauce principal de la quebrada Limas en una longitud de 5.420 metros desde su desembocadura, lo que corresponde a un límite superior de la quebrada correspondiente a un punto aguas arriba de la confluencia con la quebrada Quiba. Se aclara que no tiene el alcance para evaluar el comportamiento de los tributarios de la quebrada.

La zonificación de amenaza fue llevada a cabo con base en la información disponible en la Dirección de Prevención de Emergencias - DPAE a la fecha de elaboración del estudio y no contempla un trabajo de campo exhaustivo en la cuenca, siendo uno de sus objetivos establecer una metodología que permita una evaluación relativamente rápida de la amenaza con información de campo limitada.

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Método de los bloques alternados

Este procedimiento consiste en construir el hietograma de duración Td como la sucesión de N bloques de duración Δt (Td = N Δt) tales que, en cada momento, la precipitación total corresponda a la máxima precipitación probable dada por la curva IDF. En el caso de cuencas urbanas o semiurbanas, es habitual tomar como duración total, Td, un tiempo de una hora y un paso de discretización de tiempo, Δt, de 5 minutos. De esta manera debe determinarse el valor de la intensidad para los 12 bloques del hidrograma.

La metodología a seguir se resume a continuación:

a) En primer lugar se deduce de la curva IDF el valor de la máxima intensidad de precipitación para cada una de las duraciones acumuladas de los intervalos considerados (Δt, $2\Delta t$,...N Δt).

b) Se obtiene el volumen máximo de precipitación acumulada como el producto de estas intensidades por la duración considerada (V5, V10,...,V60, etc).

c) Se calcula el volumen de agua que corresponderá a cada uno de los 12 bloques o intervalos de 5 minutos del hietograma (V1, V2, ..., V12), de manera que en todo momento el volumen total acumulado sea igual al que se obtuvo de la curva IDF. De esa manera, V1 = V5, V2 = V10 - V5, ..., V12 = V60 - V55.

d) Reduciendo estos volúmenes a intensidades (Ij = Vj/Δt), se tiene la estimación de los valores por bloques. Finalmente, se ordenan los bloques, colocando el primer bloque (de intensidad máxima) en el centro del hietograma, y los bloques siguientes alternativamente a un lado y al otro de la intensidad máxima.

4.2 Método del SCS – número de curva

El método del SCS requiere información básica conformada por el área de drenaje de la cuenca, un factor de escorrentía, el tiempo de concentración y la precipitación. El método asume como primera medida una precipitación impuesta en la cuenca con una determinada distribución temporal. La precipitación es convertida en escorrentía mediante el uso del número de curva, el cual está basado en el tipo de suelo, cobertura vegetal, áreas impermeables, intercepción y almacenamiento superficial.

Posteriormente, la precipitación se transforma en un hidrograma mediante el uso de la teoría del hidrograma unitario y procedimientos de tránsito que dependen del tiempo de concentración.

A nivel básico, los pasos para la utilización del método son:

- Determinación del número de curva (NC) representando los diferentes usos del suelo en la cuenca
- Cálculo del tiempo de concentración (Tc) hasta el punto de estudio
- Selección de una tormenta de diseño
- Uso de una distribución temporal de la tormenta
- Uso del hidrograma unitario desarrollando un hidrograma triangular e hidrogramas compuestos para el área de drenaje (Georgetown County, 2005)
- El método del número de curva (NC) se basa en la ecuación (Division, 1986):

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

Donde:
Q = Escorrentía (mm)
P = Precipitación (mm)
S = Máxima retención potencial después de que la escorrentía comienza (mm)
Ia = Abstracción inicial (mm)

La abstracción inicial (Ia) corresponde a todas las pérdidas antes de que la escorrentía comience. Incluye el agua retenida en las depresiones superficiales, agua interceptada por la vegetación, evaporación e infiltración. Ia es altamente variable pero generalmente esta correlacionada con el suelo y los parámetros de cobertura. A través de un número considerable de estudios en cuencas agrícolas pequeñas, se encontró que Ia puede ser aproximada por la siguiente equación:

Ia = 0.2S

Al considerar Ia como un parámetro independiente, S y P pueden combinarse para producir una única cantidad de escorrentía. Sustituyendo la ecuación anterior en la ecuación de escorrentía se obtiene:

$$Q = \frac{(P - 02S^2)}{(P + 0.8S)}$$

S está relacionada con las condiciones del suelo y la cobertura de la Cuenca a través del número de curva (NC). NC tiene un rango entre 0 y 100 y se relaciona con S por:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Los factores que deben considerarse para determinar el número de curva son el suelo hidrológico, la cobertura vegetal, las condiciones hidrológicas y la condición de humedad antecedente.

Las tasas de infiltración de los suelos varían de manera importante y son influenciados por la permeabilidad subsuperficial. Los suelos se clasifican en cuatro grupos (A, B, C y D) de acuerdo con su tasa de infiltración mínima, la cual es obtenida para suelo desnudo luego de humedecimiento prolongado.

Un factor determinante en la aplicación del método es el tiempo de concentración. El agua se mueve a través de una cuenca como flujo laminar, flujo concentrado, flujo en canal abierto o alguna combinación de los anteriores. El tiempo de concentración (T_t) es la división de la longitud de flujo y la velocidad de flujo:

$$T_t = \frac{L}{3600V}$$

Donde:

T_t:Tiempo de concentración (hr)
L=Longitud de flujo (m)
V=Velocidad promedio (m/s)

El tiempo de concentración es la suma de todos los T_t valores para los segmentos consecutivos.

4.3 Avenidas torrenciales

Las avenidas torrenciales son crecientes de corta duración con un caudal pico relativamente alto. También están definidas como crecientes que ocurren unas pocas horas después del evento que las causa (lluvia, falla de una presa o un dique etc). Las dos diferencias más importantes con crecientes comunes son la velocidad con la que ocurren y el hecho de que el intervalo de tiempo entre la causa observable del evento y la creciente es menos de 4 a 6 horas. Dependiendo de la cantidad de sedimento disponible y las características geomorfológicas de la corriente, las avenidas torrenciales pueden contener una carga alta de sedimentos, lo cual modifica su comportamiento hidrodinámico y agrega complejidad al análisis del mismo.

La mayoría de los flujos hiperconcentrados que ocurren en el planeta caen dentro del rango de 20 a 55% de concentración en volumen y la mayoría están asociados con precipitación. Los flujos hiperconcentrados están definidos como eventos de creciente con concentraciones por encima del 20% en volumen. Los flujos con concentraciones de sedimento menores al 20% en volumen son esencialmente crecientes de agua clara con carga de sedimento de lecho y en suspensión. Con el incremento en la concentración de sedimentos, una creciente de agua clara evoluciona en una creciente de lodo. En general el rango de generación de una creciente de lodo es de 20 a 40-45% en volumen. Las crecientes de lodo son difíciles de distinguir de las

crecientes de agua clara y parecen muy similares en cuanto al comportamiento del flujo, pero las propiedades del fluido de las crecientes de lodo son definitivamente diferentes de las crecientes de agua clara ya que poseen una viscosidad y densidad mucho más altas (O´Brien, 2006).

Los flujos hiperconcentrados muy viscosos se denominan flujos de lodo, los cuales son no homogéneos, no newtonianos y las propiedades del fluido cambian de manera significativa a medida que se mueven aguas abajo. Un flujo de lodos consta de una matriz de sedimento fino que puede soportar el transporte de cantos. Su comportamiento es función de las propiedades de la matriz fluida, de la geometría del cauce, de la pendiente y la rugosidad. La concentración de sedimento fino controla las propiedades del fluido incluyendo la viscosidad, densidad y esfuerzo cortante. La propiedad dominante de un flujo de lodos es su alta viscosidad que resulta en velocidades bajas; mucho más bajas que las de crecientes de agua clara en la misma pendiente.

	Concentración de Sedimento		**Características del flujo**
	En Volumen	**En Peso**	
Deslizamiento	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No fluye; falla por deslizamiento
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Falla por deslizamiento con deformación interna, creep lento anterior a la falla.
Flujo de lodos	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente, creep lento; deformación plástica bajo el peso propio del material; cohesivo, no se extiende en superficie nivelada.
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	El flujo se extiende sobre superficie nivelada; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Creciente de lodos	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra propiedades de fluido en deformación; se extiende en una superficie horizontal pero mantiene una superficie del fluido inclinada; contiene partículas de tamaño considerable; aparecen ondas pero se disipan rápidamente.
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Marcado asentamiento de gravas; se extiende casi completamente en una superficie horizontal; superficie líquida con dos fases del fluido; hay ondas que viajan en la superficie.
	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Las ondas viajan fácilmente; la mayoría de la arena y grava se mueven como carga de lecho.
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Presencia de ondas; superficie fluida; todas las partículas se encuentra en el lecho.
Agua	< 0.20	< 0.41	Creciente de agua con carga en suspensión y de lecho.

Tabla 1. Comportamiento del flujo como función de la concentración de sedimento (Fuente:O´Brien, 2006)

Cuando se examinan los parámetros relacionados con concentración de sedimento, es importante identificar la concentración de sedimentos reportada en peso o en volumen. La concentración de sedimento en volumen está dada por:

$$Cv = \frac{vol.sedimento}{vol.agua + vol.sedimento}$$

La pendiente de fricción del flujo en un flujo hiperconcentrado está dada, según O´Brien (2006), por la siguiente ecuación:

$$Sf = \frac{\tau_y}{\gamma_m h} + \frac{K\eta V}{8\gamma_m h^2} + \frac{n_{td}{}^2 V^2}{h^{4/3}}$$

Donde:

$\tau_y = \tau_c + \tau_{mc}$ siendo τ_c el esfuerzo cortante cohesivo y τ_{mc} es el esfuerzo cortante de mohr-Coulomb.

γ_m : peso específico de la mezcla de sedimentos.

h: radio hidráulico

K: parámetro de resistencia para flujo laminar.

η : viscosidad dinámica

V: Velocidad de flujo

n_{td} :resistencia al flujo de los componentes turbulento y dispersivo del esfuerzo cortante

En el software FLO 2D –que será utilizado para el análisis de las condiciones de amenaza de la quebrada Limas– se formuló una solución a la ecuación cuadrática anterior para estimar la velocidad a ser usada en la ecuación de momentum. La velocidad estimada representa la velocidad del flujo en cada elemento de planicie o cauce. A menos que se cuente con un análisis de los depósitos in-situ, las siguientes ecuaciones pueden ser usadas para calcular la velocidad y el esfuerzo cortante (para mayor información ver O´Brien (2006)):

$$\eta = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v}$$

$$\tau_y = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v}$$

Donde α y β son coeficientes empíricos definidos en laboratorio.

Los flujos de lodos están asociados usualmente con eventos de creciente relativamente frecuentes del orden de 10 a 25 años de periodo de retorno. Las crecientes extremas generalmente se comportan como una creciente de lodos diluida (O´Brien, 2006).

En la literatura también se utiliza la expresión flujo de detritos para referirse a un flujo caracterizado por contener suficiente agua para dispersar los granos en su profundidad completa y que ocurre cuando suficiente agua es proporcionada a un depósito de detritos (Takahashi, 1981).

De acuerdo con el Instituto del Ministerio de Territorio, Infraestructura y Desarrollo de Infraestructura de Transporte de Japón (2004), los flujos de detritos tienen varias causas dependiendo de las condiciones del sitio y de sus factores contribuyentes. Cuando se clasifican por sus factores contribuyentes, los flujos de detritos se pueden clasificar en cinco tipos:

Movimiento de sedimento del lecho	La descarga de sedimento se detona cuando el sedimento acumulado entra en movimiento gracias a las fuerzas actuantes cuando se presenta una creciente.
Por falla de un talud	Cuando la falla de un talud directamente se convierte en un flujo de detritos.
Rompimiento de presa natural	Cuando un flujo de detritos es causado por el rompimiento de una presa natural formado por un deslizamiento.
Por un deslizamiento	Cuando el flujo de detritos ocurre como la última fase de un deslizamiento.

Tabla 2. Tipos de flujo de detritos debido al factor contribuyente

En los flujos de detritos del tipo "movimiento de sedimento de lecho" el peso del flujo de agua superficial tiene una influencia importante en las condiciones de estabilidad. En este caso, la relación entre el comportamiento de un flujo de detritos y la pendiente del lecho se muestra en la Tabla 3.

Comportamiento del flujo de detritos	Gradiente del lecho
Sección donde el flujo de detritos ocurre	$20<=\theta$
Sección donde el flujo de detritos se dirige hace aguas abajo y se acumula	$10<=\theta<20$
Sección donde se produce acumulación	$3<=\theta<10$

Tabla 3. Comportamiento del flujo de detritos según la pendiente del lecho

4.4 Inundaciones en conos aluviales

De acuerdo con la NFIP[1] una inundación en un cono aluvial corresponde a "una inundación que ocurre en la superficie de un cono aluvial o geoforma similar que se origina en el ápice y está caracterizada por flujos con alta velocidad, procesos activos de erosión, transporte de sedimentos y depositación y trayectorias de flujo impredecibles". Esto implica que (Flooding, 1996):

- Las inundaciones en conos aluviales tienen una trayectoria impredecible. El cauce perceptible, si existe, podría no ser la ruta para el agua durante una inundación.
- Las inundaciones sobre conos aluviales ocurren en la superficie de los conos aluviales o geoformas similares en las que el dominio espacial que está sujeto a inundación puede extenderse sobre un área más grande que la planicie de inundación determinada por medios tradicionales de análisis.
- Las velocidades durante una inundación en un cono aluvial son los suficientemente altas como para erosionar nuevos cauces. Igualmente, dicha erosión puede afectar los

[1] National Flood Insurance Program de los Estados Unidos

edificios que se encuentren adyacentes al cauce y destruirlos aunque las profundidades no sean lo suficientemente grandes como para causar una inundación.

5 DESCRIPCIÓN DE LA QUEBRADA LIMAS

La Quebrada Limas se encuentra localizada en la localidad de Ciudad Bolívar al sur de la ciudad de Bogotá (ver Ilustración 1), su cuenca se encuentra en el cuadrante definido por las coordenadas N 97597 E 93211 y N 88643 E 88536 y pertenece a la cuenca baja del río Tunjuelo.

En la Ilustración 3 se muestra el sistema de drenaje de la cuenca de la Quebrada Limas. El inicio de la quebrada corresponde a las coordenadas N 89.016,97 E 89.817,23 (Sain Espinoza, 2003) en la cota 3300 aproximadamente. Su desembocadura se encuentra localizada en el embalse de amortiguación No 2 del río Tunjuelo en la cota 2553 aproximadamente, implicando un parámetro de relieve de 0.75 Km. La longitud del total de la quebrada limas es de 11.6 Km y su área de drenaje es de 17Km^2, siendo sus afluentes principales -de aguas arriba hacia aguas abajo-: la quebrada Quiba, la quebrada Honda, la quebrada Zanjón Derecho y la quebrada Trompetica.

Su parte alta está en un estado relativamente bueno de conservación pero en su parte media y baja se evidencia un gran deterioro de la cuenca debido principalmente a la explotación de canteras y a procesos de urbanización que han llevado a la ocupación de zonas incluso del cauce de la quebrada (ver Foto 1.) y a la construcción de pasos, puentes, culverts y tubos contribuyendo a un intenso deterioro de este cuerpo de agua.

El proceso de urbanización de la cuenca ha generado que actualmente la cuenca baja de la misma se encuentre totalmente urbanizada y que la quebrada haya sufrido intervenciones en su cauce que modifican su comportamiento hidráulico.



Foto 1. Quebrada Limas en la parte baja de la cuenca

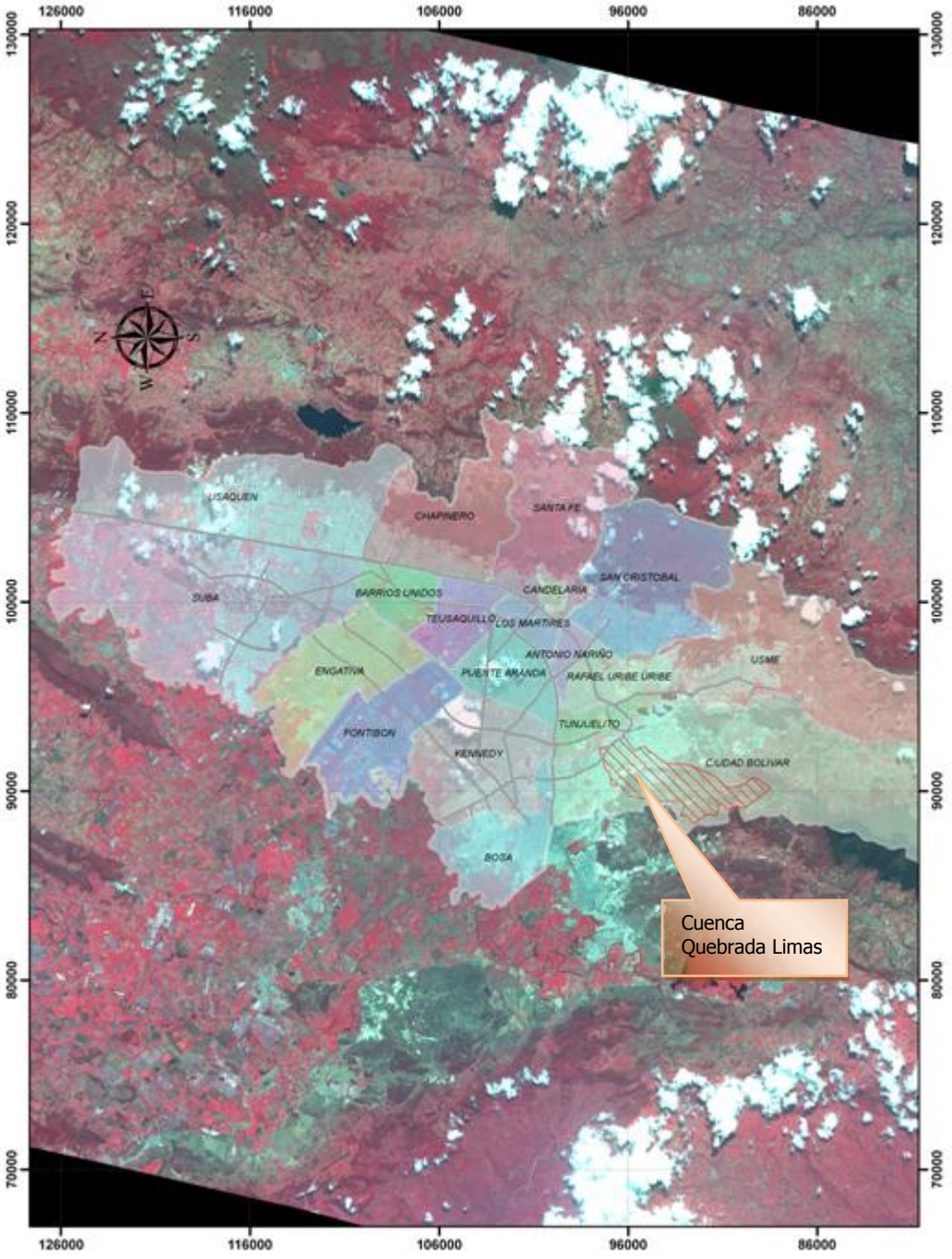


Ilustración 1. Localización de la quebrada Limas

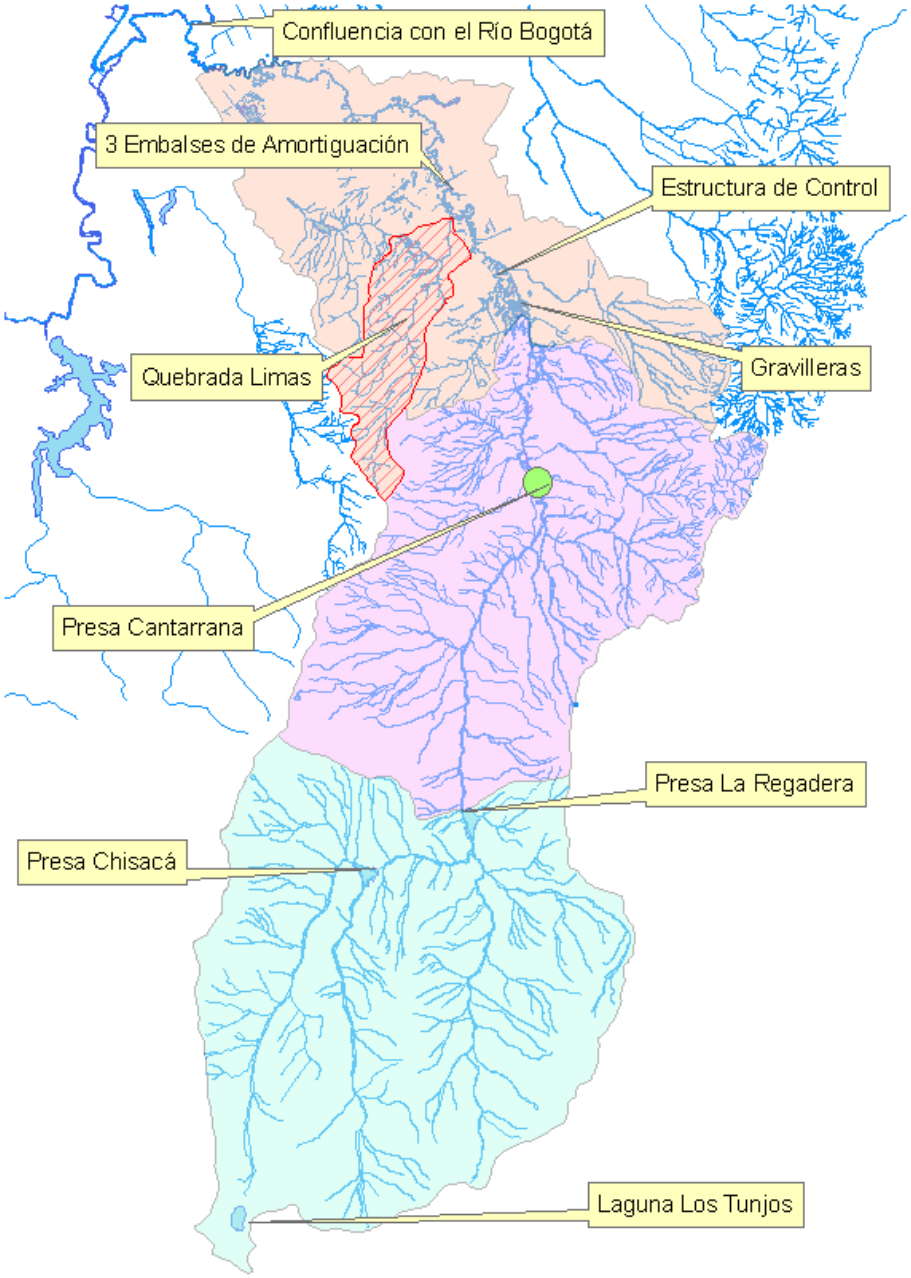


Ilustración 2. Localización de la Quebrada Limas en la cuenca del río Tunjuelo

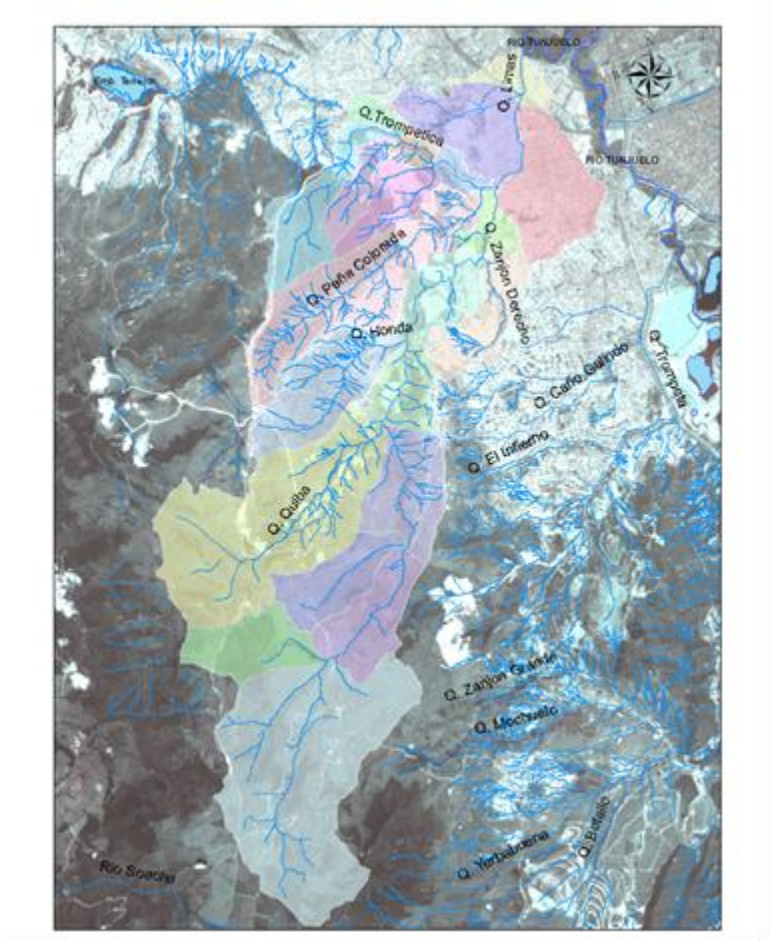


Ilustración 3. Quebrada Limas

De acuerdo con Estudios y Asesorías (2000), el área de la cuenca y en especial los terrenos de alta pendiente que en la actualidad se hallan construidos, presentan graves problemas de estabilidad, los cuales ya se han manifestado dramáticamente como en el caso del barrio El Triunfo. En general, la presencia de suelos arcillosos de muy fácil disgregación, una capa vegetal muy delgada y una vegetación muy escasa, favorecen la formación de grandes cárcavas y otros procesos erosivos que se activan en presencia de humedad en los suelos, que desde luego, es mayor cerca de los cauces y aumentada por los drenajes domiciliarios que allí abundan. Otros fenómenos a tener en cuenta dentro de la problemática de la cuenca son: la explotación rudimentaria de canteras y la existencia de numerosas fallas, que inciden en la estabilidad general. La presencia de suelos arcillosos con gran facilidad de disgregación, una capa vegetal muy delgada y una vegetación escasa favorecen la formación de grandes extensiones de suelos afectados por procesos erosivos.

Lo anterior conduce a que la cuenca de la quebrada Limas presenta escenarios complejos ante precipitaciones extremas ya que su reacción como sistema implica procesos erosivos importantes, problemas de estabilidad y la influencia de zonas de canteras que sumado a los procesos de urbanización que se han dado especialmente cerca al cauce y en su cono aluvial implica la presencia de zonas de amenaza y riesgo de importancia.

La mayor problemática se localiza en la cuenca baja (ver Ilustración 4) en donde la pendiente de la quebrada se reduce notablemente y se evidencia la mayor presión urbana de toda la cuenca.

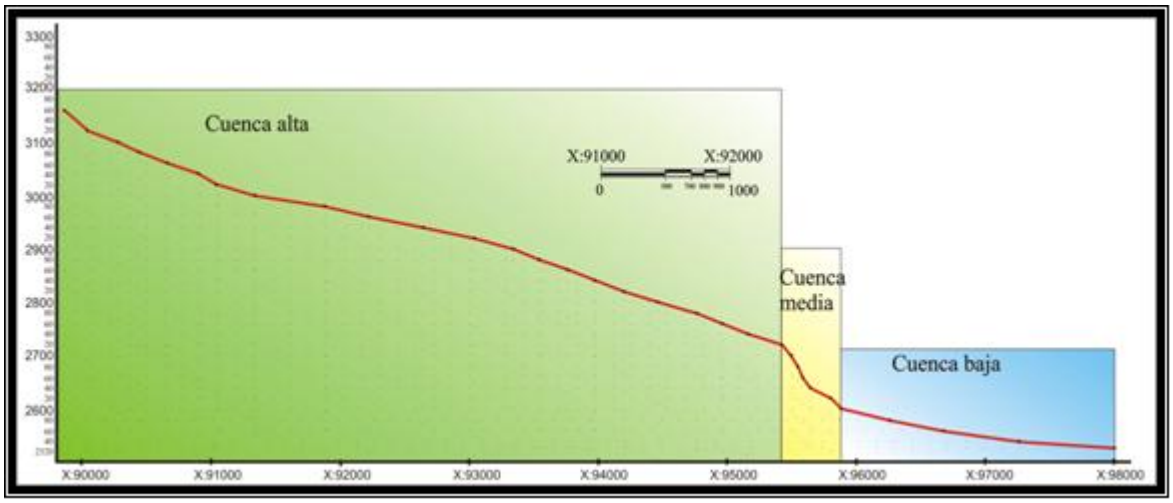


Ilustración 4. Perfil de la quebrada Limas (Fuente: DAMA, 2005)

La gravedad de estos problemas se ha manifestado durante las dos avenidas torrenciales que se han presentado en el cauce de la quebrada Limas. El primer evento ocurrió el 24 de noviembre de 2003 descrito en los diagnósticos 1836, 1880 y 1891 emitidos por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias – DPAE, durante el cual perdieron la vida dos personas y 1535 resultaron afectadas. El segundo evento se presentó el 18 de noviembre de 2004 durante el cual no se presentaron fatalidades pero el área de afectación fue similar a la que se presentó en el año 2003.

Debido a sus condiciones naturales como su alta pendiente y a las condiciones de deterioro de la cuenca, las crecientes en la quebrada Limas ocurren de manera súbita. Según Lin (1999), una creciente súbita está definida como una creciente que ocurre en seis horas o menos luego del evento que la causa.

Con el fin de caracterizar la naturaleza de las inundaciones que se presentan en esta cuenca, a continuación se mencionan las principales características de las inundaciones súbitas según Lin (1999):

- ***El hidrograma de una creciente súbita es muy pendiente con un tiempo al pico generalmente de no más de 1-6 horas***. Los hidrogramas de la quebrada Limas presentan un rápido incremento del caudal (rama ascendente del hidrograma con una alta pendiente) así como una rápida disminución del mismo. Las crecientes ocurren rápidamente y son de corta duración. Por ejemplo, en la creciente registrada el día 24 de noviembre del 2003 el hidrograma de creciente muestra una duración de apenas 3:15 horas con un ascenso pronunciado en el que apenas en 1:15 horas se alcanza el pico registrando el descenso del hidrograma en 2 horas.
- ***Las crecientes súbitas normalmente ocurren en cuencas de tamaño pequeño a moderado mientras, crecientes normales ocurren en cualquier tipo de cuencas.*** La cuenca de la quebrada Limas tiene un área de 17 Km^2 y puede ser considerada como una cuenca pequeña.
- ***Las crecientes súbitas ocurren en cuencas con áreas impermeables grandes, vegetación escasa y pedientes grandes.*** En la cuenca de la quebrada Limas dado su clima (árido –semiárido) la vegetación no es densa en la parte alta en donde la quebrada no está urbanizada, adicionalmente se presenta un alto deterioro causado por las zonas de canteras y la intervención antrópica. La pendiente de la cuenca es alta y los valores promedio de pendientes de las subcuencas que la conforman van del 5% al 17%, presentándose áreas importantes con pendientes mayores al 30% en la parte alta de la cuenca.
- ***Las crecientes súbitas ocurren de manera muy repentina y normalmente son muy difíciles de pronosticar. Los daños ocurridos normalmente son muy serios, incluyendo la pérdida de vidas humanas.*** La rapidez con la que ocurren las crecientes en la quebrada Limas hace que su evaluación sea muy difícil y de la experiencia de las crecientes de los años 2003 y 2004 se sabe que los daños que generan incluyen la destrucción parcial de viviendas y la pérdida de vidas.
- ***Alta carga de sedimentos***. ya que en general la cuenca tiene una cobertura vegetal pobre, si se produce una tormenta de alta intensidad y las velocidades de flujo se incrementan rápidamente, la escorrentía tiene un alto arrastre de sedimentos especialmente en las zonas propensas a la erosión (zonas cercanas a las canteras).
- ***Normalmente las medidas más eficientes para su manejo incluyen sistemas de alerta temprana que implican una adecuada preparación de la comunidad.***

En resumen las causas principales de las crecientes súbitas en esta cuenca obedecen a:

- Tormentas de alta intensidad
- Altas pendientes en la cuenca
- Cobertura vegetal pobre
- Flujos de alta velocidad debido a que la cuenca no tiene capacidad para retardar la concentración de flujo.
- Gran cantidad de aportes de sedimento disponible para contribuir a la formación de flujos de lodos durante tormentas de alta intensidad.
- Posibles puntos de obstrucción que se constituyen en barreras que al romperse generan avenidas.

6 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE AMENAZA

Los impactos de una amenaza son medidos en unidades físicas, pero el significado de estas unidades cuantitativas no es fácilmente entendible por personal no científico. Por tal razón se utilizan clases de impacto (alto, medio y bajo). Independientemente del tipo de amenaza, cada clase debe tener aproximadamente el mismo efecto en la población y en los edificios. Adicionalmente, la amenaza no solo depende de las fuerzas de impacto sino también de la probabilidad de ocurrencia por lo cual es necesario contar con clases de probabilidad que finalmente se combinan con las clases de intensidad y permiten obtener una clasificación de amenaza (alta, media y baja).

Los criterios para la intensidad están determinados por el efecto que las fuerzas de impacto tienen en la seguridad de la vida humana y las estructuras. La intensidad alta corresponde a cuando la vida humana incluso en una casa no está segura debido a que la casa está inundada totalmente o puede colapsar súbitamente debido a las fuerzas actuantes. La intensidad media corresponde a cuando hay peligro para la vida cuando se encuentra expuesta fuera de una estructura y la intensidad del impacto no es suficiente para destruir un edificio sólido. La Intensidad baja corresponde a cuando no hay peligro significativo para la vida y no se espera daño estructural de importancia.

Según Rickenmann (2001), la clasificación mostrada en la Tabla 4, en función de la profundidad (H) y la velocidad de flujo (v) es aplicable para flujos de detritos.

Intensidad baja	Intensidad media	Intensidad alta
H<0.5 y v<0.5m/s	H<1.5m y 0.5m/s<v<1.5m/s	h>1.5m o v>1.5 m/s

Tabla 4. Clases de intensidad resultado de flujos de detritos (fuente: Petrascheeck A., 2003)

En cuanto a la probabilidad de ocurrencia, para el caso de inundaciones, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE utiliza en sus evaluaciones dos periodos de retorno –el de 10 años y el de 100 años–. Entendiendo la probabilidad de ocurrencia como $Pn=1-(1-1/Tr)^n$ donde Pn es la probabilidad de al menos un evento en n años sucesivos y Tr es el periodo de retorno en años para un evento de una magnitud particular, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE considera el periodo de análisis de 10 años (n=10 años) conduciendo a una probabilidad de 65% para el periodo de retorno de 10 años y 10% para un periodo de retorno de 100 años.
El grado de amenaza es la combinación de los dos parámetros –la intensidad y la probabilidad de ocurrencia– . Teniendo en cuenta el principio de que entre más baja sea la probabilidad, mayor es la intensidad admisible se obtiene el esquema mostrado en la Ilustración 5.

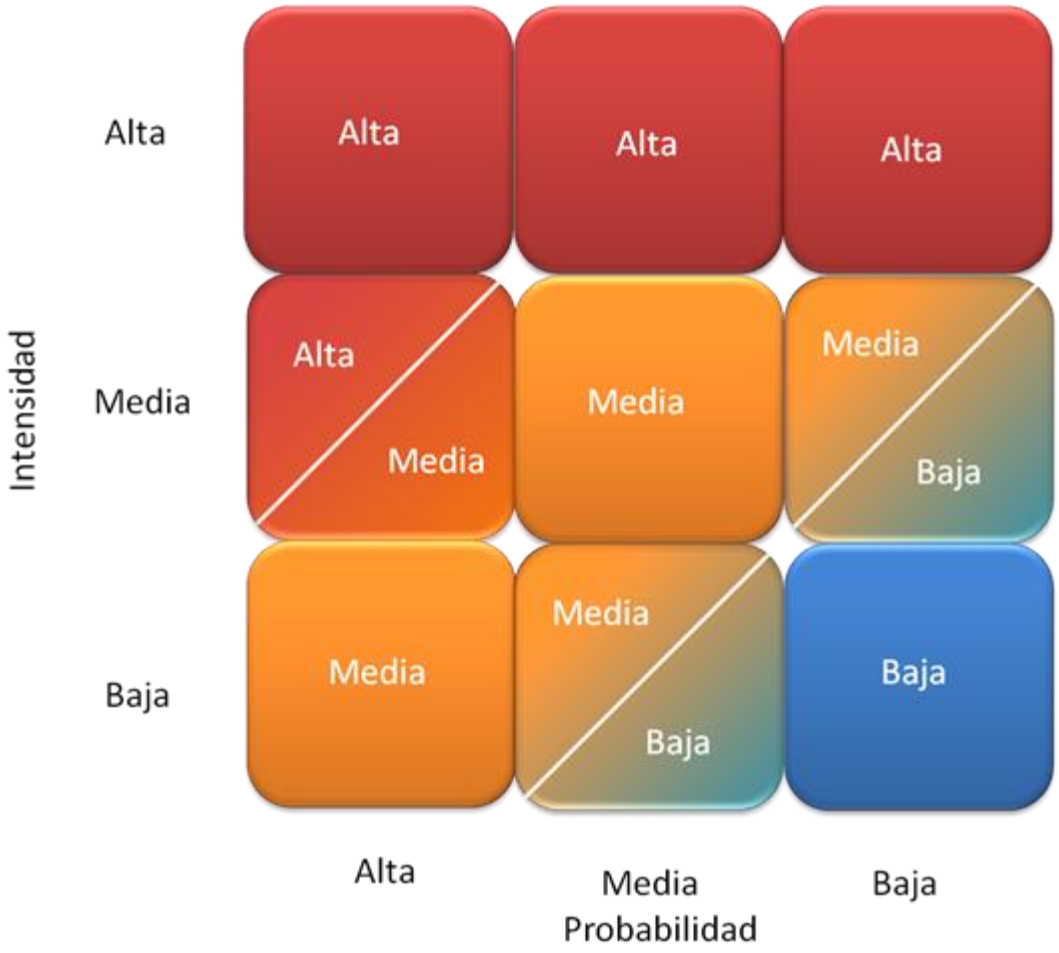


Ilustración 5. Clasificación de amenaza (fuente: Petrascheeck A., 2003)

Para el caso de amenaza de inundación lenta por desbordamiento, la DPAE ha considerado el criterio que se muestra en la Ilustración 6, en el cual se utilizan solo dos clasificaciones de probabilidad una para el escenario con periodo de retorno de 10 años y otra para el escenario con periodo de retorno de 100 años y la intensidad se clasifica como alta dependiendo del límite de altura de inundación de 0.5 m o de una duración de 3 días.

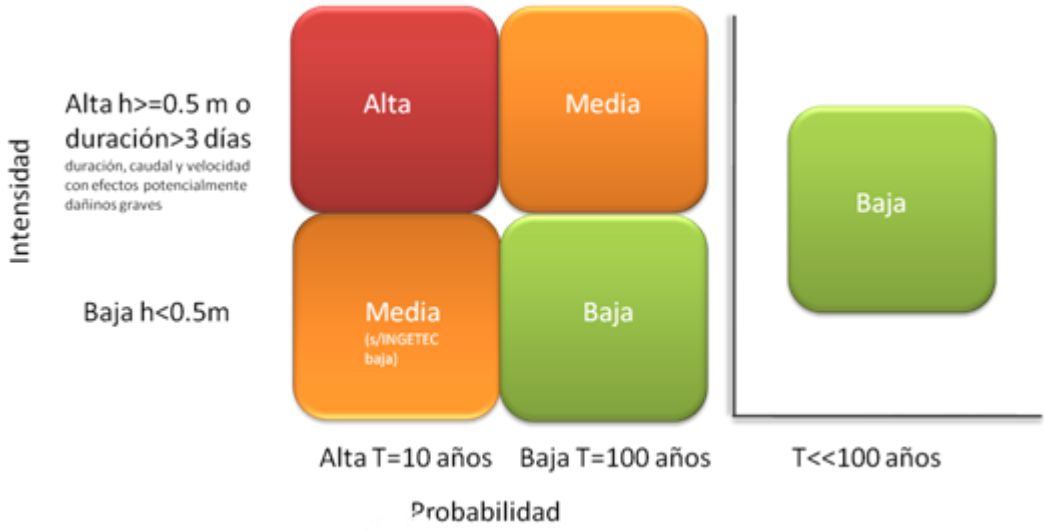


Ilustración 6. Criterios de zonificación por amenaza de inundación por desbordamiento DPAE

Una de las razones para no considerar periodos de retorno mayores es que las series de datos en la ciudad de Bogotá no son lo suficientemente largas para extrapolar a periodos de retorno más altos, por lo que se considera adecuado llevar la zonificación a periodos de retorno de hasta 100 años.

La anterior definición de zonas de amenaza conduce a la descripción mostrada en la Tabla 5.

CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
AMENAZA ALTA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno menor o igual a 10 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua igual o superior a 0,50 m, duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos graves. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada diez años durante la vida útil del jarillón hasta ese nivel.	>65%
AMENAZA MEDIA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente entre los periodos de retorno de 10 y 100 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua, duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos moderados.	10% -65%
AMENAZA BAJA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno mayor o igual a 100 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua con efectos potencialmente dañinos leves. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada cien años durante la vida útil del jarillón.	< 10%

Tabla 5. Clasificación de amenaza de inundación por desbordamiento - DPAE

Buscando mantener congruencia entre los criterios de amenaza de inundación por desbordamiento y por avenida torrencial, se utilizarán las mismas clases de probabilidad de ocurrencia. Sin embargo, para la definición de la intensidad se utilizarán los límites propuestos por García, Lopez et al. (2003), en los que se tiene en cuenta que los eventos que tienen alta carga de sedimentos (flujos de lodo o detritos) son más destructivos que los eventos de agua clara, estos límites se muestran en la Tabla 7 y para referencia se muestran los límites propuestos por éste mismo autor para el caso de agua clara en la Tabla 6, considerando como parámetros de análisis la profundidad (H) y la velocidad (v).

Intensidad baja	Intensidad media		Intensidad alta
H<0.5 y vh<0.5m^2/s	0.5<H<1.5m 0.5m^2/s<vh<1.5m^2/s	y	h>1.5m o vh>1.5 m^2/s

Tabla 6. Clasificación de intensidades para agua clara (Según García, Lopez et al., 2003)

Intensidad baja	Intensidad media		Intensidad alta
0.2<H<1.0m y vh<0.2m^2/s	0.2<H<1.0m 0.2m^2/s<vh<1.0m^2/s	y	h>1 m o vh>1 m^2/s

Tabla 7. Clases de intensidad para avenidas torrenciales (fuente: García, Lopez et al., 2003)

El uso de ésta clasificación de intensidad combinado con las dos probabilidades que se considerarán conduce a la clasificación de amenaza que se muestra en la Ilustración 7, la cual al agrupar las dos clases superiores de intensidad resulta en la clasificación mostrada en la Ilustración 8 que es de la misma forma que la utilizada por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias – DPAE, guardando concordancia con las probabilidades utilizadas para el análisis, pero incluyendo límites de parámetros que son relevantes cuando existe la probabilidad de una concentración alta de sedimentos. Adicionalmente, se incluyó la existencia de una zona de amenaza residual, entendida como una zona en donde existe amenaza con una probabilidad muy baja (T<100 años) pero que se puede manifestar con una intensidad fuerte. La definición de esta zona corresponderá a criterios geomorfológicos y a escenarios extremos como por ejemplo el rompimiento de una presa natural en el cauce. De acuerdo con la clasificación de amenaza utilizada por la DPAE, esta zona de amenaza residual podría adicionarse a la zona de amenaza baja para considerar escenarios con periodo de retorno mayores a 100 años (>>100 años) y utilizar solo tres clasificaciones.

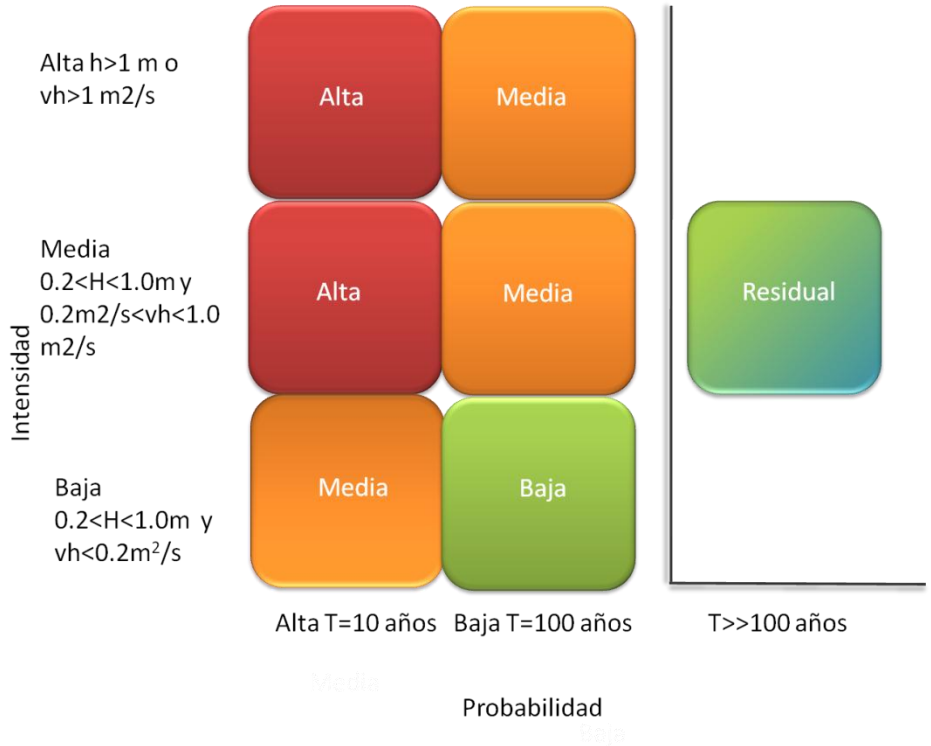


Ilustración 7. Clasificación de la amenaza propuesta para el estudio

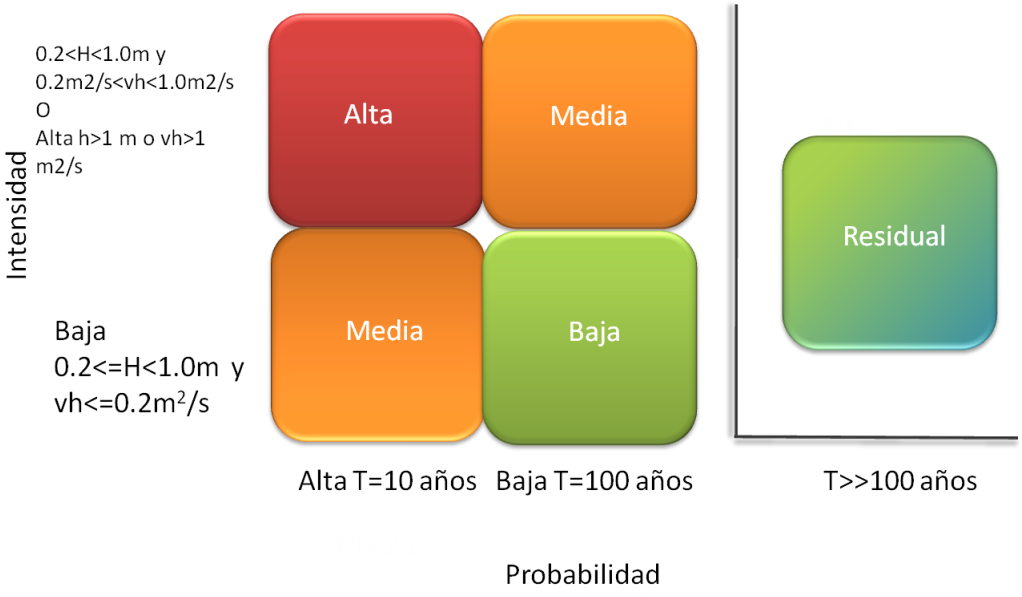


Ilustración 8. Clasificación de amenaza a ser aplicada en el estudio

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
ALTA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno menor o igual a 10 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua entre 0.2 y 1 metro y el producto de la velocidad y la profundidad de lámina de agua mayor o igual a 0.2 m^2/s (vh>=0.2 m^2/s) lo cual implica efectos potencialmente dañinos graves. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada diez años .	>=65%
MEDIA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente con periodo de retorno de 10 años con h>=0.2 m y vh>=0.2 m^2/s y la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente del periodo de retorno de 100 años con profundidad de lámina de agua mayor o igual a 0.2 m y producto de la velocidad y la profundidad mayor o igual a 0.2 m^2/s, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, lo cual implica efectos potencialmente dañinos moderados.	10% -65%
BAJA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno de 100 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua y velocidad con efectos potencialmente dañinos leves correspondiente a una profundidad en el rango de 0.2 a 1 metro con el producto de la velocidad por la profundidad inferior a 0.2 m^2/s.	< =10%
RESIDUAL	zona en donde existe amenaza con una probabilidad muy baja pero que se puede manifestar con una intensidad fuerte.	<<10%

Tabla 8. Categorización de la amenaza de inundación por avenida torrencial

De acuerdo con Petrascheeck A. (2003), las amenazas deben ser analizadas y descritas por su extensión, tipo, intensidad y probabilidad de ocurrencia. La estimación de la probabilidad de ocurrencia y la intensidad implica un amplio respaldo científico y varía de lugar a lugar dependiendo de la información disponible.

Las avenidas torrenciales, gracias a su velocidad de propagación a lo largo de una corriente torrencial y a su naturaleza, constituyen una de las amenazas más complejas.

Existen varias metodologías para la evaluación de la amenaza, basadas en diferentes aproximaciones entre las cuales se encuentran:

- Recolección de datos históricos y análisis probabilísticos de las series de eventos ocurridos. Una limitación importante de esta metodología es que no se cuenta con información para periodos suficientemente largos.
- Uso de ecuaciones empíricas y semi-empíricas.
- Aproximaciones geomorfológicas basadas en la evaluación de los volúmenes existentes de material suelto a lo largo de la red hidrográfica y que se encuentran disponibles para ser movilizados. Entre estas metodologías se encuentra la aproximación geomorfológica propuesta por Hungr que constituye una herramienta para estimar la carga de detritos a

lo largo de una corriente torrencial clasificando sus secciones de acuerdo con su erodabilidad.

Parámetros morfológicos como el número de Melton pueden ser utilizados para una evaluación inicial, en general cuencas pequeñas con alta pendiente, con conos de pendiente importante usualmente tienen abanicos que son el resultados de eventos de flujos de detritos. Por esta razón en este estudio se optó por realizar inicialmente una evaluación morfométrica de la quebrada Limas y posteriormente una geomorfológica en un intento por determinar la potencialidad de aporte de sedimento en la cuenca y las características de las avenidas torrenciales en la cuenca.

Según Rickenmann (1999), con base en análisis de numerosos eventos ocurridos en Suiza en el verano de 1987, se propuso una metodología de estimación de la probabilidad de actividad de flujos de detritos sin información sobre eventos anteriores. En este procedimiento, la pendiente del cauce del torrente en la posible zona de iniciación y el potencial de fuentes de sedimento se consideran como los factores más importantes. Con el fin de realizar una estimación cuantitativa de los parámetros que permiten delinear las zonas de amenaza, Rickenmann (1999) relaciona las fórmulas empíricas que pueden ser usadas para seguir su procedimiento (ver Ilustración 9).

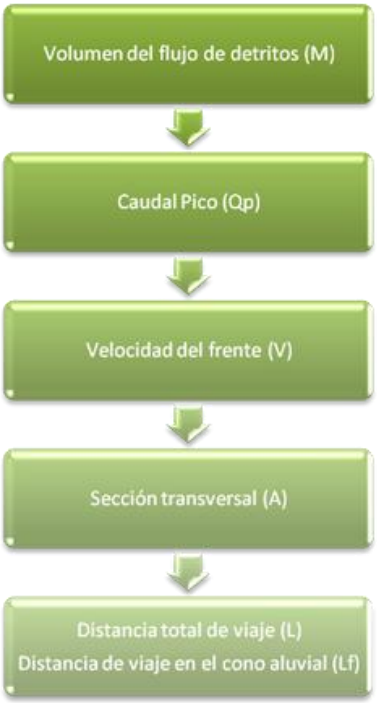


Ilustración 9. Procedimiento de definición de parámetros de flujos de detritos utilizando ecuaciones empíricas propuesto por Rickenmann (1999)

El volumen del flujo de detritos es uno de los parámetros más importantes. Rickenmann (1999) indica que es preferible realizar una evaluación geomorfológica del potencial de sedimento en vez

de utilizar ecuaciones empíricas debido a que éstas pueden tener errores en la estimación de incluso órdenes de magnitud. La evaluación del volumen involucrado en determinado evento puede apoyarse en varias herramientas, una metodología puede ser el basarse en la recopilación de datos históricos y realizar un análisis de probabilidad de las series de eventos (Conversini, Salciarini et al., 2005). Esta aproximación es limitada ya que muy excepcionalmente se cuenta con información para periodos largos, en el caso de la quebrada Limas se cuenta con información general sobre los eventos ocurridos en 2003 y 2004, desafortunadamente la información disponible no permite la estimación de volúmenes y aspectos técnicos detallados de la ocurrencia del fenómeno, sin embargo la información disponible se utilizará en la evaluación de amenaza hasta donde sea posible. Otra metodología es el uso de ecuaciones empíricas y semi empíricas además de las metodologías geomorfológicas, basadas en la evaluación del material suelto disponible para ser movilizado. El método de Hungr descrito por Conversini, Salciarini et al., 2005 indica que el volumen total de detritos que puede ser transportado aguas abajo durante un evento, independientemente del número de ondas que constituyan el flujo de detritos, es denominado "magnitud del evento". Este depende tanto de las dimensiones de la fuente de detritos como de la predisposición de esta área a ser movilizada durante condiciones de precipitación extremas. Esta cantidad es comúnmente llamada "volumen total de detritos movilizable".

De acuerdo con lo indicado por Giraud (2005), el análisis de los depósitos aluviales del cono de una quebrada provee la base geológica para la estimación de la frecuencia y volumen potencial del flujo de detritos y la descripción del mismo. Las características de la cuenca de drenaje y el cauce determinan la susceptibilidad a las avenidas torrenciales con alta carga de sedimentos y el volumen almacenado en el cauce disponible para futuros eventos. Cuando los registros históricos son escasos, los métodos geológicos proveen el medio principal para determinar la historia de actividad de flujos de detritos en un abanico aluvial. Sin embargo, dado el alcance del estudio, la evaluación geológica de la quebrada Limas es limitada, y se optó por darle prioridad a los métodos empíricos de estimación de volumen movilizable con el fin de contar con una primera idea de concentración de sedimentos, pero teniendo en cuenta las limitaciones antes expuestas de estos métodos.

La cuantificación del volumen potencial del flujo de detritos puede calcularse mediante la aplicación de fórmulas empíricas tales como:

Takei (1986)	$M=13600A^{0.61}$
Kronfellner-Kraus (1984)	$M=KAS_c$
D`agostino, Cerato, Coali (1996)	$M=65000A^{1.35}S^{1.7}$
D`agostino, Cerato, Coali (1996)	$M/Vr=2.9S^2$

Siendo:
M=Magnitud del flujo de detritos m^3
Vr= volumen de escorrentía m^3
A =Area Km^2
S_c=Pendiente promedio del cauce %
S=pendiente promedio del cauce
$K=1150/e^{0.014A}$

Tabla 9. Ecuaciones empíricas para cálculo de la magnitud de los flujos de detritos (tomado de Sodnik and Miko, 2006)

Con base en lo anterior, dado que para la quebrada Limas la cuantificación de sedimento disponible mediante evaluación geomorfológica está fuera del alcance de este estudio, se propone la aplicación de fórmulas empíricas que permitan llegar a un rango promedio de concentración de sedimentos para realizar simulaciones matemáticas que permitan la estimación de zonas de amenaza.

En ríos de baja pendiente la evaluación de amenaza está basada en herramientas validadas, para el caso de avenidas torrenciales con una alta carga de sedimentos la evaluación es mucho más complicada. Los flujos de lodos o de detritos son el resultado de interacciones complejas que no dependen exclusivamente de la intensidad de la precipitación, por lo cual las herramientas clásicas de hidrología son inadecuadas para la predicción adecuada de las características de las crecientes. Las propiedades reológicas no son constantes, cambian de una cuenca a otra, de un evento a otro e incluso dentro del mismo evento. Con esta variabilidad de condiciones, parece más prometedor no trabajar con un solo grupo de datos describiendo la creciente sino con una lista de escenarios basados en diferentes características del hidrograma de entrada y parámetros reológicos. Los modelos numéricos son una herramienta flexible que facilita la evaluación de cada escenario, proporcionando la extensión máxima del área inundada (Laigle, N.A.). La herramienta matemática que es utilizada en este estudio es el software FLO 2D, a través del cual se evaluará el comportamiento de la quebrada para diferentes escenarios. Rickenmann (1999), propone también el uso de modelos numéricos de simulación para evaluar las propiedades del flujo y el comportamiento de depositación. Según Rickenmann (1999), en ausencia de suficiente información reológica las leyes de resistencia al flujo válidas para agua clara podrían ser usadas para describir el comportamiento medio del flujo de detritos. Mientras para el agua clara los coeficientes de Chezy o Manning son primordialmente una función de la rugosidad del cauce, los parámetros de resistencia al flujo del flujo de detritos puede depender adicionalmente hasta un cierto punto de las propiedades mecánicas de la mezcla. Para la evaluación del comportamiento del flujo, se plantearan diversos escenarios variando tanto la concentración como los parámetros reológicos con el fin de identificar zonas de amenaza y áreas máximas inundadas.

Los modelos numéricos están basados en ecuaciones unidimensionales o bidimensionales. Para el caso de este estudio se utilizó un modelo bidimensional. En particular para la modelación del patrón espacial de depositación en el cono aluvial, -que es de importancia para la delimitación de las zonas de amenaza-, la simulación en dos dimensiones es preferible.

En la Ilustración 10 se muestra la metodología utilizada en el estudio.

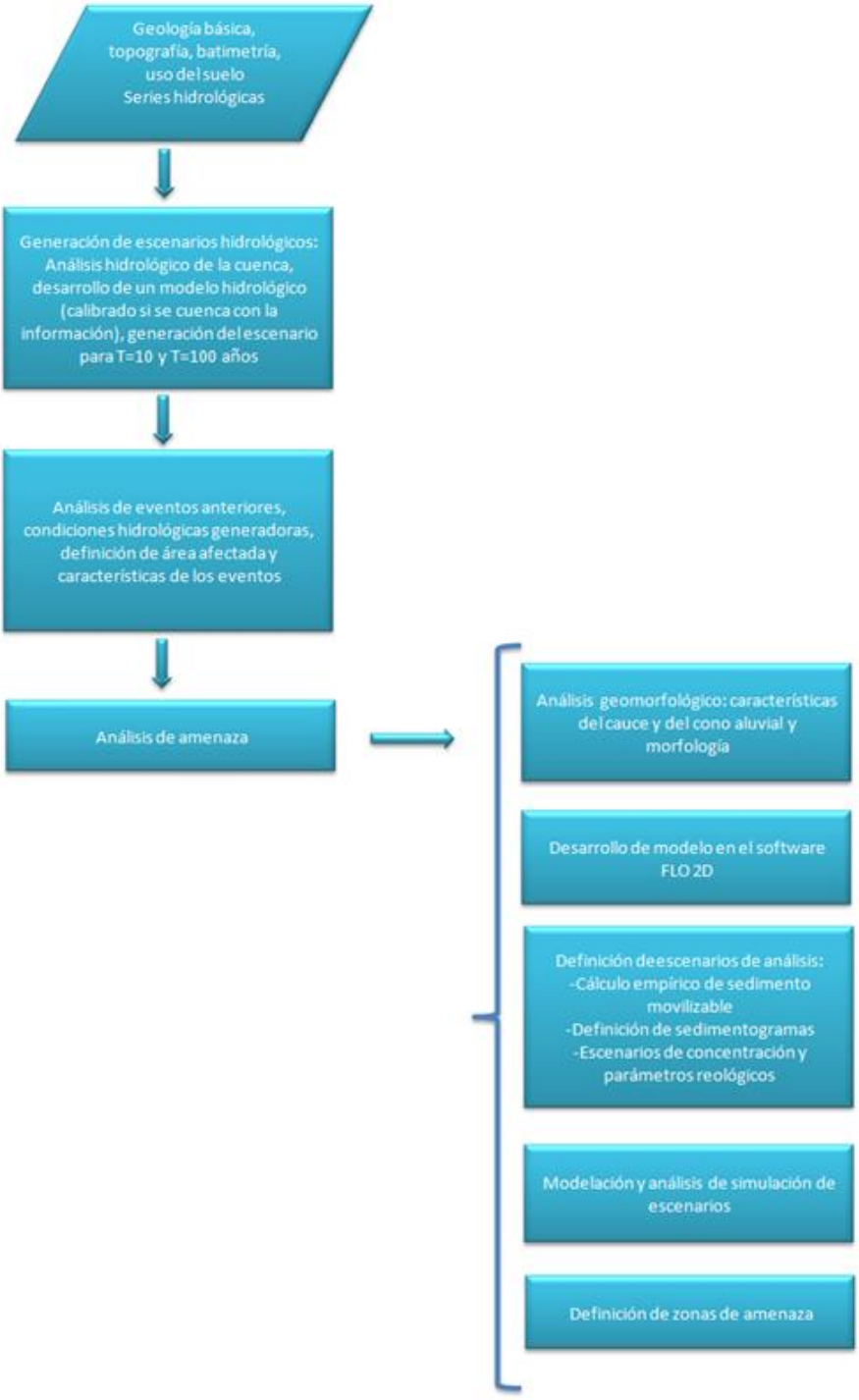


Ilustración 10. Metodología de zonificación de amenaza

7 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

La red de estaciones de monitoreo disponibles en la cuenca se muestra en la Ilustración 11. La DPAE cuenta con 4 estaciones en zonas cercanas a la cuenca constituidas por los sensores de lluvias telemétricos de Sierra Morena, Quiba-Mirador, Doña Juana y San Benito, esta última cuenta con sensor de nivel sobre el río Tunjuelo.

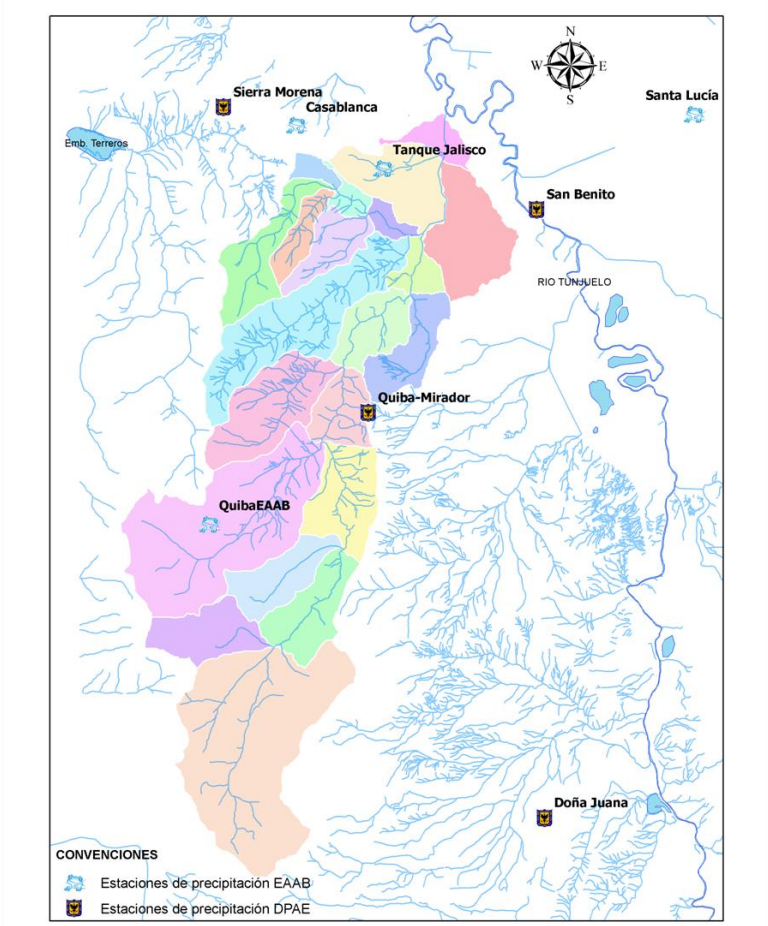


Ilustración 11. Sistema de estaciones hidrometeorológicas en la cuenca de la Quebrada Limas

La EAAB tiene instaladas en esta zona las estaciones Quiba, Casablanca y Tanque Jalisco, ésta última se encuentra suspendida.

La precipitación media mensual multianual en las estaciones Casablanca, Santa Lucía y Jalisco se presenta en la Ilustración 12, en donde se muestra una distribución bimodal con meses lluviosos entre marzo y junio y octubre y noviembre cuyos máximos se presentan en los meses de abril y octubre.

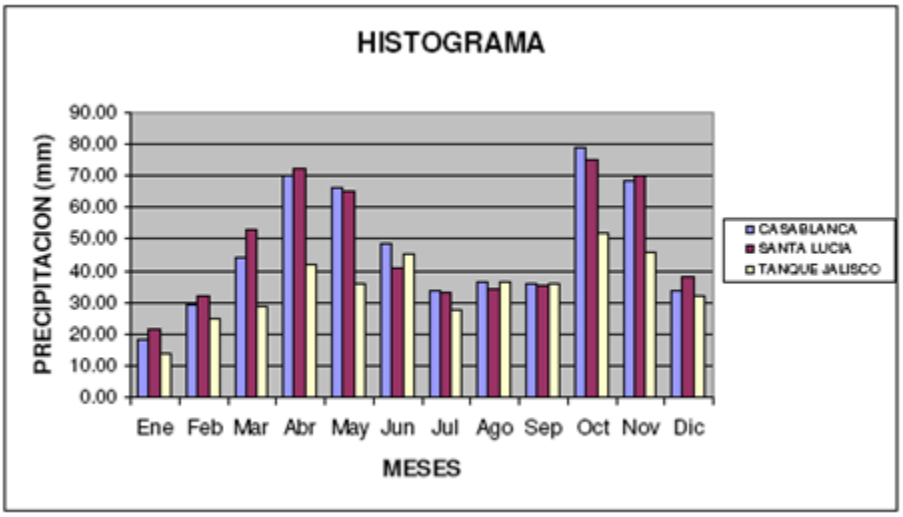


Ilustración 12. Precipitación media mensual multianual en las estaciones Casa Blanca, Santa Lucía y Jalisco. Fuente (Murcia, 2003)

7.1 Tormentas para los escenarios de análisis

7.1.1 Duración de la tormenta

Para escoger la duración de la tormenta, como primera medida se realizó una revisión bibliográfica de las duraciones que han sido tenidas en cuenta en los diferentes estudios sobre la Quebrada Limas, que se encuentran disponibles para la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE. El resumen de los criterios utilizados se muestra en la Tabla 10, en la cual se observa que existe una gran variabilidad de estudio a estudio en cuanto a la duración de tormenta utilizada, por tal motivo se realizará el correspondiente análisis para definir la duración de tormenta a ser utilizada en este estudio.

Para aclarar el comportamiento de la precipitación durante las tormentas más importantes que ha registrado la Red Hidrometeorológica de Bogotá (operada por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias – DPAE), se analizaron las tormentas correspondientes al 12 de octubre de 2007, 25 de noviembre de 2005, 24 de noviembre de 2004 y 18 de noviembre de 2003 consideradas las más importantes dentro del periodo de monitoreo disponible. Las duraciones de estas precipitaciones se encuentran en el rango de 1:20 horas a 2:20 horas, 3 de las 4 se encuentran sobre el valor de 2 horas. Teniendo en cuenta los estudios anteriores y los registros de la Red Hidrometeorológica operada por la DPAE se considera que una duración entre 2:00 y 3:00 horas es apropiada para el análisis.

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

Estudio	Duración de Tormenta considerada
Estudio para proponer la metodología para la evaluación, zonificación y reducción de riesgos por inundaciones y avenidas torrenciales y su articulación con los POT, aplicación de zonificación de amenazas en un caso piloto del Distrito Capital (Ministerio de Ambiente, 2006)	"Teniendo en cuenta el informe "Análisis y caracterización de tormentas de la sabana de Bogotá" realizado por IRH Ltda para la EAAB en el año 1995 y como variables el área total de la cuenca de la Quebrada Limas y los valores de precipitación adoptados para cada periodo de retorno se determinó que la duración crítica de los aguaceros es de **3 horas**.
Delimitación de la zona de ronda y zona de manejo y preservación ambiental de los ríos Tunjuelo, Fucha y Salitre. (EAAB)	Para la distribución temporal de la precipitación se seleccionó una duración de **90 minutos** equivalente a 1.5 veces el tiempo de concentración hasta la desembocadura del río Tunjuelo.
Consultoría para definir técnicamente, acotar en planos y demarcar en terreno la zona de ronda hidráulica y la zona de manejo y preservación ambiental de elementos (quebradas) pertenecientes al sistema hídrico de la ciudad; ubicada en las diferentes localidades de Bogotá D.C". Quebrada Limas (EAAB)	El hietograma propuesto en el estudio mediante el método del bloque alterno tiene una duración de **120 minutos.**
Estudio y diseño de redes de alcantarillado sanitario y pluvial de barrios ubicados dentro del area de cobertura de la zona 4 y estudios y diseños para la adecuacion hidraulica y rehabilitacion de las zonas de ronda y zonas de manejo y preservacion ambiental de las quebradas ubicadas dentro del area de cobertura de la zona 4 de Bogota D.C. (EAAB)	"En cada subcuenca se determinó el Hidrograma Triangular del SCS y se le aplicaron las intensidades máximas de las curvas correspondientes de intensidad-duración-frecuencia (IDF), para las duraciones que producen las máximas crecientes." Las IDFs se calcularon para duraciones entre 10 y **120 minutos**.
Saneamiento ambiental y control de crecientes en la cuenca del río Tunjuelo – CEI (EAAB)	Se utilizaron dos escenarios, uno con duración de 9 horas y uno con duración de 3 horas. 1. Aguaceros de 9 horas de duración y una área de tormenta de 26.700 Ha, correspondiente al sitio de la presa de Cantarrana. Esta condición se asumió como válida para el estudio general de crecientes en la cuenca del Río Tunjuelo, suponiendo una tormenta generalizada en toda la cuenca. 2. Aguaceros de 3 horas de duración y áreas de tormenta puntuales. Esta condición es válida para los estudios de Alcantarillado Pluvial, en donde se analizó que los aguaceros mas desfavorables eran los de **3 horas** de duración.

Tabla 10. Consideraciones tenidas en cuenta en estudios anteriores para la definición de la duración de tormenta

7.1.2 Precipitación acumulada de la tormenta

Con el fin de determinar las tormentas para los escenarios escogidos para el análisis de amenaza se utilizaron las curvas IDF de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá para las coordenadas correspondientes a la estación Quiba-EAAB. Según los coeficientes de las curvas que fueron proporcionados para dicha estación (para su localización ver Ilustración 11) las IDF son:

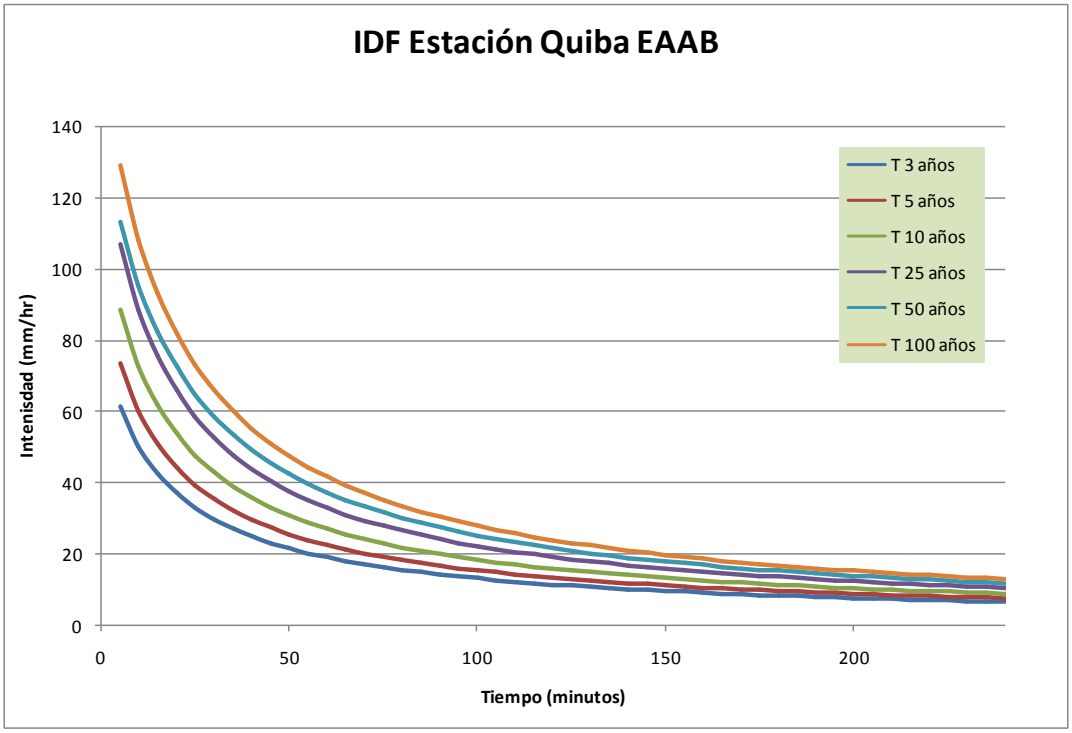


Ilustración 13. IDF Tanque Quiba EAAB

De las curvas IDF se tiene:

		Intensidad (mm/hr)					
Estación	Duración (min)	T 3 años	T 5 años	T 10 años	T 25 años	T 50 años	T 100 años
Quiba EAAB	120	11	13	16	19	22	24
Quiba EAAB	180	8	10	11	14	15	17

Tabla 11. Precipitación para los diferentes periodos de retorno de análisis

7.1.3 Hietogramas para los escenarios de análisis

Los hietogramas utilizados en el análisis se obtuvieron mediante dos métodos: el método del bloque alterno y utilizando un patrón de precipitación registrado con antelación en la cuenca.

- HIETOGRAMAS MEDIANTE EL MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO

Utilizando el método del bloque alterno (para mayor información sobre esta metodología consultar la sección 4.1) se obtuvieron hietogramas para duraciones de 120 y 180 minutos utilizando la IDF proporcionada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá para las coordenadas de la estación Tanque Quiba EAAB. Los resultados para una duración de dos horas se muestran en la Ilustración 14.



PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS

td	i	Pp	Res	Pp(t)	ii(t)
min	mm/h	mm	mm	mm	mm/h
10	108.39	18.06	18.06	0.75	4.49
20	82.06	27.35	9.29	1.06	6.35
30	66.03	33.01	5.66	1.61	9.65
40	55.23	36.82	3.81	2.74	16.42
50	47.47	39.56	2.74	5.66	33.95
60	41.62	41.62	2.06	18.06	108.39
70	37.05	43.23	1.61	9.29	55.74
80	33.39	44.52	1.29	3.81	22.84
90	30.38	45.58	1.06	2.06	12.37
100	27.88	46.46	0.88	1.29	7.74
110	25.75	47.21	0.75	0.88	5.30
120	23.92	47.85	0.64	0.64	3.85

PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS

td	i	Pp	Res	Pp(t)	ii(t)
min	mm/h	mm	mm	mm	mm/h
10	72.83	12.14	12.14	0.60	3.58
20	53.85	17.95	5.81	0.79	4.72
30	42.94	21.47	3.52	1.12	6.69
40	35.81	23.87	2.41	1.78	10.66
50	30.78	25.65	1.78	3.52	21.10
60	27.03	27.03	1.38	12.14	72.83
70	24.12	28.15	1.12	5.81	34.88
80	21.80	29.07	0.93	2.41	14.43
90	19.91	29.86	0.79	1.38	8.29
100	18.32	30.54	0.68	0.93	5.56
110	16.98	31.14	0.60	0.68	4.08
120	15.83	31.67	0.53	0.53	3.18

Ilustración 14. Hietogramas para duración de 120 minutos obtenidos mediante el método del bloque alterno

Los hietogramas correspondientes para una duración de 180 minutos se muestran en Ilustración 15.

PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS					
td	i	Pp	Res	Pp(t)	ii(t)
min	mm/h	mm	mm	mm	mm/h
10	108.39	18.06	18.06	0.34	2.06
20	82.06	27.35	9.29	0.43	2.58
30	66.03	33.01	5.66	0.56	3.34
40	55.23	36.82	3.81	0.75	4.49
50	47.47	39.56	2.74	1.06	6.35
60	41.62	41.62	2.06	1.61	9.65
70	37.05	43.23	1.61	2.74	16.42
80	33.39	44.52	1.29	5.66	33.95
90	30.38	45.58	1.06	18.06	108.39
100	27.88	46.46	0.88	9.29	55.74
110	25.75	47.21	0.75	3.81	22.84
120	23.92	47.85	0.64	2.06	12.37
130	22.34	48.41	0.56	1.29	7.74
140	20.95	48.89	0.49	0.88	5.30
150	19.73	49.32	0.43	0.64	3.85
160	18.64	49.71	0.38	0.49	2.93
170	17.66	50.05	0.34	0.38	2.30
180	16.79	50.36	0.31	0.31	1.85



PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS					
td	i	Pp	Res	Pp(t)	ii(t)
min	mm/h	mm	mm	mm	mm/h
10	72.83	12.14	12.14	0.33	2.00
20	53.85	17.95	5.81	0.39	2.36
30	42.94	21.47	3.52	0.48	2.86
40	35.81	23.87	2.41	0.60	3.58
50	30.78	25.65	1.78	0.79	4.72
60	27.03	27.03	1.38	1.12	6.69
70	24.12	28.15	1.12	1.78	10.66
80	21.80	29.07	0.93	3.52	21.10
90	19.91	29.86	0.79	12.14	72.83
100	18.32	30.54	0.68	5.81	34.88
110	16.98	31.14	0.60	2.41	14.43
120	15.83	31.67	0.53	1.38	8.29
130	14.84	32.14	0.48	0.93	5.56
140	13.96	32.57	0.43	0.68	4.08
150	13.19	32.97	0.39	0.53	3.18
160	12.50	33.33	0.36	0.43	2.58
170	11.88	33.66	0.33	0.36	2.16
180	11.32	33.97	0.31	0.31	1.85



Ilustración 15. Hietogramas para duración de 180 minutos obtenidos mediante el método del bloque alterno.

- HIETOGRAMAS UTILIZANDO UN PATRÓN DE PRECIPITACIÓN ANTERIORMENTE REGISTRADO

Utilizando las 4 tormentas más importantes registradas por la red hidrometeorológica de Bogotá operada por la DPAE, se obtuvieron los patrones de precipitación mostrados en Ilustración 16. Utilizando la tormenta mostrada en rojo que corresponde a la registrada en la estación Sierra Morena el 12 de octubre de 2007 se obtuvieron los correspondientes hietogramas. Esta escogencia obedece a que al comparar los patrones de tormenta éste se muestra intermedio a todos los demás.

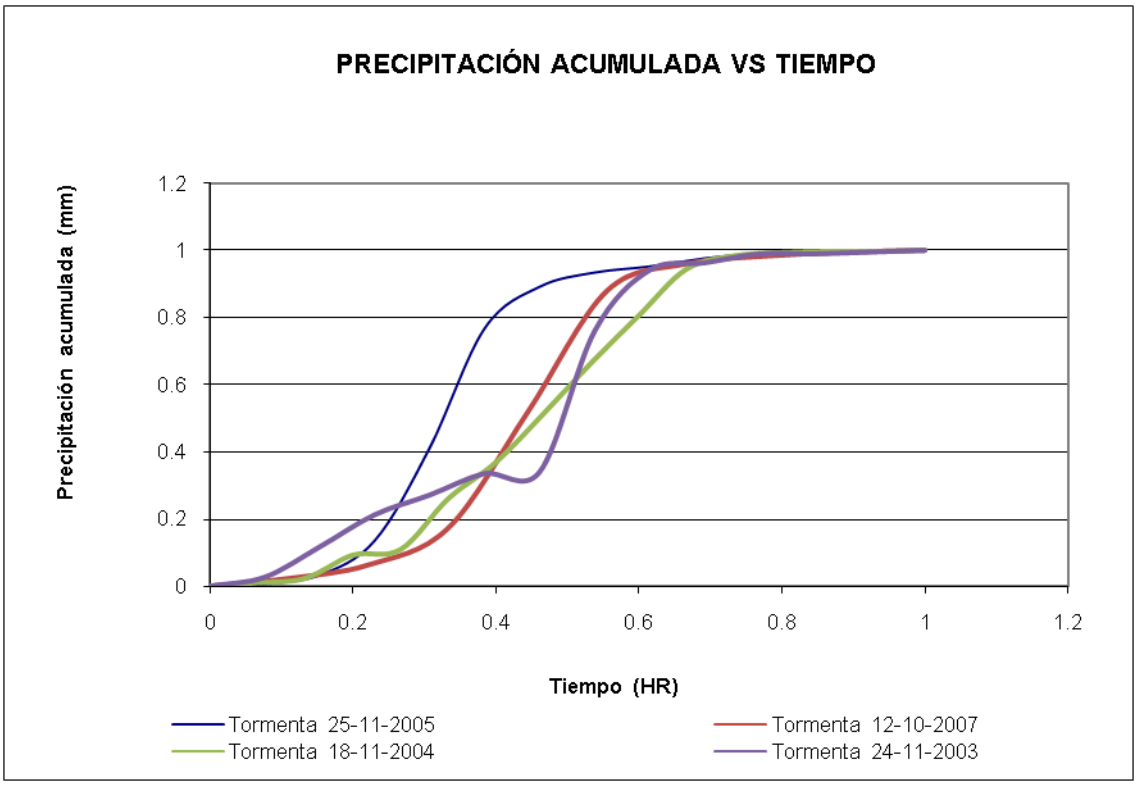


Ilustración 16. Patrones de precipitación registrados por la Red Hidrometeorológica de Bogotá para las 4 tormentas más importantes

Los patrones de tormenta obtenidos para duraciones de 120 minutos y 180 minutos se muestran en la Ilustración 17 y en la Ilustración 18. Con estos patrones de tormenta se utilizó la precipitación acumulada para las duraciones de análisis de 120 y 180 minutos obtenidas de la IDF, correspondientes a 47.85 mm para duración de dos horas y periodo de retorno de 100 años, 31.67 mm para duración de dos horas y periodo de retorno de 10 años, 50.36 mm para una duración de tres horas y periodo de retorno de 100 años y 33.97 mm para duración de 3 horas y periodo de retorno de 10 años.

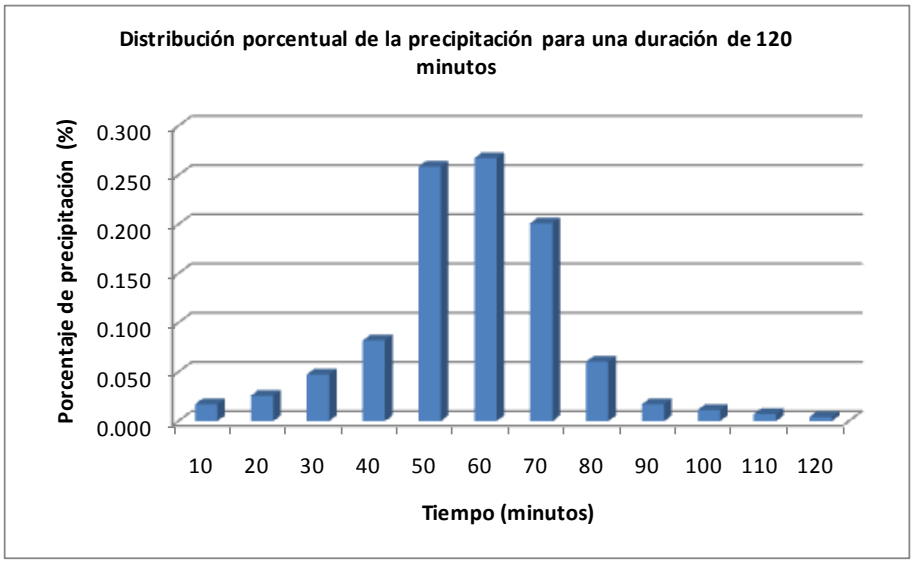


Ilustración 17. Patrón de tormenta derivado de una tormenta anterior para una duración de 120 minutos

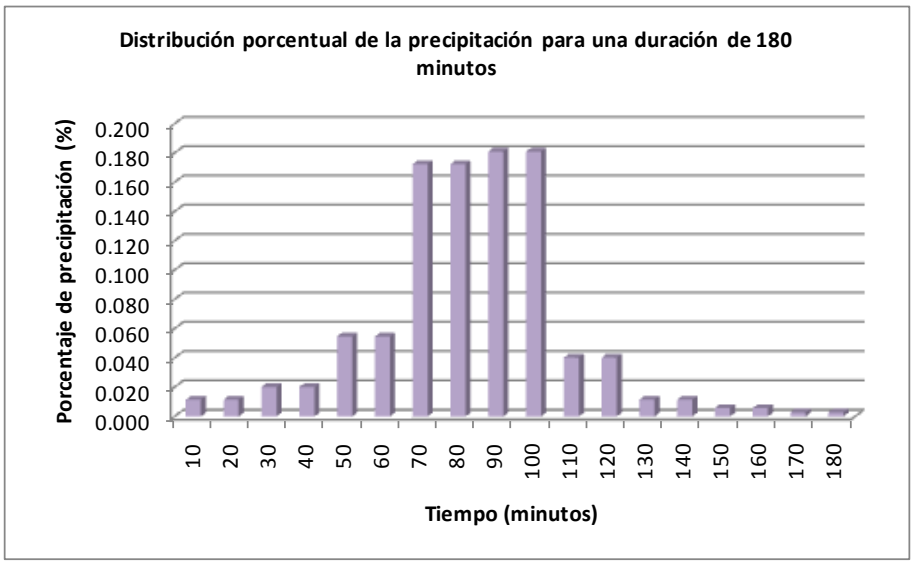


Ilustración 18. Patrón de tormenta derivado de una tormenta anterior para una duración de 180 minutos

7.1.4 Modelo lluvia – escorrentía de la cuenca

Para las tormentas descritas en la sección 7.1.3 se utilizó un modelo lluvia – escorrentía de la cuenca con el fin de estimar los caudales en los diferentes tramos de la corriente. El modelo escorrentía base que fue utilizado, corresponde al modelo desarrollado para la estimación de umbrales del sistema de alerta de la quebrada limas (ver Rogelis, 2006), a continuación se resumen las principales características del mismo.

Para desarrollar el modelo lluvia – escorrentía de la cuenca, se utilizó el software HEC HMS utilizando el modelo del Soil Conservation Service.

Con el fin de aclarar el alcance de este análisis, es importante recalcar las limitaciones que tiene el modelo hidrológico utilizado:

- Falta de claridad en los lineamientos del modelo sobre como variar la condición de lluvia antecedente AMC.
- Relación discreta no realista de la relación entre el número de curva y la condición de humedad antecedente
- Coeficiente de abstracción inicial fijo (0.2)
- El uso de la lluvia antecedente de 5 días se basa en un criterio subjetivo
- Evapotranspiración y drenaje no son considerados en la reducción del almacenamiento de la cuenca.

De los anteriores, cabe mencionar que el criterio de lluvia antecedente constituye un punto crítico del modelo por la gran influencia que tiene en la respuesta de la cuenca. Sin embargo, para el caso de la Quebrada Limas, no se ha determinado a la fecha que número de días deben ser tenidos en cuenta para la condición antecedente de la cuenca y cuáles son los valores de precipitación acumulada que marcan los límites de la condición seca, media y saturada, esto debido a la falta de datos que permitan la calibración.

Como primer paso para la generación del modelo lluvia escorrentía se obtuvo una cobertura correspondiente a los usos del suelo de la cuenca tomando como base la información suministrada por INGETEC (2002) y complementándola con la imagen satelital spot 2005. La cobertura que se obtuvo se muestra en la Ilustración 19. Con el fin de obtener el CN (Número de curva) se utilizó la información de tipo de suelo disponible en el estudio de INGETEC (2002), que se muestra en la Ilustración 19. Una vez se hizo la subdivisión de cuencas (subdivisión en 21 subcuencas) se calculó el número de curva para cada una teniendo en cuenta el uso del suelo y el tipo de suelo de cada subcuenca, obteniendo los valores que se muestran en la Ilustración 20, para detalles del procedimiento se recomienda consultar el documento desarrollado por Division, (1986).

Utilizando la metodología del documento TR-55 desarrollado por Division (1986), se determinaron los tiempos de concentración en cada subcuenca, estos resultados se muestran en la Tabla 12.

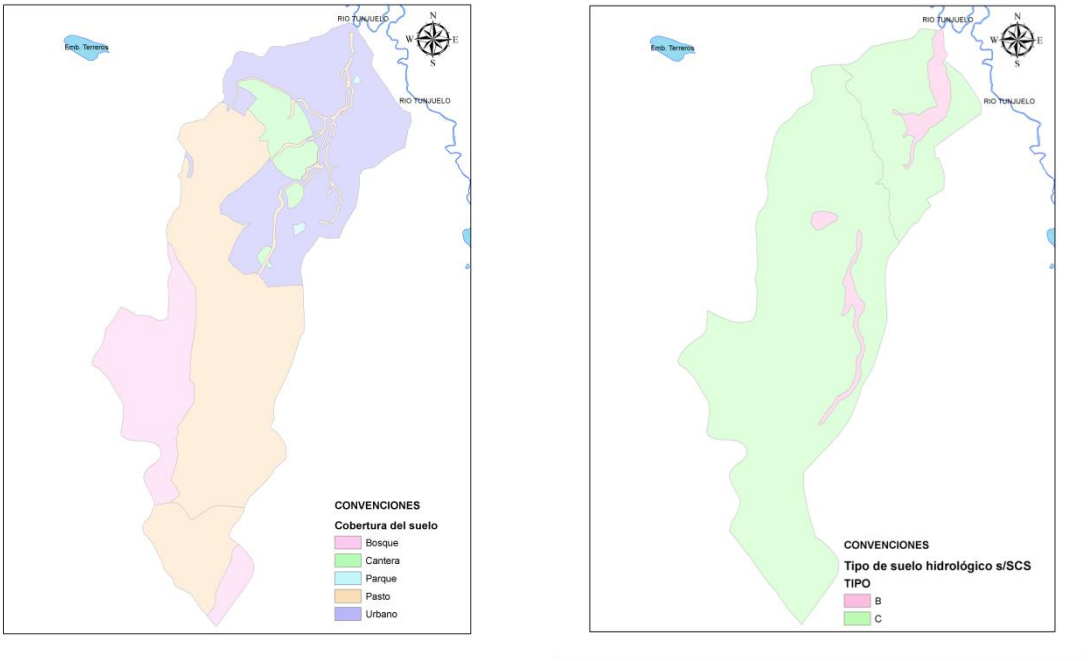


Ilustración 19. Usos del suelo y tipos de suelo de la Quebrada Limas

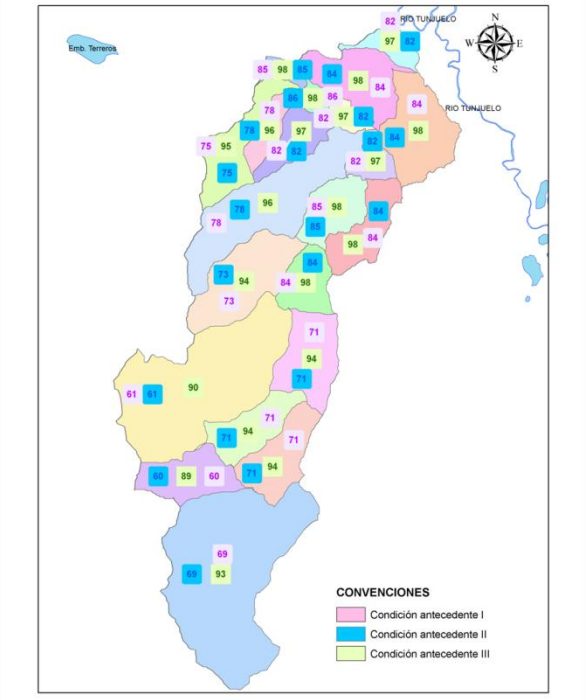


Ilustración 20. Números de curva de la cuenca de la Quebrada Limas

Worksheet for computation of time of travel according to TR-55 methodology

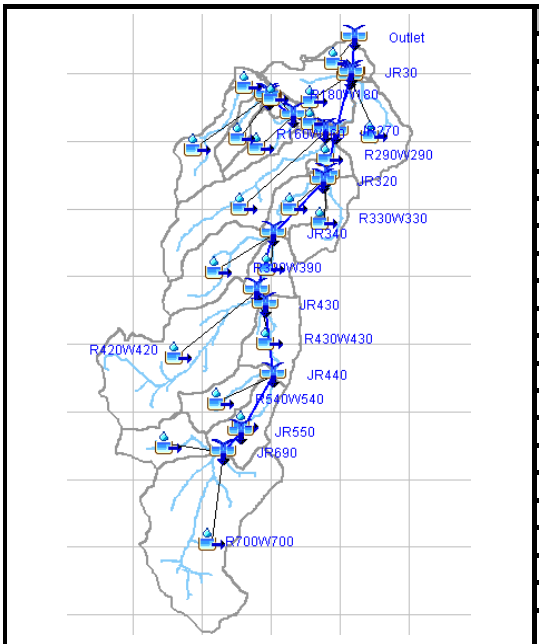
Blue - GIS defined, Green - User specified, White and yellow - calculated, Red - final result

Watershed ID	28	32	2	38	1	33	14	39	13	43	9	42	18	54	22	64	21	55	16	70	29
Sheet Flow Characteristics																					
Manning's Roughness Coefficient	0.4	0.15	0.011	0.4	0.011	0.011	0.011	0.4	0.2	0.4	0.01	0.4	0.011	0.4	0.2	0.4	0.011	0.4	0.4	0.4	0.011
Flow Length (ft)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Two-Year 24-Hour Rainfall (in)	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181	1.181
Land Slope (ft/ft)	0.12119	0.34015	0.08656	0.12705	0.10295	0.13321	0.12021	0.16404	0.06898	0.24223	0.0651	0.23432	0.09232	0.22697	0.12999	0.14005	0.22965	0.10248	0.12845	0.40027	0.34333
Sheet Flow Tt (hr)	0.89	0.21	0.04	0.68	0.04	0.04	0.04	0.61	0.50	0.52	0.05	0.53	0.04	0.56	0.39	0.65	0.03	0.74	0.67	0.43	0.03
Shallow Concentrated Flow Characteristics																					
Surface Description (1 - unpaved, 2 - paved)	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Flow Length (ft)	6046	3135	3148	2829	1564	3394.97	1036.53	4009.28	3599.47	2692	2718.67	8508.71	1300.01	2689.36	2197.1	3036.64	1238.35	3375.09	2040.21	5855.63	1822.87
Watercourse Slope (ft/ft)	0.09166	0.18208	0.14078	0.18668	0.06592	0.29031	0.09182	0.15227	0.07619	0.14742	0.13907	0.09227	0.09789	0.08541	0.15696	0.17929	0.1214	0.1124	0.1899	0.13981	0.10539
Average Velocity - computed (ft/s)	4.86	6.50	7.63	8.27	5.22	9.10	6.16	8.30	4.45	6.19	7.50	4.90	8.36	4.72	6.39	6.76	5.62	5.41	6.86	5.84	5.24
Shallow Concentrated Flow Tt (hr)	0.34	0.13	0.11	0.09	0.08	0.10	0.05	0.19	0.22	0.12	0.10	0.48	0.06	0.16	0.10	0.12	0.06	0.17	0.08	0.28	0.10
Channel Flow Characteristics																					
Cross-sectional Flow Area (ft2)	28.25	25.15	10.76	314	10.76	25.15	25.15	314	25.15	314	10.76	34.7	25.15	34.7	25.15	34.7	25.15	34.7	25.15	34.7	34.7
Wetted Perimeter (ft)	21.45	17.2	9.84	25.7	9.84	17.2	17.2	25.7	17.2	25.7	9.84	29.4	17.2	29.4	17.2	29.4	17.2	29.4	17.2	29.4	29.4
Hydraulic Radius - computed (ft)	1.32	1.46	1.09	1.22	1.09	1.46	1.46	1.22	1.46	1.18	1.09	1.18	1.46	1.18	1.46	1.18	1.46	1.18	1.46	1.18	1.18
Channel Slope (ft/ft)	0.11198	0.11048	0.03949	0.04868	0.0249	0.069	0.12119	0.06375	0.09878	0.07593	0.01012	0.00756	0.13016	0.059	0.19102	0.06484	0.04663	0.04417	0.14481	0.07488	0.02614
Manning's Roughness Coefficient	0.045	0.045	0.03	0.045	0.035	0.045	0.045	0.047	0.047	0.047	0.03	0.043	0.047	0.047	0.043	0.047	0.047	0.047	0.047	0.05	0.035
Average Velocity - computed (ft/s)	13.98	14.18	10.48	8.35	7.13	12.73	14.85	9.15	12.84	9.76	5.30	10.64	14.73	8.60	19.51	9.02	8.82	7.44	15.54	9.11	10.61
Flow Length (ft)	0.18	0.25	0.28	0.06	0.06	3386.48	1436.01	3070.76	509.11	2818.68	4210.22	5583.14	1843.8	311.01	2687.04	2839.09	1546.05	2973.38	2894.74	4610.15	1822.87
Channel Flow Tt (hr)	0.13	0.04	0.06	0.06	0.06	0.26	0.07	0.13	0.11	0.03	0.22	0.14	0.03	0.10	0.04	0.09	0.05	0.11	0.05	0.15	0.03
Watershed Time of travel (hr)	**1.16**	**0.39**	**0.22**	**0.83**	**0.19**	**0.21**	**0.11**	**0.91**	**0.83**	**0.73**	**0.37**	**1.16**	**0.13**	**0.82**	**0.52**	**0.86**	**0.14**	**1.02**	**0.80**	**0.85**	**0.16**

Tabla 12. Cálculo de los tiempos de concentración en las subcuencas de la Quebrada Limas

De esta forma, para cada cuenca se obtuvieron los valores de área, número de curva, tiempo de concentración y tiempo de retardo (Tlag) entendido como 0.6 por el tiempo de concentración. Con ayuda del software HEC GEO HMS se obtuvieron los valores de longitud de los tramos de la quebrada para cada subcuenca y pendiente y se asignaron valores de coeficiente de Manning (de acuerdo a las características del cauce) y forma del canal. Los parámetros utilizados se muestran en la Tabla 13.

CARACTERÍASTICAS DEL MODELO HIDROLÓGICO DE LA QUEBRADA LIMAS



Subcuenca	Tlag (min)	Area (Km^2)
R10W10	6.7105	0.262
R130W130	29.859	0.738
R150W140	4.0719	0.136
R160W160	28.979	0.309
R180W180	4.7222	0.147
R20W20	7.8723	0.865
R220W220	18.845	0.466
R270W210	5.0437	0.153
R280W280	41.895	1.69
R290W290	5.5934	0.256
R320W320	14.13	0.579
R330W330	7.5146	0.608
R380W380	29.898	0.492
R390W390	32.87	1.079
R420W420	41.649	2.779
R430W430	26.171	0.812
R540W540	29.385	0.627
R550W550	36.801	0.718
R680W640	31.085	0.668
R700W700	30.729	3.302
R90W90	13.369	1.006

Tramo	Longitud	Pendiente (m/m)	Manning	Forma canal	Ancho (m)	Pen lat H:V
R10	578.4	0.0035	0.04	Trapezoid	4.5	0
R150	25.8	0.1179	0.035	Trapezoid	1	3
R180	540	0.0884	0.035	Trapezoid	1	3
R210	655.3	0.0528	0.035	Trapezoid	1	3
R270	156.3	0.03	0.035	Trapezoid	1	3
R290	729.6	0.0384	0.04	Trapezoid	3.5	0
R30	7.2	0.008	0.04	Trapezoid	2	3
R320	113.9	0.0442	0.045	Trapezoid	4	0
R340	1434.5	0.1123	0.045	Trapezoid	4	0
R380	1044.4	0.0519	0.045	Trapezoid	1	3
R430	280.5	0.0558	0.035	Trapezoid	1	3
R440	1280.9	0.0718	0.047	Trapezoid	1	3
R50	71.2	0.008	0.03	Trapezoid	3.85	0
R550	1093.5	0.0457	0.047	Trapezoid	1	3
R630	425.5	0.0442	0.035	Trapezoid	1	3
R690	17.7	0.0685	0.04	Trapezoid	2	3
R80	1083.6	0.0166	0.04	Trapezoid	3.8	0

Tabla 13. Características del modelo hidrológico de la Quebrada Limas

7.1.5 Resultados obtenidos para los caudales con diferentes periodos de retorno

La esquematización de la cuenca utilizada en el software HEC HMS se muestra en la Ilustración 21, en esta figura se encuentra resaltada el área de estudio que fue utilizada para la determinación de áreas de inundación para los diferentes periodos de retorno.

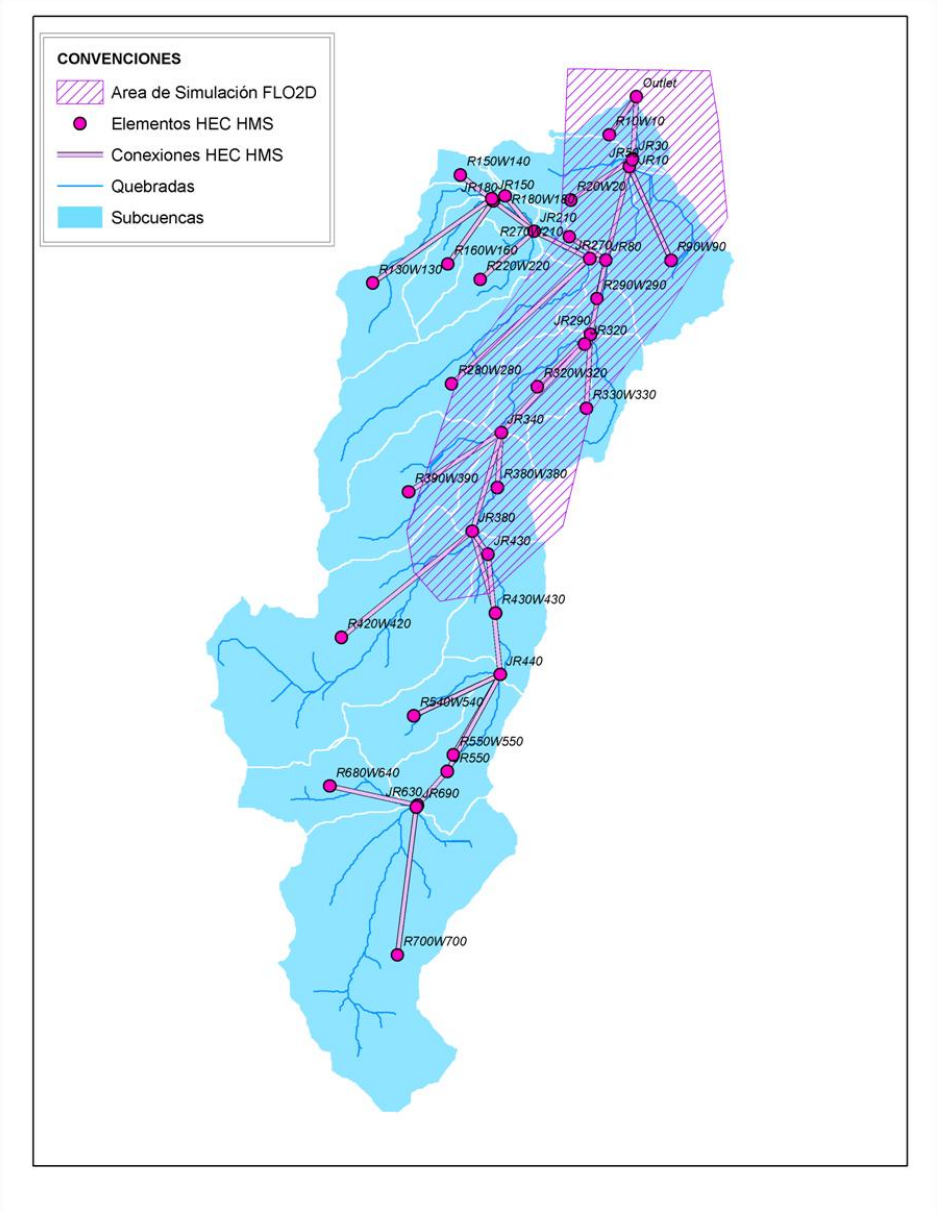
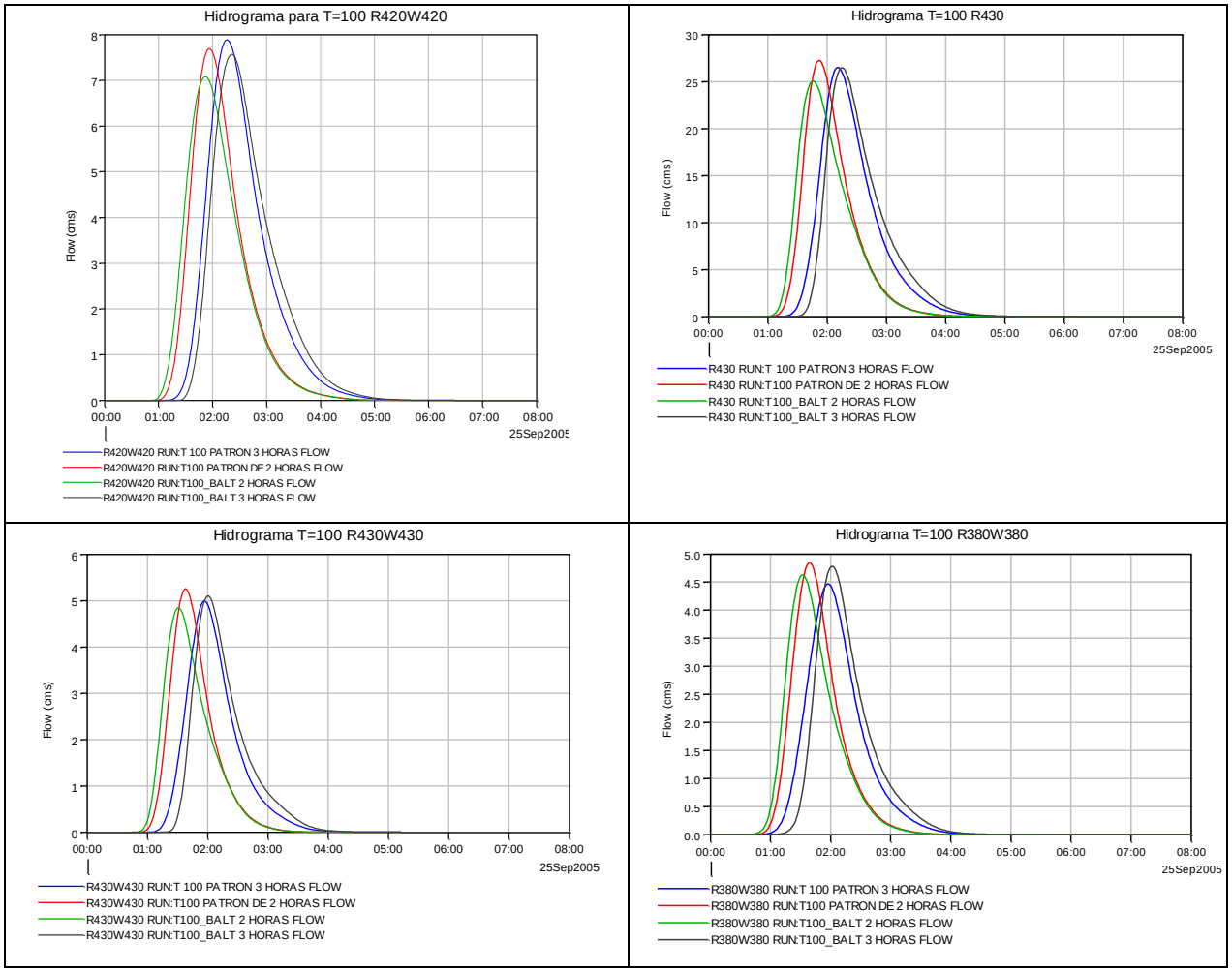
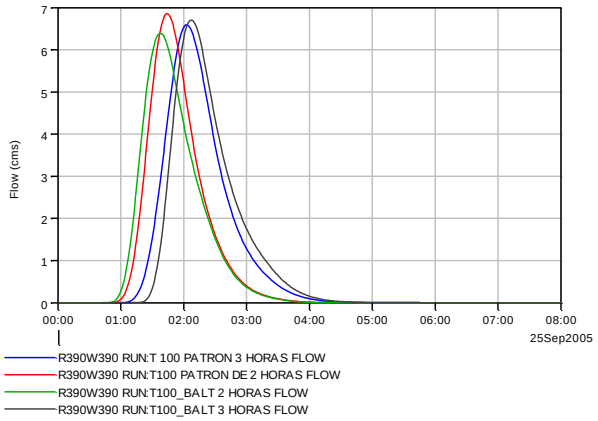


Ilustración 21. Esquematización de la Cuenca en el software HEC HMS

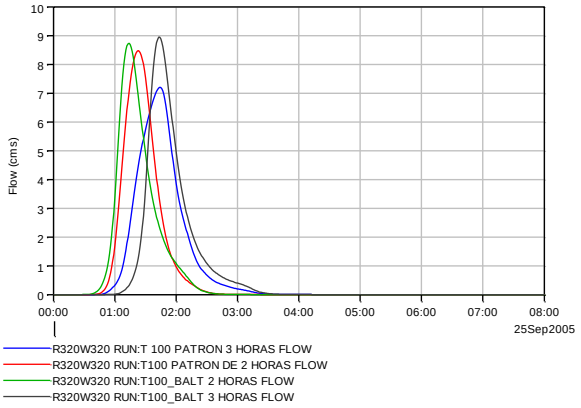
Los hidrogramas resultantes para el periodo de retorno de 100 años para el área resaltada según la codificación de elementos mostrada en la Ilustración 21 se encuentran en la Tabla 14. Los hidrogramas correspondientes al patrón de precipitación anteriormente registrado para una duración de 3 horas fueron escogidos para los análisis posteriores por resultar ser los más críticos.



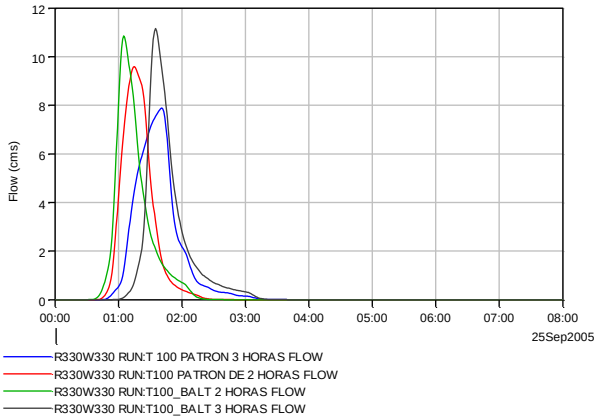
Hidrograma T=100 R390W390



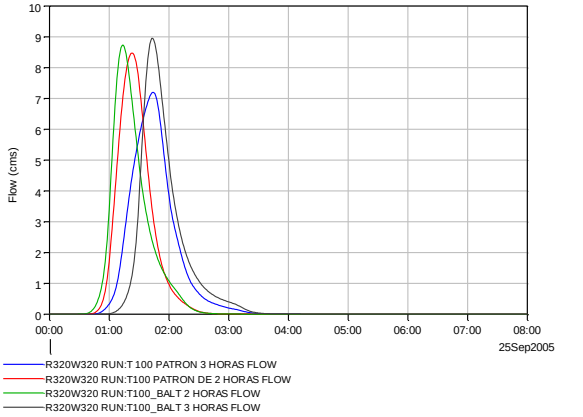
Hidrograma T=100 R320W320



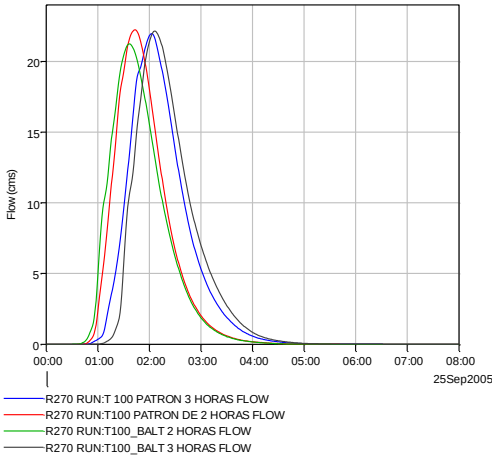
Hidrograma T=100 R330W330



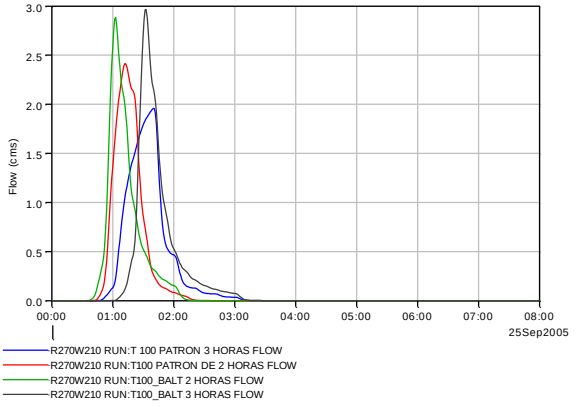
Hidrograma T=100 R320W320



Hidrograma T=100 R270



Hidrograma T=100 R270W210



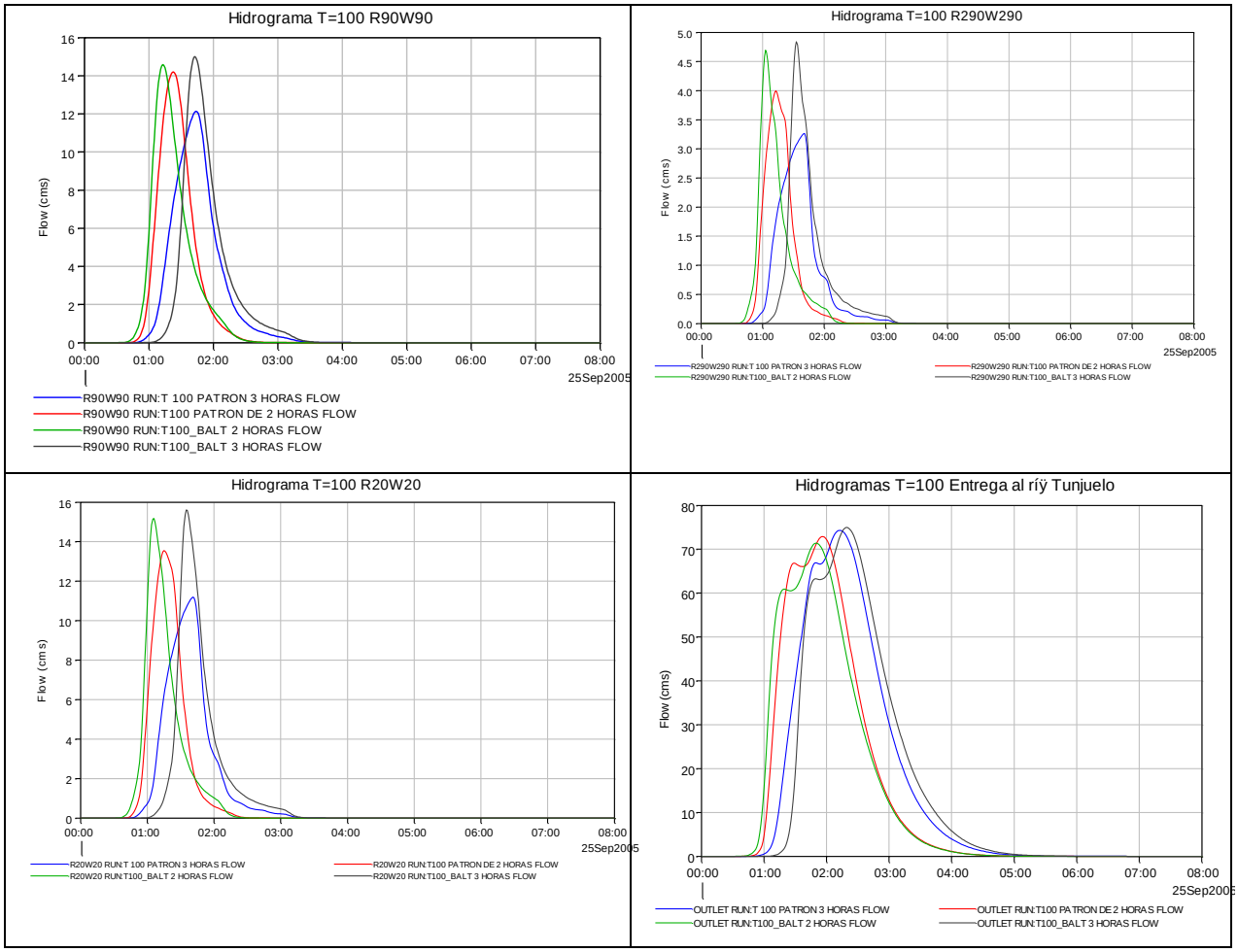
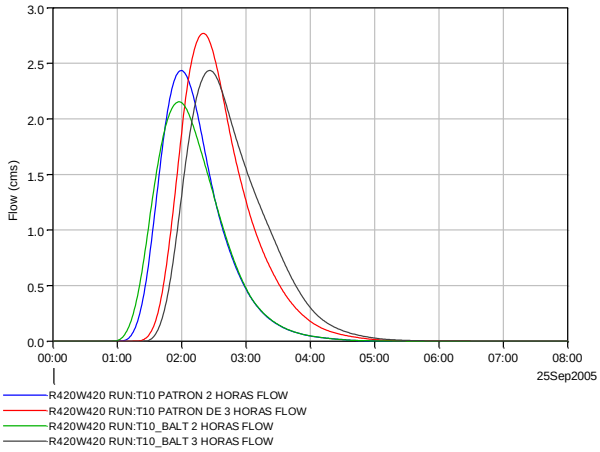


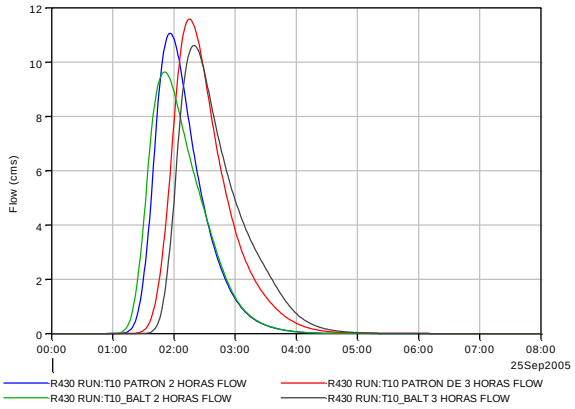
Tabla 14. Hidrogramas para el periodo de retorno de 100 años

Los hidrogramas resultantes para el periodo de retorno de 10 años para el área resaltada según la codificación de elementos mostrada en la Ilustración 21 se encuentran en la Tabla 15. Los hidrogramas correspondientes al patrón de precipitación de 3 horas fueron escogidos para los análisis posteriores por resultar ser los más críticos.

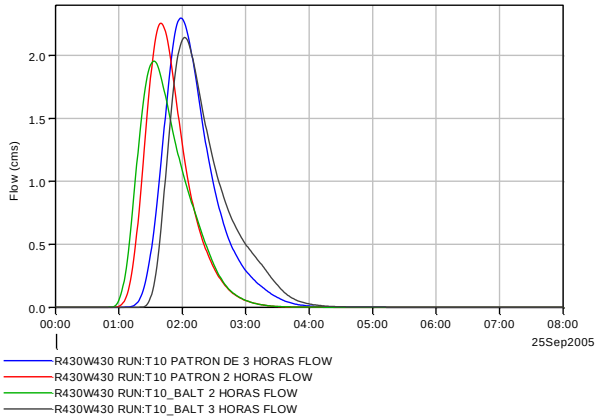
Hidrograma T=10 R420W420



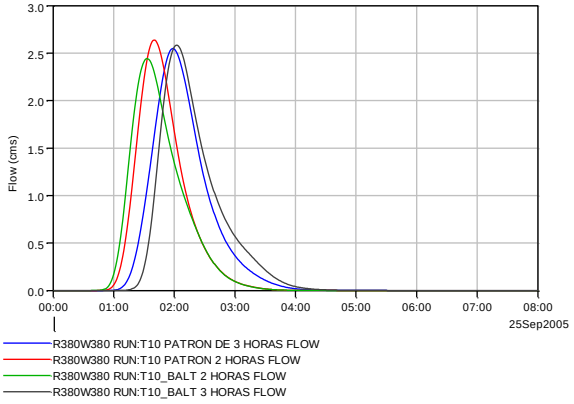
Hidrogramas T=10 R430



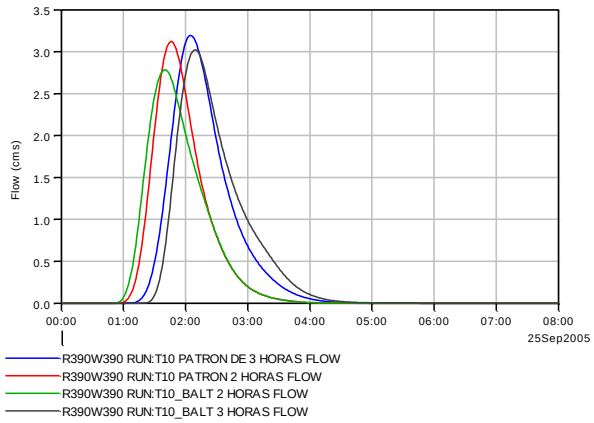
Hidrograma T=10 R430W430



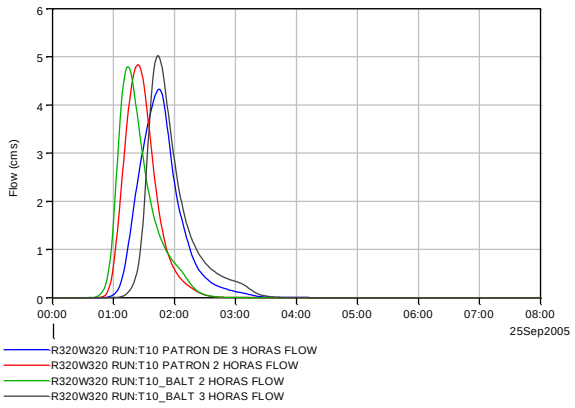
Hidrograma T=10 R380W380



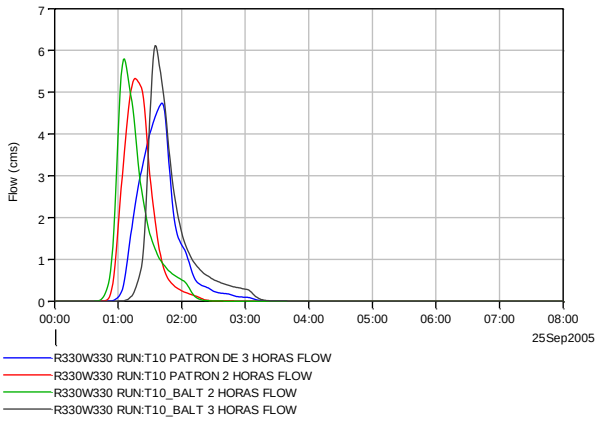
Hidrograma T=10 R390W390



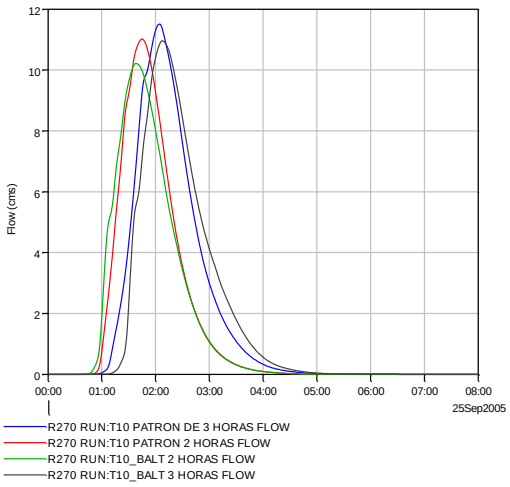
Hidrogramas T=10 R320W320



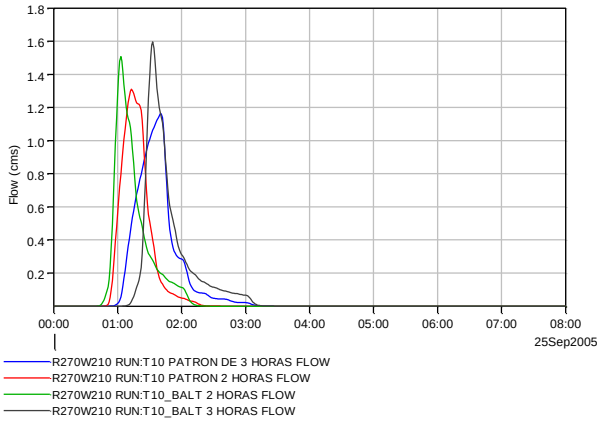
Hidrograma T=10 R330W330



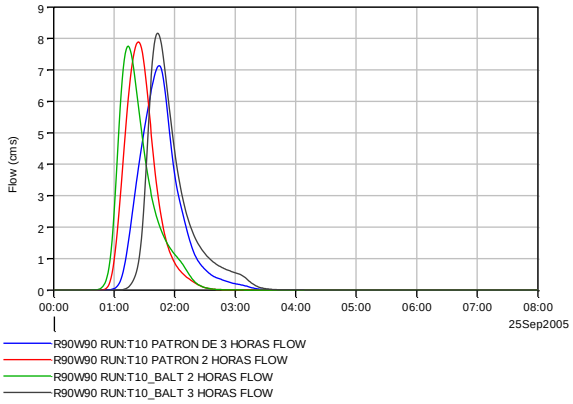
Hidrograma T=10 R270



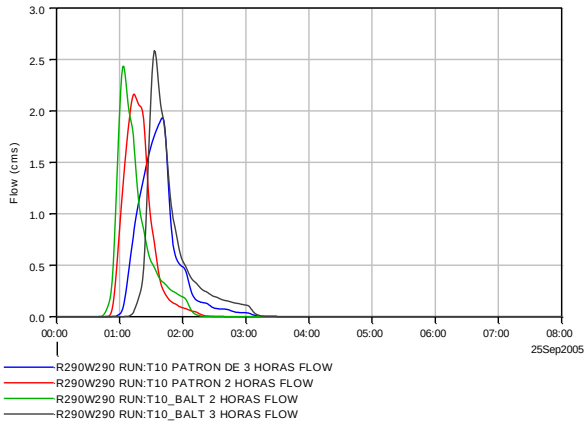
Hidrograma T=10 R270W210



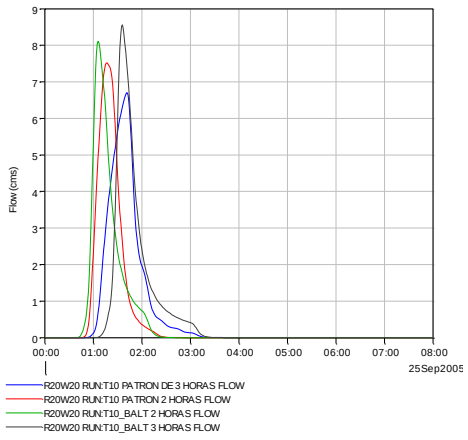
Hidrogramas T=10 R90W90



Hidrograma T=10 R290W290



Hidrograma T=10 R20W20



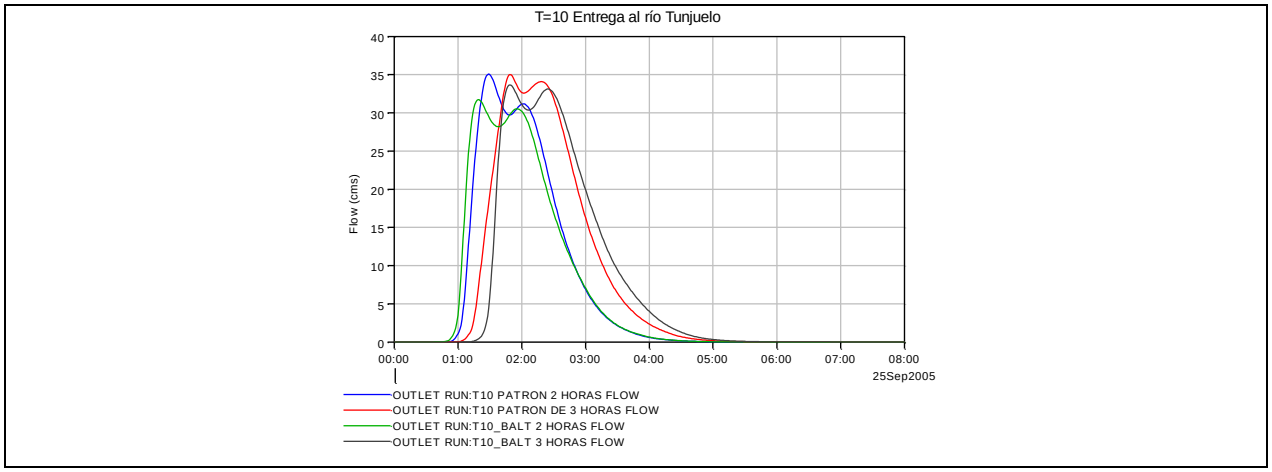


Tabla 15. Hidrogramas para el periodo de retorno de 10 años

8 EVENTOS HISTÓRICOS

Los dos eventos más importantes en la historia reciente de la quebrada Limas ocurrieron en el mes de noviembre en los años 2003 y 2004. Las características más importantes de estos eventos se resumen a continuación.

8.1 Evento del 24 de noviembre de 2003

El día 24 de noviembre de 2003 se registró una precipitación que alcanzó 28.7 mm en la estación Quiba - DPAE. La precipitación comenzó a las 13:40 teniendo un receso entre las 15:20 y las 17:20 y se reanudó hasta las 19:20. Inicialmente cayeron 9.8 mm y en la segunda etapa 18.9 mm. La intensidad más alta se registró entre las 18:10 y las 18:20 alcanzando 7.9 mm/10min.

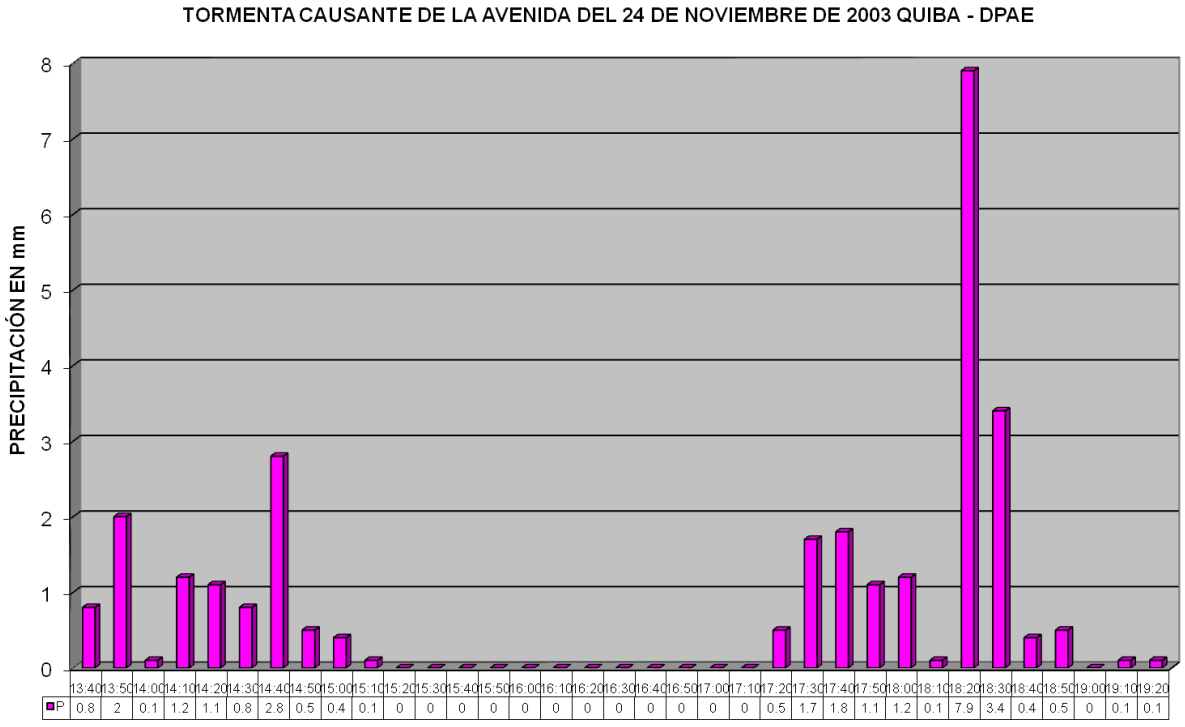


Ilustración 22. Tormenta registrada en la estación Quiba-DPAE el 24/11/2008

La precipitación registrada en la estación Quiba-EAAB, presenta un patrón similar al anterior, alcanzando 52.4 mm durante el día. La precipitación comenzó a las 12:40 y se presentó en 3 etapas asi:

12:40-14-20	10.8 mm
16:40-18:00	41.1 mm
18:50-19-:20	0.5 mm

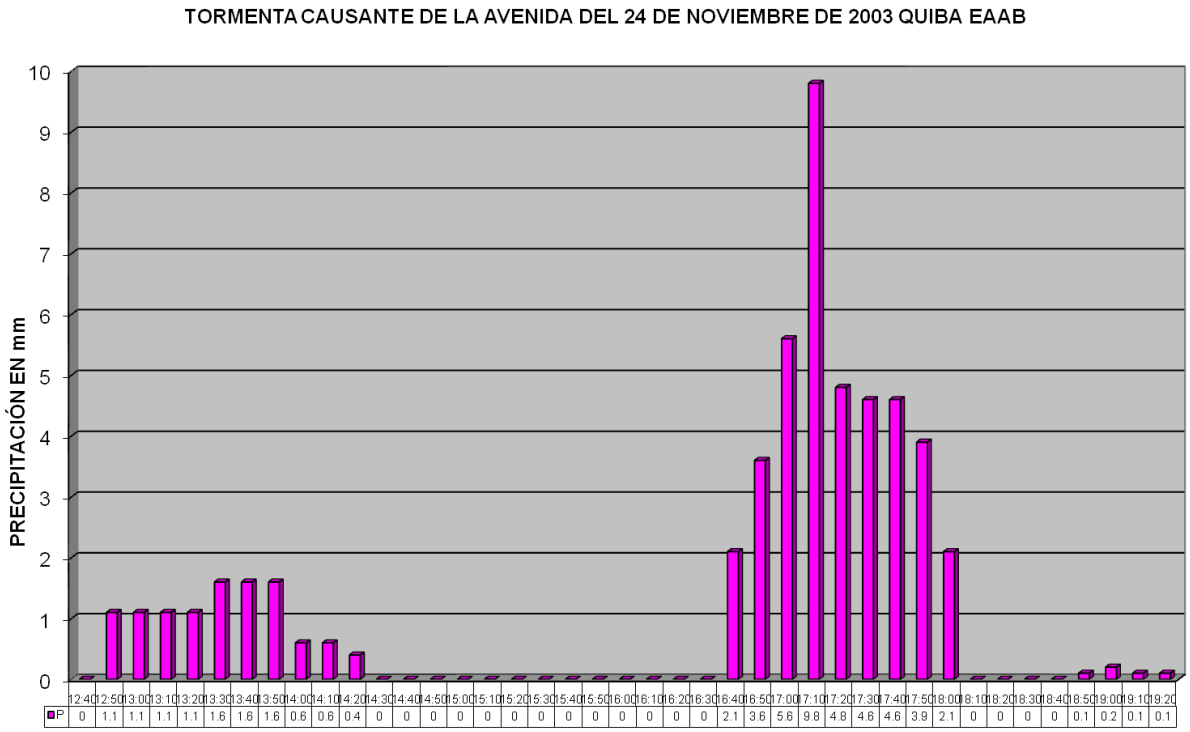


Ilustración 23. Tormenta registrada en la estación Quiba-EAAB el 24/11/2008

Si se considera un solo evento de tormenta con un acumulado de 52.4 mm con una duración de aproximadamente 7 horas, el periodo de retorno de esta tormenta puede clasificarse con un periodo de retorno de más de 100 años, no obstante, al considerar dos tormentas separadas, la segunda tormenta con un acumulado de 41.1 mm en 1.5 horas corresponde a un evento entre los periodos de retorno de 25 y 50 años teniendo en cuenta las IDF suministradas por la EAAB. Estos valores indican que el 24 de noviembre de 2003 la cuenca alta de la quebrada Limas experimentó un evento con intensidades con periodo de retorno alto.

La precipitación registrada en Sierra Morena fue de 9 mm, lo cual corresponde a un periodo de retorno inferior a 3 años, siendo una tormenta de baja intensidad y bajo volumen.

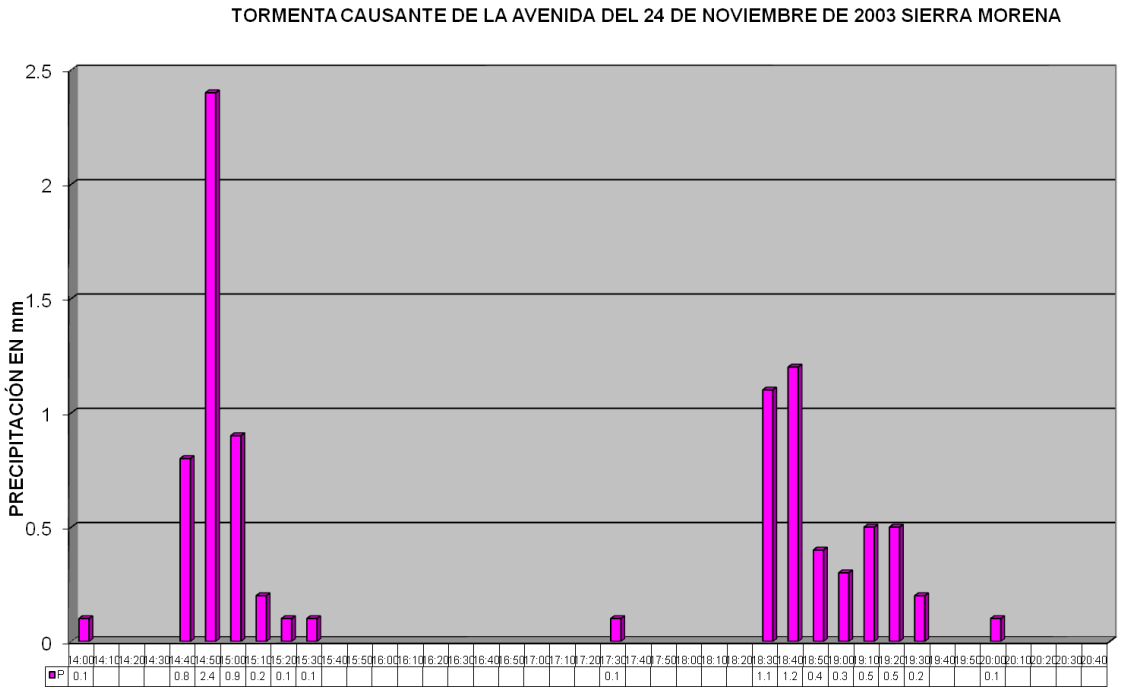


Ilustración 24. Tormenta registrada en la estación Sierra Morena el 24/11/2003

Los registros de la estación Doña Juana son los de más baja intensidad, con solo 4.5 mm acumulados durante toda la tormenta.

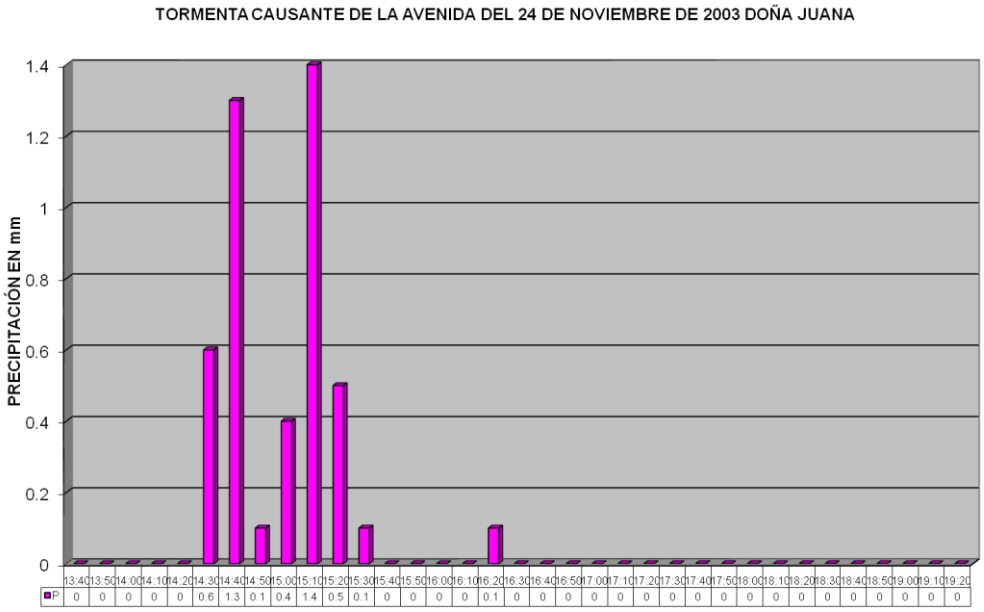


Ilustración 25. Tormenta registrada en la estación Doña Juana el 24/11/2003

La distribución espacial de la tormenta se muestra en la Ilustración 26, en donde se observa que la precipitación más alta se concentró en la zona más alta de la cuenca y disminuyó hacia el norte y oriente de la cuenca.

Al realizar la simulación con el software HEC HMS incluyendo los datos registrados en la estación Quiba-EAAB, se obtienen como resultado los hidrogramas que se muestran en la Ilustración 27 y la Ilustración 28. Asumiendo solo el **caudal líquido** se obtuvo un pico de 38.6 m^3/s en el tramo inmediatamente aguas arriba de la confluencia con la quebrada Trompetica, tramo en el cual se presentó el desborde. Para el escenario con T=100 años el caudal pico estimado en este tramo es de 50.5 m^3/s y para el escenario con T=10 años el caudal pico estimado es 22 m^3/s, lo cual implica que el 24 de noviembre de 2003 se presentó un escenario por encima del periodo de retorno de los 10 años.

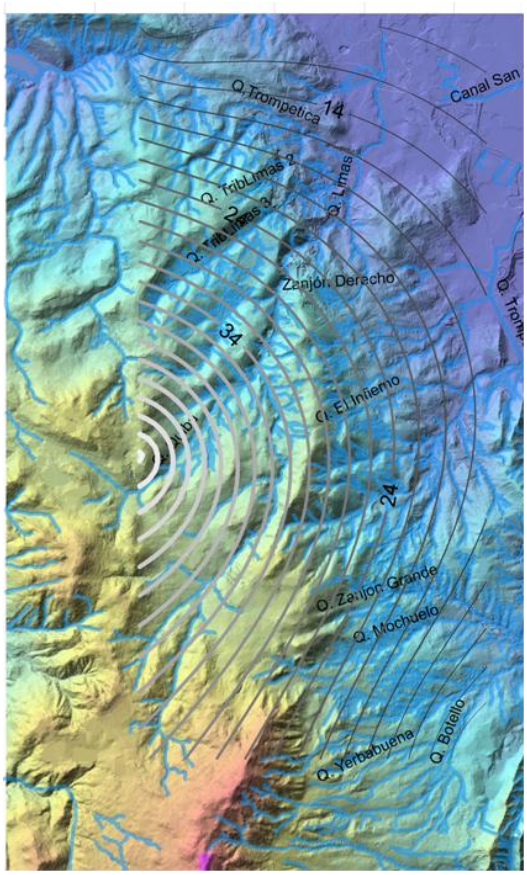


Ilustración 26. Distribución espacial de la tormenta (en milímetros acumulados durante la tormenta) del 24 de noviembre de 2003

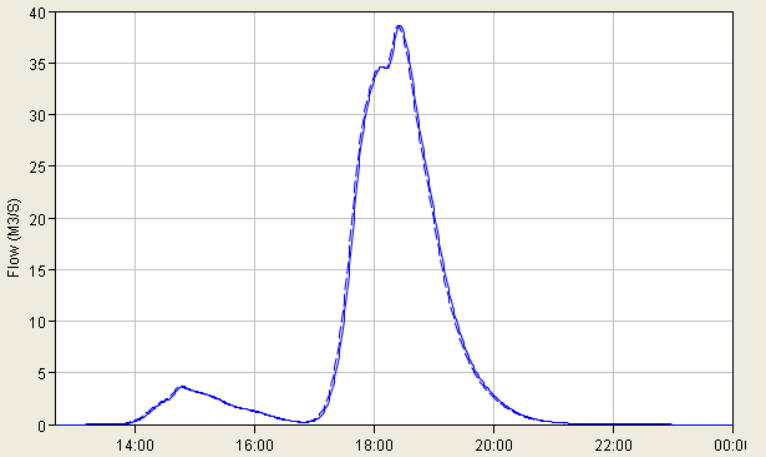


Ilustración 27. Hidrograma creciente del 24/11/2003 tramo aguas arriba de la confluencia con la quebrada Trompetica

El caudal líquido en la confluencia de la quebrada Limas con el río Tunjuelo, obtenido de la simulación realizada con el software HEC HMS se muestra en la Ilustración 28.

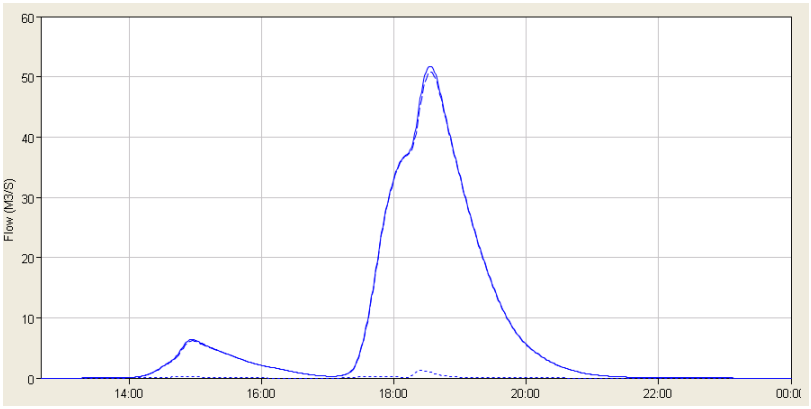


Ilustración 28. Hidrograma estimado en la confluencia con el río Tunjuelo para la avenida torrencial del 24 de noviembre de 2003

Los daños causados por esta avenida torrencial incluyeron la muerte de dos personas en la carrera 19G No. 66-30 Sur (Código Catastral No. 002515 31 12) según la comunicación RO-10344.

8.2 Evento del 18 de noviembre de 2004

La precipitación registrada en la estación Quiba de la DPAE fue de 30.4 mm, lo cual corresponde a un periodo de retorno entre 3 y 10 años.

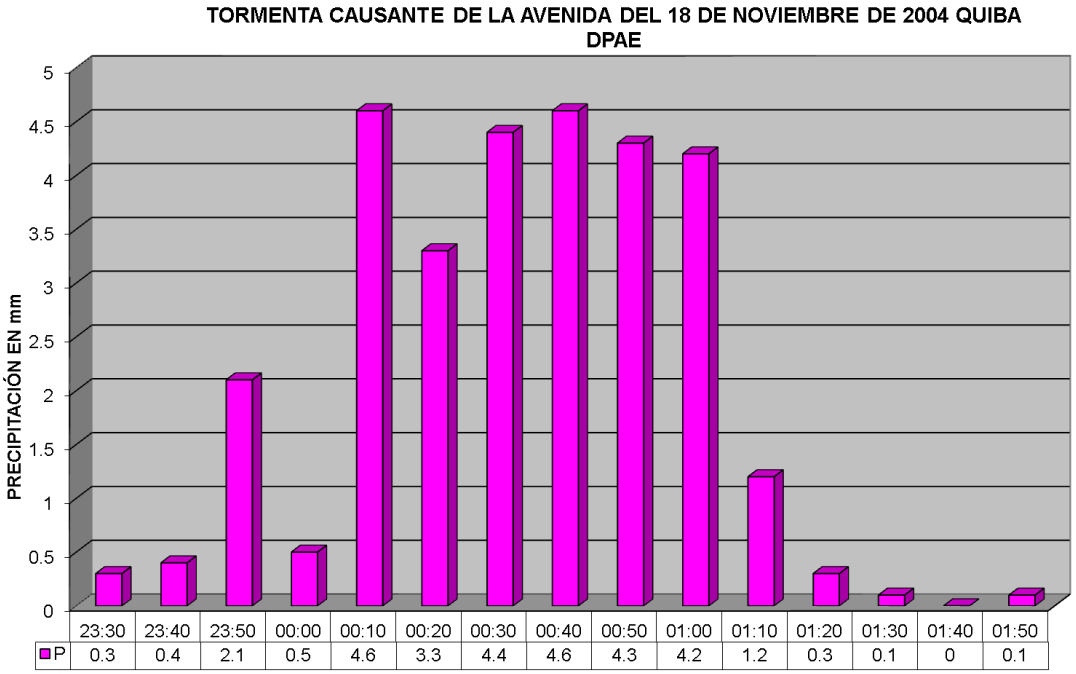


Ilustración 29. Tormenta registrada en la estación Quiba-DPAE el 17-18/11/2004

La precipitación medida en la estación Sierra Morena - DPAE fue de 2.3 mm, muy por debajo del periodo de retorno de 3 años y que podría ser clasificada apenas como una llovizna (ver Ilustración 30).

En la estación Doña Juana se registró tiempo seco desde las 10:10 pm del día 17 de noviembre de 2008, sin embargo en las horas del medio día ésta estación registró una tormenta importante cuyo acumulado fue 11.5 mm con una intensidad máxima de 5.5 mm/10min.

En el caso de la estación Quiba-EAAB, el Sistema de Información Hidrológica de la Empresa de Acueducto y alcantarillado muestra un registro bajo para el acumulado diario de los días 17 y 18 de noviembre.

Fecha	Dato mm	Flag
17/11/2004	1.0	r
18/11/2004	2.1	r
19/11/2004	0.1	r

Tabla 16. Registro para los días 17-18 de noviembre de 2004 tomados del Sistema de información hidrológica de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá

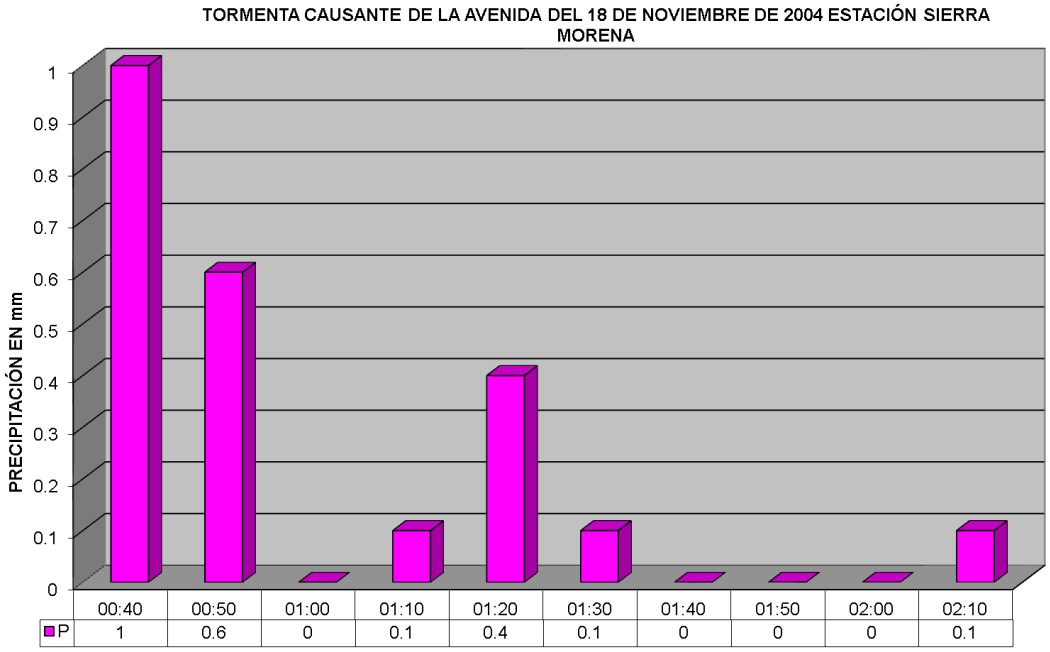


Ilustración 30. Tormenta registrada en la estación Sierra Morena – DPAE el 18/11/2004

La distribución espacial de la precipitación puede observarse en la Ilustración 32, en donde puede observarse que los mayores valores se registraron al oriente de la cuenca en la estación Quiba-DPAE para disminuir hacia el norte, sur y occidente de la cuenca.

Al realizar la simulación con el HEC HMS se obtiene como resultado en el tramo del desborde (tramo inmediatamente aguas arriba de la confluencia con la quebrada Trompetica) el hidrograma que se muestra en la Ilustración 31. Asumiendo solo el **caudal líquido** se obtuvo un pico de 19 m^3/s.

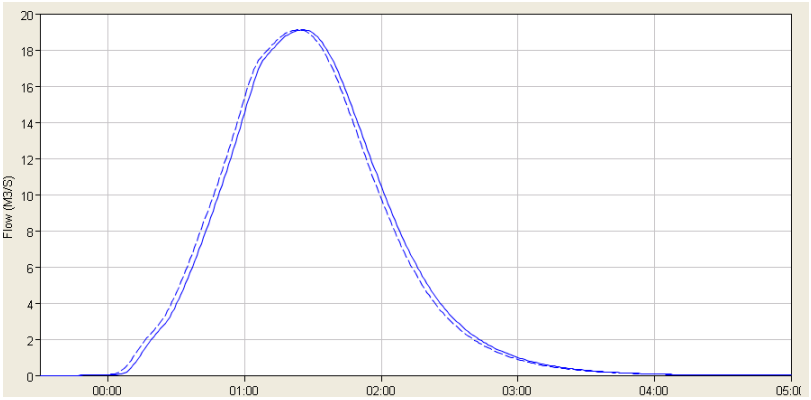


Ilustración 31. Hidrograma estimado para la creciente del 18nov2004 en el tramo inmediatamente aguas arriba de la confluencia de la quebrada Trompetica

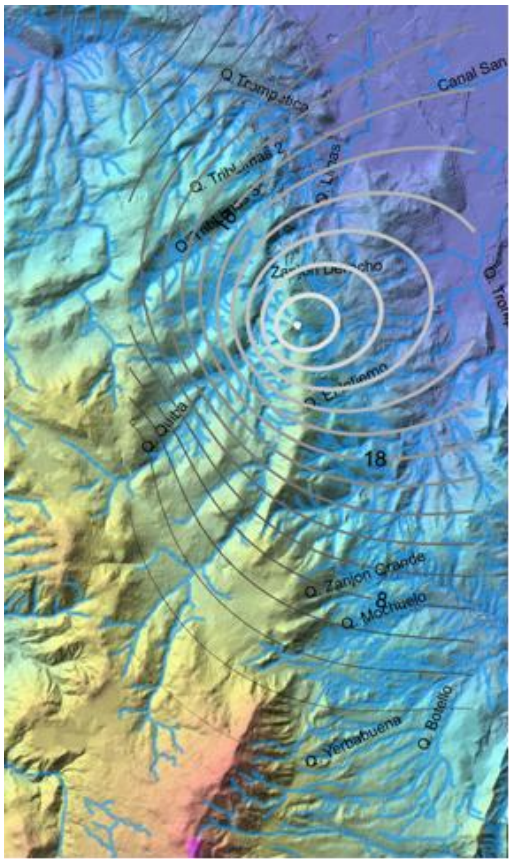


Ilustración 32. Distribución especial de la precipitación del 17nov2008 23:20 al 18nov2004 2:10

El hidrograma para esta tormenta, estimado en la confluencia con el río Tunjuelo corresponde al mostrado en la Ilustración 33.

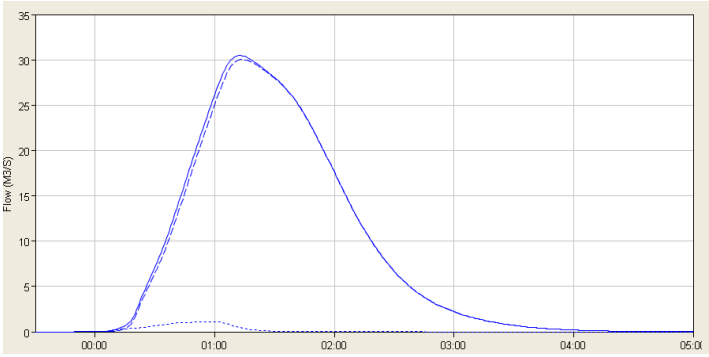


Ilustración 33. Hidrograma estimado en la confluencia con el río Tunjuelo para la avenida torrencial del 18 de noviembre de 2004

Las descripciones de las dos avenidas torrenciales ocurridas en la quebrada Limas coinciden en mencionar que se presentaron obstrucciones en estructuras que habían sido construidas en su cauce. El diagnóstico 2197 indica "*…producido (refiriéndose a la avenida torrencial) por el represamiento a causa del taponamiento de la tubería del paso vehicular existente en la Calle 69 Sur con carrera 19 frente al barrio Sauces de la localidad de Ciudad Bolívar el día 18 de noviembre de 2004 en horas de la madrugada.*" De la misma manera el diagnóstico 1836 menciona "*…por causa del taponamiento de la tubería del paso vehicular existente en la calle 69 H bis Sur frente al barrio Villa Gloria de la localidad de Ciudad Bolívar el día 24 de noviembre de 2003."* Al parecer según los datos hidrológicos, este taponamiento fue la principal causa de los desbordamientos especialmente en el ocurrido el día 18 de noviembre de 2004 en donde los registros de precipitación no muestran unas condiciones hidrológicas extremas, cabe aclarar que también existe la posibilidad de que mayores intensidades no hayan sido registradas dado el carácter local de la precipitación y la falta de cubrimiento de las estaciones hidrometeorológicas.

Las áreas afectadas por las dos crecientes fueron similares, en la Ilustración 34 se muestra la reconstrucción de la trayectoria que siguió el flujo el 24 de noviembre de 2004, y en la Ilustración 35 puede observarse el área que resultó con algún grado de afectación durante el evento del 18 de noviembre de 2004.



Ilustración 34. Afectación evento del 24 de noviembre 2003

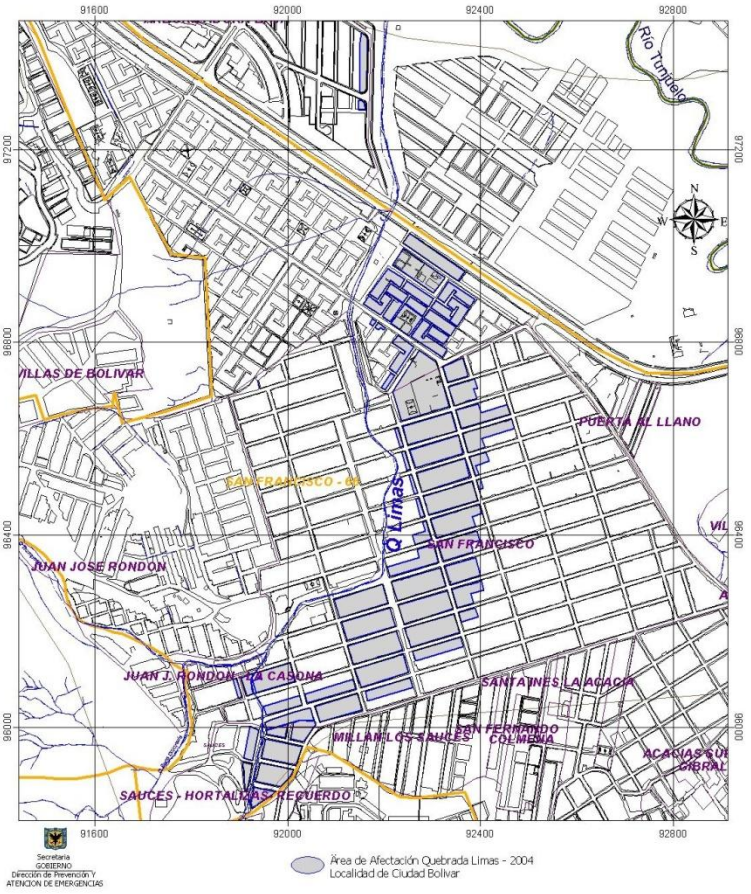


Ilustración 35. Área afectada evento del 18 de noviembre de 2004

Cabe mencionar que la única fuente de información con la que se cuenta sobre la intensidad del evento corresponde a las descripciones que se realizaron sobre el fenómeno en el periódico El Tiempo cuyos artículos se encuentran en el Anexo A. En dichos artículos, los testigos de la avenida torrencial, en especial la que se presentó el día 24 de noviembre de 2003, la describen como un evento en el cual "*El golpe de las rocas y materiales de la quebrada Limas al estrellarse contra las casas era de tal magnitud, que todavía retumba en los oídos de los damnificados"; "En las paredes de las casas estaba tallada la angustia que vivieron más de mil personas, que pelearon contra la corriente cargada de rocas por más de hora y media. Los rastros de lodo llegaban hasta el techo e incluso cubrían las terrazas."*

8.3 Evento del 12 de octubre de 2007

Aunque este evento no corresponde al desborde de la Quebrada Limas, se referencia en este estudio, dadas las características de la precipitación registrada, la afectación que se presentó en la zona de inundación de la quebrada Limas y las características del flujo de uno de los afluentes de la quebrada Limas.

El 12 de octubre de 2007 entre las 12:30 y las 14:10 se presentó una precipitación de importancia en la cuenca baja de la quebrada Limas. Se registraron intensidades importantes en la zona norte y nororiental de la cuenca, generando la afectación de la zona mostrada en la Ilustración 43. Dicha afectación tuvo dos causas:

- En la zona comprendida entre carreras 22G y la carrera 23C y calles 63B sur y 61 Sur (ver Ilustración 41) la causa de la inundación fue la obstrucción del alcantarillado produciendo mal drenaje de la zona y el correspondiente encharcamiento de la misma. La lámina de agua según las marcas y la información de la comunidad fue de aproximadamente 50 cm.
- En la zona nororiental de la quebrada Limas se presentó una inundación que se debió a que se presentó una obstrucción en el culvert que recoge las aguas del drenaje existente a lo largo de la transversal 33. La obstrucción generó una trayectoria de flujo a lo largo de la carrera 34, posteriormente a lo largo de la calle 64 C entrando por la Cr 32 principalmente y bajando por la calle 64 Sur y la carrera 29 hasta encontrar el Hospital Vista Hermosa. Se presume que el flujo siguió por la cr 28. Las fotos tomadas durante el evento se muestran en la Ilustración 42, de las cuales vale la pena resaltar la presencia de una cantidad importante de lodo, especialmente visible luego del evento y las evidencias de velocidades y fuerzas importantes involucradas en el fenómeno ya que en el Hospital Vista Hermosa fue posible observar el arrastre que sufrió uno de los vehículos que se encontraba en el parqueadero.

Vale la pena mencionar que el 12 de octubre de 2007 los umbrales de activación del sistema de alerta temprana de la quebrada Limas no se sobrepasaron, dado que la precipitación promedio de la cuenca no los alcanzó, mostrando un comportamiento adecuado de los mismos al presentarse un caudal que se encontraba dentro de los límites aceptables en el cauce de la quebrada.

Los valores de precipitación registrados por la red hidrometeorológica del Distrito se muestran en la Ilustración 36, Ilustración 37, Ilustración 38 y Ilustración 39, de las cuales es claro que los registros de la estación Doña Juana y Quiba muestran una precipitación de baja intensidad, mientras que la estación San Benito muestra 50 minutos de precipitación de alta intensidad con un máximo de 7mm/10minutos y la estación Sierra Morena muestra 20 minutos de alta intensidad con un máximo de 6.3 mm/10 minutos. La distribución espacial de la tormenta según los datos de la red hidromeorológica de Bogotá operada por la DPAE se muestra en la Ilustración 40.

Los daños que se presentaron durante este evento fueron solo materiales, correspondientes a los muebles y enseres que la población mantenía en los primeros pisos de sus viviendas.

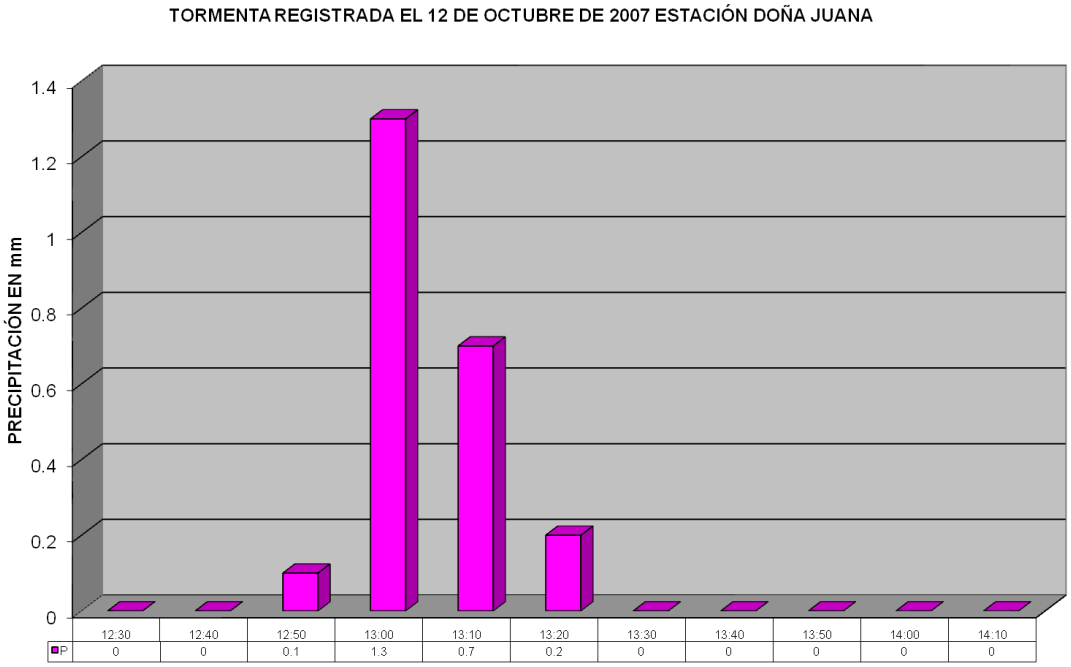


Ilustración 36. Tormenta registrada el 12/10/2007 en la estación Doña Juana

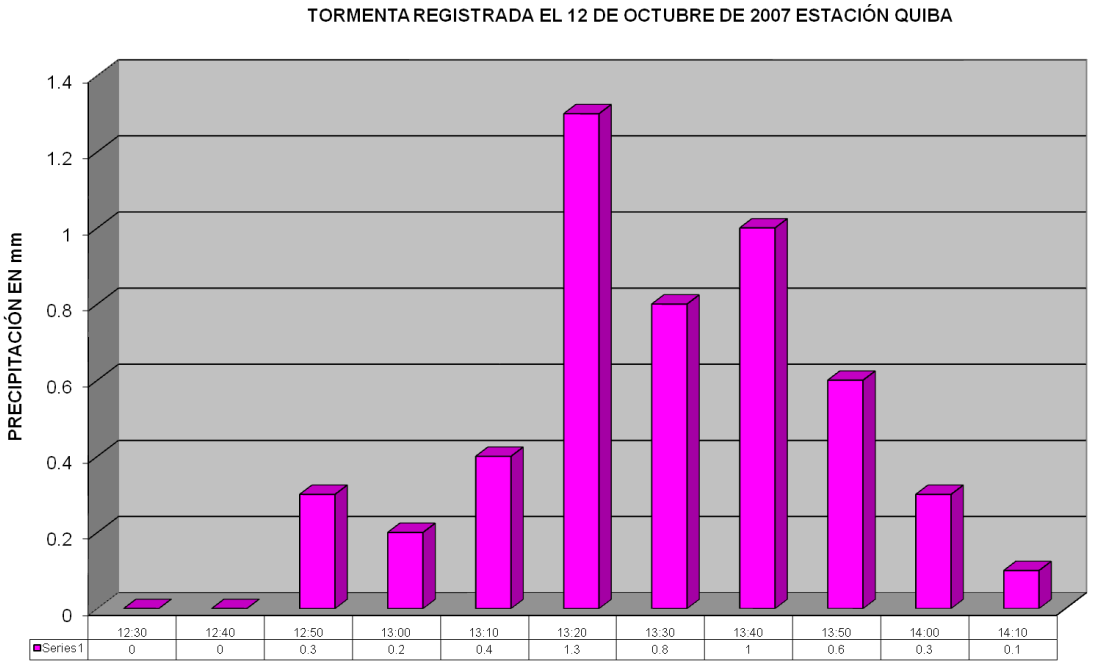


Ilustración 37. Tormenta registrada el 12/10/2007 en la estación Quiba

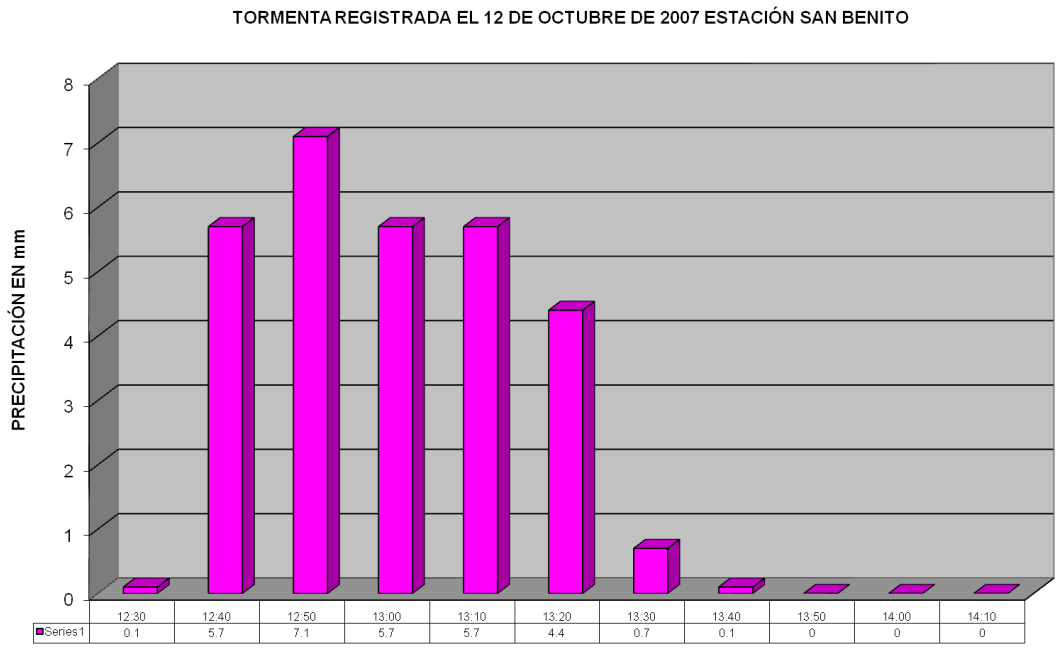


Ilustración 38. Tormenta registrada el 12/10/2007 en la estación San Benito

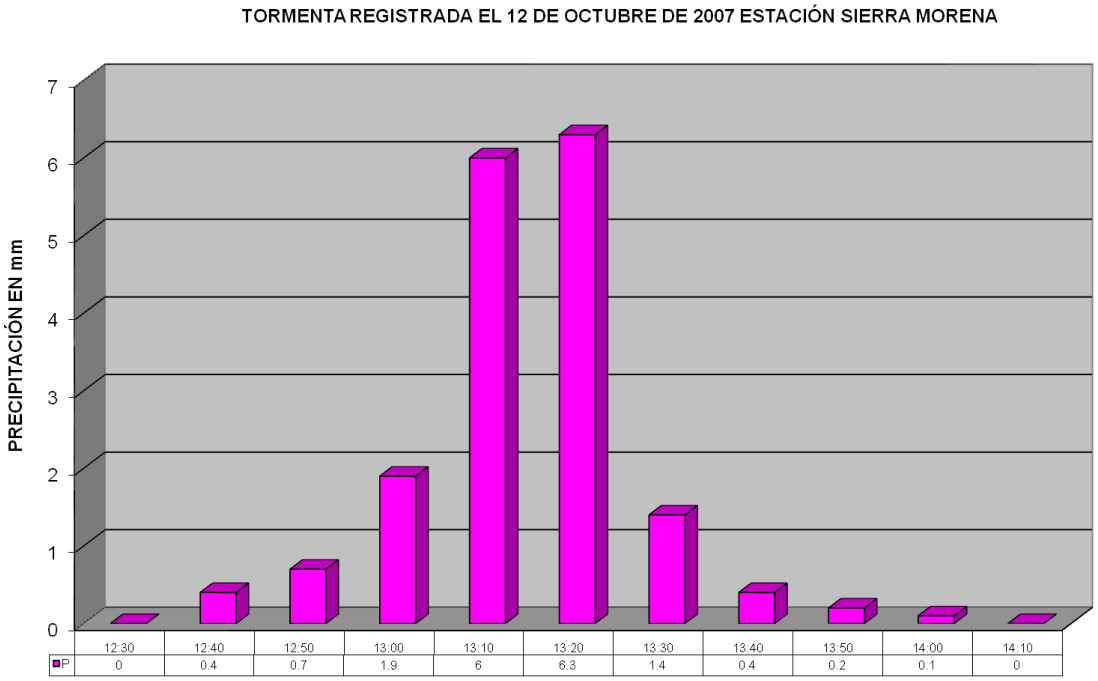


Ilustración 39. Tormenta registrada el 12/10/2007 en la estación Sierra Morena

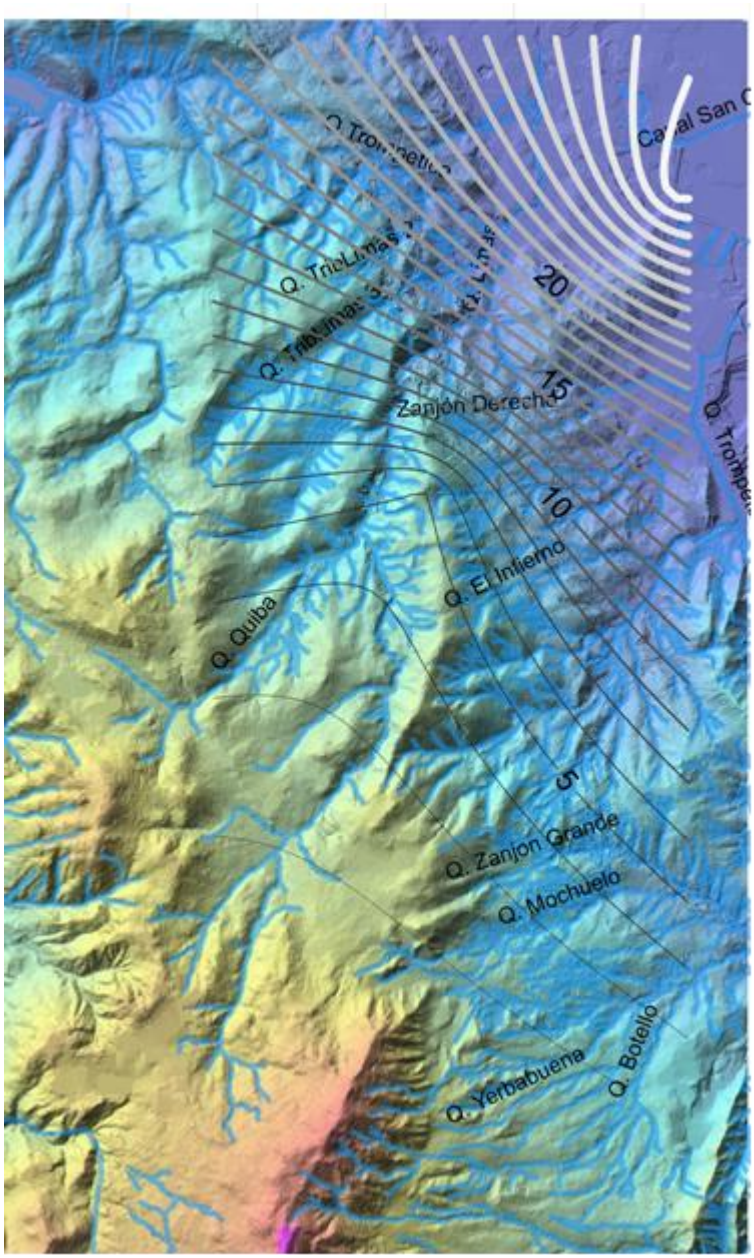


Ilustración 40. Distribución espacial de la precipitación tormenta (milímetros acumulados) del 12 de octubre de 2007



Ilustración 41. Afectación en la zona inundable de la quebrada Limas

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co



Ilustración 42. Evento en la zona nororiental de la cuenca de la quebrada Limas

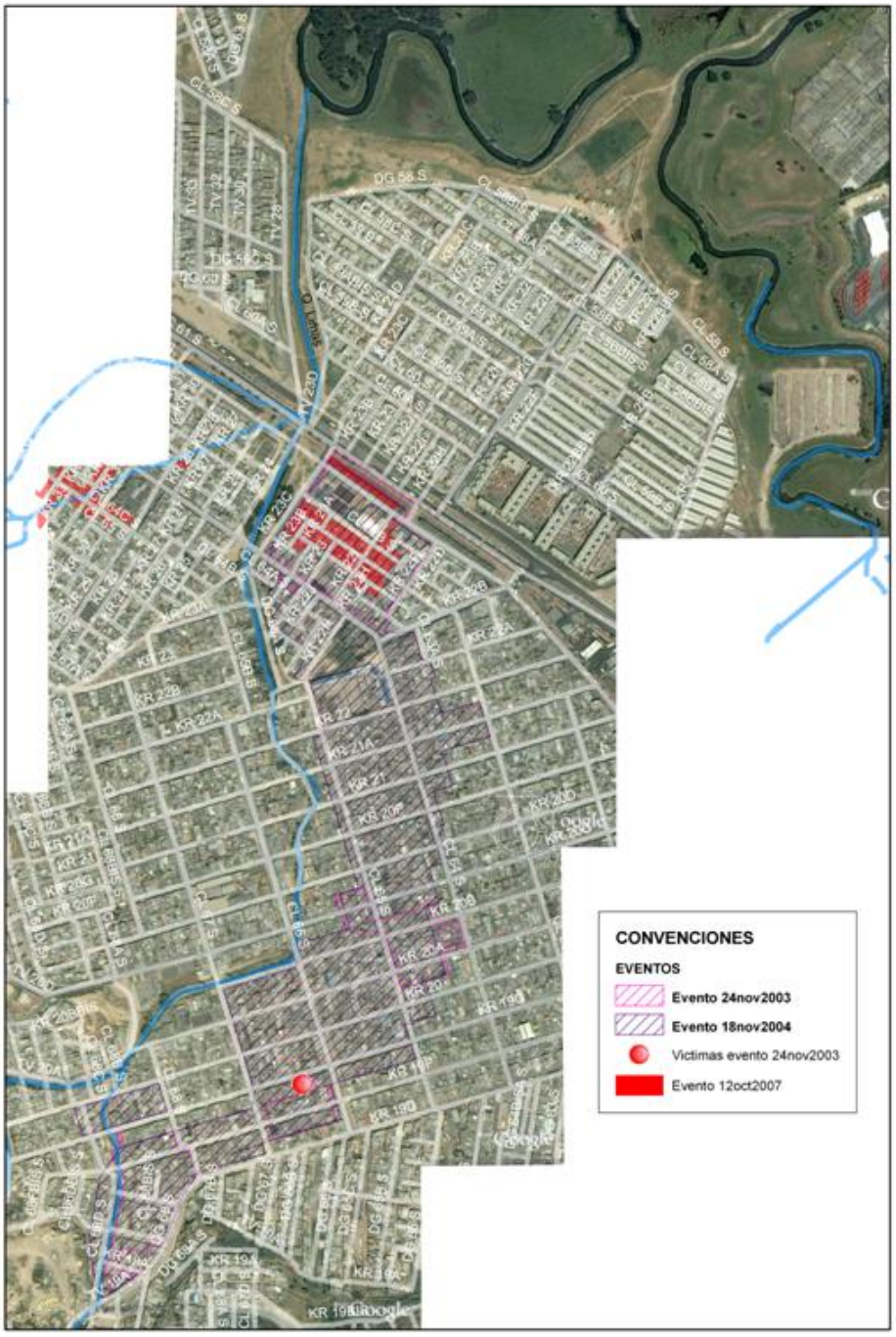


Ilustración 43. Afectación registrada en eventos históricos

9 ANÁLISIS DE AMENAZA

9.1 Geomorfología

9.1.1 Análisis del perfil del lecho

Una pendiente de lecho mínima y un potencial de material sólido suficientemente importante son las condiciones necesarias para la aparición de avenidas torrenciales con alta concentración. Estos dos factores son igualmente los dos más importantes para estimar el peligro que un torrente es susceptible de representar. Para que una avenida torrencial tipo flujo de detritos se forme en el lecho de un torrente la inclinación del lecho debe ser de al menos 25 a 30% (14-16.7 grados). Para los lechos con una inclinación menor a 15% (8.5 grados) la formación de un flujo de detritos es poco probable (Rickenmann, 1997). Según Takahashi (1981), la mayoría de los flujos de detritos ocurren en lechos con pendientes mayores a 15 grados. Teniendo en cuenta lo anterior, las pendientes en grados para la corriente principal y para los tributarios de la cuenca de la quebrada Limas se muestran de la Ilustración 45 a la Ilustración 48. Para mayor claridad, en la Ilustración 44 se muestran los tributarios de la quebrada Limas, algunos de ellos no tienen nombre por lo cual se utilizaron números para su identificación.

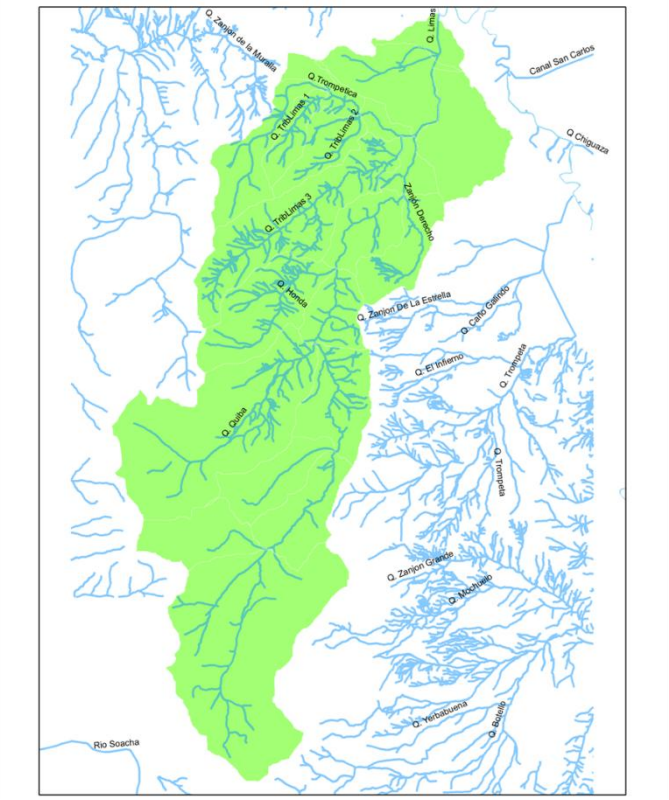


Ilustración 44. Quebrada Limas y tributarios

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

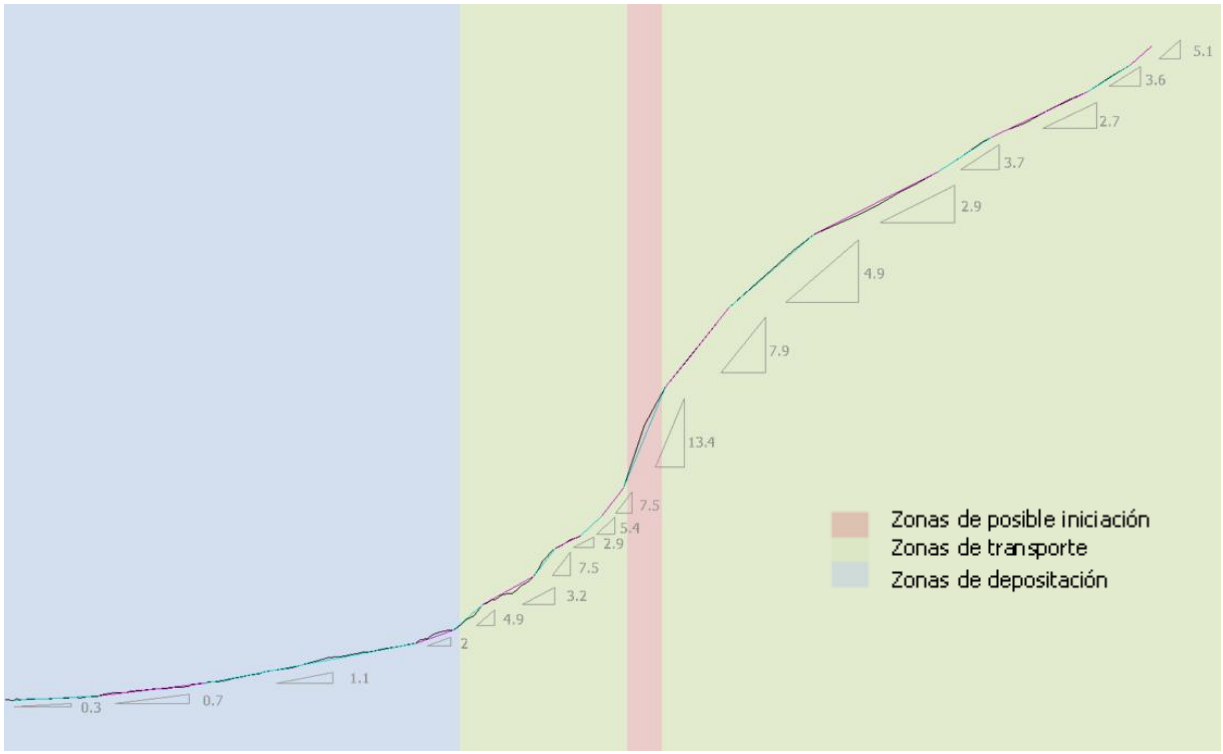


Ilustración 45. Análisis de la pendiente (en grados) del cauce principal de la Quebrada Limas

Para el caso del cauce principal, la pendiente más alta es de 13.4 grados, por estar cerca al límite indicado por Rickenmann (1997) se considerará la zona con esta pendiente como un posible tramo de iniciación (mostrado en rojo en la Ilustración 45). La zona de depositación se definió de acuerdo con el criterio indicado en la Tabla 3 en la cual esta condición se inicia con pendientes inferiores a 3 grados, esta zona corresponde a la franja azul de la Ilustración 45.

Para el caso de los tributarios Honda y Quiba (ver Ilustración 46), en la primera se identificó una posible zona de iniciación (en rojo en la figura) y una zona de depositación antes de la confluencia de esta quebrada con la quebrada Limas. Por otro lado, la quebrada Quiba muestra dos zonas de depositación antes de la confluencia con la quebrada Limas lo que indicaría que un flujo de detritos que se iniciara en las franjas rojas de la figura probablemente se depositaría antes de alcanzar el cauce principal de la quebrada Limas.

Estas condiciones geomorfológicas permiten suponer que en la cuenca alta de la quebrada la posibilidad de la generación de un flujo de detritos no es alta y que las posibilidades aumentan en el tramo del cauce principal en el cual la pendiente es de 13.4 grados.

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

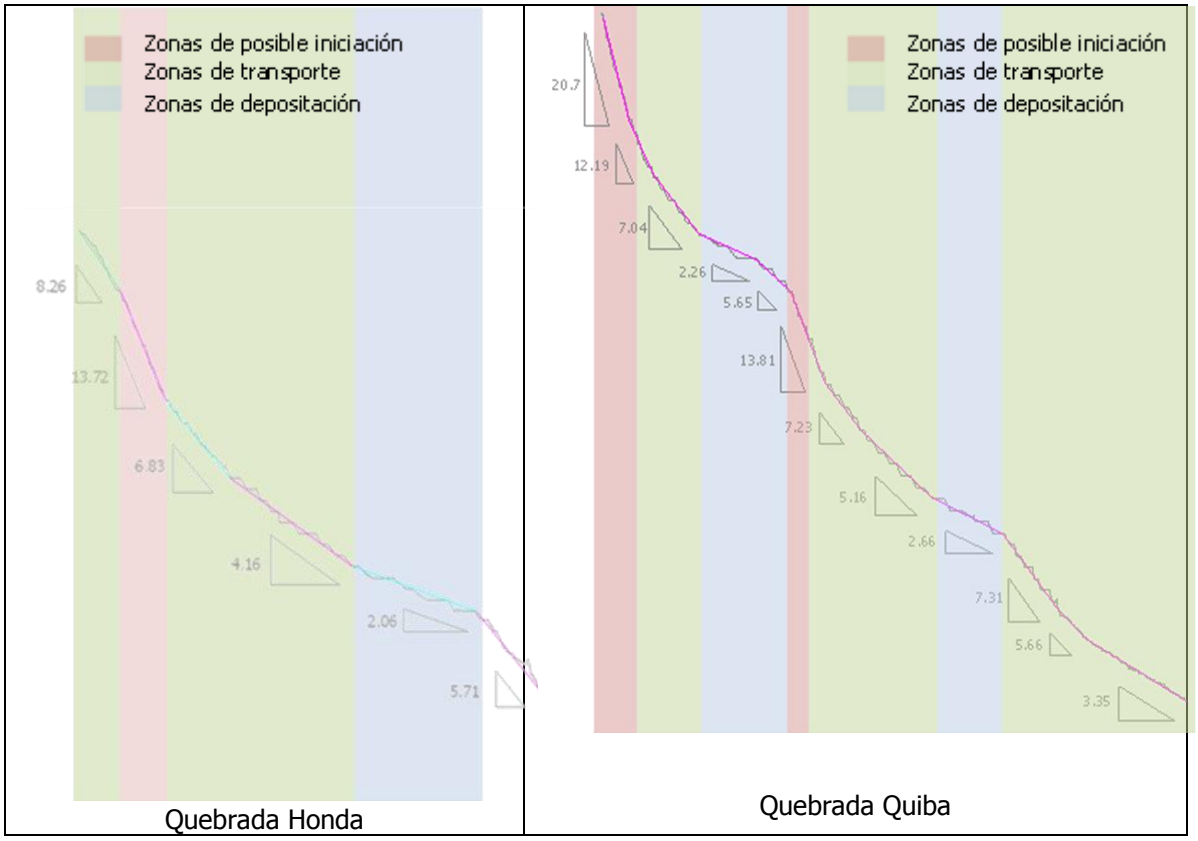


Ilustración 46. Análisis de la pendiente de las quebradas Honda y Quiba

Para el caso de los tributarios 1 y 2 (ver Ilustración 45) que desembocan en la quebrada Trompetica, en el primero se identificó una zona de iniciación y zonas de transporte por lo cual puede suponerse que el material será transportado en su totalidad a la quebrada Trompetica. En el caso del tributario 2, éste muestra pendientes bastante pronunciadas y se pueden identificar tres zonas de posible iniciación y zonas de transporte lo que implicaría que este tributario también entregaría todo el material de aporte a la quebrada Trompetica.

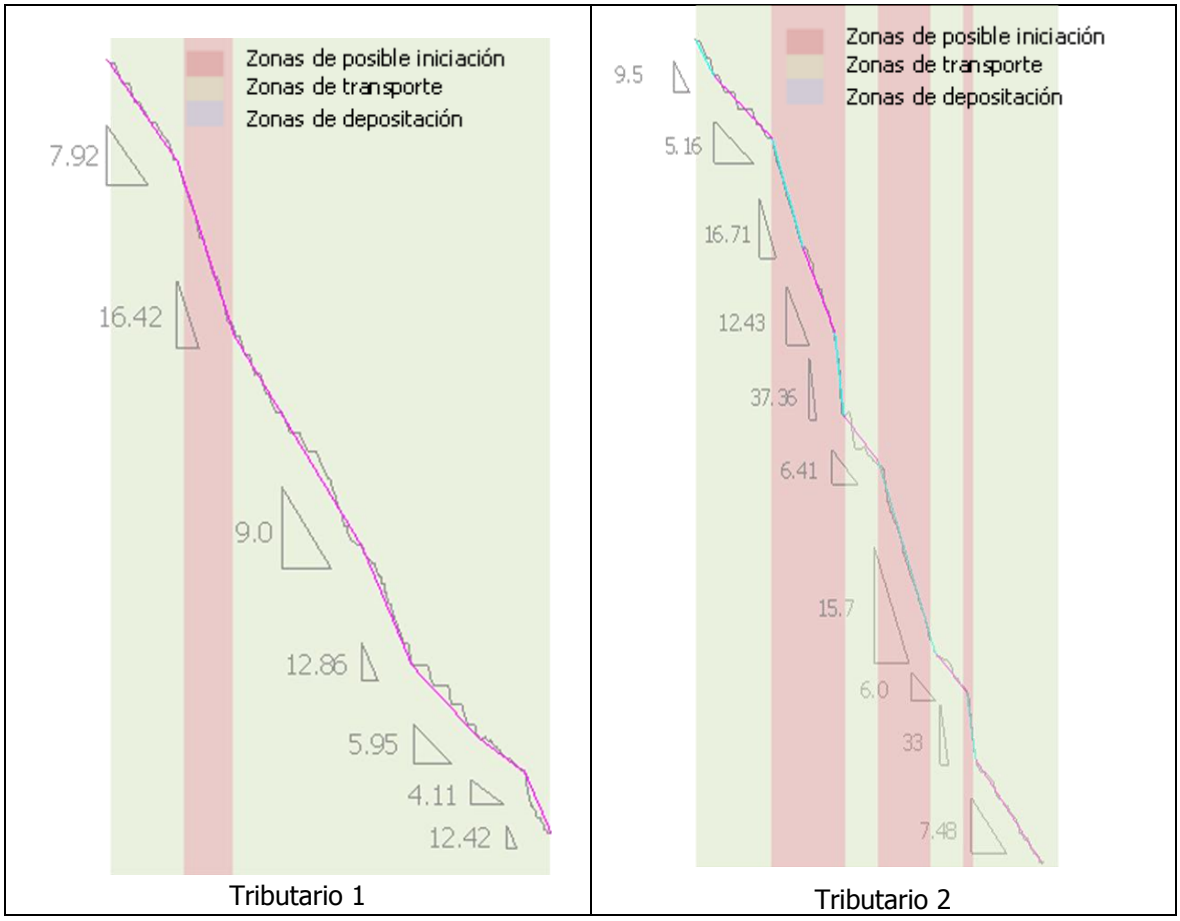


Ilustración 47. Análisis de la pendiente de las quebradas Sin nombre y Tributario Limas 2

La quebrada Trompetica (ver Ilustración 48) muestra en su mayoría condiciones de transporte y se identificó un tramo corto en el cual la pendiente disminuye antes del tramo final de la quebrada en el cual la pendiente con la que entrega la quebrada al cauce principal de la quebrada Limas está en el límite del valor de depositación.

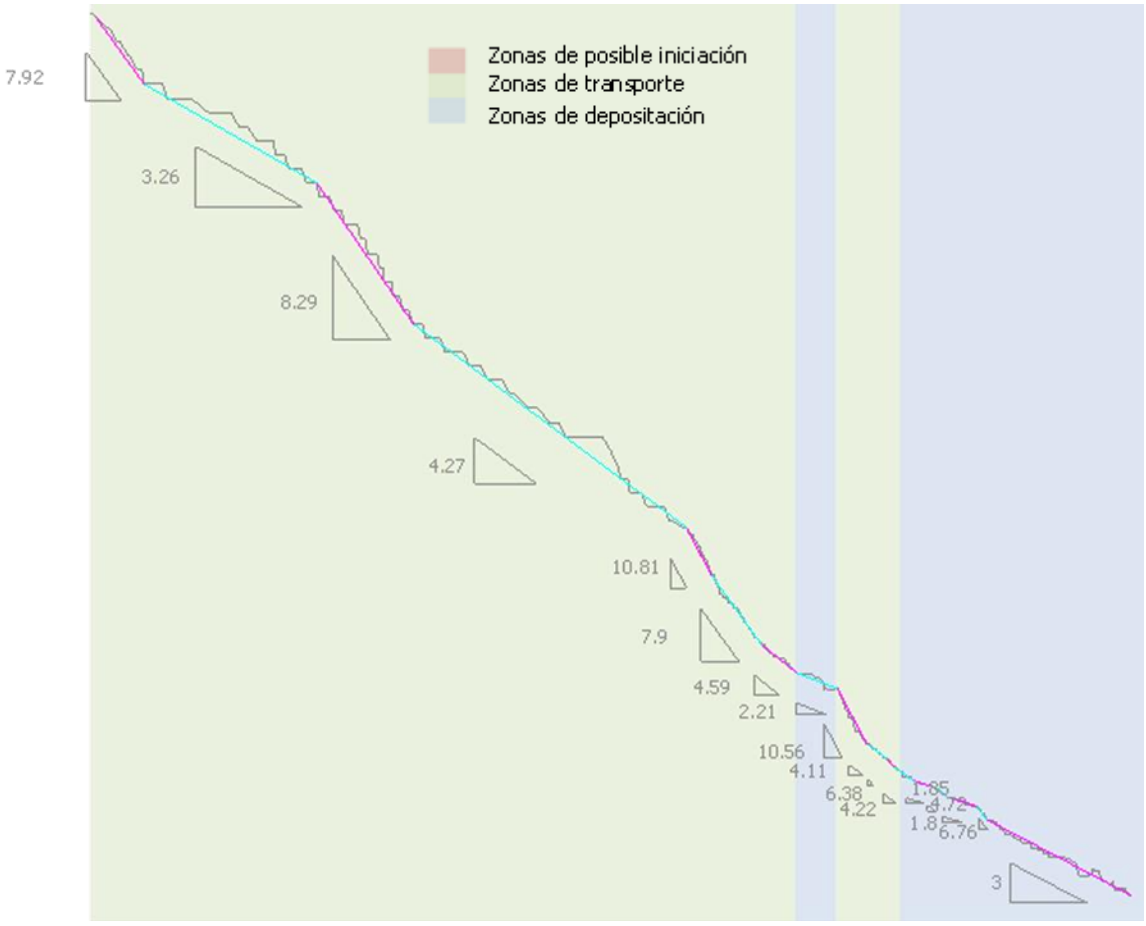
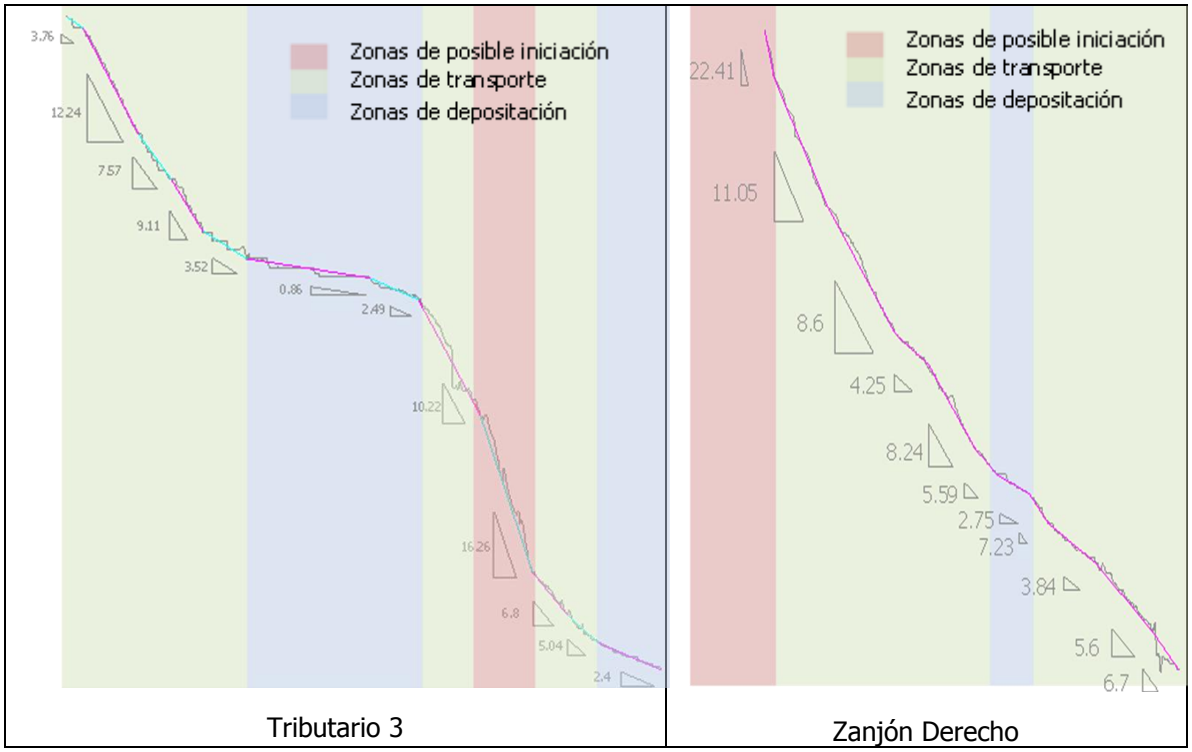


Ilustración 48. Análisis de la pendiente de la quebrada Trompetica

El perfil del tributario 3 (ver Ilustración 49) muestra una zona de depositación en su tramo medio y una zona de iniciación en las cercanías de la desembocadura en la cual se identifica una zona de depositación. En el caso del Zanjón Derecho, se puede identificar una zona de iniciación en el nacimiento de la quebrada y un tramo corto de depositación intermedio.



Tributario 3 | Zanjón Derecho

Ilustración 49. Análisis de la pendiente de las quebradas Tributario Limas 1 y Zanjón Derecho

Teniendo en cuenta el análisis anterior, el escenario de aporte de sedimentos se definió asumiendo que la iniciación en el cauce principal ocurre en el tramo con pendiente 13.4 y que los tributarios correspondientes al Zanjón Derecho y a la Trompetica tienen un aporte de sedimentos importante durante la avenida torrencial.

9.1.2 Análisis de las condiciones morfométricas de la cuenca

Las principales características de la cuenca de la quebrada Limas se muestran en la Tabla 17. La evaluación inicial de la quebrada Limas fue realizada por Rogelis (2007), obteniendo un número de Melton relativamente bajo que indica una propensión a la generación de crecientes de agua clara según las observaciones de Wilford, Sakals et al. (2004). A pesar de las indicaciones de la morfometría, las evidencias presentadas en los eventos pasados, en los cuales se describen los eventos de inundación con abundante lodo y piedras hacen pensar que el parámetro de Melton no está describiendo apropiadamente el tipo de inundación que se espera en la cuenca, este hecho posiblemente tiene su explicación en el gran deterioro al que ha sido sometida la cuenca y las áreas que actualmente son destinadas para la explotación de materiales.

Parámetro	Valor
Área de la cuenca	17.97 Km^2
Elevación Mínima	2516 msnm
Elevación Máxima	3383 msnm
Longitud	11.6 Km
Parámetro de Melton	0.205
Longitud de la cuenca	9.1 Km
Perímetro de la cuenca	32.7 Km
Circularidad	2.17
Parámetro de forma	0.21
Número de incendios forestales	2

Tabla 17. Parámetros morfométricos de la Cuenca de la quebrada Limas

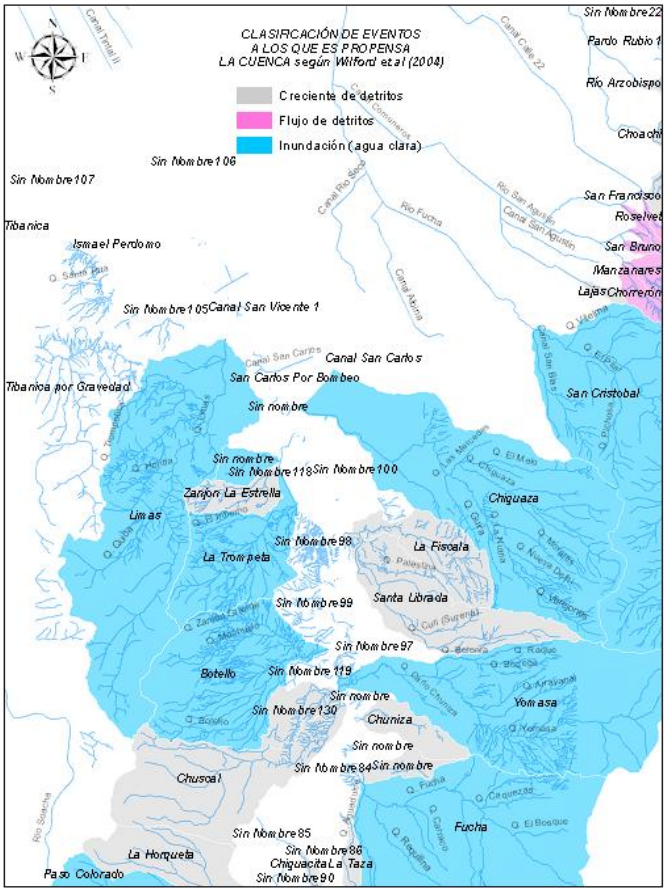


Ilustración 50. Clasificación de eventos a los que es propensa la cuenca según los criterios de Wilford, Sakals et al., 2004 (Fuente: Rogelis, 2007)

9.1.3 Análisis de la zona de inundación

La zona de la quebrada Limas que ha presentado desbordes históricamente, con daños importantes, corresponde a la zona de confluencia de la quebrada con el río Tunjuelo. Geológicamente esta zona está constituida por la Formación Tilatá (Qt) y la formación Terraza baja (Qtb) como se muestra en la Ilustración 51.

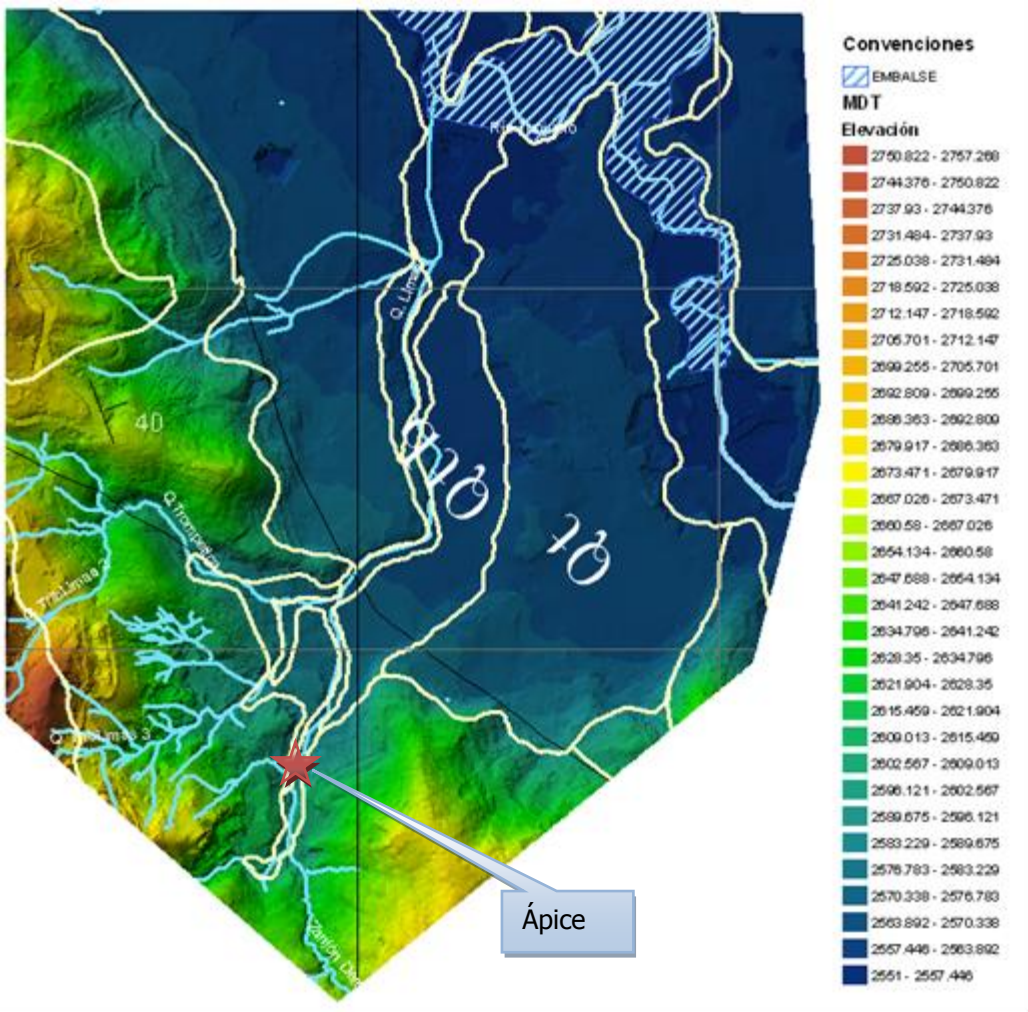


Ilustración 51. Zona de inundación de la quebrada Limas

La quebrada Limas sale de la zona montañosa y sufre una reducción importante de pendiente (ver Ilustración 45) hasta los 2 grados de inclinación, perdiendo de manera drástica su capacidad hidráulica y de transporte pasando a su zona de depositación. Este punto, en el cual el cauce suministrador de sedimento termina y el flujo pierde confinamiento y puede esparcirse lateralmente y depositarse, se denomina el ápice del cono aluvial. La localización de este punto, coincidente con la pérdida de confinamiento y la reducción de la pendiente del cauce, es el K2+090 y corresponde al punto que se muestra en la Ilustración 51 y la Ilustración 52.

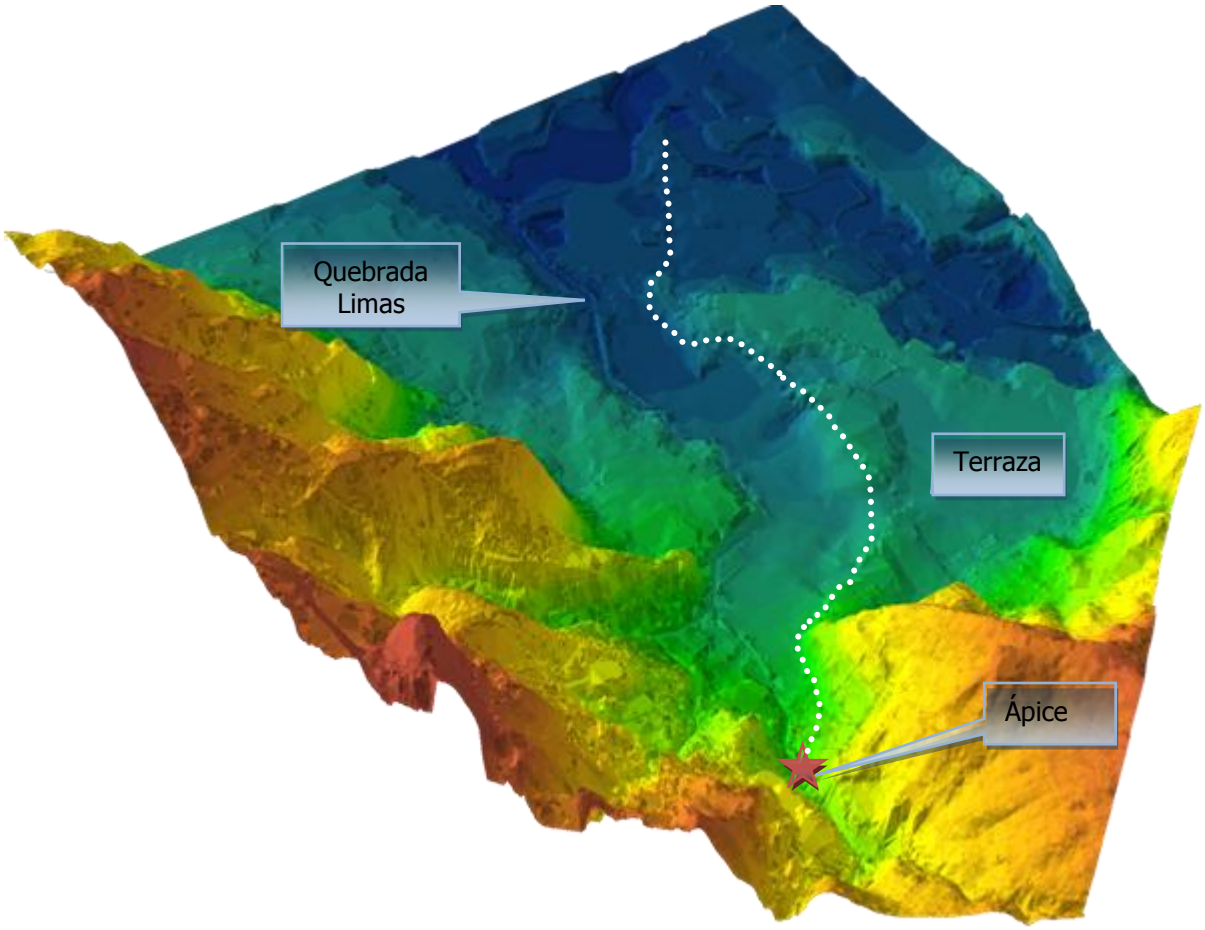


Ilustración 52. Vista tridimensional de la zona de confluencia de la quebrada Limas

De la Ilustración 52 es evidente que la forma del cono aluvial de la quebrada Limas muestra claramente la trayectoria de flujo y la zona que potencialmente podría resultar afectada. Aguas abajo del ápice existe una zona baja que está limitada en la Ilustración 52 por una línea punteada. Ésta área desciende desde la cota 2581.6 a la cota 2557 (Δz=24.6 m) en una longitud de aproximadamente 1.7 Km, esto significa una pendiente aproximada de 1.4%. Esta zona baja

que prácticamente canaliza el flujo durante los desbordamientos, limita al oriente con el cauce de la quebrada Limas cuya margen izquierda limita con una zona montañosa prácticamente hasta su entrega en el río Tunjuelo. La margen izquierda de la quebrada Limas luego del ápice, limita como se explicó anteriormente con una depresión de aproximadamente 1.7 Km de largo y 200 metros de ancho en promedio. Esta depresión a su vez limita con una terraza que le produce un estrechamiento en su zona más aguas abajo para finalmente terminar en la zona del embalse de amortiguación del río Tunjuelo.

9.2 Modelación matemática de la quebrada Limas

Con el fin de estudiar el comportamiento de la quebrada Limas bajo diferentes escenarios se desarrollo un modelo de esta corriente utilizando el software FLO 2D.

9.2.1 Procesamiento de topografía y elaboración del modelo en el software FLO 2D

Con el fin de desarrollar un modelo digital de terreno para el área de estudio se realizó el procesamiento de la información topográfica disponible. Las curvas de nivel utilizadas corresponden a la topografía disponible en la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias -DPAE de curvas espaciadas 5 metros, 1 metro y la topografía del cauce y zona de inundación obtenida por la DPAE mediante levantamiento topográfico en el año 2006 tal como se muestra en la Ilustración 53.

Una vez obtenido el modelo digital de terreno para la cuenca utilizando un raster de celda 15x15 metros, el cual se observa en la Ilustración 55, se extrajo una porción del mismo correspondiente al espacio de modelación en el software FLO 2D. Este último modelo digital se transformó en formato ASC (formato de texto) para ser ingresado al software FLO 2D y generar la malla necesaria para las simulaciones. El resultado puede observarse en la Ilustración 56 en donde se observa el modelo digital de terreno y el espacio computacional definido dentro de la malla en el cual el software realizará los cálculos. Este espacio computacional se definió de acuerdo con la información obtenida de las inundaciones históricas de la quebrada teniendo en cuenta el proporcionar el espacio suficiente para los cálculos.

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

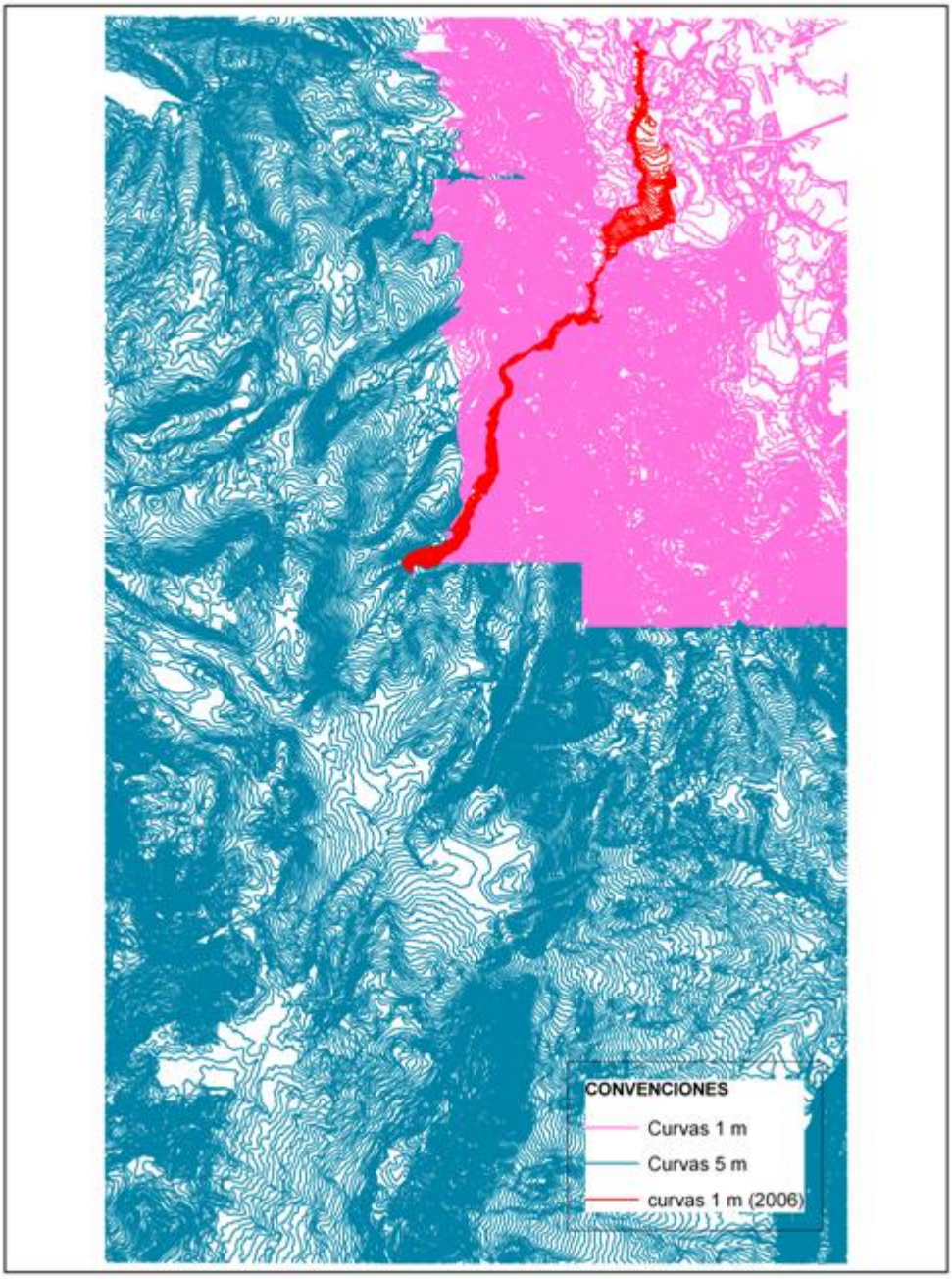


Ilustración 53. Información topográfica utilizada para el desarrollo del modelo digital de la cuenca de la quebrada Limas

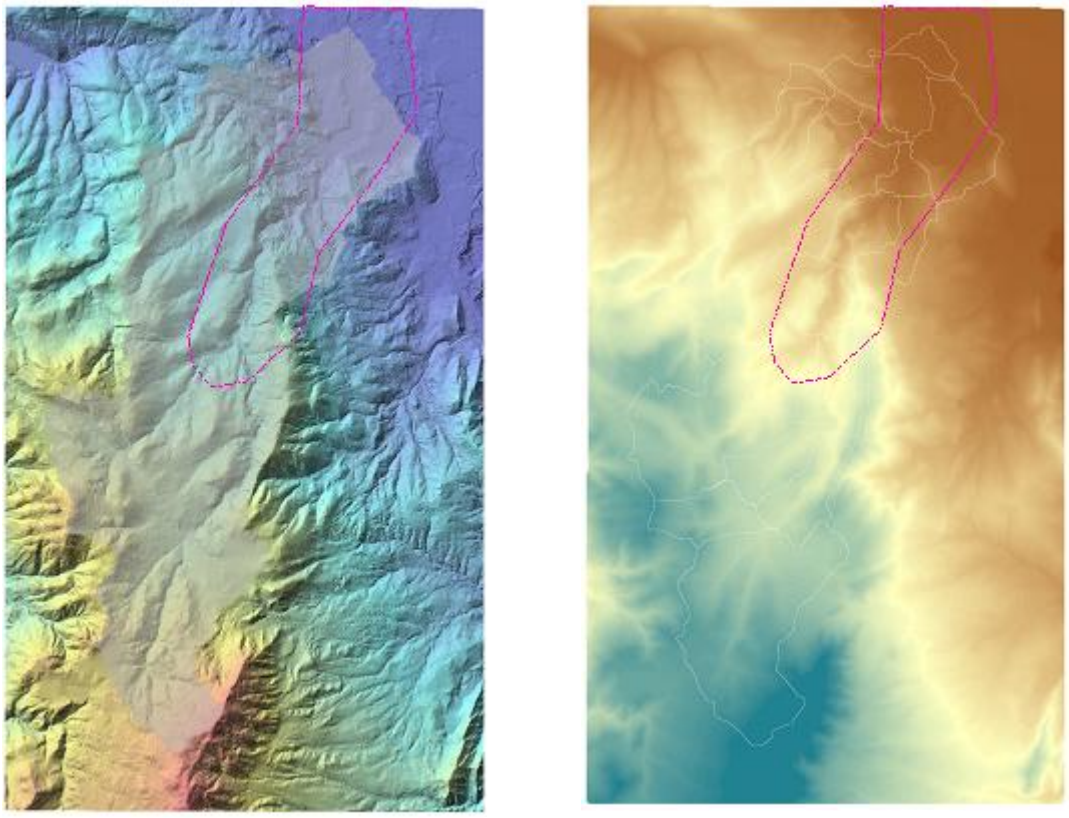


Ilustración 54. Modelo digital de terreno de la Cuenca de la Quebrada Limas



Ilustración 55. Modelo digital de terreno usado para la simulación en el software FLO2D

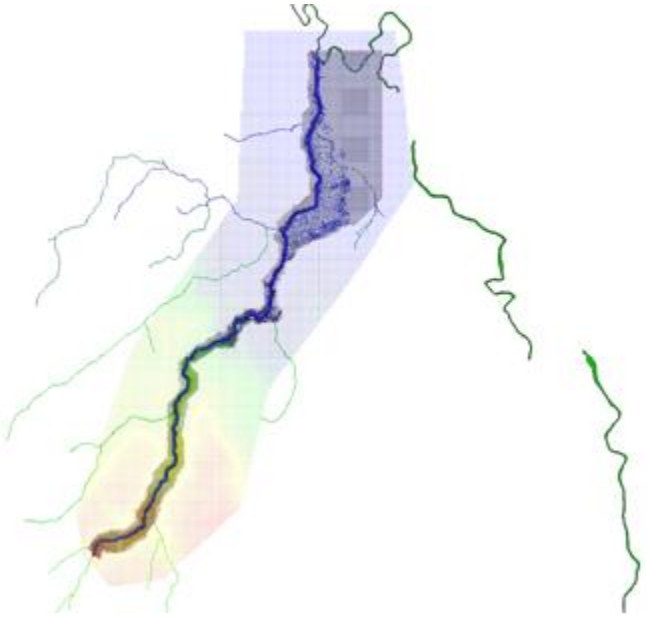


Ilustración 56. Vista de la información topográfica en el software FLO 2D

Las secciones transversales se exportaron del modelo desarrollado en el software HEC RAS para el desarrollo del sistema de alerta de la quebrada, utilizando las herramientas que el software FLO 2D dispone para este fin. El perfil de la quebrada resultante se observa en la Ilustración 57.

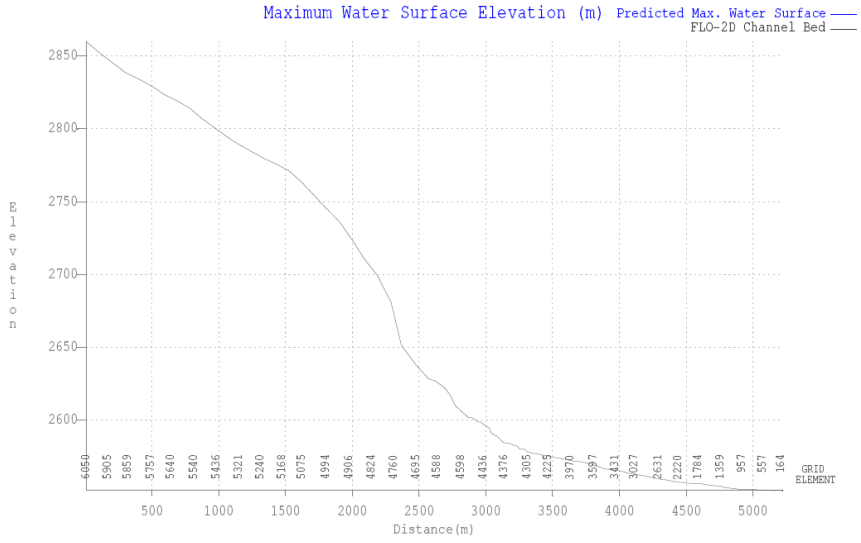


Ilustración 57. Perfil de la quebrada Limas visualizado en el software FLO 2D

Se crearon elementos de descarga en la entrega de la quebrada al río Tunjuelo como se muestra en la Ilustración 58.

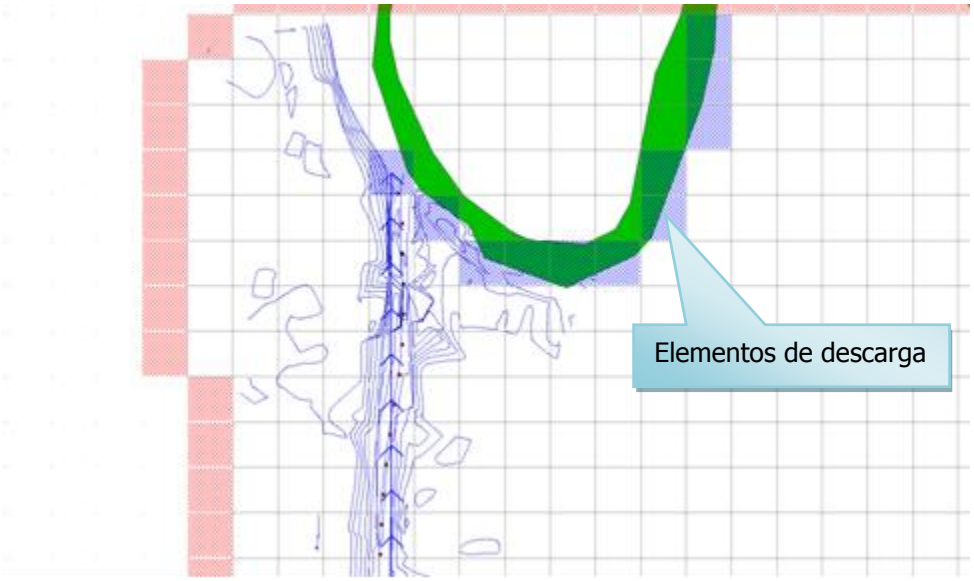


Ilustración 58. Detalle de la zona de la desembocadura de la quebrada Limas en donde se localizaron los elementos de descarga

En cada confluencia con tributarios, se crearon elementos de ingreso de caudal a los cuales se les asignó el respectivo hidrograma según el escenario de análisis (ver sección 7.1.3).

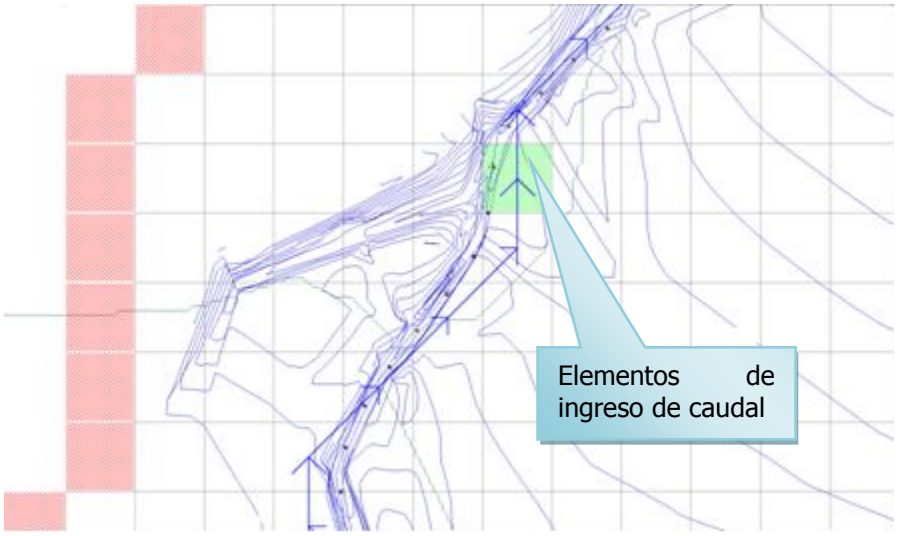


Ilustración 59. Detalle de los elementos de entrada de caudal al modelo en FLO 2D

Con base en estos elementos se elaboró un modelo simplificado de la quebrada sobre el cual se realizaron modificaciones progresivas para aumentar su complejidad.

9.2.2 Simulaciones de análisis

Utilizando el modelo simplificado de la quebrada Limas, es decir, aquel elaborado teniendo en cuenta un canal con sus correspondientes secciones transversales y una planicie de inundación, se llevaron a cabo simulaciones para los periodos de retorno de 10 y 100 años.

Inicialmente se consideró la simulación con agua clara, para los dos escenarios, utilizando tres valores de concentración a saber: 0%, 20% y 40%. Para el caso de concentración de 0% el modelo se modificó para tener en cuenta en un caso las vías de la planicie de inundación y en otro las vías, los muros y edificios en la planicie de inundación (ver Ilustración 60). Las simulaciones realizadas con agua y sedimentos se abordarán más adelante.

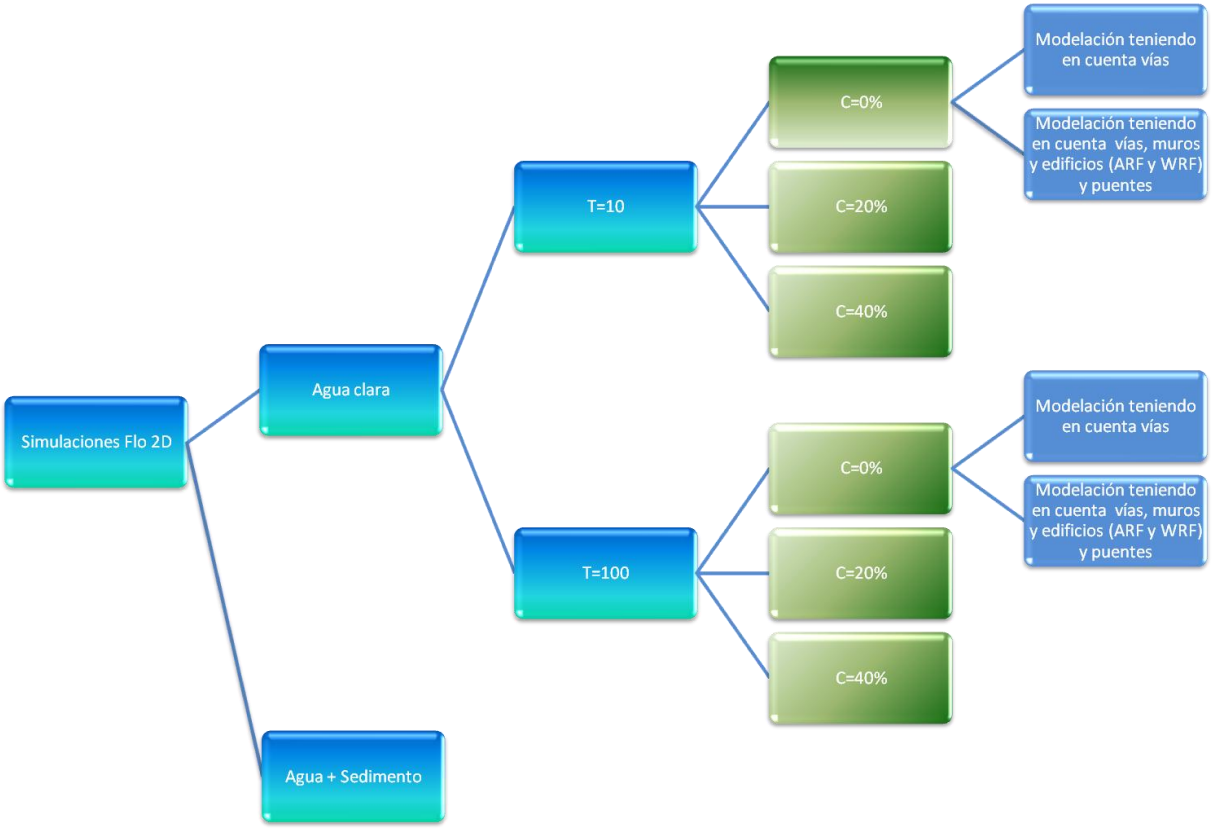


Ilustración 60. Simulaciones de análisis

- **Inclusión de calles en el modelo de la quebrada Limas**

Teniendo en cuenta que toda la zona de desborde en la zona de confluencia de la quebrada con el río Tunjuelo está urbanizada, se incluyó en el modelo la geometría de las calles en la zona de desborde. Este procedimiento se llevó a cabo utilizando el módulo GDS del software FLO 2D. La visualización del modelo se muestra en la Ilustración 61.

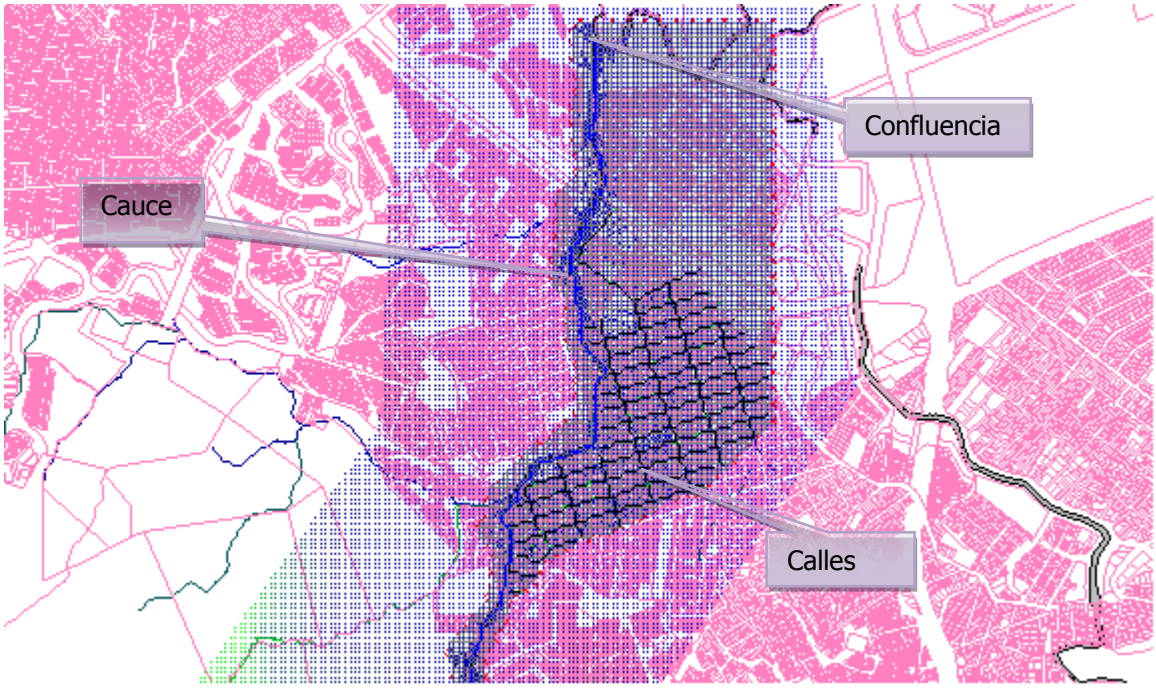


Ilustración 61. Modelo en el software FLO 2D incluyendo las calles de la zona de desborde

Con esta modificación al modelo básico se llevaron a cabo simulaciones para los periodos de retorno de 100 y 10 años.

- **Inclusión de puentes, efecto de edificaciones y bloqueo debido a muros en el modelo de la quebrada Limas**

En la zona de la planicie de inundación, se modificaron los factores WRF (Factor de reducción de ancho) y ARF (Factor de reducción de área) del modelo, asignando un valor de 0.2 de coeficiente de reducción de volumen de almacenamiento disponible por elemento y se bloquearon algunos elementos adyacentes al cauce para representar el efecto de algunos muros de viviendas que colindan con el cauce de la quebrada Limas y que causan el efecto de desviar el flujo. Las modificaciones se muestran en la Ilustración 62.

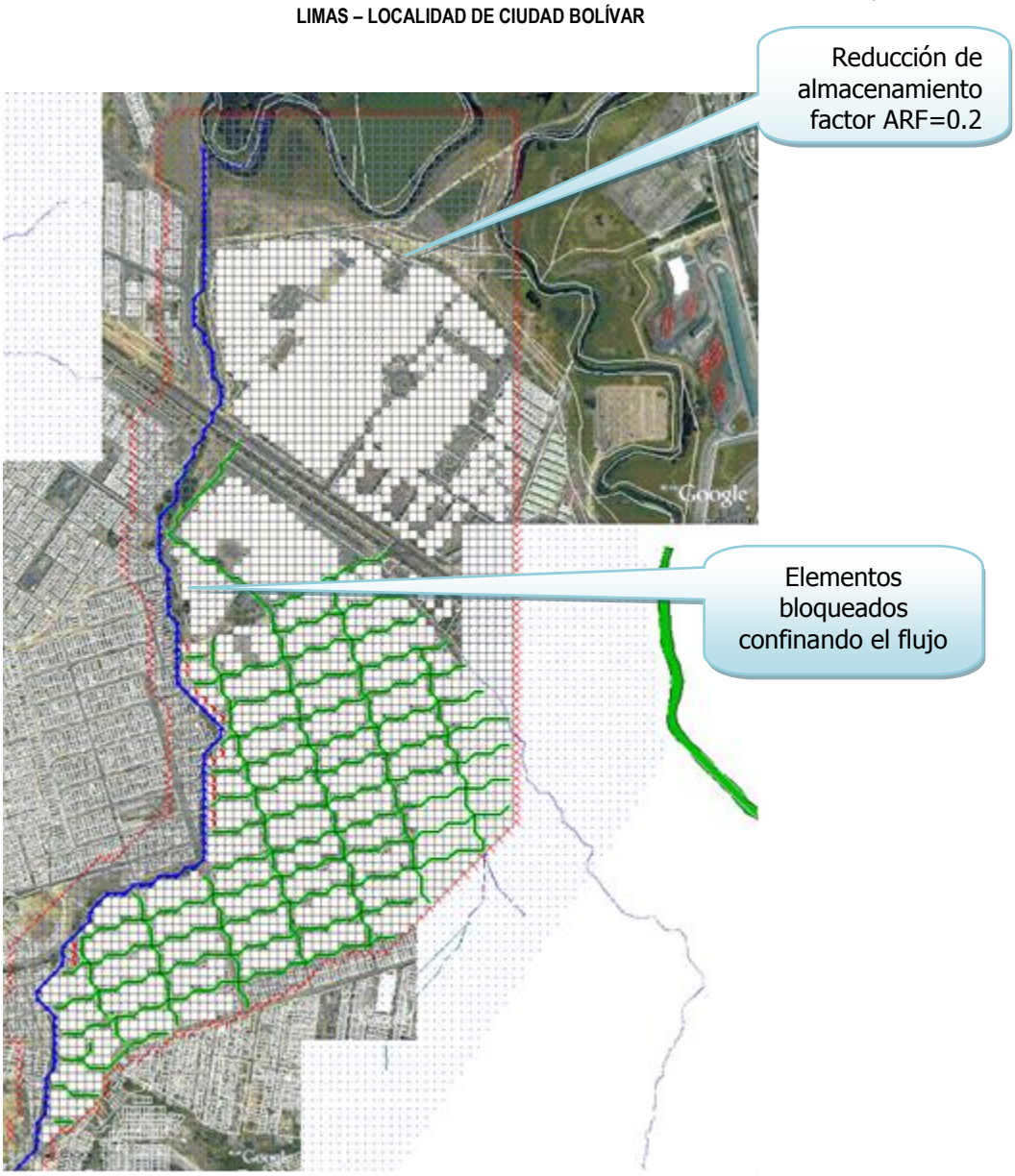


Ilustración 62. Modelo de la planicie de inundación modificado con factores ARF y WRF

Adicionalmente, se incluyeron estructuras hidráulicas en el modelo correspondientes a los puentes existentes en la planicie de inundación. Las características hidráulicas de estos elementos fueron obtenidas del modelo desarrollado en el software HEC RAS para el sistema de alerta de la quebrada.

9.2.3 Consideración de la concentración de sedimento y parámetros reológicos

Dado que no existe a la fecha información sobre los posibles aportes de sedimento de diversas fuentes en la quebrada Limas, se realizará un análisis de sensibilidad variando diversos parámetros con el fin de llegar a conclusiones sobre la amenaza presente en este cuerpo de agua. Para realizar éste análisis de sensibilidad se tuvo en cuenta que siete parámetros controlan directamente el comportamiento del fluido en función de la concentración de sedimentos:

1. Un coeficiente de la relación concentración-viscosidad
2. Un exponente de la relación concentración-viscosidad
3. Un parámetro de resistencia para flujo laminar
4. Un coeficiente de la relación concentración-yield stress
5. Un exponente de la relación concentración-yield stress
6. La densidad específica de los sedimentos
7. El coeficiente de fricción de Manning-Strickler

Todos estos parámetros son desconocidos para la quebrada Limas, sin embargo se considerará la densidad específica de los sedimentos como un valor constante (2.65) durante las simulaciones y el coeficiente de Manning será de 0.04 que se considera apropiado para esta corriente. La variación de parámetros se aplicó para los escenarios con periodo de retorno de 10 y 100 años.

Para las simulaciones con concentración y reología variable se utilizará el modelo de la quebrada Limas con calles, factores ARF y WRF y puentes por considerarlo el más completo y aproximado a la realidad del comportamiento de la quebrada.

La concentración considerada "normal" de la quebrada será 0.2 y a partir de esta concentración se realizará una variación de éste parámetro hasta llevarlo a los picos 0.3, 0.4 y 0.55 siendo éste último el máximo posible correspondiente al límite inferior de concentración de un evento de deslizamiento. Las características reológicas utilizadas fueron tomadas de las presentadas por O´Brien (2006), y se escogieron las reologías correspondientes a Aspen pit 2 y Glenwood 4 (ver Tabla 18) debido a que tienen parámetros con valores extremos al compararlos con los presentados por este autor, lo que en teoría permitiría realizar las simulaciones con dos materiales con comportamientos bastante diferentes uno del otro.

Fuente	$\eta = \alpha e^{\beta Cv}$		$\tau_y = \alpha e^{\beta Cv}$	
	α	β	α	β
	Datos de campo			
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1

Tabla 18. Parámetros reológicos utilizados en las simulaciones (fuente: O´Brien, 2006)

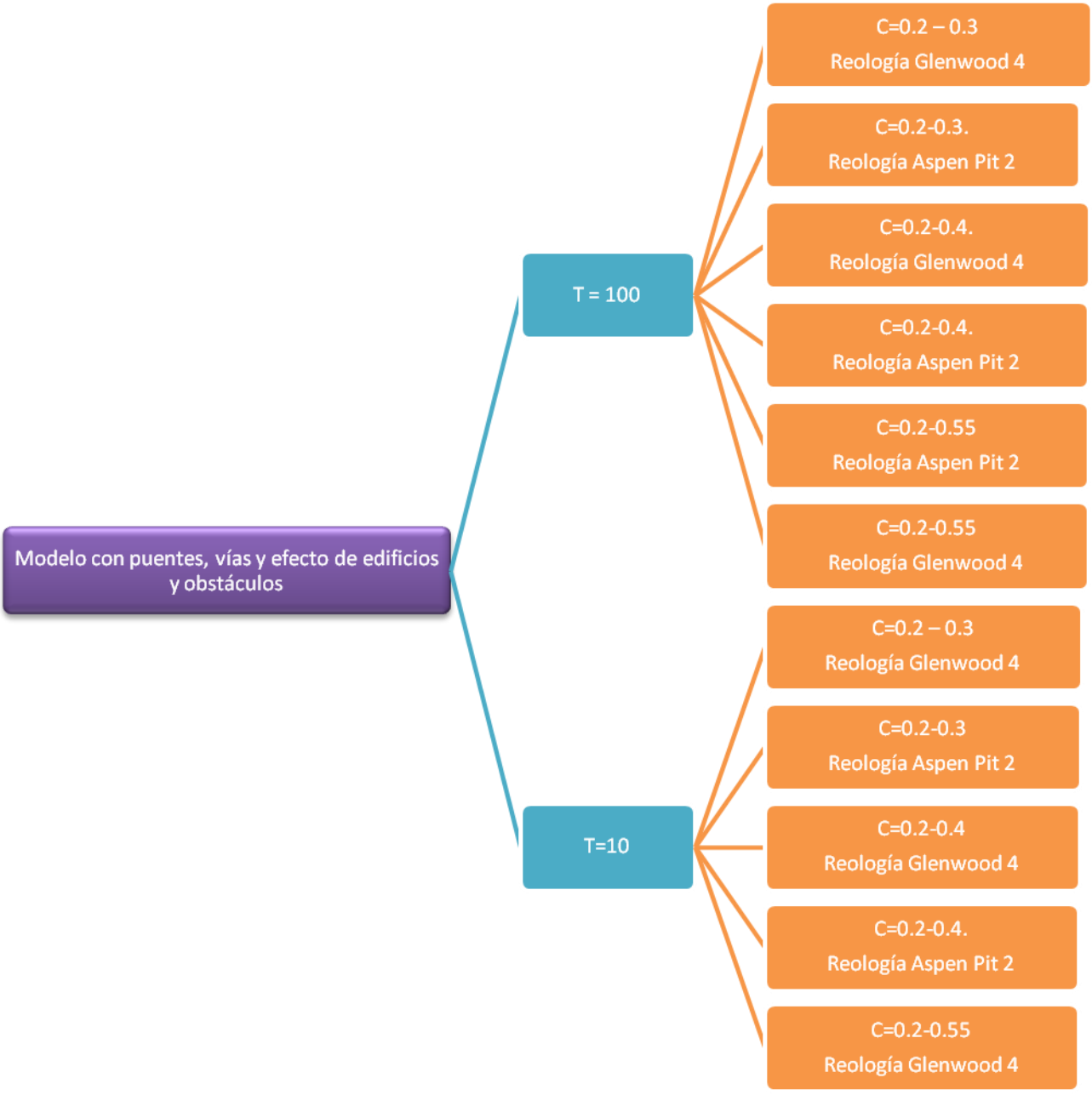


Ilustración 63. Simulaciones planeadas para el análisis de agua y sedimentos

De acuerdo con Rickenmann (1999), para llevar a cabo el análisis de amenaza en un torrente y su abanico aluvial es necesario estimar el volumen potencial de sedimento entre otros factores, para lo cual plantea relaciones empíricas, explicando que la verificación de la validez de los límites de estas relaciones empíricas tiene dificultades principalmente por tres razones: la variabilidad en los materiales puede limitar su aplicabilidad, el numero de observaciones de campo es bastante limitada y la reproducción de flujos de detritos en laboratorio es difícil debido a que las leyes de similitud son más complejas que en el caso de agua clara.

Utilizando las ecuaciones empíricas referenciadas por Sodnik y Miko (2006), se realizó el cálculo de la magnitud del flujo de detritos en la quebrada Limas que se muestra en la Tabla 19.

A (Area)=	17.97	Km^2
S_c(Pendiente promedio del cauce %)	7.45	
S(pendiente promedio del cauce m/m)	0.075	

	Ecuación	Resultado	Ecuación	Resultado
Takei (1986)			$M=13600A^{0.61}$	79222
Kronfellner-Kraus (1984)	$K=1150/e^{0.014A}$	894.18	$M=KAS_c$	119737
D`agostino, Cerato, Coali (1996)			$M=65000A^{1.35}S^{1.7}$	38848
D`agostino, Cerato, Coali (1996)			$M/Vr=2.9S^2$	0.016

Siendo:

M=Magnitud del flujo de detritos m^3

Vr= volumen de escorrentía m^3

Tabla 19. Cálculo de la magnitud del flujo de detritos mediante ecuaciones empíricas

Teniendo en cuenta que los volúmenes de la creciente de 100 y 10 años son respectivamente 401.700 m^3 y 199.100 m^3, las concentraciones variarían en un rango de 0.2 a 0.6 siendo 0.6 un valor sobreestimado debido a que el límite de concentración para que el evento se considere un deslizamiento es 0.55.

Con el fin de estimar un sedimentograma para el flujo, se tuvieron en cuenta las siguientes suposiciones de acuerdo con la metodología sugerida por Grisotto y Cappelleti (N.A.):

1. El flujo se genera por un evento pluviométrico de alta intensidad y breve duración, generalmente, el pico de alta intensidad detona el fenómeno.
2. El cauce dispone de una cantidad limitada de sedimento.
3. El pico del flujo de detritos (Qd), entendido como la suma del caudal líquido y del caudal sólido, viene determinada de la hipótesis de flujo de un caudal de agua clara sobre una masa granular completamente saturada. (Qd) puede estimarse con la fórmula:

$$Q_d = \left(\frac{C_*}{C_* - C_{eq}} \right) Q_l$$

Donde:
Ql= Caudal líquido
C_* = Concentración máxima del material que conforma la masa; en general puede asumirse C_*=0.65
C_{eq}=concentración volumétrica de equilibrio del frente estacionario del flujo en movimiento uniforme; para una pendiente del fondo superior al 35% la concentración C_{eq} puede definirse como:

$$C_{eq} = \alpha C_*$$

Con α aproximadamente igual a 0.9.

4. La última hipótesis es aquella relacionada con iniciar la onda del flujo en correspondencia con el tránsito de un caudal líquido igual al caudal de detonación del flujo de detritos para el sedimento del lecho, este caudal detonante es calculado mediante la fórmula:

$$q_{DI} = \left(\frac{\rho_m}{\rho_s} - 1 \right)^{0.5} g^{0.5} \frac{d_m^{1.5}}{[\tan \theta]^{1.17}}$$

Siendo:
g:aceleración de la gravedad (m/s^2)
dm=diámetro medio de la distribución granulométrica (m)
ρs= densidad del agua (Kg/m^3)
ρm=densidad del material (Kg/m^3)
θ= pendiente de la zona de iniciación (grados)

Utilizando la pendiente del tramo K3+100 al K3+400 que corresponde a la pendiente más alta de la quebrada Limas (cauce principal) y asumiendo un diámetro medio de 20 cm en esta zona se obtuvo un caudal de 5.78 m^3/s (ver Tabla 20). Este caudal determina el primer valor de caudal del flujo de detritos para un valor de C_{eq} de 0.2. Considerando, el tiempo de crecida del flujo de detritos como el intervalo de crecida del hidrograma líquido entre los valores $Ql=Q_{DI}$ (Caudal detonante) y $Q_l=Q_{max}$ (Caudal pico), se asume una variación lineal de la concentración de C_{eqmin} (Concentración mínima) a C_{eqmax} (Concentración máxima). De igual manera se consideró una variación lineal para la fase de decaimiento, hasta alcanzar nuevamente una concentración de 0.2 (considerada la concentración normal).

El procedimiento descrito anteriormente fue aplicado a los tributarios Zanjón Derecho y Trompetica (ver Tabla 20).

CAUCE PRINCIPAL	
g:aceleración de la gravedad (m/s^2)	9.81
dm=diámetro medio de la distribución granulométrica (m)	0.2
ρs= densidad del agua (Kg/m^3)	1000
ρm=densidad del material (Kg/m^3)	2650
θ= pendiente de la zona de iniciación (grados)	13.4
q_{DI} (m^3/s)=	1.93
Ancho de cauce (m)=	3
Caudal total (m^3/s)=	5.78
ZANJÓN DERECHO	
g:aceleración de la gravedad (m/s^2)	9.81
dm=diámetro medio de la distribución granulométrica (m)	0.2
ρs= densidad del agua (Kg/m^3)	1000
ρm=densidad del material (Kg/m^3)	2650
θ= pendiente de la zona de iniciación (grados)	22.41
q_{DI} (m^3/s)=	1.01
Ancho de cauce (m)=	3
Caudal total (m^3/s)=	3.04
TROMPETICA	
g:aceleración de la gravedad (m/s^2)	9.81
dm=diámetro medio de la distribución granulométrica (m)	0.2
ρs= densidad del agua (Kg/m^3)	1000
ρm=densidad del material (Kg/m^3)	2650
θ= pendiente de la zona de iniciación (grados)	37.36
q_{DI} (m^3/s)=	0.49
Ancho de cauce (m)=	3
Caudal total (m^3/s)=	1.48

Tabla 20. Cálculo del caudal detonante para la iniciación de un flujo de detritos

Los hidrogramas y sedimentogramas resultantes para los escenarios con periodo de retorno de 100 y de 10 años se muestran en la Ilustración 64 y en la Ilustración 65 cada elemento de entrada en la malla del modelo.

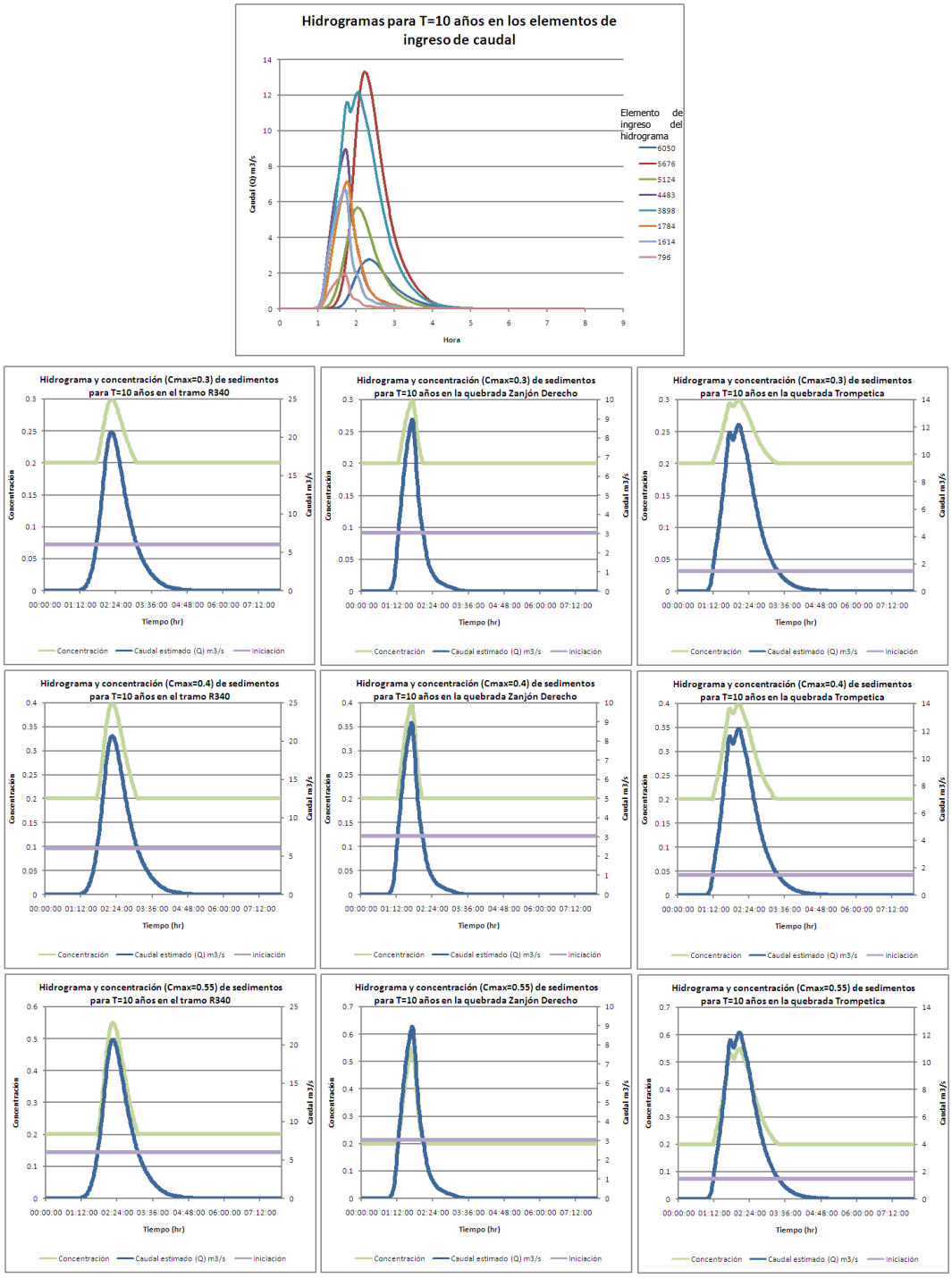


Ilustración 64. Hidrogramas y sedimentogramas para T=10 años

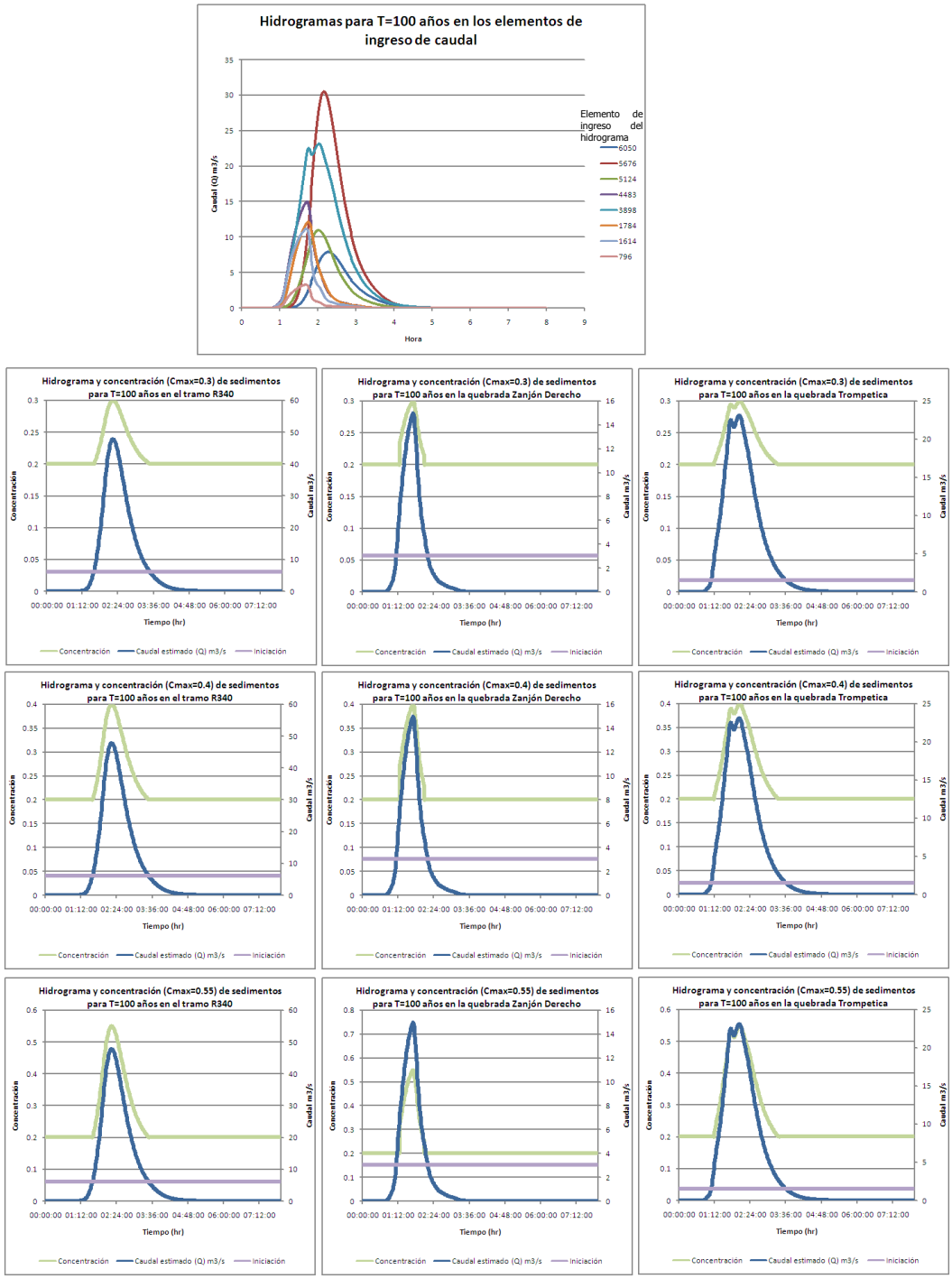


Ilustración 65. Hidrogramas y sedimentogramas para T=100 años

9.2.4 Análisis de los escenarios de amenaza

Como se indicó anteriormente, se tuvieron en cuenta dos periodos de retorno para el análisis con varias concentraciones y parámetros reológicos. Los resultados de las áreas inundadas para los escenarios considerados (ver Ilustración 63) se muestran en la Tabla 21, el valor más alto de área inundada se obtuvo para el escenario en el cual se varía la concentración desde 0.2 a 0.55 con las características reológicas del material Aspenpit, el área más baja corresponde a la simulación sin concentración considerada en el modelo en el cual se incluyeron las vías.

El área inundada para el escenario de T=10 años en el modelo simplificado corresponde a 317.250 m^2, sus correspondiente clasificación de intensidad se muestra en la Ilustración 67, en la cual se observa la presencia de zonas que corresponderían a la amenaza alta que se encuentran aisladas en la zona baja de la quebrada y cuya mayor área corresponde a la zona comprendida entre la Avenida Villavicencio y la calle 64 S aproximadamente. Al comparar este escenario con el que se obtuvo para el modelo incluyendo las vías en la zona inundable se observan algunas diferencias en el tamaño de las zonas de amenaza alta por lo cual se recomienda el uso del modelo con las vías, debido a que existe control de las vías en los patrones de inundación, siendo el área inundada para este modelo 310.050 m^2, es decir, 7200 m^2 menor a la calculada con el modelo simplificado.

Al observar los resultados del modelo que incluye las vías y los factores ARF y AWF con el modelo simplificado se pueden identificar ligeras variaciones que extienden la zona inundable hacia el oriente y el norte y una ampliación de las zonas de amenaza alta.

Al incorporar al modelo una concentración (bulk concentration) de 0.2 se observa que las áreas de inundación son muy similares, variando solo en una porción adicional que se inunda en la zona norte del área abordada. Sin embargo, en lo que se refiere a la zona de amenaza alta si se observa una diferencia importante debido a que este escenario indica en zona de amenaza alta toda la trayectoria principal del flujo. El aumentar la concentración de sedimentos a 0.4 produce dos cambios en el área inundada: el primero corresponde a una porción adicional en la zona sur del área de inundación, debido a que se producen desbordes adicionales localizados más aguas arriba que los que se presentan cuando se considera una concentración de 0.2 o menos; el segundo cambio es la generación de un área inundada adicional en la sección norte de la planicie de inundación (ver imágenes en la Tabla 22). En cuanto al área de amenaza alta utilizando la concentración de 0.4, ésta es muy similar a la obtenida con la concentración de 0.2 diferenciándose aún mejor la trayectoria de flujo que ocurre durante el desborde. Para las concentraciones de 0.2 y 0.4 se obtienen profundidades de flujo máximas del orden de 3.02 y 3.42 metros respectivamente mientras que para el escenario de T=10 años en condiciones simplificadas la profundidad máxima del flujo corresponde a 2.86 metros.

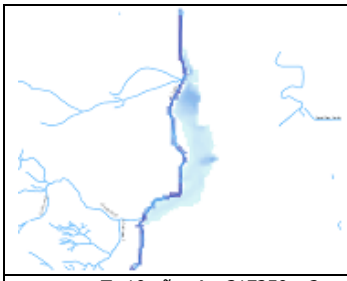
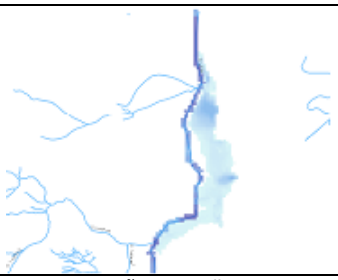
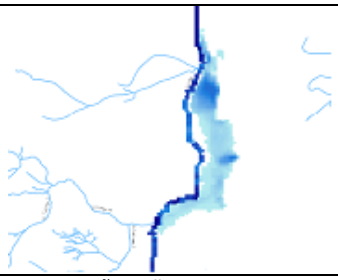
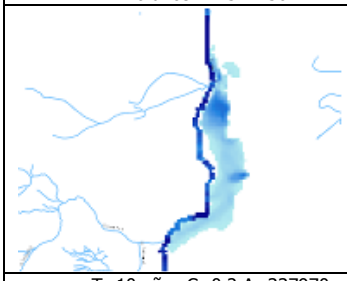
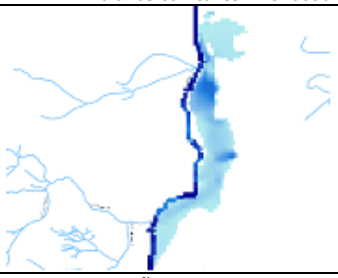
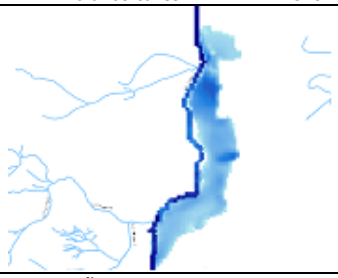
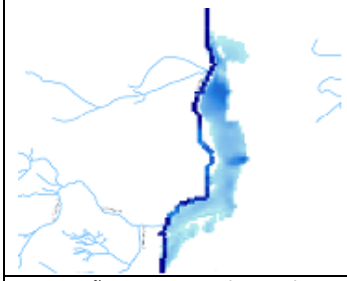
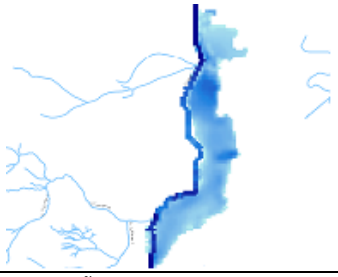
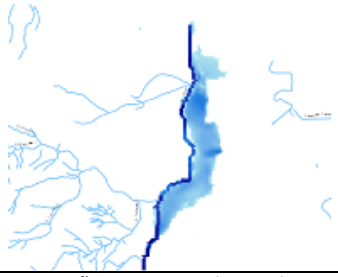
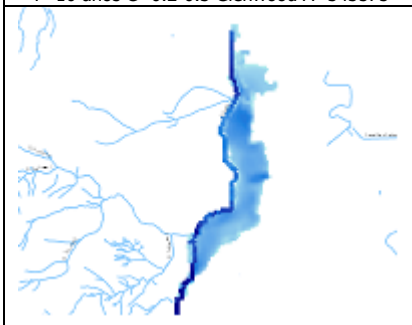
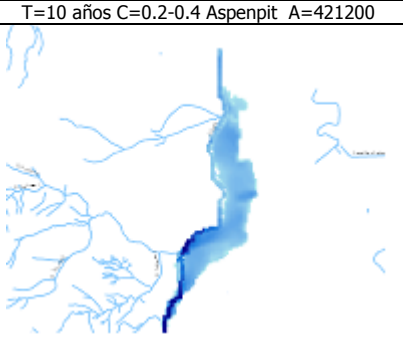
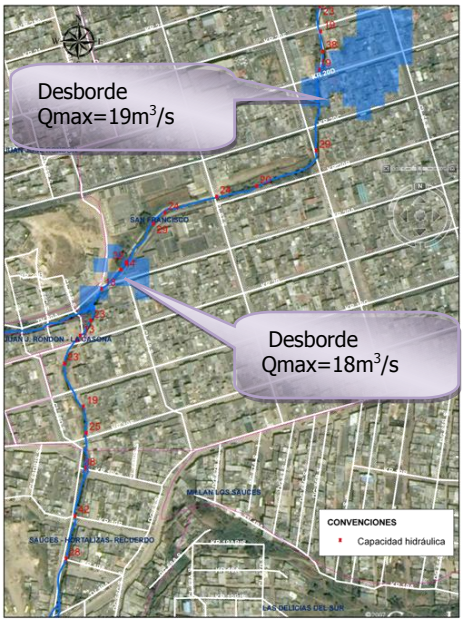
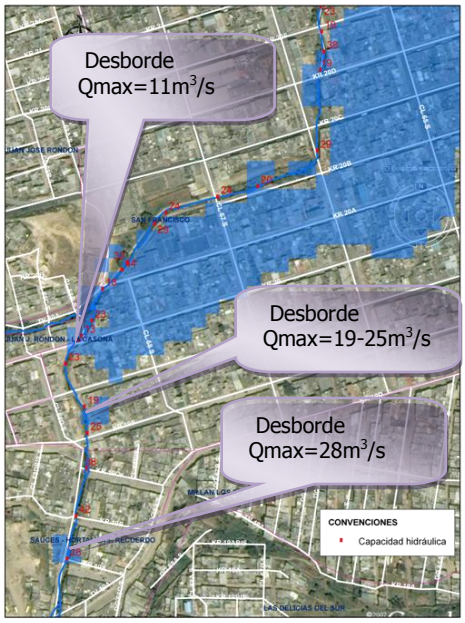
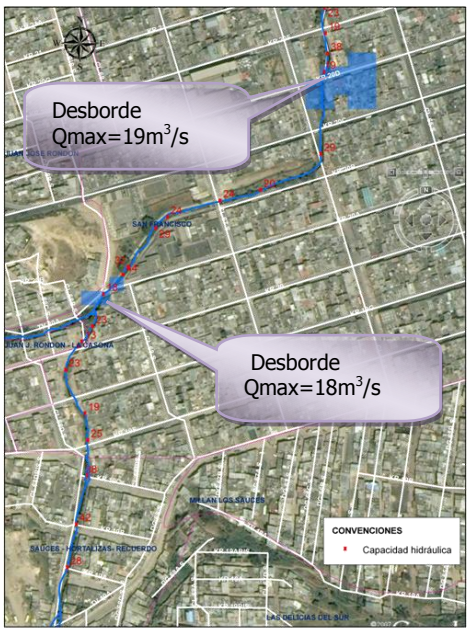
		
T=10 años A= 317250 m2	T=10 años con calles A=310050	T=10 años calles ARF WRF A=323775
		
T=10 años C=0.2 A=337970	T=10 años C=0.4 A=406575	T=10 años C=0.2-0.3 Aspenpit A=385200
		
T=10 años C=0.2-0.3 Glenwood A=343575	T=10 años C=0.2-0.4 Aspenpit A=421200	T=10 años C=0.2-0.4 Glenwood A=410175
		
T=10 C=0.2-0.55 Aspenpit A=462825	T=10 C=0.2-0.55 Glenwood A=434025	

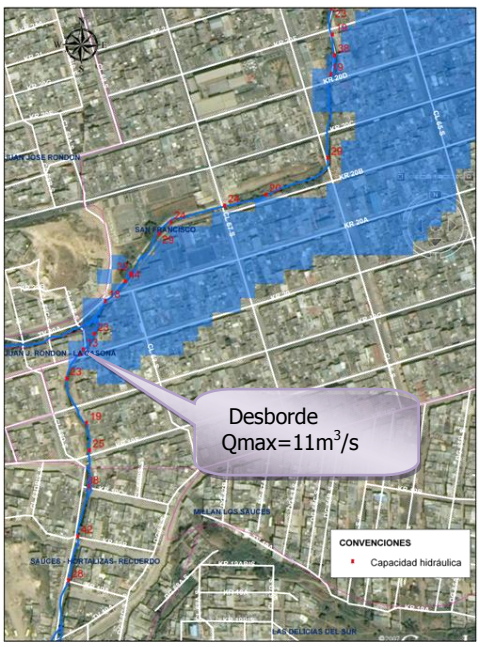
Tabla 21. Áreas inundadas para los escenarios planteados para el periodo de retorno de 10 años.





Patrones de desborde para T=10 años con una concentración de 0.4





Patrones de desborde para T=10 con el modelo simplificado

Tabla 22. Patrones de desborde para T=10 con modelo simplificado y con C=0.4

Al considerar un escenario con el modelo conceptual de mantener una concentración constante de 0.2 hasta que se cruza el umbral de generación de un flujo de detritos alcanzando una concentración pico de 0.3, para el caso de una reología tipo Aspenpit, el área inundada total es similar a la obtenida aplicando una concentración constante de 0.4, las diferencias radican en un aumento en las áreas en la zona sur de la planicie de inundación y una reducción del área inundada en la zona norte, para este escenario la zona de amenaza alta corresponde a la trayectoria principal de flujo identificada en las otras simulaciones y se empieza a mostrar una zona de amenaza alta localizada en torno a un punto más aguas arriba que en el escenario simplificado debido a la variación en los patrones de desbordamiento. Al utilizar la reología Glenwood 4 las áreas de amenaza alta son más reducidas y no constituyen un área continua siendo el área inundada muy similar a la obtenida con la reología Aspenpit, para ésta ultima las profundidades alcanzan 4.29 metros mientras que para la reología Glenwood las profundidades son del orden de 3.78. Cuando se considera un escenario en el cual la concentración alcanza hasta 0.4 para las dos reologías consideradas, se observan patrones muy similares, obteniéndose un escenario más crítico con la reología Glenwood 4 y profundidades de hasta 6.83 metros. Estas profundidades parecen un poco exageradas para las condiciones que se han registrado en los eventos anteriores, en los cuales por información de los periódicos (ver Anexo A) la inundación alcanzó los techos de algunas viviendas, sin embargo la zona de amenaza alta no muestra una ampliación exagerada con respecto a los otros escenarios y por el contrario parece consistente con la trayectoria que sigue el flujo y los puntos de desborde. Es por esto, que este escenario fue el escogido para delimitar la zona de amenaza alta utilizando la reología de Glenwood 4, además de que la concentración está en el límite máximo que podría ser esperado en la cuenca y las condiciones utilizadas son consistentes con la conceptualización teórica de ocurrencia de un flujo de detritos. Esta reología es la recomendada por O´Brien (2006) para representar un flujo de lodos viscoso cuyas variables resultan en alta viscosidad y esfuerzos cortantes moderados para concentraciones altas.

Con el fin de considerar una concentración más alta que la posible esperada y evaluar la sensibilidad de los resultados, se incrementó la concentración pico hasta 0.55 (límite superior de un flujo de lodos, cercano a las condiciones de un deslizamiento) lo cual mostró áreas de inundación cercanas a las obtenidas en los escenarios con concentraciones menores pero con áreas de amenaza un poco mayores en especial para el caso de la reología Glenwood 4 en donde la mayoría del área inundada está en amenaza alta.

El análisis de las áreas inundadas obtenidas para cada escenario para el periodo de retorno de 10 años puede observarse en la Ilustración 66, en la cual la quebrada Limas se muestra dividida en cuatro tramos. De aguas arriba hacia aguas abajo, existe inicialmente un tramo de alta pendiente de la quebrada, en el cual la sensibilidad ante un cambio tanto en concentración como en parámetros reológicos es mínima o nula, en esta zona solo se destaca el punto de confluencia con el Zanjón derecho en donde el aumento de concentración del flujo implica un ligero aumento del área inundada, posteriormente se identificó una zona correspondiente a la porción inicial del cono aluvial desde su ápice hasta aproximadamente 140 metros aguas abajo de la confluencia con la quebrada Trompetica, en esta zona se presenta una sensibilidad importante ante cambios en la concentración debido a que al aumentar este parámetro (C>0.2) se producen desbordes localizados en inmediaciones del ápice del cono ampliando la zona inundada, para las mismas condiciones de concentración los parámetros reológicos no producen variación importante en el área inundada.

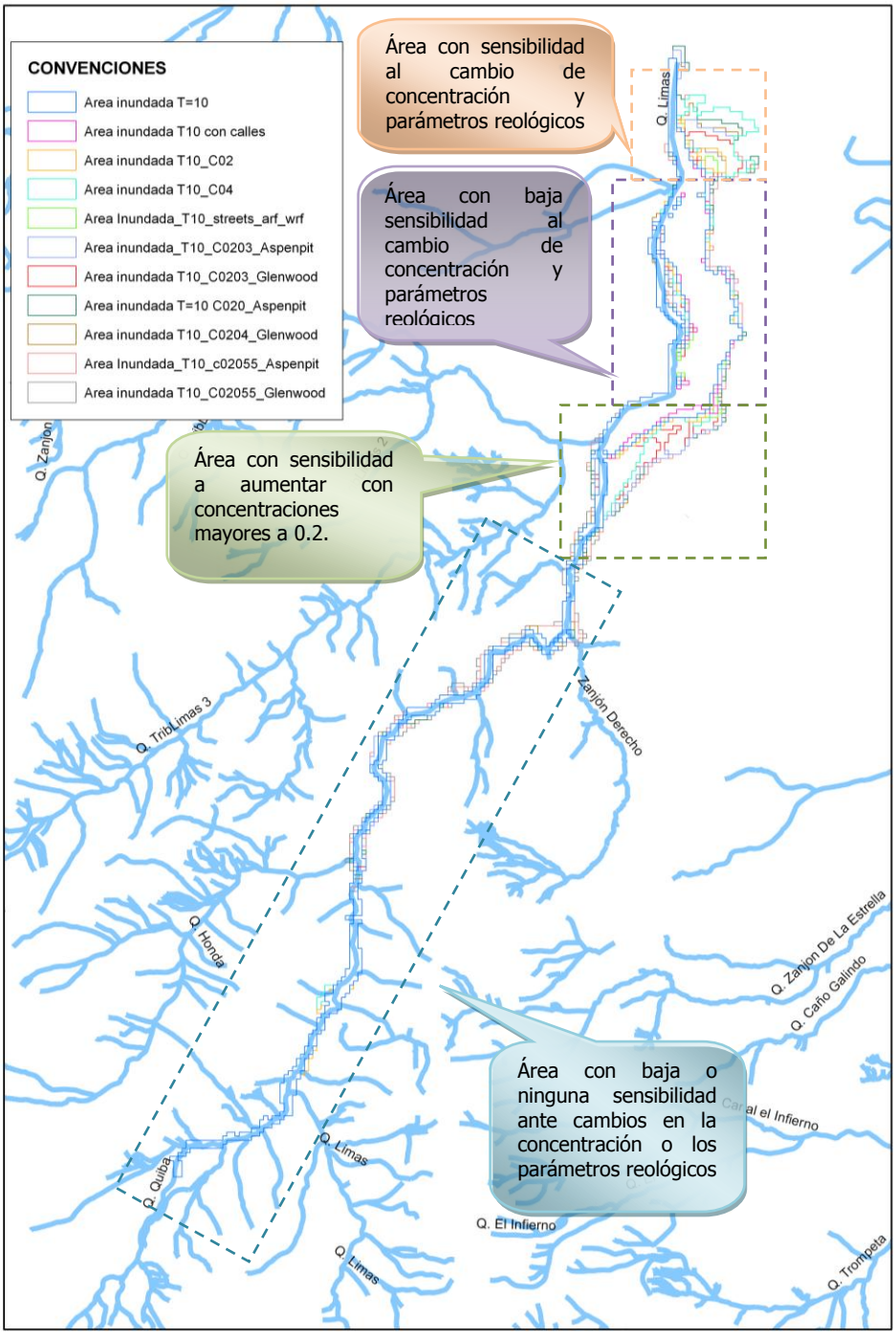


Ilustración 66. Áreas inundadas obtenidas para todos los escenarios de T=10 años

Aguas abajo de esta zona se presenta un área de muy baja sensibilidad a los cambios tanto de concentración como de parámetros reológicos, esto debido a que geomorfológicamente está marcada claramente una zona baja con pendiente importante confinada por una terraza (ver sección 9.1.3).

Finalmente, la zona del extremo aguas abajo, es una zona que muestra sensibilidad ante los cambios de concentración y parámetros reológicos, a medida que aumenta la concentración el área inundada es mayor, para concentraciones iguales la variabilidad encontrada al cambiar los parámetros reológicos es pequeña con excepción del escenario en donde la concentración aumenta hasta 0.55 en donde la reología Aspen pit 2 muestra un área inundada mayor.

En cuanto a los patrones de velocidad, una vez se introducen las calles en el modelo, se presentan variaciones en los patrones de velocidad en las zonas con vías, disminuyendo levemente el máximo obtenido y mostrando una reducción en las velocidades especialmente en la trayectoria generada por el punto de desborde localizado aguas arriba de la confluencia con la quebrada Trompetica, al introducir los factores ARF y WRF se presenta un leve incremento de la máxima velocidad obtenida en la zona de desborde, manteniendo patrones muy similares al caso de la simulación con el periodo de retorno de 10 años con calles. A medida que se incrementa la concentración se produce un aumento de la velocidad cuando no se incluyen parámetros reológicos en la simulación (simulación con agua clara). Al incluir los parámetros reológicos correspondientes al material Aspen Pit 2 para la concentración con valor pico de 0.3, las velocidades disminuyen al compararlas con los escenarios que no contemplan los parámetros reológicos, a medida que la concentración aumenta para esta reología también se presenta un aumento en las velocidades. Para la reología Glenwood 4 las velocidades aumentan para un pico de concentración de 0.3 y posteriormente disminuyen para concentraciones pico de 0.4 aumentando nuevamente para concentraciones de 0.55. Los valores de velocidad obtenidos con el material con reología Glenwood 4 en todos los casos son mayores que las obtenidas para el material Aspen pit 2. Es importante mencionar que las velocidades más altas están concentradas en zonas plenamente identificables sin importar la reología o la concentración, localizadas primordialmente en las zonas aledañas a los puntos de desborde y a lo largo de la trayectoria principal del flujo que corresponden a las zonas de amenaza alta definidas para el escenario de con periodo de retorno de 10 años. La distribución espacial de la velocidad se muestra en la Tabla 23.

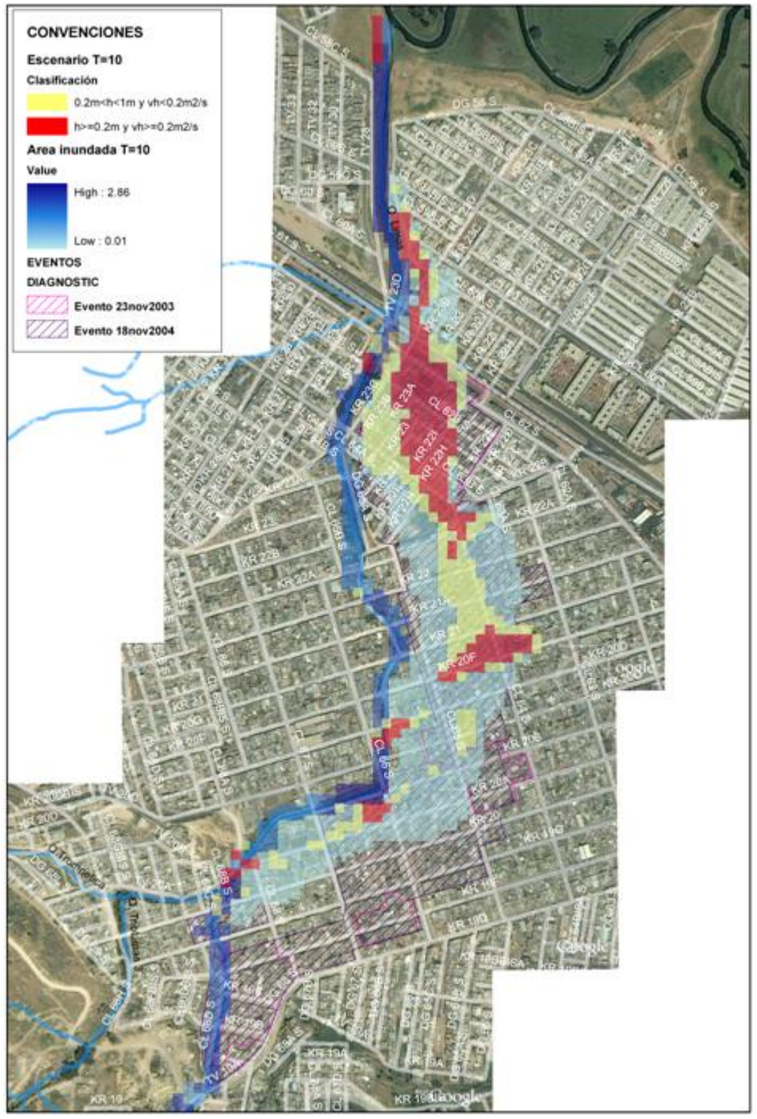


Ilustración 67. Escenario de T=10 años

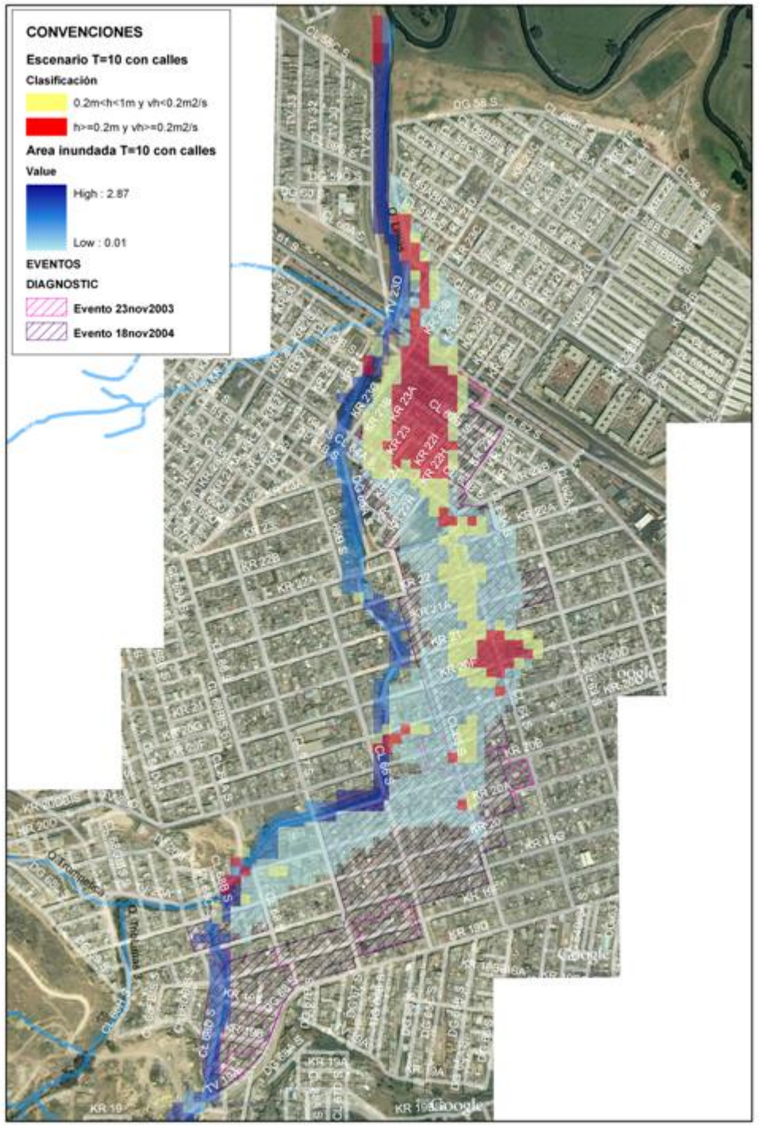


Ilustración 68. Escenario de T=100 años con calles

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

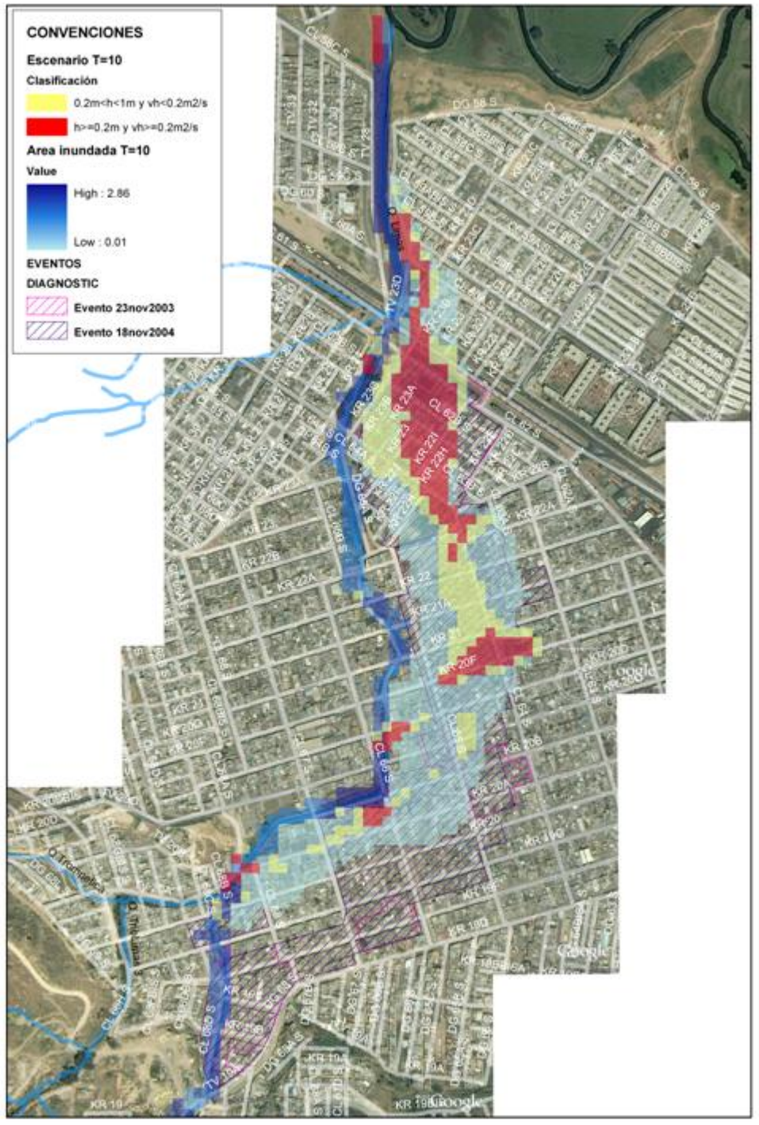


Ilustración 69. Escenario de T=10 años

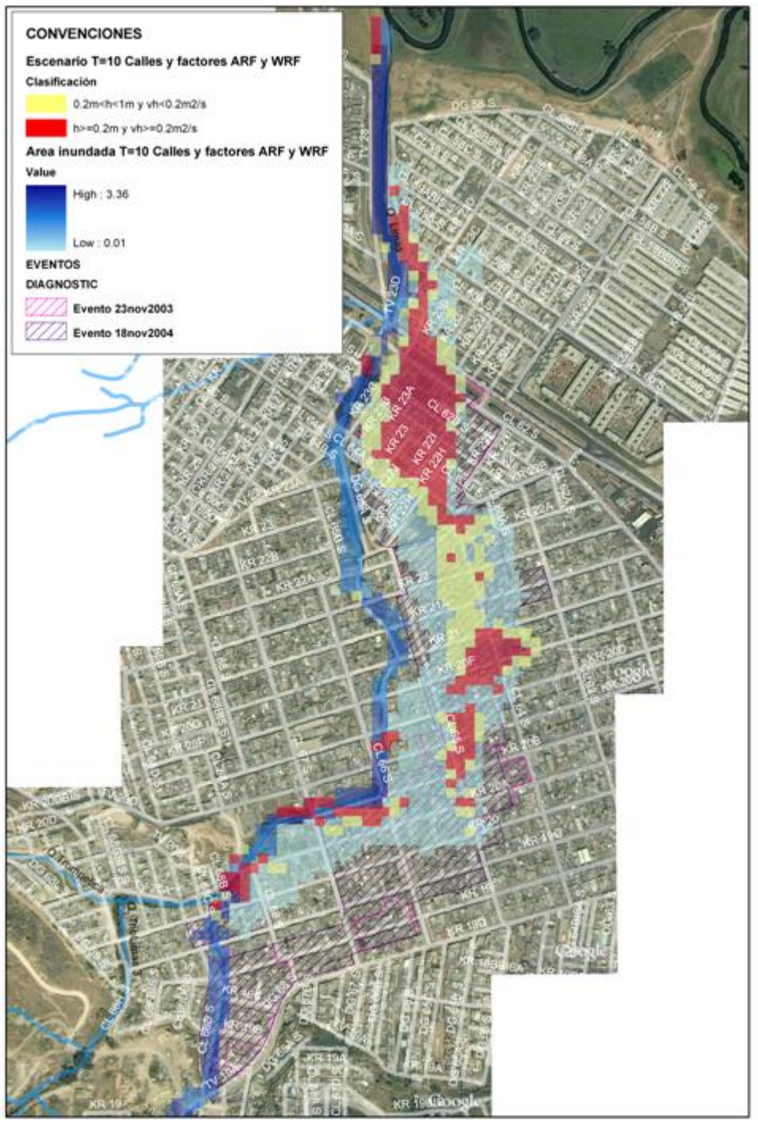


Ilustración 70. Escenario de T=10 años con calles y factores ARF y AWF

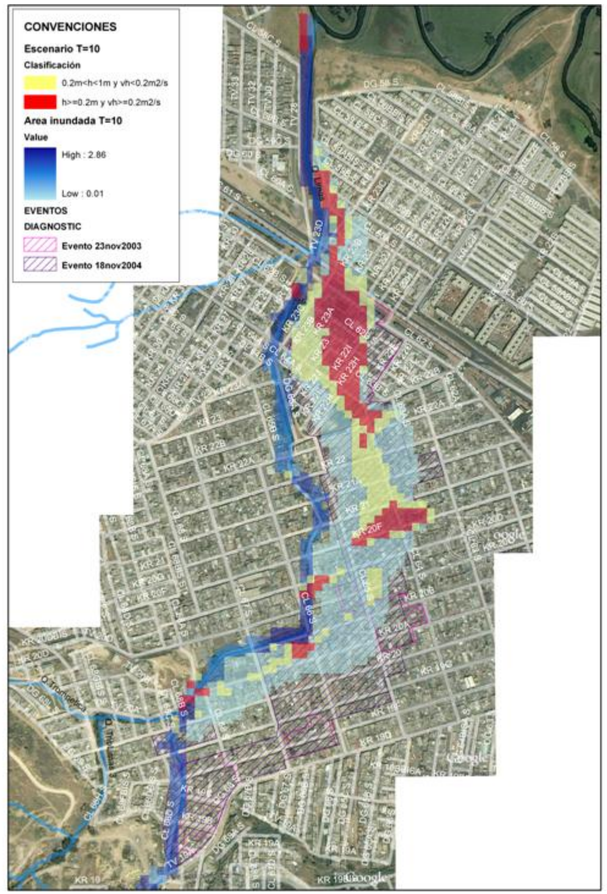


Ilustración 71. Escenario de T=10 años

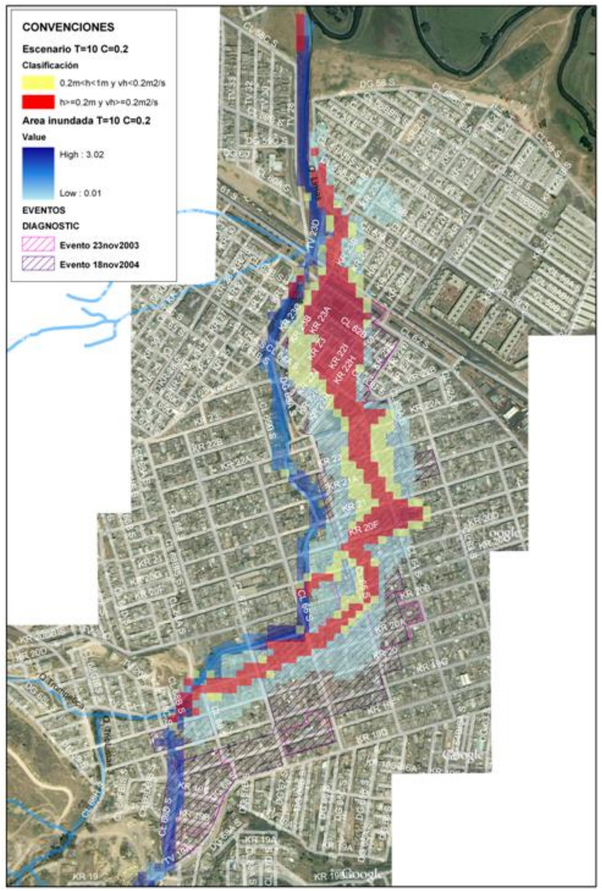


Ilustración 72. Escenario de T=10 años C=0.2

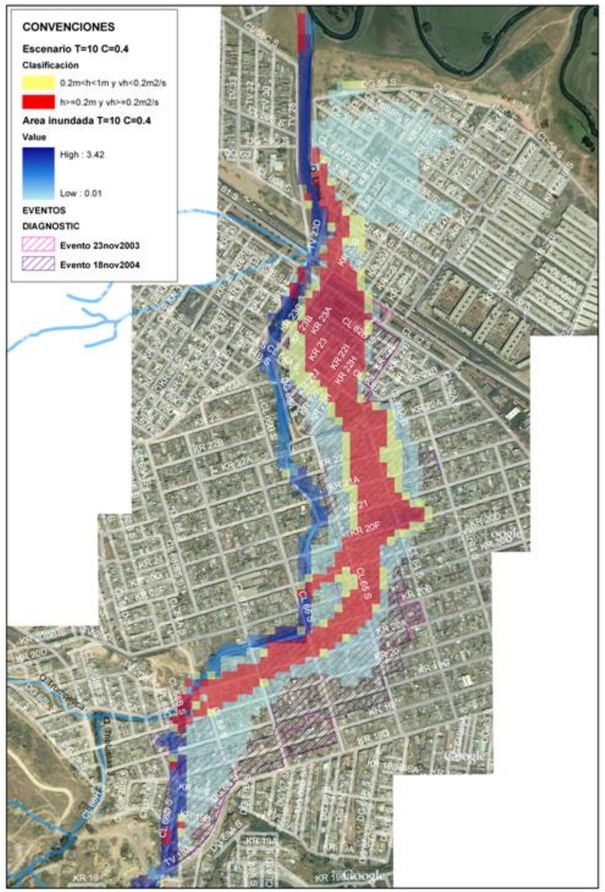


Ilustración 73. Escenario de T=10 años C=0.4

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

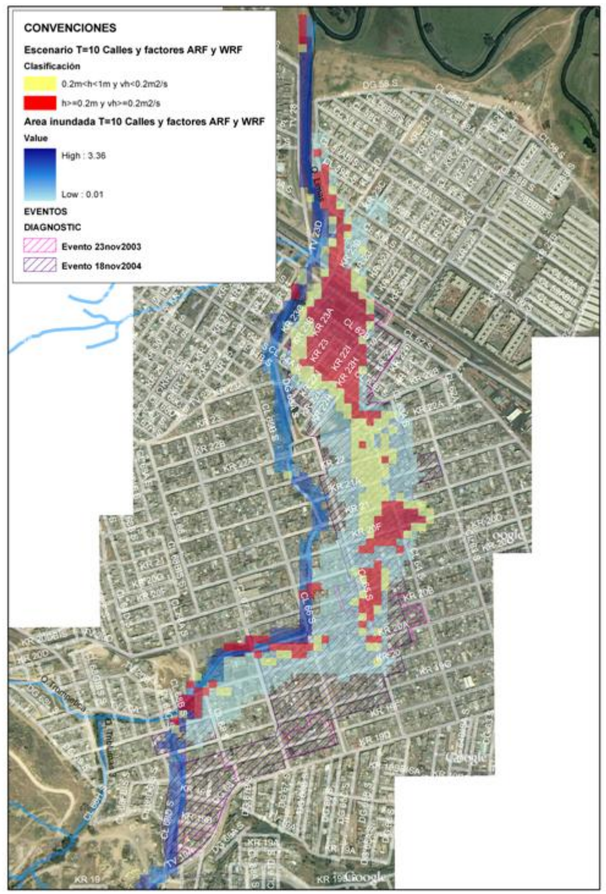


Ilustración 74. Escenario de T=10 años con calles y factores ARF y AWF

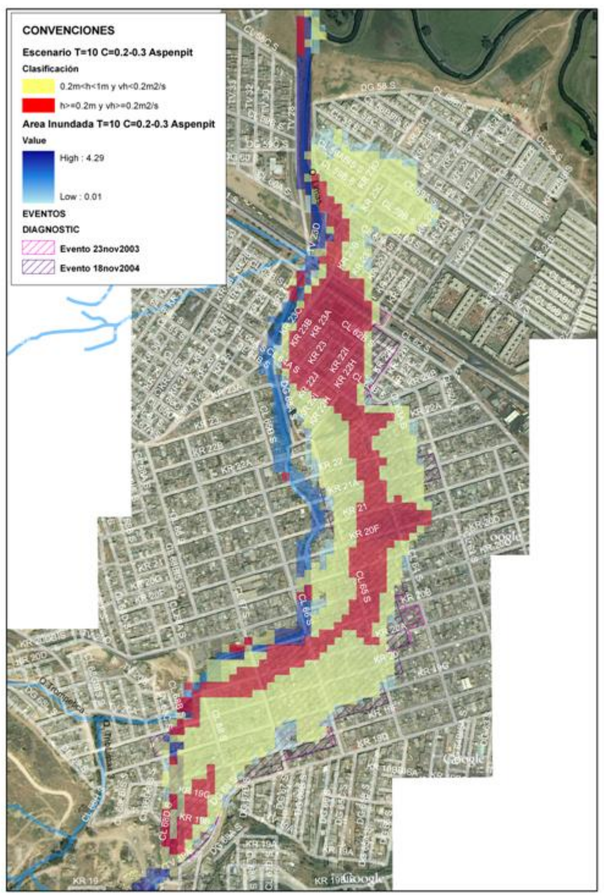


Ilustración 75. Escenario de T=10 años C=0.2-0.3 Aspenpit

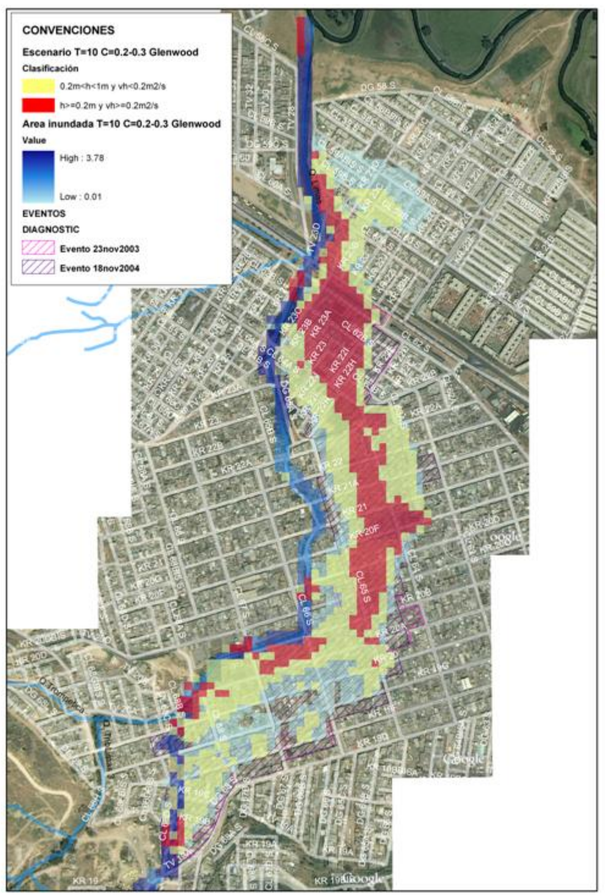


Ilustración 76. Escenario de T=10 años C=0.2-0.3 Glenwood

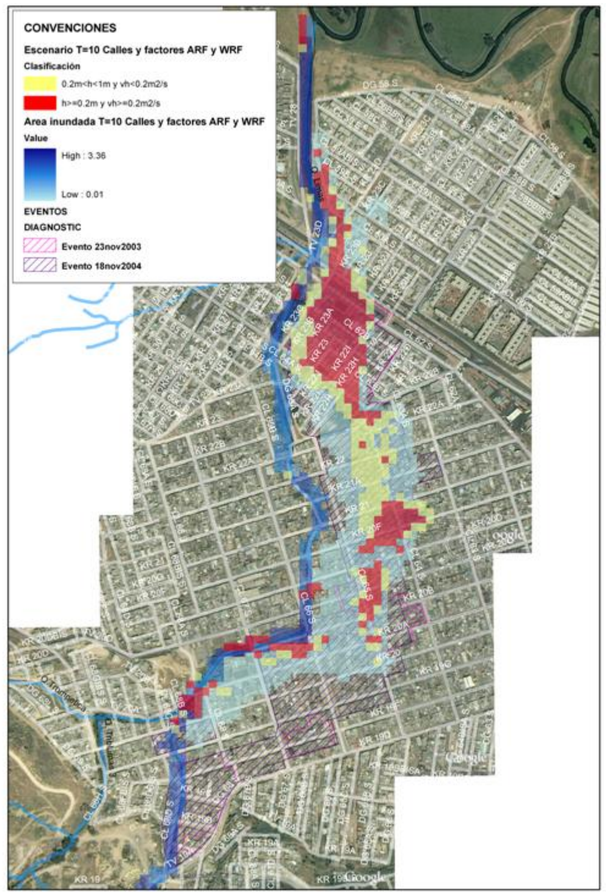


Ilustración 77. Escenario de T=10 años con calles y factores ARF y AWF

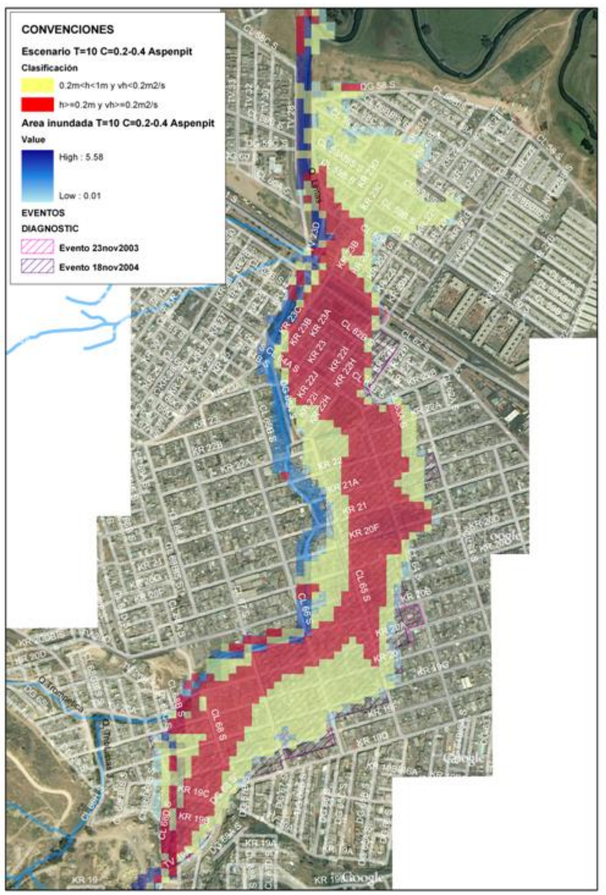


Ilustración 78. Escenario de T=10 años C=0.2-0.4 Aspenpit

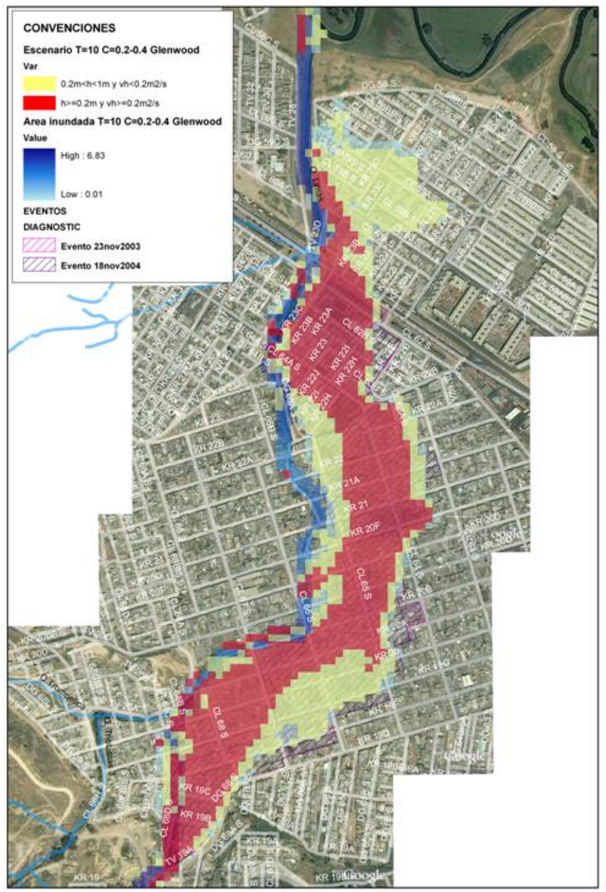


Ilustración 79. Escenario de T=10 años C=0.2-0.4 Glenwood

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

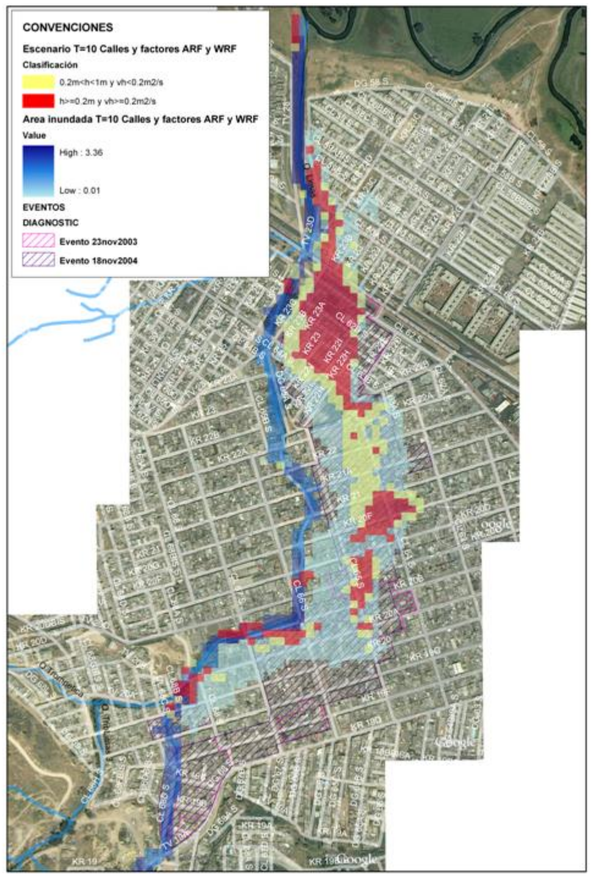


Ilustración 80. Escenario de T=10 años con calles y factores ARF y AWF

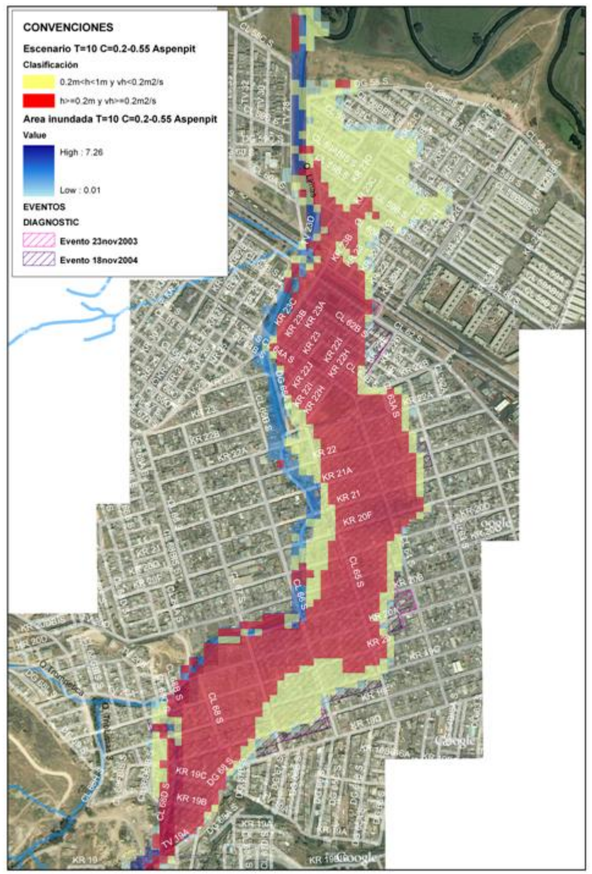


Ilustración 81. Escenario de T=10 años C=0.2-0.55 Aspenpit

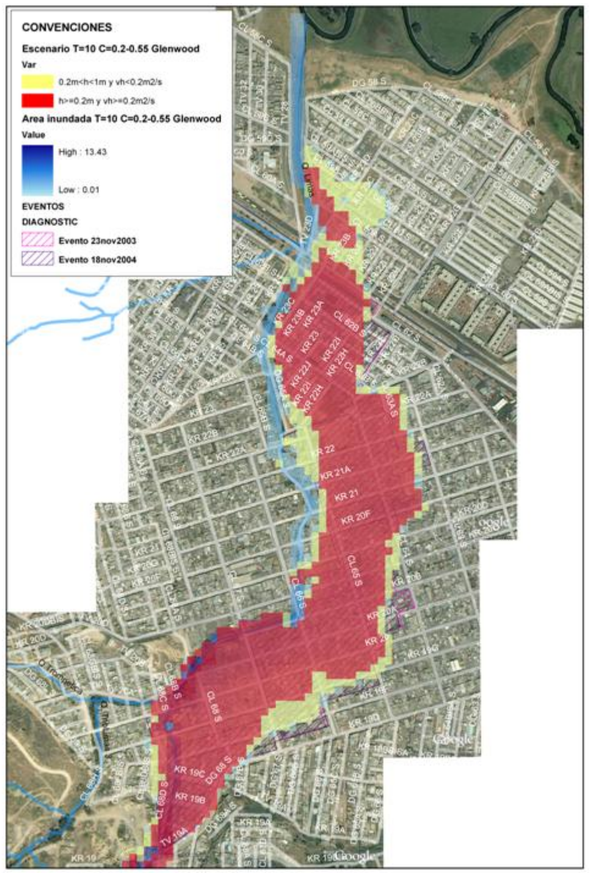


Ilustración 82. Escenario de T=10 años C=0.2-0.55 Glenwood

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

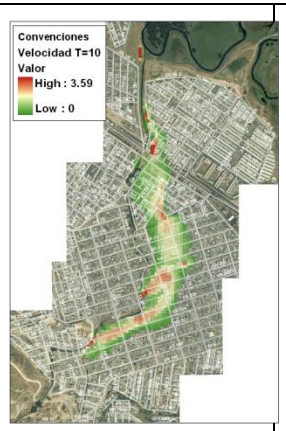
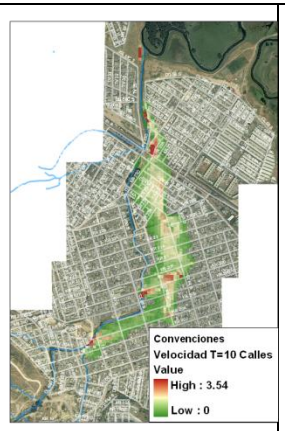
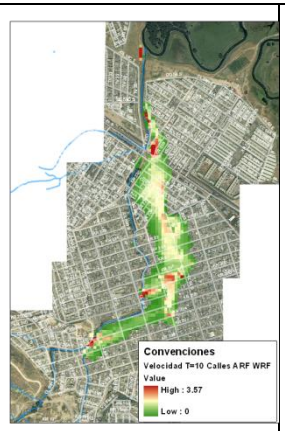
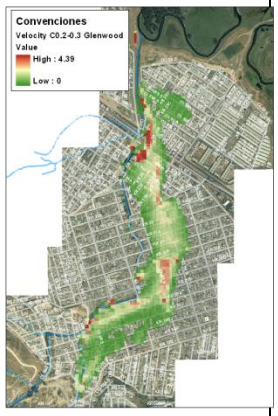
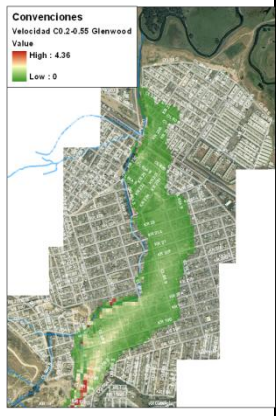
					
T=10 años	T=10 años con calles	T=10 años calles ARF WRF	T=10 años C=0.2	T=10 años C=0.4	T=10 años C=0.2-0.3
					
T=10 años C=0.2-0.3 Glenwood	T=10 años C=0.2-0.4 Aspenpit	T=10 años C=0.2-0.4 Glenwood	T=10 C=0.2-0.55 Aspenpit	T=10 C=0.2-0.55 Glenwood	

Tabla 23. Velocidades obtenidas para los escenarios con periodo de retorno de 10 años

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

Para los escenarios con periodo de retorno de 100 años, el incluir calles en el modelo simplificado conduce a cambios ligeros en los patrones de amenaza mostrando áreas más angostas para las zonas de mayor intensidad y ampliando la zona inundada en la porción sur del área de inundación. Esta ampliación del área inundada en la porción sur se considera importante, debido a que los registros de los eventos anteriores muestran que esta área ha sido afectada de manera importante. Al incluir calles y factores ARF y WRF se producen cambios en los patrones de amenaza concentrando el flujo en las vías y ampliando las zonas de intensidad intermedia. Los cambios en la concentración asumiendo características de agua clara generan cambios en los patrones de amenaza, ya que la intensidad aumenta a lo largo de la trayectoria de flujo; para el caso de una concentración de 0.2 se observa con intensidad media la trayectoria principal del flujo, una ligera ampliación de las zonas de intensidad más alta y la parición de zonas de intensidad baja en la porción norte de la zona inundada, lo mismo ocurre para la concentración de 0.4 en donde la zona inundada se extiende hasta el río Tunjuelo, aparece una zona de intensidad alta más marcada en el centro de la trayectoria principal de flujo y se amplían las zonas de baja intensidad en la porción norte de la zona inundada e incluso aparecen zonas de intensidad alta localizadas cerca al río Tunjuelo. A medida que aumenta la concentración aumenta de manera considerable la profundidad.

Al incluir los parámetros reológicos en la simulación se produce un incremento en la intensidad del fenómeno. Los escenarios obtenidos con la reología correspondiente a Aspenpit 2 muestran áreas mayores con intensidades altas para todas las condiciones de concentración que los escenarios obtenidos con la reología Glenwood 4. Es importante mencionar que para las dos reologías a medida que se incrementa el pico de concentración de sedimentos, prácticamente se pierde una clasificación de intensidad tendiendo a mostrar zonas de intensidad alta y baja exclusivamente, disminuyendo progresivamente la zona de intensidad media. A medida que se aumenta la concentración aumentan de manera considerable las profundidades de flujo, obteniendo valores que parecen ser exagerados como en el caso de las concentraciones con pico de 0.55.

Para la determinación de la zonificación de amenaza se considera que la concentración pico de 0.4 es adecuada y consistente con la utilizada para el periodo de retorno de 10 años. En este caso se considera que es más apropiado utilizar la clasificación obtenida con la reología Glenwood 4 debido a que se obtiene una mayor área en zona de amenaza media y a que en la zona de intensidad media se localiza la zona en la cual se presentaron víctimas durante la avenida torrencial del año 2003 que de otra manera sería clasificada en zona de amenaza baja, lo cual no es consistente.

En cuando al área inundada, en la Tabla 24 se muestran las áreas que resultan inundadas para cada escenario. La mayor área corresponde al escenario con concentración pico de 0.55 y reología de Aspenpit 2. Vale la pena mencionar que las áreas inundadas no varían de manera considerable y que la mayor sensibilidad a cambios en la concentración y características reológicas se presenta en la zona norte de la quebrada en el área de la entrega al río Tunjuelo, como se muestra en la Ilustración 83. Los resultados del área inundada para los diversos escenarios también muestran un cambio con respecto al escenario de periodo de retorno de 10 años en la zona aguas abajo del ápice del cono aluvial, donde ya no hay sensibilidad importante ante cambios en la concentración o los parámetros reológicos.

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

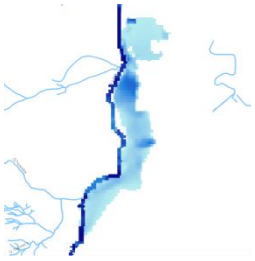
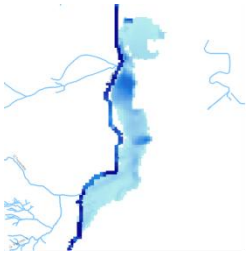
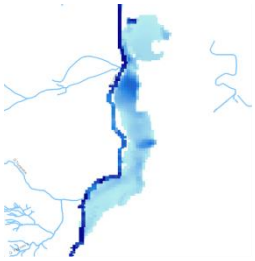
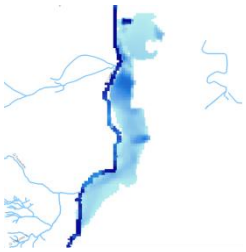
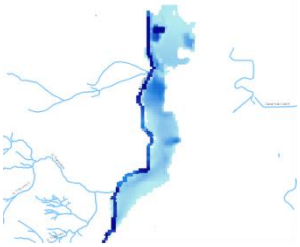
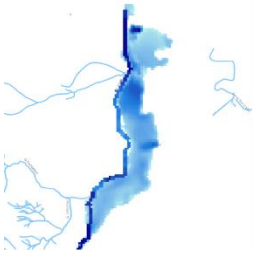
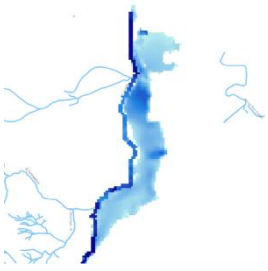
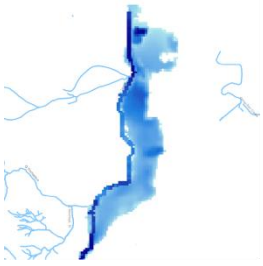
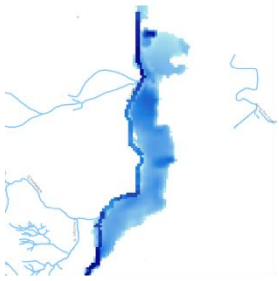
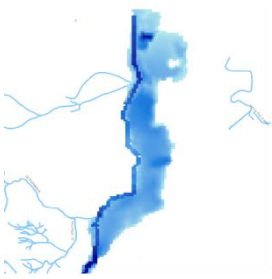
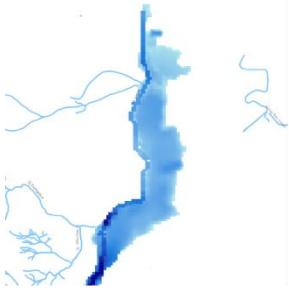
		
T=100 años A= 444750 m2	T=100 años con calles A=461250	T=100 años calles ARF WRF A=466425
		
T=100 años C=0.2 A=474975	T=100 años C=0.4 A=533925	T=100 años C=0.2-0.3 Aspenpit A=449900
		
T=100 años C=0.2-0.3 Glenwood A=418050	T=100 años C=0.2-0.4 Aspenpit A=505800	T=100 años C=0.2-0.4 Glenwood A=492300
		
T=100 C=0.2-0.55 Aspenpit A=587025	T=100 C=0.2-0.55 Glenwood A=535255	

Tabla 24. Áreas inundadas para los escenarios planteados para el periodo de retorno de 100 años.

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

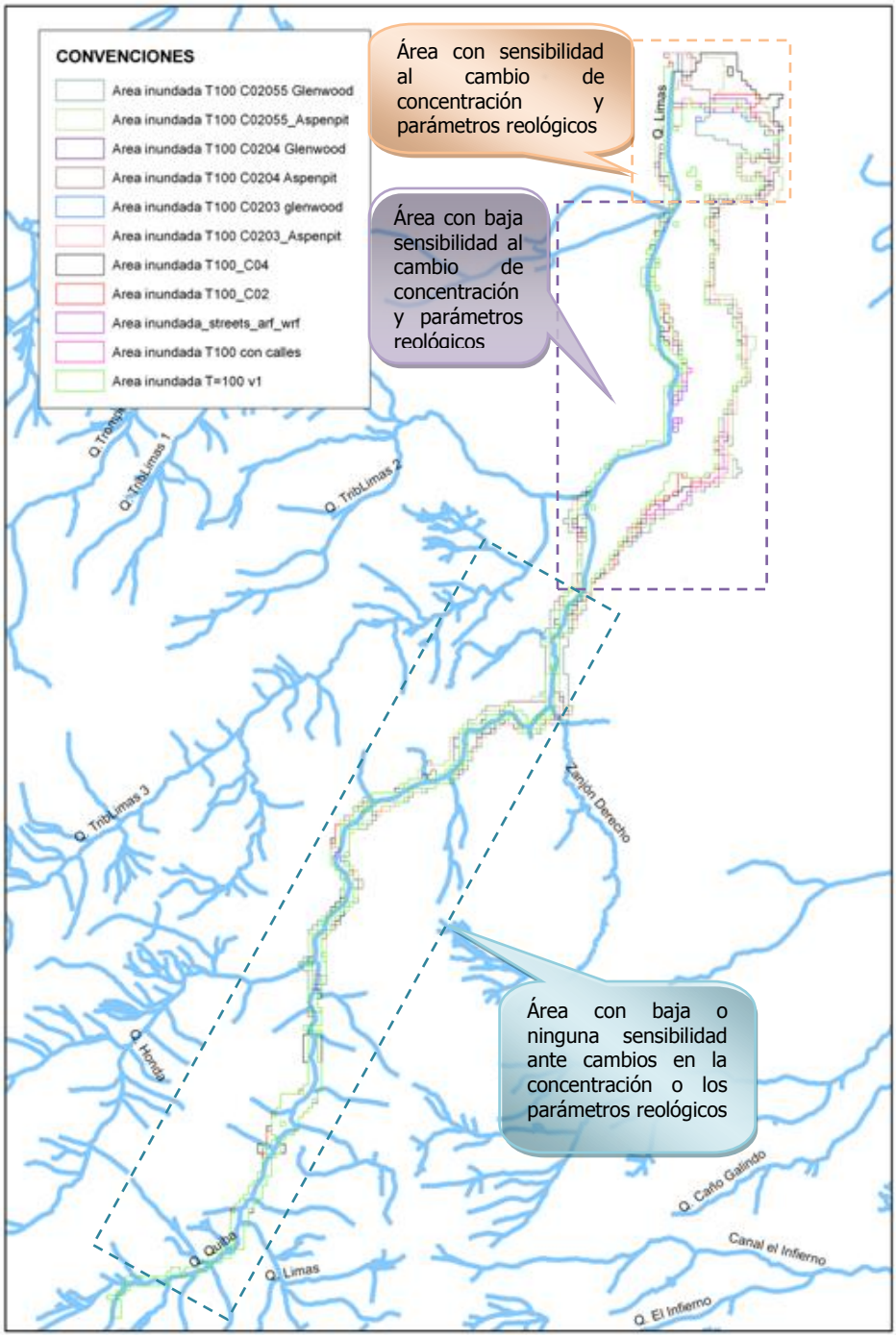


Ilustración 83. Áreas inundadas obtenidas para todos los escenarios de T=100 años

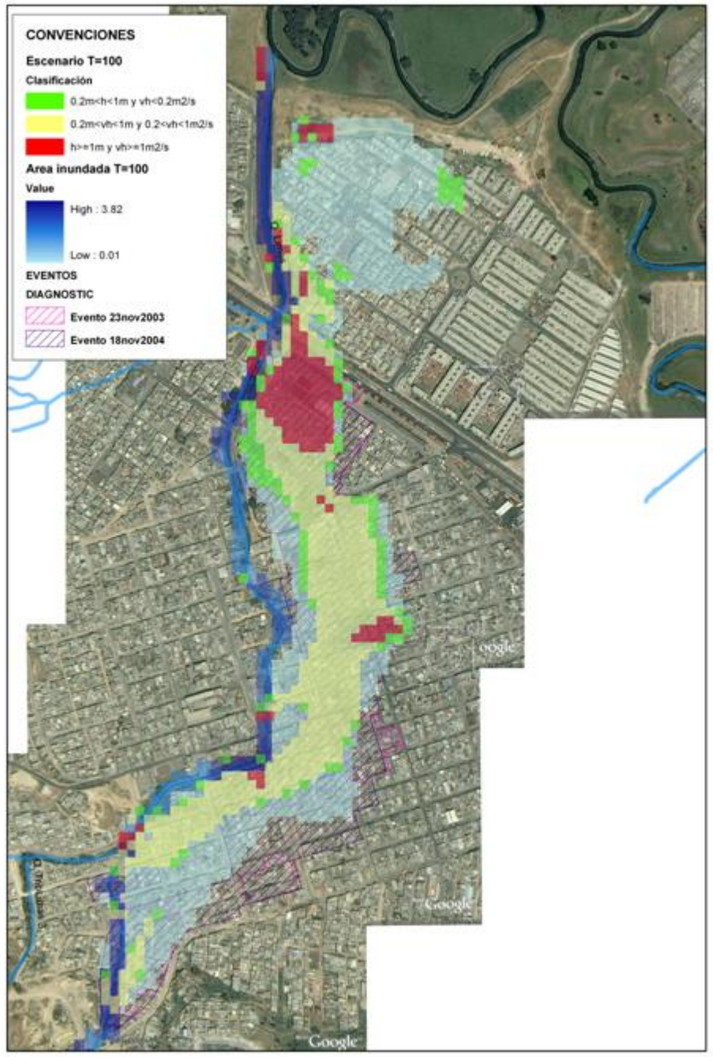


Ilustración 84. Escenario de T=100 años

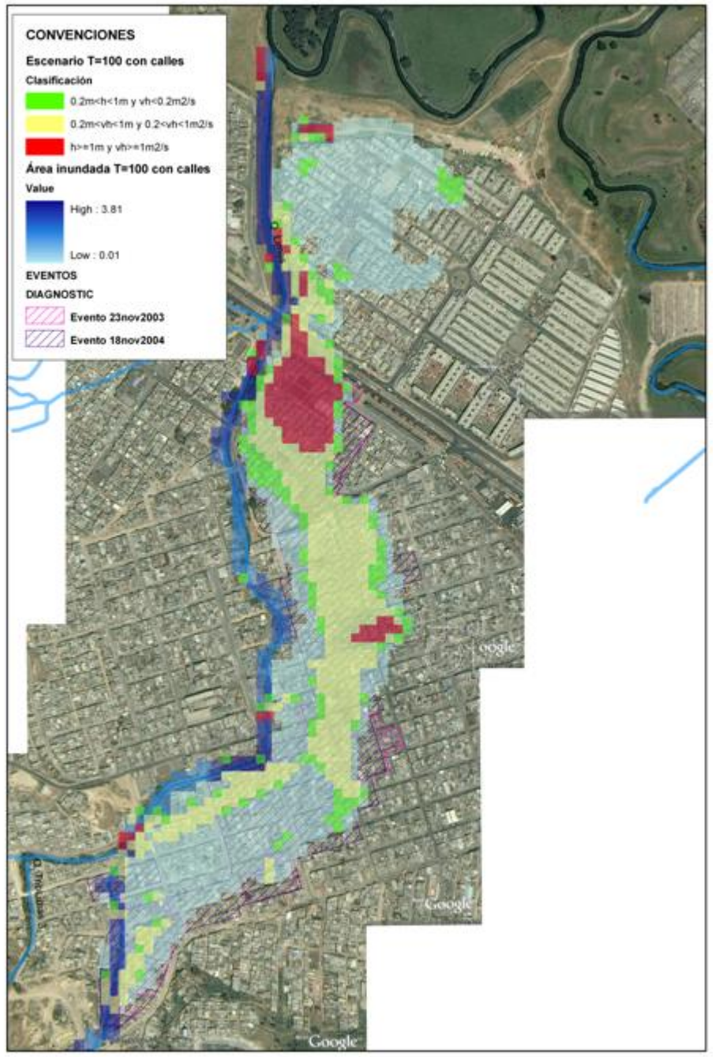


Ilustración 85. Escenario de T=100 años con calles y factores ARF y AWF

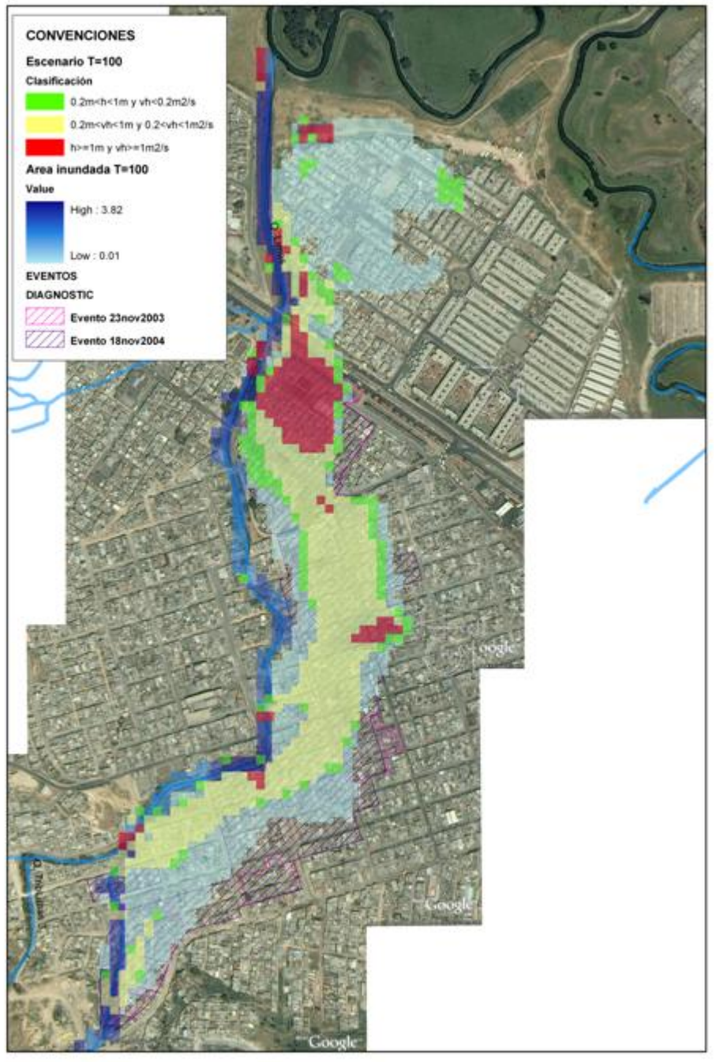


Ilustración 86. Escenario de T=100 años

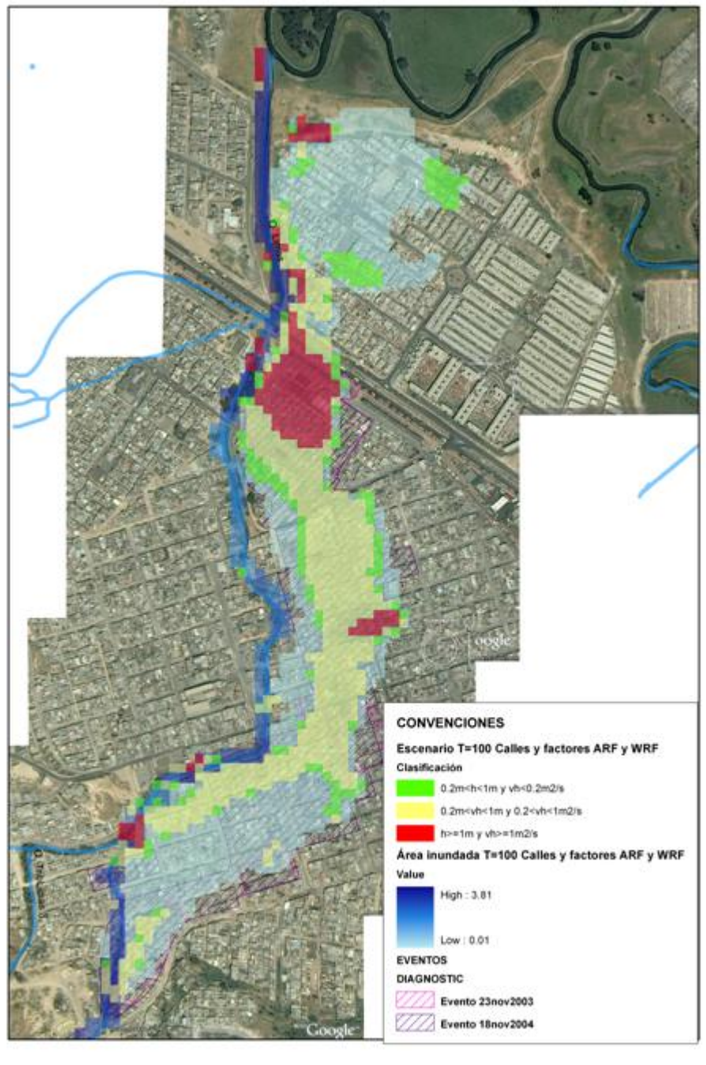


Ilustración 87. Escenario de T=100 años con calles y factores ARF y AWF

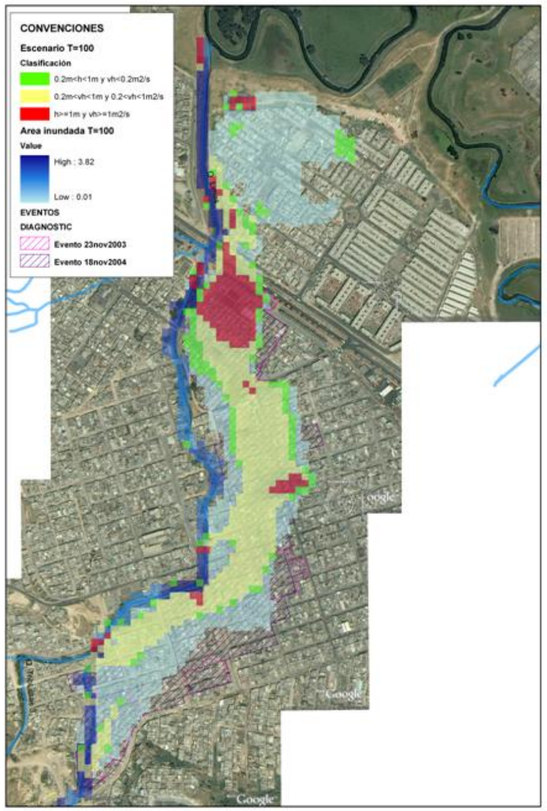


Ilustración 88. Escenario de T=100 años

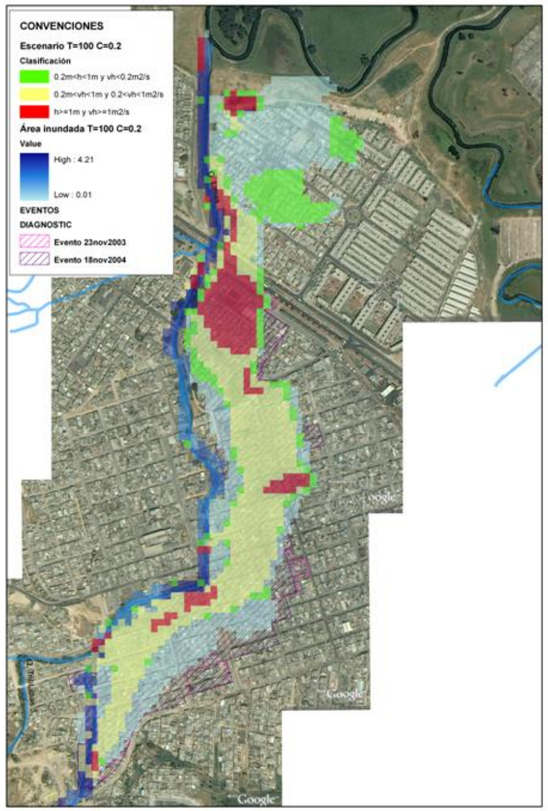


Ilustración 89. Escenario de T=100 años C=0.2

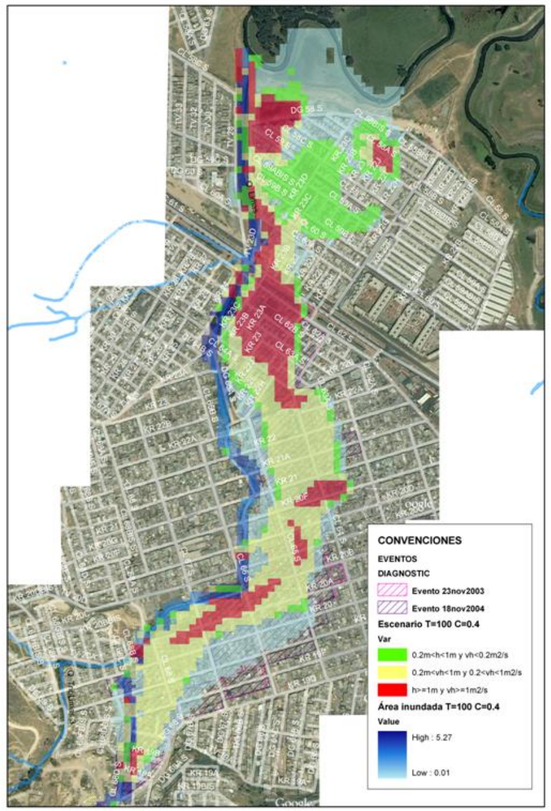


Ilustración 90. Escenario de T=10 años C=0.4

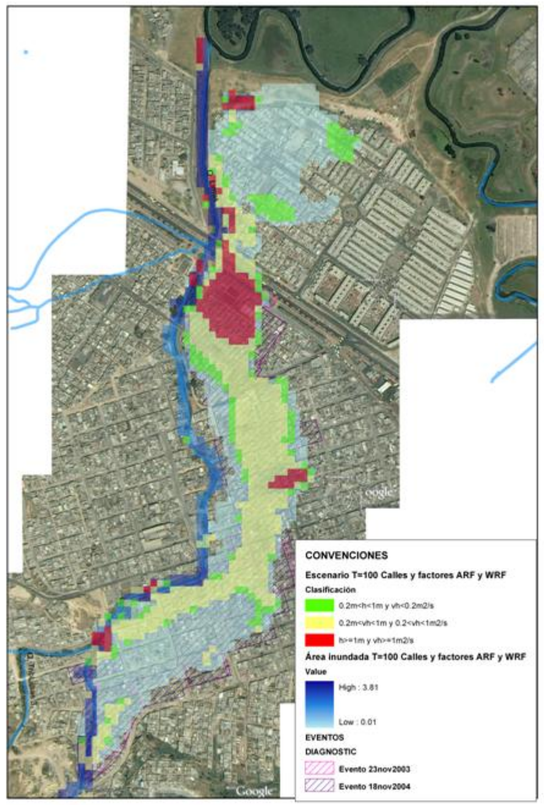


Ilustración 91. Escenario de T=100 años con calles y factores ARF y AWF

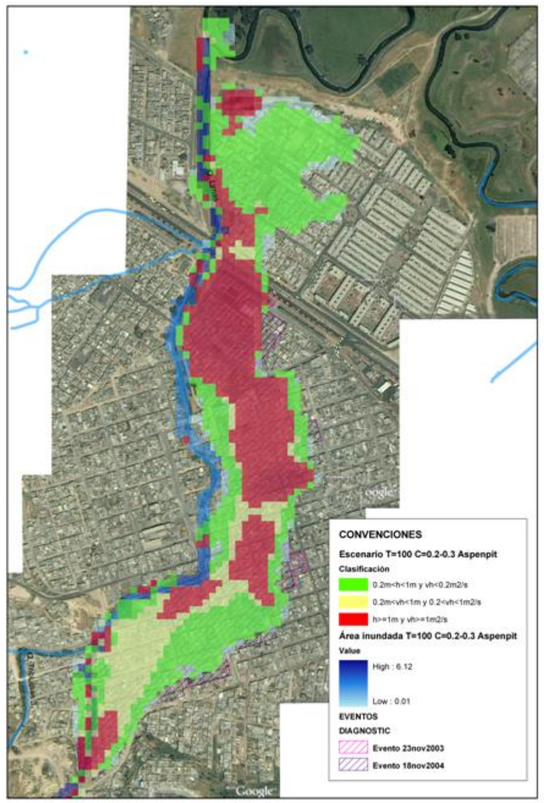


Ilustración 92. Escenario de T=100 años C=0.2-0.3 Aspenpit

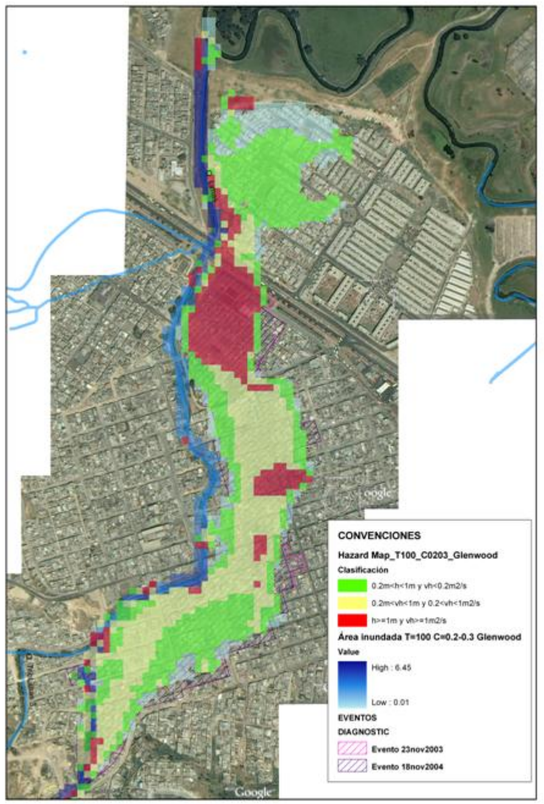


Ilustración 93. Escenario de T=100 años C=0.2-0.3 Glenwood

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

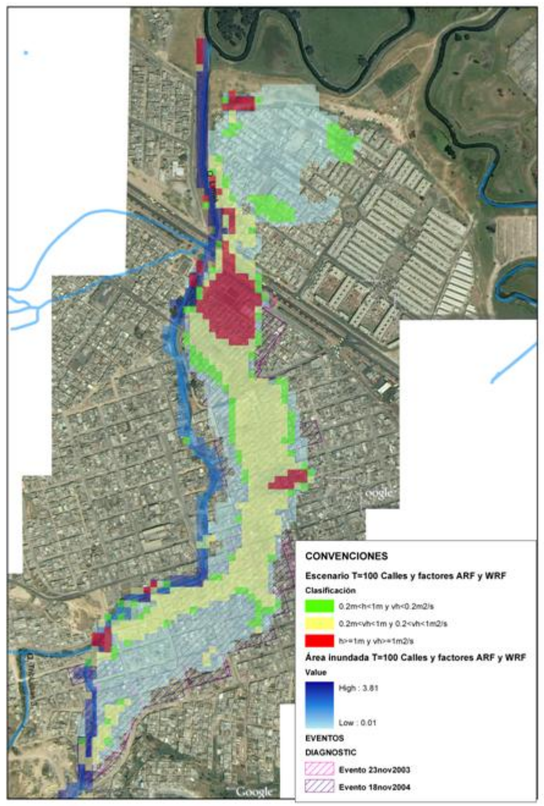


Ilustración 94. Escenario de T=100 años con calles y factores ARF y AWF

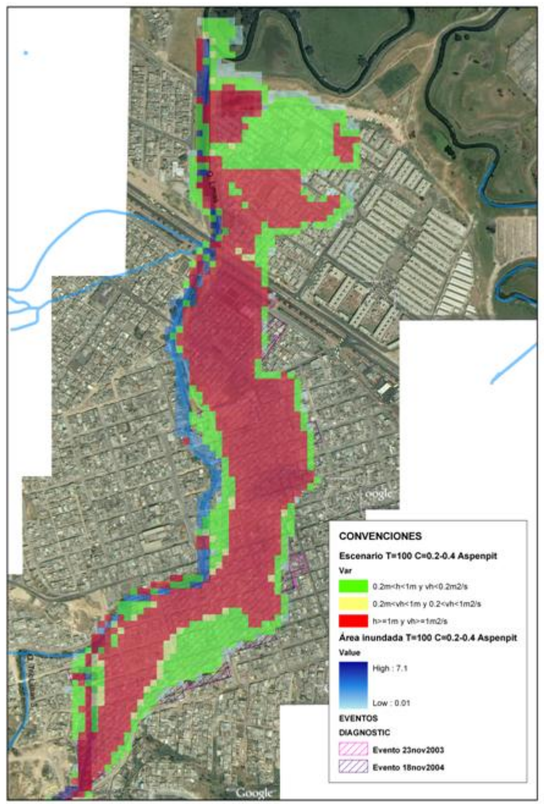


Ilustración 95. Escenario de T=100 años C=0.2-0.4 Aspenpit

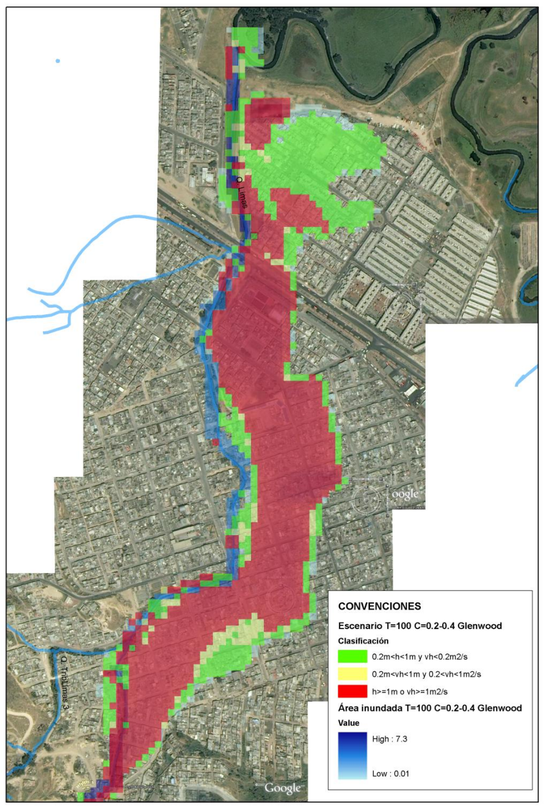


Ilustración 96. Escenario de T=100 años C=0.2-0.4 Glenwood

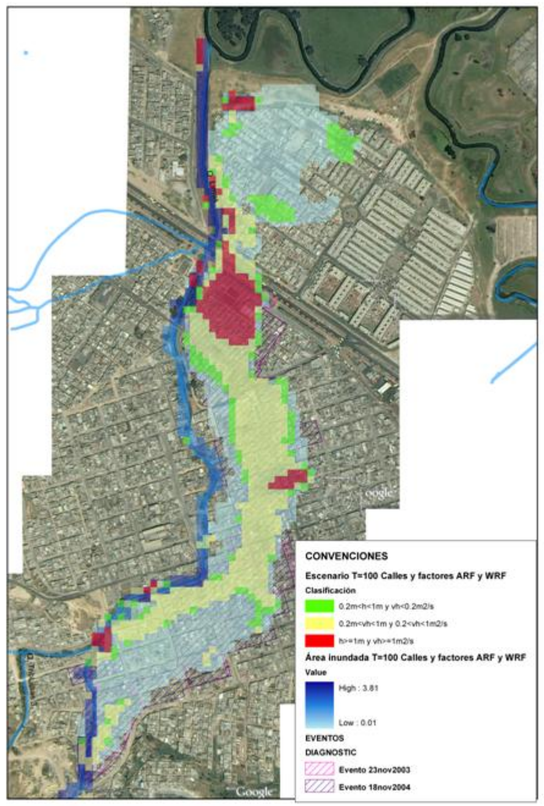


Ilustración 97. Escenario de T=100 años con calles y factores ARF y AWF

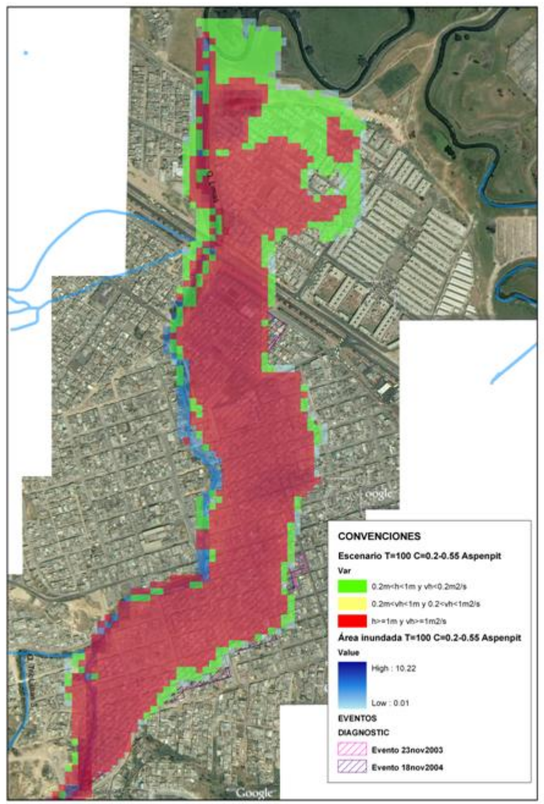


Ilustración 98. Escenario de T=100 años C=0.2-0.55 Aspenpit

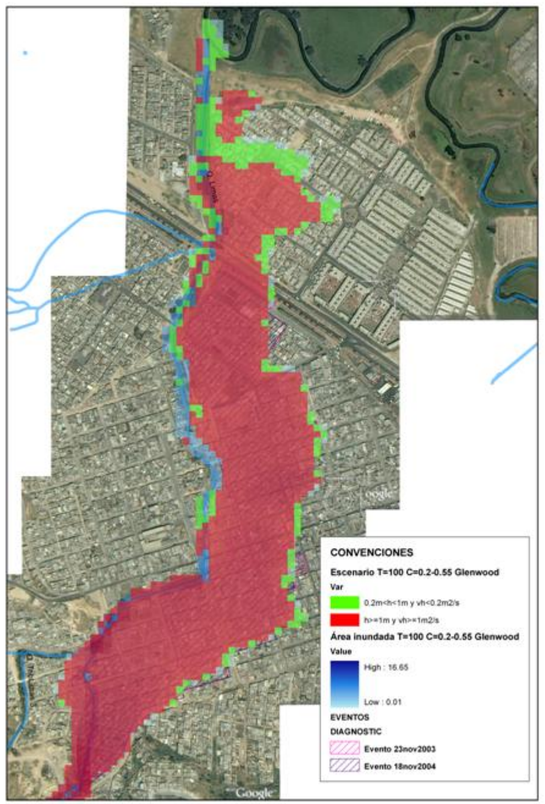


Ilustración 99. Escenario de T=100 años C=0.2-0.55 Glenwood

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

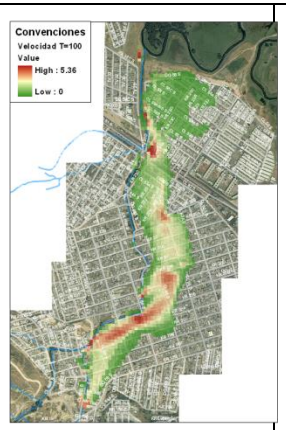
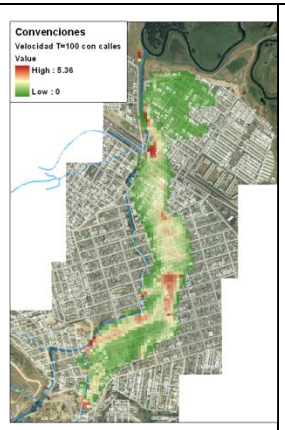
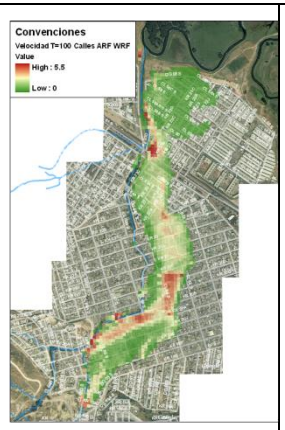
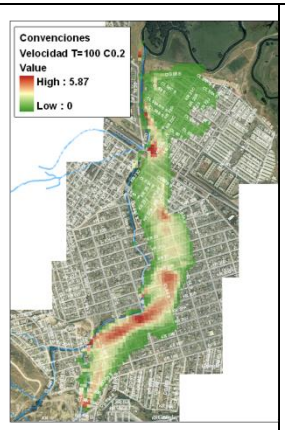
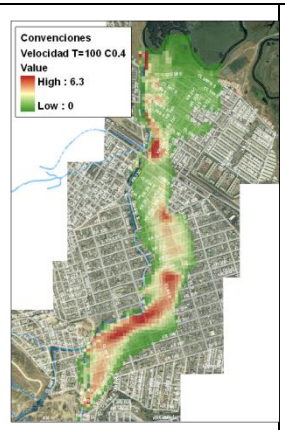
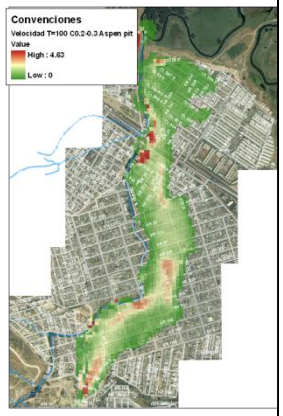
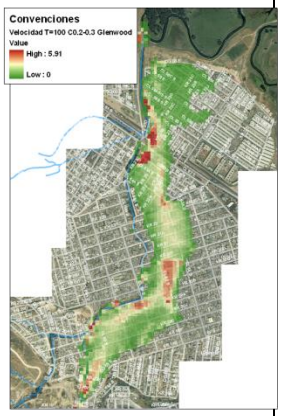
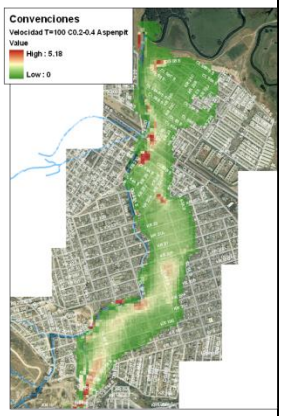
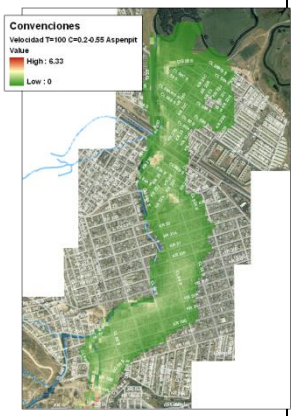
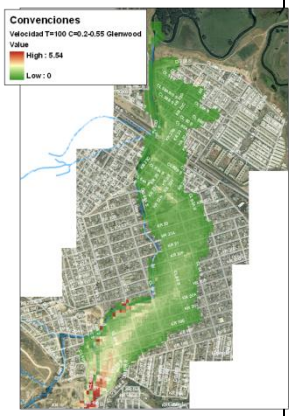
					
T=100 años	T=100 años con calles	T=100 años calles ARF WRF	T=100 años C=0.2	T=100 años C=0.4	T=100 años C=0.2-0.3
					
T=100 años C=0.2-0.3 Glenwood	T=100 años C=0.2-0.4 Aspenpit	T=100 años C=0.2-0.4 Glenwood	T=100 C=0.2-0.55 Aspenpit	T=100 C=0.2-0.55 Glenwood	

Tabla 25. Velocidades obtenidas para los escenarios con periodo de retorno de 100 años

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

En cuanto a las velocidades obtenidas para los diversos escenarios, en la Tabla 25 se observan las distribuciones espaciales obtenidas. La distribución espacial de la velocidad cuando se incluyen las calles en el modelo muestra velocidades máximas similares al modelo sin calles, sin embargo la distribución espacial muestra variaciones, indicando velocidades menores en la trayectoria de desborde del punto localizado aguas arriba de la confluencia con la quebrada trompetica. Al incluir los factores ARF y WRF se presenta un ligero incremento en la velocidad máxima pero se obtiene la misma distribución espacial de la velocidad que en el modelo solo con calles. Al aumentar la concentración a 0.2 con agua clara se obtiene un patrón de velocidades similar al del modelo sin concentración pero la velocidad máxima resultante es mayor. Al aumentar la concentración a 0.4 con condiciones de agua clara, las velocidades aumentan con respecto al escenario con concentración de 0.2.

Al incluir en el modelo la reología del material Aspenpit 2, para una concentración pico de 0.3 se observa una reducción de las velocidades, cuando se aumenta la concentración pico a 0.4 las velocidades aumentan. Para el caso de concentraciones pico de 0.55 a pesar de que la velocidad máxima en el área de simulación aumenta, las velocidades en la zona de depositación del cono aluvial disminuyen. El comportamiento con la reología Glenwood muestra que para concentraciones pico de 0.3, las velocidades aumentan considerablemente en comparación con los otros escenarios, para un pico de concentración de 0.4 se registran velocidades aun más altas, cabe aclarar que los valores máximos que muestran las ilustraciones de la Tabla 25 normalmente se presentan en el cauce y no en la zona de desborde. Posteriormente para concentraciones de 0.55 la reología de Glenwood muestra disminución en los valores máximos de velocidad registrada.

9.2.5 Trayectoria de flujo

La trayectoria de flujo producto de un evento extremo en la cuenca de la quebrada Limas es una información de gran importancia como soporte para las acciones de respuesta del sistema de alerta. En la Ilustración 100 se muestra el inicio del desbordamiento para un escenario con un periodo de retorno de 100 años con una concentración de sedimentos pico de 0.4 y reología correspondiente al material Glenwood 4. Los desbordes iniciales ocurren por la carrera 20D, 20A y 20. Para un segundo intervalo de tiempo (ver Ilustración 101) se producen desbordes en inmediaciones del ápice del cono aluvial afectando la calle 68 D sur y las carreras que se interceptan perpendicularmente con esta vía (Carrera 19A, 19B y 19C); se inicia desborde por la carrera 19F; el flujo en la carrera 20 afecta la calle 67sur; el flujo en la carrera 20A afecta la calle 67sur y la calle 65sur; el flujo que sigue la carrera 20D gira por la calle 65 sur. Posteriormente (ver Ilustración 102) el flujo ocupa prácticamente toda la franja inundable hasta la carrera 20F, estableciendo una dirección sur-norte y occidente oriente. Para un instante de tiempo subsiguiente (ver Ilustración 103), el flujo se extiende hacia el norte utilizando principalmente las calles 64 y 65 sur, a continuación (ver Ilustración 104) el flujo sigue dirigiéndose hacia el norte a través principalmente de la calle 64 y orientándose preferencialmente hacia la esquina de la calle 62 sur con carrera 23 por ser éste un punto bajo. En un instante posterior (ver Ilustración 105), el flujo ingresa al área situada al norte de la calle 62 sur alimentándose también de los desbordes que ocurren en esta zona.



Ilustración 100. Trayectoria de flujo para un evento extremo instante 1

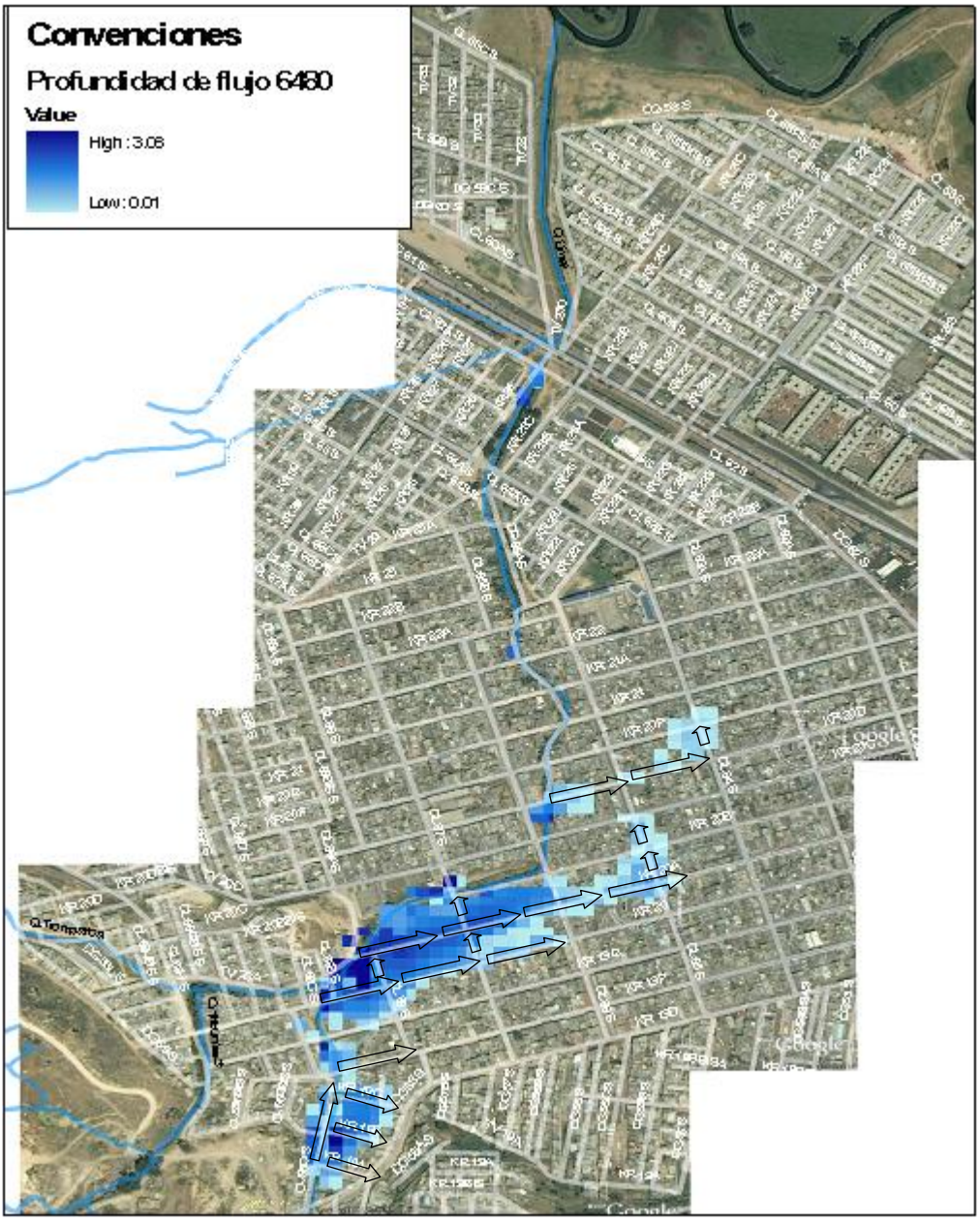


Ilustración 101. Trayectoria de flujo para un evento extremo instante 2

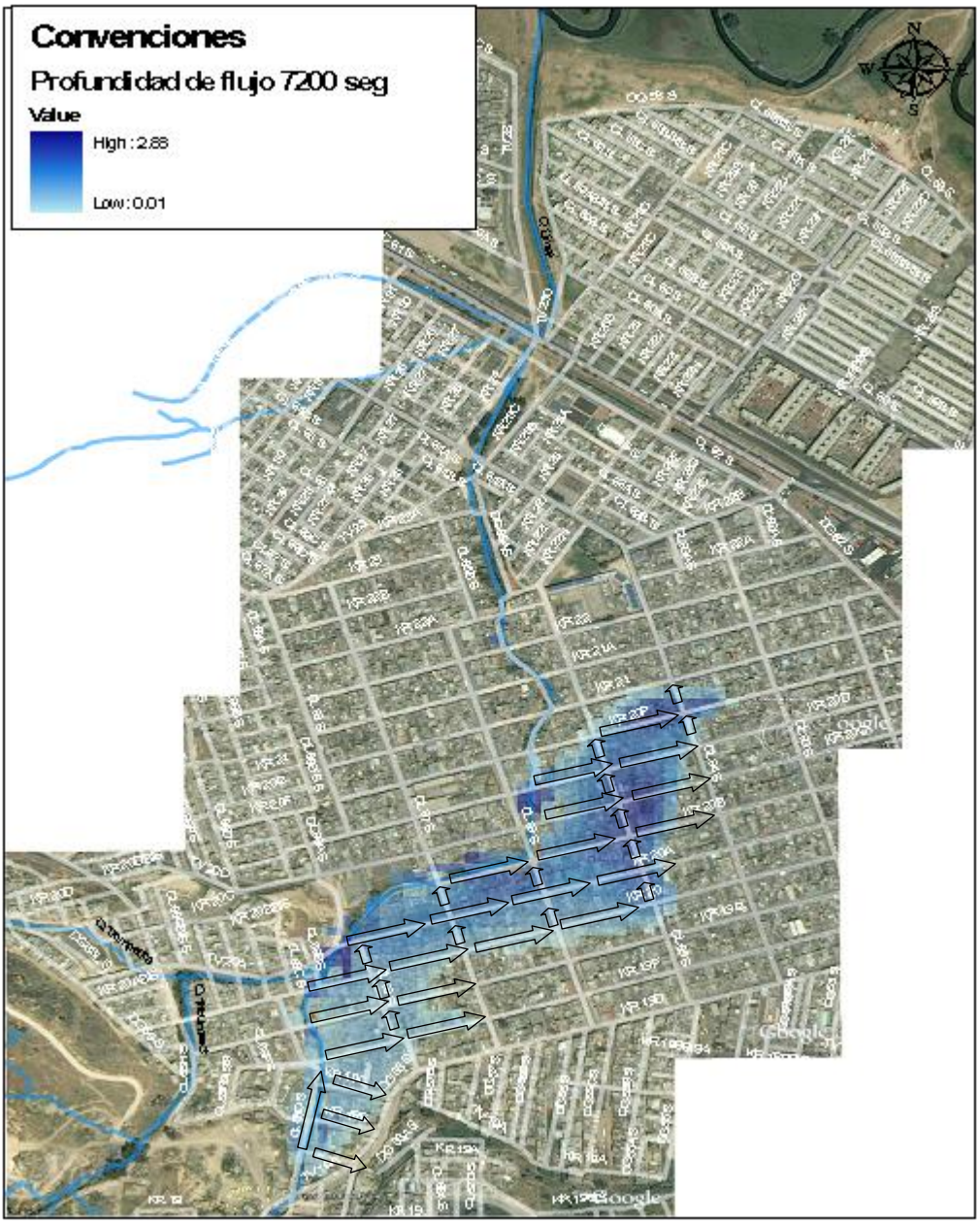


Ilustración 102. Trayectoria de flujo para un evento extremo instante 3

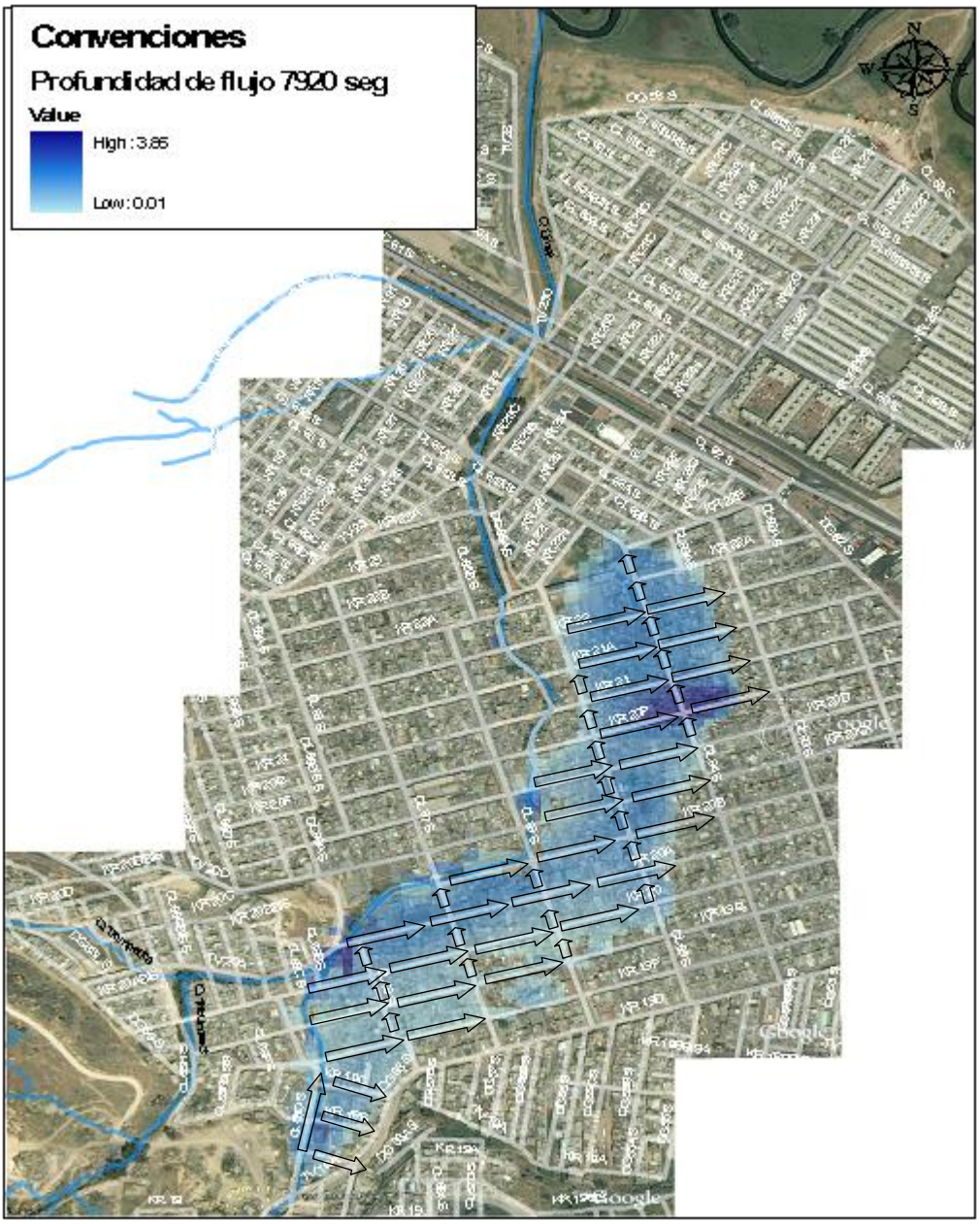


Ilustración 103. Trayectoria de flujo para un evento extremo instante 4

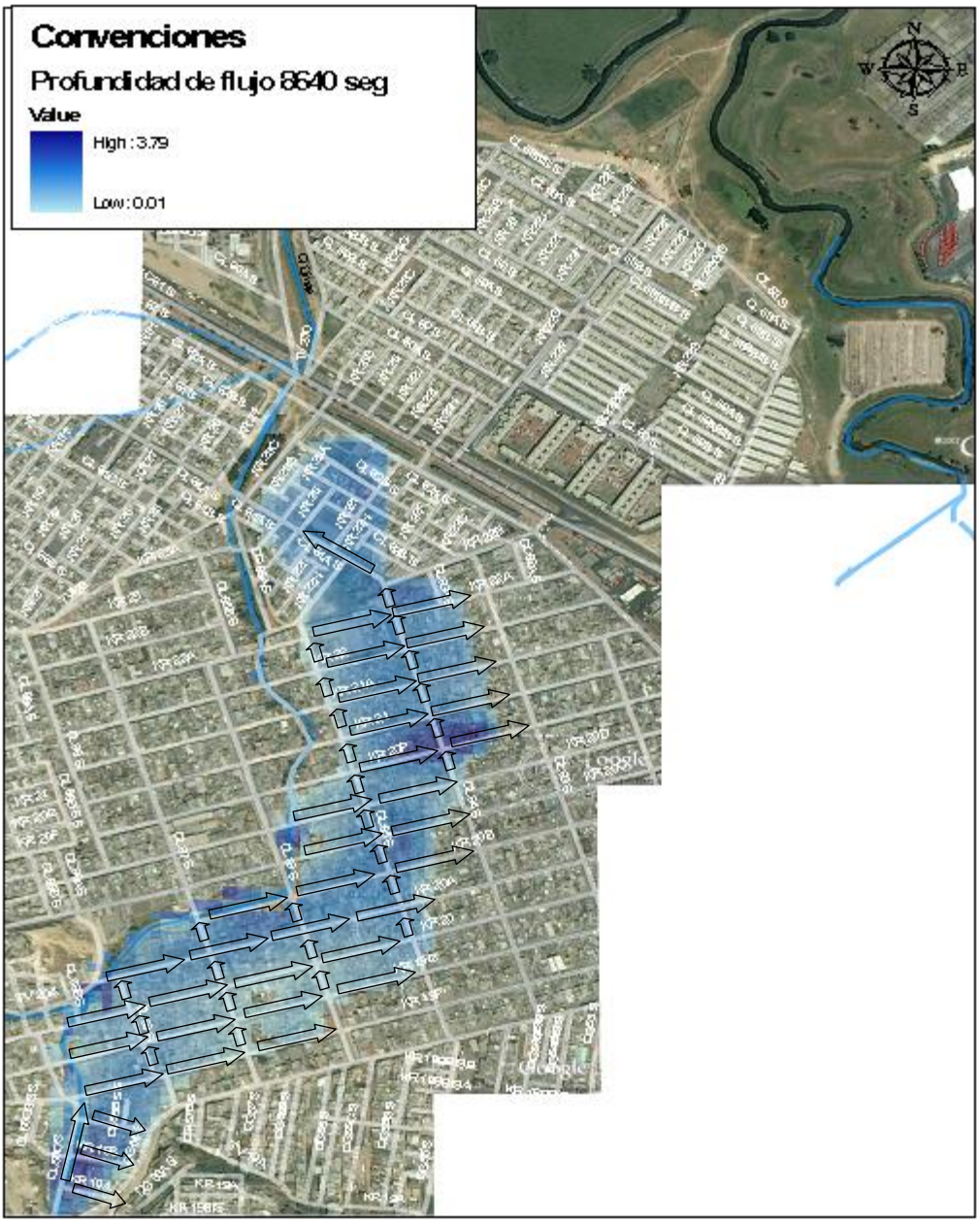


Ilustración 104. Trayectoria de flujo para un evento extremo instante 5

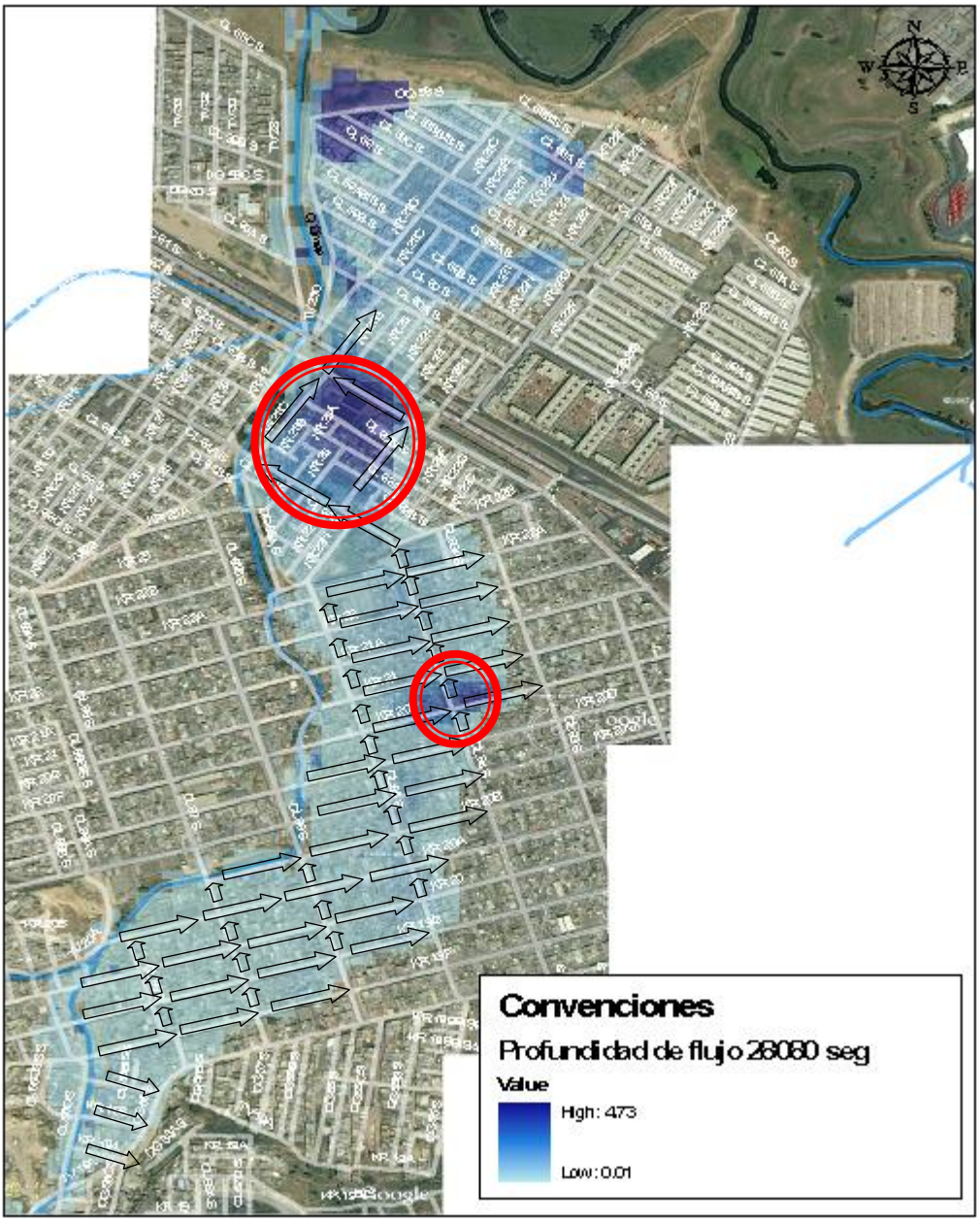


Ilustración 105. Trayectoria de flujo para un evento extremo instante 6

Es importante mencionar que de las simulaciones son evidentes las áreas en las cuales se presentan las mayores profundidades de flujo. Se identificaron dos áreas que se consideran peligrosas por profundidad, éstas se encuentran resaltadas en laIlustración 105. Con respecto a la velocidad de flujo, aunque éste parámetro se tiene en cuenta al igual que la profundidad para la definición de la amenaza, es importante resaltar que existen zonas donde las simulaciones muestran una concentración importante de velocidades altas y que deben tenerse en cuenta para decidir en qué zonas puede llevarse a cabo una evacuación vertical sin problemas y en qué zonas las condiciones hidrodinámicas pueden poner en riesgo la estabilidad de las viviendas. Se recomienda que en estas últimas zonas se evacúe la población hacia viviendas o zonas más seguras ante la posibilidad de una avenida torrencial en la cuenca con afectación. Las zonas de más altas velocidades corresponden esencialmente a las áreas aledañas a los puntos de desborde y a zonas en el centro de la trayectoria de flujo, estas áreas se muestran resaltadas en la Ilustración 106.

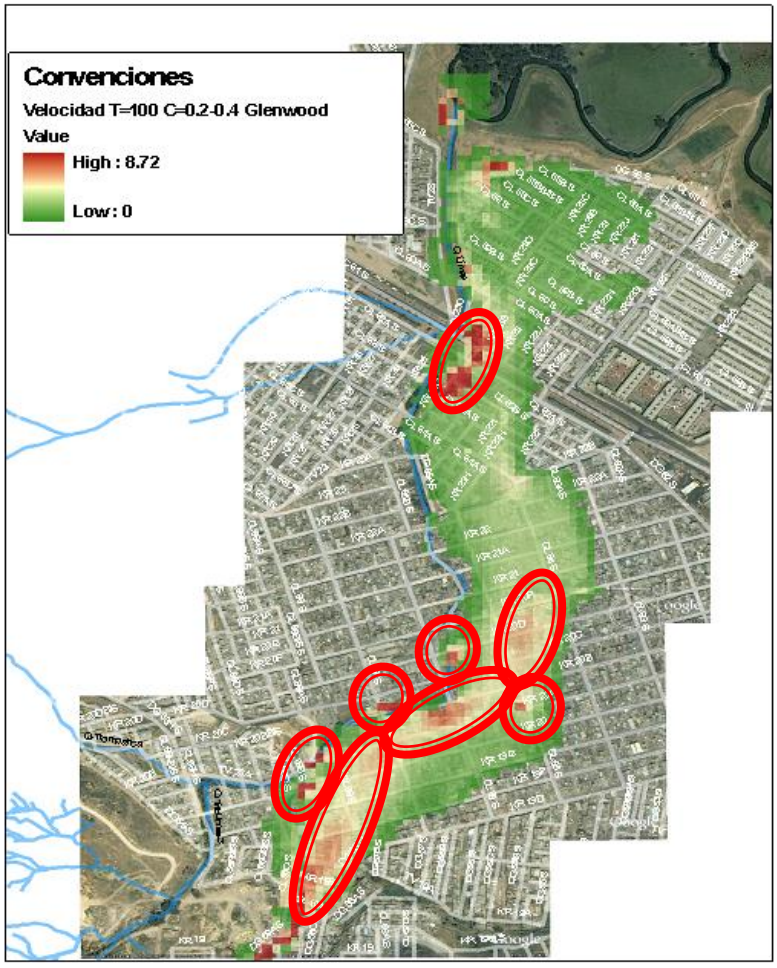


Ilustración 106. Zonas de concentración de altas velocidades

9.2.6 Rompimiento de presa natural

Con el fin de evaluar los efectos de una obstrucción en la quebrada Limas, se modeló el rompimiento de una obstrucción, localizada en la zona de mayor pendiente de la quebrada correspondiente a la abscisa K2+880 como se muestra en la Ilustración 107.

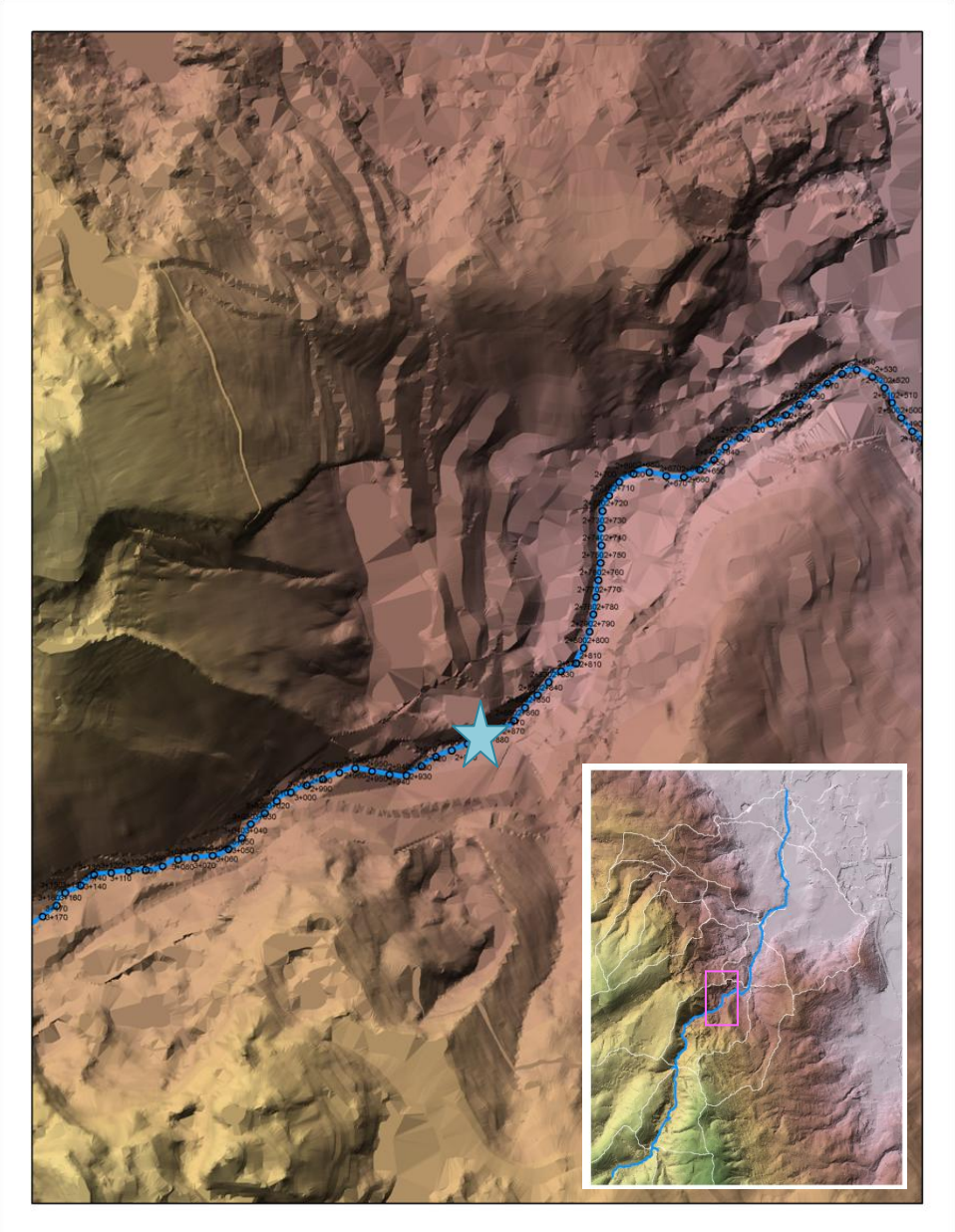


Ilustración 107. Localización de la obstrucción para análisis de rompimiento

Al utilizar una altura de obstrucción de aproximadamente 11 metros con respecto al punto más bajo del cauce como se muestra en la Ilustración 108, se obtiene el escenario mostrado en la Ilustración 109, en donde las zonas de inundación se encuentran contenidas en las encontradas para escenarios anteriores y en la zona identificada gemorfológicamente como zona con algún grado de amenaza.

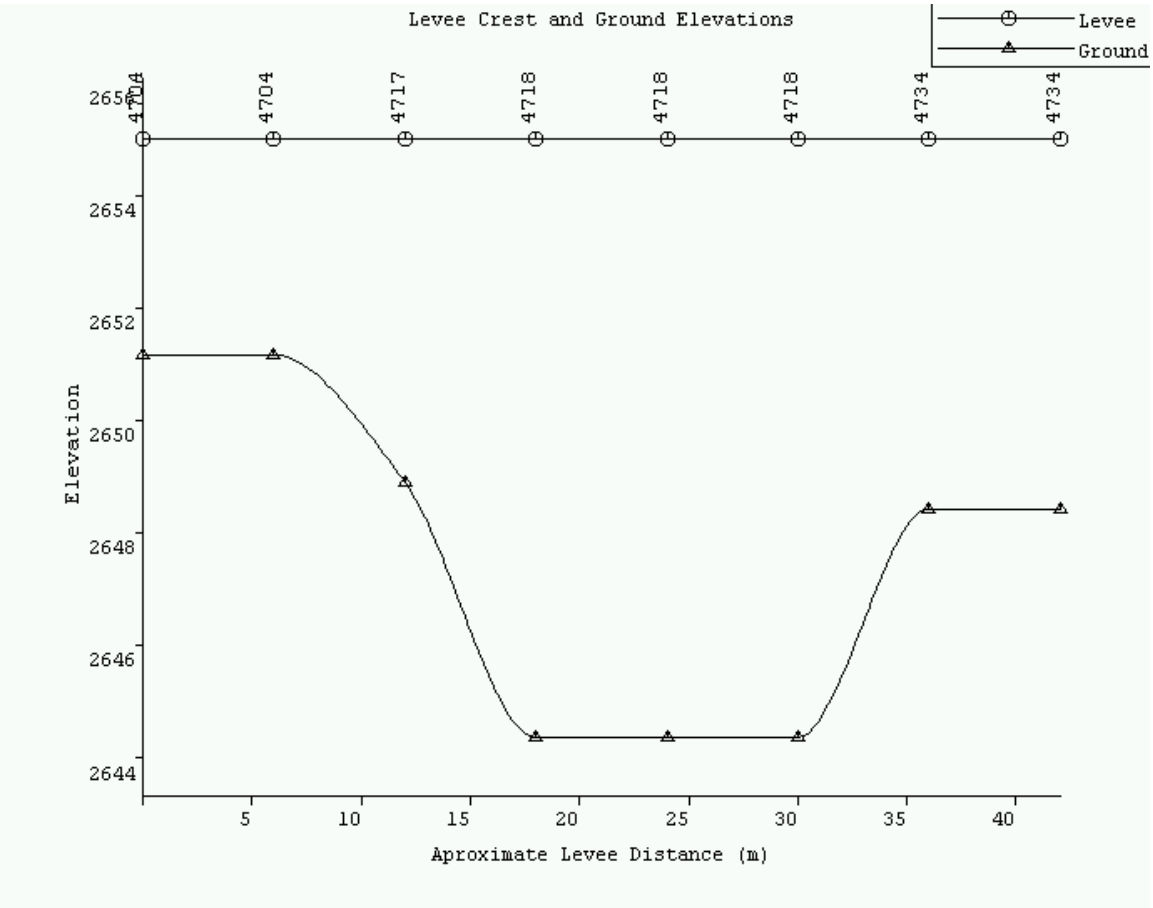


Ilustración 108. Perfil de la obstrucción considerada

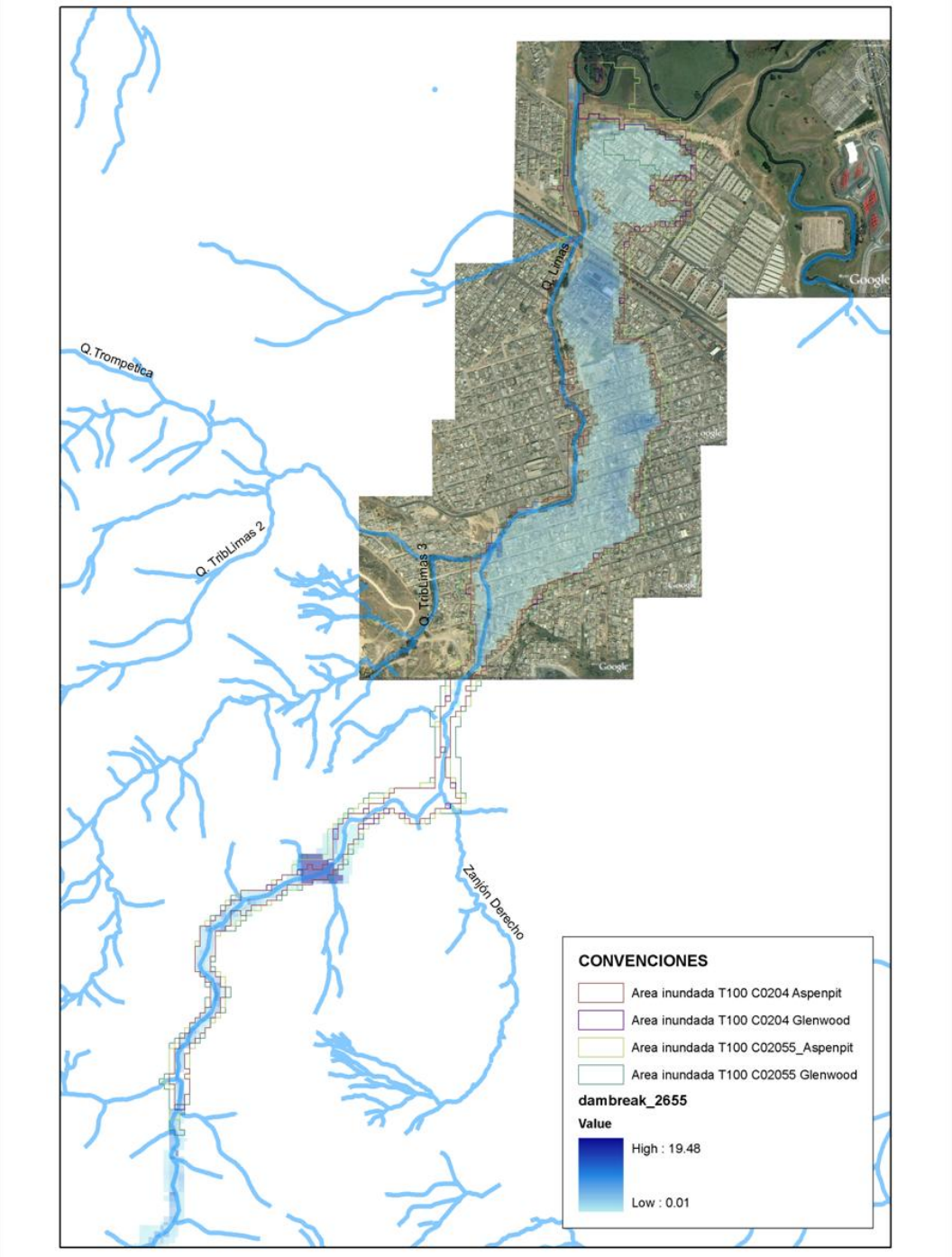


Ilustración 109. Escenario obtenido para el rompimiento de una obstrucción

9.2.7 Mapa de amenaza

Al utilizar los criterios expuestos en la sección 6, utilizando los escenarios:

- Periodo de retorno de 10 años, concentración variando entre 0.2 y 0.4 con reología Glenwood 4.
- Periodo de retorno de 100 años, concentración variando entre 0.2 y 0.4 con reología Glenwood 4.

Se establecieron las zonas de amenaza alta, media y baja en la quebrada Limas (ver Ilustración 110). Adicionalmente, se estableció una zona de amenaza residual teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- La amenaza residual es una envolvente de las áreas que pueden ser inundadas con todos los escenarios analizados en el estudio.
- La amenaza residual tiene en cuenta aspectos geomorfológicos de las zonas inundables, en este caso se tuvo en cuenta especialmente la presencia de una terraza en la margen izquierda de la quebrada inmediatamente después del ápice del cono aluvial como límite de la zona de amenaza residual.
- La zona de amenaza residual puede unirse con la correspondiente a amenaza baja con el fin de obtener una zonificación equivalente a la utilizada en el caso de inundaciones aluviales por la DPAE.

El mapa de zonificación se encuentra en el Anexo B.

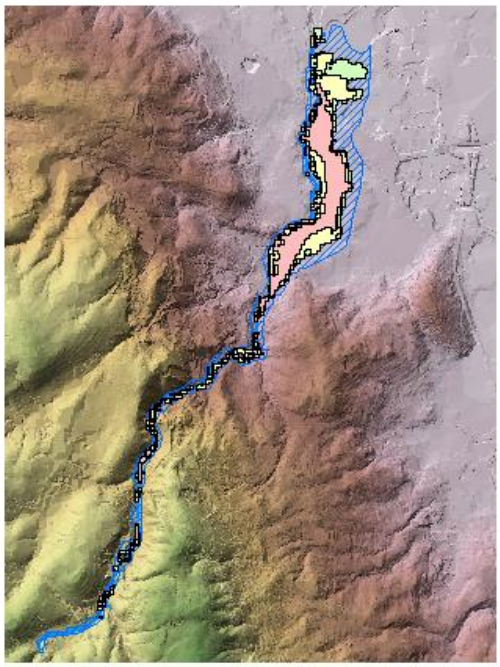


Ilustración 110. Zonificación de amenaza de la quebrada Limas

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

.

10 CONCLUSIONES

- Las condiciones actuales de la quebrada Limas han llevado a esta cuenca a ser una de las prioritarias en la Ciudad de Bogotá para estudios de amenaza y sistemas de alerta temprana. La intervención antrópica ha generado una gran presión sobre este cuerpo de agua conduciendo a que exista actualmente una población considerable expuesta a los fenómenos de creciente de la quebrada Limas. Este hecho requiere de medidas de manejo de inundaciones que funcionen de manera integral. Con este fin la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias ha generado dos instrumentos muy valiosos para el manejo de inundación constituidos por la zonificación de amenaza y el sistema de alerta temprana de la quebrada Limas.

- Las avenidas torrenciales son fenómenos de alta complejidad que requieren investigación constante y que plantean dificultades técnicas de alto nivel en el momento de su estudio.

- Este estudio planteó una metodología basada en la información disponible y el alcance planteado inicialmente en el estudio. Se considera que dicha metodología fue exitosa para el análisis del comportamiento de la quebrada Limas.

- Las características de los eventos anteriores ocurridos en la cuenca de la quebrada Limas evidencian su violencia y peligrosidad, siendo los resultados del estudio consistentes con los registros anteriores y por lo tanto representativos del comportamiento de la quebrada.

- Los registros obtenidos de la tormenta ocurrida el 24 de noviembre de 2003 indican que en la cuenca alta se presentó una precipitación de características extremas que no fue registrada en su real magnitud por las estaciones telemétricas localizadas en la cuenca media y baja.

- La descripción de los eventos de las avenidas torrenciales del 24 de noviembre de 2003 y del 18 de noviembre de 2004, indican que se presentaron obstrucciones en el cauce de la quebrada y que éstas obstrucciones fueron los puntos de desborde, por lo que a pesar de las modificaciones que han sido introducidas en la quebrada desde el año 2004, se requiere monitoreo continuo de las condiciones del cauce y la limpieza del mismo. Es posible que se presenten desbordes con afectaciones diferentes a los escenarios propuestos en este estudio si los desbordes se producen por obstrucciones diferentes a la considerada.

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

- La evaluación geomorfológica que se realizó mostró ser de gran importancia para el entendimiento del comportamiento de la quebrada y de su susceptibilidad a la contribución de sedimentos durante una avenida torrencial.

- A pesar del bajo número de Melton que tiene la cuenca de la quebrada Limas, es evidente de los eventos recientes, que tiene un alto aporte de sedimentos durante avenida torrencial. Este hecho puede tener su explicación en la alta intervención antrópica que ha sufrido esta cuenca.

- De la geomorfología es posible deducir la trayectoria de flujo en caso de una avenida y el área máxima que puede ser afectada.

- La modelación matemática mostró ser una herramienta de gran importancia para el entendimiento de los procesos torrenciales y la sensibilidad ante parámetros de concentración y reología.

- El uso de elementos disponibles en el software FLO 2D tales como calles, puentes, factores de reducción de área y ancho, permiten obtener modelos más detallados y cercanos al comportamiento de la quebrada Limas.

- De los resultados obtenidos se puede concluir que el área inundable es claramente identificable y que varía de manera poco significativa ante la variación de escenarios, salvo en algunas áreas debido al aumento de puntos de desborde.

- Las variaciones en los parámetros reológicos y en la concentración tienen incidencia en la velocidad de flujo y en las profundidades y por lo tanto influyen sobre la clasificación de la amenaza, sin embargo, se considera que mediante un análisis de los escenarios es posible llegar a una identificación de las zonas que pueden clasificarse como amenaza alta, media y baja considerando las incertidumbres de variación de éstos parámetros. Es importante indicar que el contraste de las zonas de amenaza con la descripción y la afectación de eventos anteriores constituye una herramienta importante que puede ayudar al ingeniero a escoger el escenario más adecuado.

- La evaluación de los escenarios mostró zonas en donde se concentran las velocidades más altas y las mayores profundidades, siendo éstas áreas de especial atención durante el establecimiento de planes de evacuación.

11 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la conceptualización y visualización del manejo del riesgo de inundaciones en la quebrada Limas propenda por integrar las medidas estructurales y no estructurales. La zonificación de amenaza no solo es una herramienta para la planeación del uso del suelo, sino una herramienta fundamental para la toma de decisiones durante emergencia tanto para el Sistema de Prevención y atención de emergencias como para la comunidad. Se recomienda que este documento se utilice como complemento al documento ya existente sobre el Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones y avenidas torrenciales de la quebrada Limas y que constituya información base para la elaboración de planes de respuesta.

- Dado el carácter dinámico de la amenaza y que este estudio es válido bajo las condiciones físicas de la cuenca expuestas en los capítulos anteriores, se recomienda que si se presentan cambios tanto en la hidráulica de la quebrada o en la disponibilidad de información se realice una actualización.

- Es importante que la zonificación de amenaza se socialice con la comunidad y se utilice como una herramienta de concientización.

- Se advierte la necesidad de complementar el sistema de monitoreo de lluvias en la parte más alta de la cuenca, por lo que se recomienda la instalación de una estación de lluvias telemétrica adicional en esta zona.

- Se recomienda que las condiciones hidráulicas de la quebrada se mantengan lo mejor posible, evitando los depósitos de basura en el cauce, árboles o en general elementos extraños que puedan obstruir el cauce y producir inundaciones.

- A pesar de obtener buenos resultados con la metodología utilizada, se aclara que no implica que el trabajo de campo y análisis más detallados no sean necesarios. Se concluye que ésta condición depende del caso particular y se recomienda realizar ajustes a la metodología dependiendo de las necesidades de información que requiera cada cuenca. No obstante, se recomienda que antes de realizar evaluaciones detalladas se utilicen los modelos matemáticos como una herramienta para definir la sensibilidad de la zonificación de amenaza ante cambios en los parámetros de concentración y reología.

- Se recomienda que se busque incluir en los modelos la mayor cantidad de información disponible, a la medida de las características del software utilizado.

- Se recomienda que se evalúen las condiciones de las viviendas localizadas en las zonas de concentración de velocidades y profundidades altas para definir qué tipo de evacuación o medida de protección se requiere durante la emisión de alertas. Se recomienda tener en cuenta que para los núcleos de mayores velocidades o profundidades identificados en la Ilustración 105 y en la Ilustración 106 sería preferible

una evacuación de las viviendas hacia zonas altas evitando el interceptar la trayectoria de flujo en lo posible.

- La respuesta de la cuenca ante eventos extremos depende de las condiciones físicas de la misma. Por esta razón se recomienda que se conserve en lo posible en las mejores condiciones hidrológicas. Esto significa que debe propenderse por conservar la vegetación de la cuenca alta y evitar el cambio del uso del suelo; mantener el cauce en las mejores condiciones de limpieza posible y evitar la tala de árboles.

- La zonificación de amenaza mostró las zonas de amenaza alta, media y baja en la zona baja localizada en la margen derecha de la quebrada en el cono aluvial. Existe área del cono que se encuentra entre el cauce y las zonas de amenaza a la cual se le asignó amenaza residual. Cabe aclarar que estas zonas, durante los eventos de avenida torrencial quedan localizadas entre el cauce de la quebrada y la trayectoria de flujo de la inundación y que las viviendas allí localizadas se encuentran a una distancia muy corta del cauce y en algunas ocasiones dentro del cauce siendo sus muros el confinamiento lateral del flujo de la quebrada. Debido a las suposiciones realizadas en este estudio y a la definición matemática que se utilizó para la amenaza, estas viviendas no se encuentran clasificadas en un grado de amenaza superior al residual, pero no se descarta que en caso de una avenida torrencial estas viviendas se afecten por socavación del cauce o incluso la falla de los muros que confinan el cauce. Por esta razón, se recomienda que teniendo en cuenta criterios ambientales y de ordenamiento de la cuenca se tomen medidas para este tipo de construcciones.

GLOSARIO

Avenida Torrencial (Flash flood): según IAHS-UNESCO (1974) están definidas como inundaciones súbitas con descargas pico de gran magnitud, producidas por tormentas severas generalmente de limitada extensión en área. Son uno de los tipos más comunes de amenazas y son extremadamente peligrosas debido a su naturaleza abrupta. Sus características son: corta duración, pequeña extensión de área de influencia, alto caudal pico y flujo rápido generalmente causantes de daños importantes a la propiedad. Ocurren a causa de tormentas de alta intensidad, altas pendientes en las cuencas, cobertura vegetal pobre y flujo de alta velocidad (Lin, 1999). Se ven afectadas de manera importante cuando el índice de infiltración se reduce por tormentas previas (Esper, M. Y., 2007).

Parámetro de relieve: diferencia de elevación entre el punto más alto y el más bajo de una cuenca (Fuente: Wilford, Sakals et al., 2004).

Número de Melton: Este parámetro corresponde a la diferencia de elevación entre el punto más alto y más bajo de una cuenca dividido por la raíz cuadrada del área.

Amenaza: Es la probabilidad de ocurrencia de un evento (sismos, deslizamientos, inundaciones, huracanes, tsunamis, erupciones volcánicas, etc.) potencialmente dañino, caracterizado por una cierta intensidad, dentro de un periodo dado y en un área determinada (Fuente: Potosme, Castro et al., 2005)

Vulnerabilidad: Es el sistema de condiciones y procesos resultado de los factores físicos, sociales, económicos, culturales y ambientales, que aumentan o disminuyen la susceptibilidad de una comunidad o infraestructura al impacto de las amenazas. (Fuente: Potosme, Castro et al., 2005)

Riesgo: Es la probabilidad de que se produzcan pérdidas socio-económicas en un determinado momento y en un área del territorio determinada, a causa de una amenaza. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. (Fuente: Potosme, Castro et al., 2005).

EAAB: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asesorías, E. y. (2000). Delimitación de la zona de ronda y zona de manejo y preservación ambiental de los ríos Tunjuelo, Fucha y Salitre, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Conversini, P., D. Salciarini, et al. (2005). "The debris flow hazard in the Lagarelle Creek in the eastern Umbria region, central Italy." Natural Hazards and Earth System Sciences **5**: 275–283.

Division, C. E. (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds. TR-55. U. S. D. o. Agriculture.

Flooding, C. o. A. F. (1996). Alluvial Fan Flooding. N. A. PRESS. Washington, D.C.

García, R., J. L. Lopez, et al. (2003). Hazard mapping for debris-flow events in the alluvial fans of northern Venezuela. Debris-flow hazards mitigation: mechanics, prediction ans assessment, Davos, Switzerland.

Georgetown County, S. C. (2005). "Storm Water Management Design Manual."

Giraud, R. (2005). Guidelines for the geologic evaluation of debris-flow hazards on alluvial fans in Utah. U. G. Survey. Utah.

Grisotto, S. and S. Cappelleti (N.A.) "Debris flow in the Val Della Vecchia cathment: process analysis and hydraulic-forest controlmeasures."

INGETEC (2002). Diseños para la construcción de las obras para el control de crecientes en la cuenca del río Tunjuelo, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Laigle, D. (N.A.) "Numerical Modelling o Mud/Debris -Flows and Risk Assessment on a Torrent Alluvial Fan ".

Lin, X. (1999). Flash floods in arid and semi-arid zones. Prepared in the framework of the International Hydrological Programme by the Working Group of Project H-5-2 (IHP-IV). UNESCO.

Ministry of Land, I. a. T. I. D. I.-J. (2004). Development of warning and evacuation system against sediment disasters in developing countries. Guidelines for cosntruction and technology transfer.

Murcia, S. E. (2003). CONSULTORÍA PARA DEFINIR TÉCNICAMENTE, ACOTAR EN PLANOS Y DEMARCAR EN TERRENO (MATERIALIZACIÓN DE LOS PUNTOS), LA ZONA DE RONDA HIDRÁULICA Y LA ZONA DE MANEJO Y PRESERVACIÓN AMBIENTAL DE ELEMENTOS (QUEBRADAS) PERTENECIENTES AL SISTEMA HÍDRICO DE LA CIUDAD; UBICADA EN LAS DIFERENTES LOCALIDADES DE BOGOTÁ D.C". QUEBRADA LIMAS. CONTRATO No. 1-02-24100-539-2003. E. D. A. Y. A. D. B. E.S.P.

O´Brien, J. S. (2006). Simulalting mud flows guidelines. F. D. manual.

Petrascheeck A., K. H. (2003). Hazard assessment and mapping of mountain risks in Switzerland. Debris flow hazards mitigation, mechanics, perdiction and assessment, Davos, Switzerland, Millpress Rotterdam The Netherlands.

Potosme, E. C., M. Castro, et al. (2005). Inundaciones fluviales. e. p. I. y. C. Metodologías para el análisis y manejo de los riesgos naturales (MET-ALARN).

Rickenmann, D. (1997). "Estimation des laves torrentielles." Hydrologie.

Rickenmann, D. (1999). "Empirical Relationships for Debris Flows." Natural Hazards **19**: 47–77.

Rickenmann, D. (2001) "Methoden zur Gefahrenbeurteinlung von Murgansen.".

Rogelis, M. C. (2006). SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES DE LA QUEBRADA LIMAS LOCALIDAD CIUDAD BOLÍVAR CONTRATO PS 10 DE 2006. Bogotá, Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE.

Rogelis, M. C. (2007). Caracterización de cuencas del Distrito Capital y priorización para estudios de amenaza y sistemas de alerta temprana de inundaciones, Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE.

Sodnik, J. and M. Miko (2006). "Estimation of magnitudes of debris flows in selected torrential watersheds in Slovenia." Acta geographica Slovenica: 93-123.

Takahashi, T. (1981). "Estimation of potential debris flows and their hazardous zones; soft countermeasures for a disaster." Journal of Natural Disaster Science **3**(1): 57-89.

Wilford, D. J., M. E. Sakals, et al. (2004). "Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics." Landslides **1**: 61-66.

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

Anexo A. ARTÍCULOS DEL DIARIO EL TIEMPO QUE HACEN REFERENCIA A LOS EVENTOS HISTÓRICOS EN LA QUEBRADA LIMAS

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

crogelle: Alertas (0) | Noticias guardadas (0) | Mis comentarios (0) | Yo publico (0) | Salir |

Otras versiones de eltiempo.com

Publicidad

Sábado 3 de enero de 2009

Colombia | Mundo | Deportes | Economía | Opinión | Tecnología | Cultura y ocio | Vida de hoy | Clasificados | Archivo | Videos | Yo publico | Bloga | Verde

Encuentre todas las noticias de Colombia y el mundo desde 1990

Patrocinado por:

Haga de eltiempo.com su página de inicio

eltiempo.com / archivo

Invierno Deja Dos Muertos

Una mujer de 30 años y menor de 12 murieron ayer víctimas del invierno en el barrio San Francisco, en el sur de la ciudad.

Según el mayor Freddy Novoa, Comandante del Cuerpo de Bomberos de Bogotá, a las 9 p.m., después de un torrencial aguacero, que se prolongó por más de media hora, se desbordó la quebrada Lima, que pasa muy cerca de varias viviendas de este sector. A la fuerza de las aguas se sumó el hecho de que venían con desechos de construcción, palos y piedras. Esto hizo que la corriente se desbordara y se metiera a varias casas. Logramos socorrer a gran parte de las personas ubicadas en este sitio, pero infortunadamente la avalancha no les dio tiempo a dos personas que en ese momento se encontraban encerradas en un cuarto , agregó el oficial.

Después del proceso de identificación de los cadáveres, las autoridades dijeron que se trataba de Gladys María Rozo Suárez y del menor Edwin Arredondo Poveda, al parecer madre e hijo.

Actuamos de inmediato porque nuestras unidades se habían hecho presentes en este barrio desde las horas de la tarde. Cuando se presentó la avalancha, en seguida buscamos que nadie quedara atrapado. Rompimos algunas paredes, pero el primer impacto lo recibió el cuarto donde se encontraban estas dos personas , indicó Novoa.

Miembros de la Defensa Civil, la Cruz Roja y el Departamento de Atención y Prevención de Emergencias (Dpae) actuaron en conjunto para controlar la emergencia. Un centenar de familias debieron abandonar sus viviendas durante horas, mientras se controlaba la situación. Un centenar de familias debieron abandonar sus viviendas durante horas Además del barrio San Francisco, el invierno también causó estragos en más de 100 viviendas ubicadas en El Carmen, la Aldea y Jericó en la localidad de Fontibón, y en San Cayetano y San Francisco, barrios de Rafael Uribe Uribe, sur de Bogotá.

En la segunda emergencia, en menos de una semana, por cuenta de las intensas lluvias, pues el miércoles pasado se presentó una situación similar en el norte de la ciudad.

FOTO/Martín García EL TIEMPO 1- La gente del barrio San Francisco pasó gran parte de la noche tratando de recuperar del lodo algunos de sus enseres.

2- Con maquinaria, los organismos de socorro ayudaron a limpiar el sector, que tras la avalancha quedó lleno de escombros.

Publicación
eltiempo.com
Sección
Bogotá
Fecha de publicación
25 de noviembre de 2003

Publicidad



Eltiempo.com: Colombia, Mundo, Deportes
Publicaciones: Alló, Carrusel, Enter
Información y ayudas: Mapa del sitio, Ayuda, Registro
Nuestra red de portales: eltiempo.com, portafolio.com.co, cambio.com.co

crogelis: Alertas (0) | Noticias guardadas (0) | Mis comentarios (0) | Yo publico (0) | Salir |

Otras versiones de eltiempo.com

Publicidad

Sábado 3 de enero de 2009

Colombia | Mundo | Deportes | Economía | Opinión | Tecnología | Cultura y ocio | Vida de hoy | Clasificados | Archivo | Videos | Yo publico | Bloga | Verde

Encuentre todas las noticias de Colombia y el mundo desde 1990

Patrocinado por:

Haga de eltiempo.com su página de inicio

eltiempo.com / archivo

Fue Como Un Armero Chiquito

El lunes en la noche los habitantes de los barrios San Francisco, Candelaria Baja y Los Sauces, en Ciudad Bolívar, sintieron que la vida se les iba entre el lodo y las piedras que invadieron las calles y las viviendas, en medio de un torrencial aguacero y un ruido infernal. Fue como un Armero Chiquito, la tragedia que en 1985 dejó 25 mil personas muertas en el Tolima por el deshielo del Nevado del Ruiz.

El golpe de las rocas y materiales de la quebrada Lima al estrellarse contra las casas era de tal magnitud, que todavía retumba en los oídos de los damnificados. Esa vaina era un estruendo ni el verriondo. Era un choque de rocas que no se imagina , relata Jorge Forero, un vecino de Villas del Diamante, que vio la avalancha desde su nacimiento, en medio de canteras explotadas de manera antitécnica, cuatro barrios arriba del San Francisco.

Fue después de las 6 de la tarde. La avalancha empezó por la calle. Casi ni nos dimos cuenta. De repente tumbó la casa de aquí enfrente , comentó Aura Martín, una de las afectadas. En esa vivienda murió una mujer de 52 años y un niño de 12.

Todavía con los ojos enrojecidos por la noche en vela y por el llanto, Beatriz Helena Gánchez recuerda la imagen que vio cuando llegó al barrio a las 7 de la noche. Yo sentía que me iba a morir. No veía a nadie, ni a mi hijo, solo veía lodo , dice.

En las paredes de las casas estaba tallada la angustia que vivieron más de mil personas, que pelearon contra la corriente cargada de rocas por más de hora y media. Los rastros de lodo llegaban hasta el techo e incluso cubrían las terrazas. Y en medio de la calle un amume de colchones, muebles, electrodomésticos, ropa y pertenencias arruinadas era un monumento a la desolación.

Ayer, muchas personas vestidas con ropa regalada porque el lodo les arrebató hasta la que llevaban puesta, ayudaban a los bomberos a evacuar la ruina de sus hogares. Y aguardaban una noche en medio del desastre que les dejó la avalancha. San Francisco arriba, los habitantes de los barrios Sauces, la Esperanza, El Triunfo, Villa Gloria y Villas del Diamante, que bordean el cauce de agua, temen por una nueva tragedia si continúa lloviendo. Los bordes de la quebrada la Lima están resquebrajados por la erosión, los árboles que la bordean están a punto de caer, y en su lecho reposan rocas y todo tipo de materiales de las canteras vecinas.

FOTO/Martín García EL TIEMPO 1- La tragedia en el barrio San Francisco comenzó a las 6:35 de la tarde del lunes. El lodo se apoderó de dos barrios más.

2- Un día después, las marcas de agua en paredes y techos de las viviendas, reflejaban la magnitud de lo ocurrido.

3- Este era el panorama de ayer. La gente intentaba salvar los pocos enseres que le quedaron luego de la avalancha.

Publicación
eltiempo.com
Sección
Bogotá
Fecha de publicación
26 de noviembre de 2003

Publicidad



Eltiempo.com: Colombia, Mundo
Publicaciones: Alló, Carrusel
Información y ayudas: Mapa del sitio, Ayuda
Nuestra red de portales: eltiempo.com, portafolio.com.co

crogelle: Alertas (0) | Noticias guardadas (0) | Mis comentarios (0) | Yo publico (0) | Salir | Otras versiones de eltiempo.com

Publicidad

ARCHIVO

Sábado 3 de enero de 2009

Colombia | Mundo | Deportes | Economía | Opinión | Tecnología | Cultura y ocio | Vida de hoy | Clasificados | Archivo | Videos | Yo publico | Bloga | Verde

Encuentre todas las noticias de Colombia y el mundo desde 1990

Patrocinado por:

Haga de eltiempo.com su página de inicio

eltiempo.com / archivo

Las Vidas Que El Invierno Se Llevó

Esta semana los hogares de las familias Rozo y Ramírez, en el sur de Bogotá, se vistieron de luto. En el primero, las inundaciones de la quebrada Lima se llevaron la vida de Clara María Rozo de 52 años y de Edwin Armando Poveda, de 12. En el segundo, un derrumbe cortó la vida de Eugenia Ramírez, su esposo Luis Sánchez y sus hijos de 11 y 8 años.

Las dos tragedias, ocurridas en los barrios San Francisco y El Dorado, respectivamente, fueron ocasionadas por el invierno.

Sin embargo, en los dos casos, el agua fue solo el detonante de un problema que padecen las zonas marginadas de la ciudad: la ilegalidad en que han sido construidos los barrios, la erosión de terrenos por la explotación de canteras y la ubicación de casas en las laderas de los cerros.

Este es el perfil de las víctimas inocentes que el invierno se llevó.

LOS SEPULTO EL CERRO Eugenia Ramírez era una mujer que a los 49 años había recorrido todos los caminos del rebusque para sobrevivir con seis hijos, que empezaron a llegar a su vida cuando ni siquiera había cumplido la mayoría de edad.

Trabajando por días en casas de familia y recibiendo ropa y cosas regaladas sobrellevaba los días y la vida, en el barrio El Dorado, en el centro oriente de Bogotá. El día de la tragedia Eugenia estaba en la tienda a eso de las 7 de la noche.

Tengo pereza subir a la casa le dijo a su primo Juvenal, a quien convidó a tomar tinto. Aún así llegó a su vivienda, donde una hora más tarde perdió la vida, junto con sus dos hijos menores y su esposo Luis Sánchez, cuando la casa se les vino encima por un derrumbe.

Luis había vuelto al hogar veinte días antes de la tragedia, después de 5 años de una separación en la que Eugenia trabajó para alimentar y matricular en la escuela a los dos hijos de esa unión, Nenequitos (Ernesto) y Chiquitín (Alejandro), de 11 y 8 años. De Luis saben poco en el barrio. Solo que trabajaba en la construcción y que Eugenia había aceptado volver con él cuando intempestivamente regresó a la casa.

A Nenequitos y Chiquitín todos los vecinos los querían. Diana, de 15 años, jugaba con ellos y aún hoy, después de la tragedia prefiere llamarlos por sus apodos. Jugábamos todo el tiempo y nos poníamos nombres , dice. Su tía Ligia llora al recordarlos. En muchas ocasiones estuvo junto a Eugenia ayudándole en el cuidado de los menores y de los hijos mayores, Dany, Milena y Esperanza hijos de otra unión.

EDWIN ERA UN NIÑO MODELO Los hermanos Rozo no volverán a recibir las felicitaciones que con frecuencia enviaban los profesores de su sobrino Edwin Armando Poveda, de 12 años por su excelente rendimiento académico. El niño fue una de las víctimas de las inundaciones del lunes pasado en el barrio San Francisco, en el sur de Bogotá, por el desbordamiento de la quebrada Lima.

Había llegado a su casa a las 5:30 de la tarde, una hora antes de lo acostumbrado y en el momento de la avalancha quedó atrapado en uno de los cuartos con su tía.

Edwin encontró en sus tíos el hogar y el amor que no tuvo de sus padres, a quienes perdió a temprana edad. Cuando tenía cuatro años murió su papá y a los ocho un cáncer se llevó a su mamá. Con frecuencia iba con su tío Joaquín a visitar el cementerio el Apogeo, donde fue sepultada.

Era amigo de los niños en el barrio y era el soporte de todos, cuando de hacer las tareas se trataba. Le gustaba estudiar, pero lo que realmente lo hacía feliz era dibujar. Edwin murió junto a su tía Clara María Rozo, a quien todos llamaban Gladys por un error en el registro civil.

Clara soportó 52 años de una invalidez que le dificultaba el movimiento, pero aún así, era

Publicidad



una segunda madre para sus hermanos. Siempre vivió en el campo, pero hace tres años se vino a vivir en Bogotá, en el barrio San Francisco.

Se había convertido en la consentidora de la casa. Joaquín, su hermano sobreviviente, recuerda el tinticó que le ofrecía en las horas de frío y su preocupación para hacer sentir bien a la familia.

FOTO/Archivo particular 1- Eugenia Ramírez murió por el derrumbe del barrio El Dorado.

2- Los niños Alejandro y Ernesto murieron con sus padres en el deslizamiento del barrio El Dorado.

3- Esperanza Ramírez perdió a su mamá y a dos hermanos, de 8 y 11 años.

4- Clara María Rozo murió en la inundación del barrio San Francisco, por el desbordamiento de la quebrada La Lima.

Publicación
eltiempo.com
Sección
Bogotá
Fecha de publicación
30 de noviembre de 2003

Eltiempo.com: Colombia, Mundo, Deportes, Economía, Ciencia y tecnología, Cultura y ocio, Opinión, Salud, Vida de hoy, Clasificados, Archivo, Videos, Blogs, Yo publico

Publicaciones: Aló, Carrusel, Enter, Credencial, Lecturas

Información y ayudas: Mapa del sitio, Ayuda, Registro, Servicio al cliente, Quiénes hacen eltiempo.com, Paute con nosotros, Suscripciones, Club de suscriptores, Casa Editorial EL TIEMPO, Clientes Casa Editorial EL TIEMPO

Nuestra red de portales: eltiempo.com, portafolio.com.co, cambio.com.co, vive.in, revistadonjuan.com, futbolred.com, enter.com.co, abcdelbebe.com, citytv.com.co, motor.com.co, elempleo.com, metrocuadrado.com, clasificar.com, guiaacademica.com, metrabajo.com

CASA EDITORIAL EL TIEMPO

COPYRIGHT © 2008 CEET Prohibida su reproducción total o parcial, así como su traducción a cualquier idioma sin autorización escrita de su titular. Ver Términos y Condiciones.

Miembro de GDA, Grupo de Diarios América

crogelis: Alertas (0) | Noticias guardadas (0) | Mis comentarios (0) | Yo publico (0) | Salir |

Otras versiones de eltiempo.com

Publicidad

ARCHIVO

Viernes 9 de enero de 2009

Colombia | Mundo | Deportes | Economía | Opinión | Tecnología | Cultura y ocio | Vida de hoy | Clasificados | Archivo | Videos | Yo publico | Blogs | Verde

Encuentre todas las noticias de Colombia y el mundo desde 1990

Patrocinado por:

Haga de eltiempo.com su página de inicio

eltiempo.com / archivo

Los Damnificados De La Quebrada Lima

Cada vez que las gotas de lluvia comienzan a golpear las tejas y paredes de lata del pequeño rancho levantado en la ribera de la quebrada Lima, a la altura del barrio Los Sauces, en el suroriente de Bogotá, Ricardo Antonio Sánchez, de 74 años, corre instintivamente por el piso de tierra y saca a gritos de la vivienda a sus ocho hijos y cuatro nietos.

Sin importar la hora nocturna, los 13 miembros de la familia Sánchez salen de la vivienda corriendo con cajas o enseres alzados en la intempestiva huida y se paran sobre la calle 68 sur con carrera 19 a mirar la crecida de la corriente que pasa bordeando, a veces con furia, las bases de su rancho.

Salimos a pedirle a Dios que no se nos lleve el ranchito, que no nos deje sin nada. Esas rezadas quizás son las que nos ha salvado de que la quebrada no se lleve nuestra vivienda que, como ve, es de puros palos , dice Ricardo con los ojos aún enrojecidos y desvelado por la crecida del sábado.

Esa noche, las aguas desbordadas pasaron por encima del puente, cerca del rancho de Ricardo, y descendieron por las calles de los barrios Los Sauces y San Francisco; arrastró arena, grava, piedra, palos y pasto. Ayer, esas mismas calles, la 67, 68 y 66 sur con carreras 19 F, G y D estaban taponadas por más de 30 centímetros de lodo mezclado con los materiales empujados desde las canteras ubicadas en la parte alta de este sector.

Desde que llueva, en este barrio no dormimos para que no nos coja en la cama la crecida de la quebrada. Nadie quiere poner cuidado a esta tragedia que tenemos que vivir siempre en cada invierno , cuenta Adela Gutiérrez, quien tiene su casa de dos pisos en el barrio San Francisco, por la calle 67 sur, una de las vías afectadas. Adela, como Ricardo, vive en la zona hace más de 20 años.

Son damnificados de la quebrada Lima, al igual que más de un centenar de residentes de las 14 cuadras que fueron inundadas el sábado por la corriente enlodada, lo cual obligó a las autoridades a reubicar a dos familias.

Ayer, una retroexcavadora sacaba un árbol de la quebrada y la destaponaba, mientras habitantes de esos barrios levantaban barricadas con bultos de arena para desviar el caudal y evitar que en otro desbordamiento, la corriente enlodada tapone las calles y se lleve las casas por delante. Como hace dos años, dicen. Por eso viven en estado de alerta. Según ellos, el invierno apenas comienza y no se han hecho las obras que eviten o controlen las crecidas de la quebrada Lima que hace dos años provocaron el desbordamiento del río Tunjuelo y afectaron a 3.000 personas.

Foto Carlos Julio Martínez / EL TIEMPO Ricardo Antonio Sánchez alista enseres y barricadas para que el agua no alcance su rancho, levantando al fondo, donde uno de sus hijos saca basura de esta quebrada Lima.

Publicidad



Publicación
eltiempo.com
Sección
Bogotá
Fecha de publicación
1 de noviembre de 2004

Eltiempo.com: Publicaciones: Información y ayudas: Nuestra red de portales

crogelis: Alertas (0) | Noticias guardadas (0) | Mis comentarios (0) | Yo publico (0) | Salir |

Otras versiones de eltiempo.com

Publicidad

ARCHIVO

Viernes 9 de enero de 2009

Colombia | Mundo | Deportes | Economía | Opinión | Tecnología | Cultura y ocio | Vida de hoy | Clasificados | Archivo | Videos | Yo publico | Blogs | Verde

Encuentre todas las noticias de Colombia y el mundo desde 1990

Patrocinado por:

Haga de eltiempo.com su página de inicio

eltiempo.com / archivo

Más De Mil Afectados Por Invierno

Hace un año, por el invierno, perdí a mi hermana y a mi sobrino, y ahora pierdo de nuevo mi hogar... este es un dolor que no se puede soportar fácilmente .

Este sentimiento de indefensión que acompañaba a José Joaquín Rozo, era el mismo que albergaban otras 400 familias (1.500 personas) que en la madrugada de ayer y en la noche del miércoles vieron cómo una nueva avalancha de lodo se metió entre sus hogares y acabó con las pocas pertenencias que tenían.

Los vecinos fueron despertados violentamente por la corriente de lodo y agua que se formó con el desbordamiento de la quebrada Limas, la cual alcanzó 60 centímetros de altura y arrasó con buena parte de los muebles y enseres de las casas.

La emergencia afectó barrios como San Francisco, Candelaria, Sauces y Bella Flor, entre otros. En total, 36 manzanas sufrieron las consecuencias del desbordamiento de la quebrada producto del fuerte invierno.

La gente asegura que toda la culpa la tiene el taponamiento que sufre la quebrada como consecuencia de los escombros y basuras que se arrojan a ella, pero también a la gravilla que generan unas 12 canteras ubicadas en la parte alta de la montaña. Hace un año, mil personas resultaron damnificadas por el mismo hecho.

La paciencia de los ciudadanos también se desbordó. Ayer, muy temprano, un centenar de personas bloqueó la vía al Llano para exigir al alcalde Luis Eduardo Garzón una solución definitiva. El mandatario aceptó escucharlos sin presiones .

A la reunión asistieron, además de los vecinos, el alcalde local, el gerente de la Empresa de Acueducto, el director del Dama, el gerente de la ETB, la directora del Dabs, el Secretario de Salud, el comandante de la Policía Metropolitana y funcionarios del IDU.

Sin mamadera de gallo En el encuentro sobresalieron los reclamos. Las canteras que existen en la localidad incumplen las normas ambientales y de explotación minera - afirmó Oscar Barón, uno de los miembros del Comité Quebrada de Limas-. Ellas cierran el caudal y con sus desechos crean represamientos que con el invierno causan estas tragedias .

Algunos insinuaron que si las cosas siguen así, no volverán a pagar el servicio de agua para no tener que asumir de su bolsillo el alto costo que han tenido que cancelar para sacar el lodo de sus viviendas y el cobro por aseo. Otros, como Flaminio Velásquez, pidieron una indemnización que cubra los enseres perdidos por culpa de la avalancha.

Las canteras no nos van seguir mamando gallo , respondió el alcalde Garzón al anunciar la primera decisión que tomó para que estas industrias, ubicadas en la parte alta de la quebrada Limas no sigan funcionando. El POT lo ordenó. La Policía será la encargada de controlarlas.

Garzón agregó que se han invertido unos 500 millones de pesos en la limpieza de la quebrada en los últimos meses, labor que se mantendrá.

Al mismo tiempo, aseguró que en 15 días serán retirados dos de los cinco pontones de la quebrada, que impiden el flujo de la corriente. El IDU es la entidad encargada de la remoción y demolición.

Mil millones de pesos, que se manejarán a través de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias en distintos proyectos, serán destinados a mitigar la emergencia provocada por los deslizamientos. También se hará un censo para identificar a los damnificados y el 28 de noviembre se llevará a cabo una audiencia pública.

MOMENTOS DE ANGUSTIA vivieron más de mil personas en el sur de la ciudad debido al

Publicidad



desbordamiento de la quebrada Limas. En los últimos tres días, se han registrado 40 deslizamientos en diez localidades de la ciudad.

Publicación
eltiempo.com
Sección
Bogotá
Fecha de publicación
19 de noviembre de 2004

Eltiempo.com:
Colombia
Mundo
Deportes
Economía
Ciencia y tecnología
Cultura y ocio
Opinión
Salud
Vida de hoy
Clasificados
Archivo
Videos
Blogs
Yo publico

Publicaciones:
Alô
Carrusel
Enter
Credencial
Lecturas

Información y ayudas:
Mapa del sitio
Ayuda
Registro
Servicio al cliente
Quiénes hacen eltiempo.com
Pauta con nosotros
Suscripciones
Club de suscriptores
Casa Editorial EL TIEMPO
Clientes Casa Editorial EL TIEMPO

Nuestra red de portales
eltiempo.com
portafolio.com.co
cambio.com.co
vive.in
revistadonjuan.com
futbolred.com
enter.com.co
abcdelbebe.com
citytv.com.co
motor.com.co
elempleo.com
metrocuadrado.com
clasificar.com
guiaacademica.com
metrabajo.com

CASA EDITORIAL EL TIEMPO

COPYRIGHT © 2008 CEET Prohibida su reproducción total o parcial, así como su traducción a cualquier idioma sin autorización escrita de su titular. Ver Términos y Condiciones.

Miembro de GDA, Grupo de Diarios América

crogelia: Alertas (0) | Noticias guardadas (0) | Mis comentarios (0) | Yo publico (0) | Salir |

Otras versiones de eltiempo.com

Publicidad

ARCHIVO

Viernes 9 de enero de 2009

Colombia | Mundo | Deportes | Economía | Opinión | Tecnología | Cultura y ocio | Vida de hoy | Clasificados | Archivo | Videos | Yo publico | Blogs | Verde

Encuentre todas las noticias de Colombia y el mundo desde 1990

Patrocinado por:

Haga de eltiempo.com su página de inicio

eltiempo.com / archivo

Rezamos Para Que Las Aguas No Se Lleven Nuestras Casas

Ayer en la madrugada, una avalancha provocada por el desbordamiento de la quebrada de La Piedra del Muerto, en el sur de Bogotá, amenazó con meterse a las casas de una docena de barrios ubicados en los sectores más altos de Ciudad Bolívar. Empezamos a rezar para que la corriente no arrastrara, desde arriba, marranos y perros muertos, ollas, colchones y pedazos de casas, como ya nos ha pasado en otros inviernos , dijo Shirley Rojas, una madre de familia que hace parte de esas dos millones de personas que en Colombia son vulnerables a las consecuencias del invierno.

El impacto de truenos y relámpagos, el golpe de la lluvia sobre los techos de zinc, los montones de basura enredados en los postes y la fuerza de las piedras que se estrellaban contra los frentes de las casas, indicaban la cercanía de una nueva emergencia.

Al igual que muchos, Bernardo Rodríguez -esposo de Shirley y panadero de profesión-, no pudo salir a trabajar, como siempre lo hace, a las 5 a.m., porque si abría la puerta, la corriente de lodo terminaba de invadir su casa, y si lograba salir, de todas formas caía en las aguas de la quebrada. Solo tres horas después, con la luz del día y la tregua de San Pedro , los vecinos pudieron ver la calle.

Salió Luis Eduardo Acevedo con sus cinco hijos y su esposa Amidia Sánchez, que guarda dieta de su último alumbramiento, ocurrido apenas hace 15 días. Salió con afán porque una piedra había roto la válvula del gas y el escape crecía. Pidió ayuda a sus vecinos para resguardar a su familia y empezó a sacar el barro de su vivienda.

Otro tanto hicieron los habitantes de los barrios Bellavista, Lucero Medio, Florida, Juan Pablo II, San Francisco, Estrella y parte alta de Marandú, y seguían de cerca el comportamiento de la quebrada Limas, en el barrio El Paraíso.

Ayer, al final de la tarde, los bomberos de la Estación de La Candelaria habían atendido emergencias en 20 viviendas de estos sectores y algunos vecinos, con la idea de hacerle frente a una nueva noche, llenaron costales con arena para armar barricadas en los andenes.

Y cerca de allí, en la escuela El Futuro Son Los Niños, de Altos de Cazucá, cerca de un centenar de pequeños -la mayoría en situación de desplazamiento por la violencia-, tuvieron que cambiar lápices y cuadernos por palas y escobas para tratar de salvar esa humilde construcción de madera donde estudian.

Tuvimos que desocupar los salones y sacar los pupitres y los pocos alimentos que teníamos guardados, porque desde hace cuatro meses los deslizamientos empezaron a llevarse las paredes de la escuela, que ya no aguanta más , dice Samuel Pardo, un chocoano que, siendo también un desplazado, fundó esta obra para brindar estudio a unos niños que hoy ruegan para que el invierno se vaya.

Sin embargo, de acuerdo con los pronósticos, la temporada de lluvias se postergará hasta la primera semana de diciembre, por eso, los cuerpos de socorro mantienen vigilancia permanente en 11 de las 20 localidades de Bogotá, donde están los sitios de más alto riesgo por inundaciones y deslizamientos.

El Departamento de Prevención y Atención de Emergencias (Dpae) coordina acciones con 9.400 familias ubicadas en zonas de alta amenaza, por su cercanía a rondas de ríos y quebradas, y 10 mil familias más que pueden ser víctimas de deslizamientos.

Foto - Amidia Sánchez, madre de cinco hijos -el menor tiene apenas 15 días de nacido-, tuvo que abandonar su vivienda por el invierno. Fotos Mauricio Moreno / - Vecinos del barrio Bellavista armaron barricadas en las aceras para enfrentar los desbordamientos de las

Publicidad



quebradas.

- Esta imagen de la carrera 30 con calle 62 resume la situación de Bogotá: trancones y obras a media marcha. Felipe Caicedo / EL TIEMPO

Publicación
eltiempo.com
Sección
Nación
Fecha de publicación
21 de octubre de 2004

Eltiempo.com:
Colombia
Mundo
Deportes
Economía
Ciencia y tecnología
Cultura y ocio
Opinión
Salud
Vida de hoy
Clasificados
Archivo
Videos
Blogs
Yo publico

Publicaciones:
Aló
Carrusel
Enter
Credencial
Lecturas

Información y ayudas:
Mapa del sitio
Ayuda
Registro
Servicio al cliente
Quiénes hacen eltiempo.com
Pauta con nosotros
Suscripciones
Club de suscriptores
Casa Editorial EL TIEMPO
Clientes Casa Editorial EL TIEMPO

Nuestra red de portales
eltiempo.com
portafolio.com.co
cambio.com.co
vive.in
revistadonjuan.com
futbolred.com
enter.com.co
abcdelbebe.com
citytv.com.co
motor.com.co
elempleo.com
metrocuadrado.com
clasificar.com
guiaacademica.com
metrabajo.com

CASA EDITORIAL EL TIEMPO

COPYRIGHT © 2008 CEET Prohibida su reproducción total o parcial, así como su traducción a cualquier idioma sin autorización escrita de su titular. Ver Términos y Condiciones.

Miembro de GDA, Grupo de Diarios América

Anexo B. MAPA DE AMENAZA

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 429 2801 Fax. 429 2833 - Bogotá D.C. - Colombia
Página Web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co