

CLASIFICADO



ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.

Fondo de Prevención
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

MARÍA CAROLINA ROGELIS
GRUPO DE ESTUDIOS
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
ÁREA TÉCNICA Y DE GESTIÓN
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - DPAE
DIAGONAL 47 No 77A-09
BOGOTA, COLOMBIA

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES DEL RÍO TUNJUELO – 2009

CONTRATOS:

PS 104 DE 2008

PS 504 DE 2008

PS 052 DE 2009

PS 292 DE 2009

VOL. 1 INFORME FINAL

ORIGINAL

Julio 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

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES DEL RÍO TUNJUELO – 2009

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

Director: Ing. Guillermo Escobar Castro

Responsable Área Técnica y de Gestión: Ing. Lucy González

Coordinador de Investigación y Desarrollo: Ing. Germán Barreto

Responsable Grupo 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	10
2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RÍO TUNJUELO.....	12
3	DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO TUNJUELO EN EL AÑO 2009	14
3.1	CUENCA ALTA.....	14
3.2	ZONA DE CANTERAS	15
3.2.1	Descripción de la zona de Canteras.....	15
3.2.2	Estructura de Control de Crecientes	17
3.3	PUENTES.....	21
3.4	JARILLONES	22
3.5	DRAGADOS	22
4	CARACTERÍSTICAS DE LAS CRECIENTES DEL RÍO TUNJUELO.....	23
5	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES	27
5.1	DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN GENERAL DEL SISTEMA	29
5.1.1	EQUIPO UTILIZADO POR EL CENTRO DE MONITOREO, PRONÓSTICO Y EMISIÓN DE ALERTAS TÉCNICAS.....	30
6	SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRANSMISIÓN DE DATOS	34
6.1.1	Monitoreo de estructuras	35
6.1.2	Monitoreo de la zona de gravilleras	36
6.1.3	ESTRUCTURA DE CONTROL	39
6.1.4	Monitoreo de la red hidrometeorológica de Bogotá - DPAE.....	40
6.1.5	SISTEMA DE MIRAS	42
6.1.6	MONITOREO VISUAL.....	44
6.1.7	Información que debería recopilarse durante un evento de inundación.....	48
7	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y VISUALIZACIÓN DE DATOS	49
8	SISTEMA DE EVALUACIÓN.....	51
8.1	Nivel de alerta 1.....	53
8.2	Nivel de alerta 2.....	53
8.3	Nivel de alerta 3.....	54
8.4	Nivel de alerta 4.....	55
8.5	Nivel de alerta 5.....	55
8.6	Nivel de alerta 6.....	56
8.7	Metodología para la Emisión de Alertas con base en los niveles registrados en los sensores	56
8.8	Evaluación de la capacidad hidráulica del río y determinación de umbrales de nivel del río Tunjuelo.....	60
8.9	Sensibilidad de los resultados	80
8.10	Reflujo.....	82
8.11	Limitaciones de los análisis.....	85
9	SISTEMA DE PRONÓSTICO	86
9.1.1	Sistema de Pronóstico – desarrollo del sistema de captura de datos de monitoreo	86
9.2	Sistema de Pronóstico – Modelo hidrológico	87
9.3	Sistema de Pronóstico – modelo hidrodinámico.....	102
9.3.1	Procesamiento topográfico.....	102
9.3.2	Zona de gravilleras.....	105
9.3.3	Tramo Canteras - Embalses.....	109

9.3.4	Zona de embalses de amortiguación	113
9.3.5	Tramo embalses – desembocadura	116
9.3.6	Condiciones de frontera del modelo hidrodinámico.....	117
9.3.7	Tiempos de ejecución del sistema.....	117
9.3.8	Esquema de uso de los datos para generar pronóstico	120
9.4	Sistema de Pronóstico – Proceso de calibración	120
9.4.1	Seguimiento creciente 25-28 de mayo de 2008 – Calibración	122
9.4.2	Seguimiento creciente 1-7 de noviembre de 2008 – Calibración.....	131
10	PROTOCOLO DE EMISIÓN DE ALERTAS	141
11	INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES	141
12	LIMITACIONES DEL SISTEMA DE ALERTA	143
12.1	Sistema de monitoreo.....	143
12.2	Sistema de pronóstico hidrológico	143
12.3	Sistema de pronóstico hidrodinámico.....	144
12.4	Limitaciones en la operación del sistema de alerta	146
13	CONCLUSIONES	147
14	RECOMENDACIONES	149

ANEXOS

Anexo A.	Correo de la empresa CEMEX S.A informando sobre el ajuste en el datum de las miras de monitoreo de la zona de pits.....	154
Anexo B.	Medición de tiempos de tránsito entre los sensores de nivel Gravilleras, San Benito, Independencia y Kennedy para crecientes de baja magnitud.....	156
Anexo C.	Medición de tiempos de tránsito para crecientes de gran magnitud en todo el río Tunjuelo	158
Anexo D.	Medición de tiempos de tránsito entre la presa La Regadera y la Zona de Gravilleras	160
Anexo E.	Formatos de monitoreo de miras	168
Anexo F.	Formatos de monitoreo de jarillones	178
Anexo G.	Evaluación de la capacidad hidráulica del río Tunjuelo $n=0.04$	180
Anexo H.	Evaluación de la capacidad hidráulica del río Tunjuelo $n=0.03$	198
Anexo I.	Pesos asignados a las estaciones hidrometeorológicas mediante polígonos de Thiessen	218
Anexo J.	Resultados de la calibración de los modelos hidrológico para la creciente registrada en mayo 25-28 de 2008	230
Anexo K.	Resultados de la calibración de los modelos hidrológico e hidrodinámico para la creciente registrada en noviembre 1-11 de 2008.....	242
Anexo L.	Protocolo de emisión de alerta.....	245
Anexo M.	Correspondencia de envío de información de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	269

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cuenca del río Tunjuelo.....	13
Ilustración 2. Comportamiento de los niveles del pit Santa María desde enero de 2006 hasta mayo de 2009.....	15
Ilustración 3. Zona de Gravilleras.....	16
Ilustración 4. Comportamiento de los niveles del pit Sánchez y González desde enero de 2004 a mayo de 2009.....	17
Ilustración 5. Comportamiento de los niveles del pit Pozo Azul desde Julio de 2005 hasta enero de 2009.	17
Ilustración 6. Localización de la estructura de control.....	18
Ilustración 7. Estructura de control de crecientes (Fuente: EAAB, 2005).....	19
Ilustración 8. Corte estructura de Control (Fuente: EAAB, 2005).....	20
Ilustración 9. Corte estructura de control (Fuente: EAAB, 2005).....	20
Ilustración 10. Tiempos de tránsito promedio medidos en el río Tunjuelo.....	25
Ilustración 11. Componentes del sistema de alerta temprana de inundaciones.....	27
Ilustración 12. Niveles de alerta utilizados para el río Tunjuelo.....	29
Ilustración 13. Niveles de alerta del sistema de alerta del río Tunjuelo.....	30
Ilustración 14. Sistema conformado por los equipos utilizados para la elaboración de pronósticos y emisión de alertas.....	31
Ilustración 15. Monitoreo de la cuenca del río Tunjuelo.....	34
Ilustración 16. Monitoreo de estructuras.....	36
Ilustración 17. Monitoreo en la zona de Gravilleras.....	38
Ilustración 18. Localización de Estaciones localizadas en la cuenca del río Tunjuelo.....	41
Ilustración 19. Puente Meissen y Q. Chiguaza.....	44
Ilustración 20. Isla del sol.....	44
Ilustración 21. Socorro - Catalina.....	45
Ilustración 22. José Antonio Galán.....	45
Ilustración 23. Class y La Paz.....	45
Ilustración 24. Islandia A, B y Villa S.....	45
Ilustración 25. San Pedro.....	45
Ilustración 26. El Jardín y Puente San José.....	45
Ilustración 27. Estructuras a ser incluidas durante patrullaje de las condiciones del río Tunjuelo.....	47
Ilustración 28. Sistema de almacenamiento y visualización de la información de monitoreo.....	50
Ilustración 29. Localidades en la cuenca del río Tunjuelo.....	51
Ilustración 30. Curva nivel almacenamiento embalses Chisacá y la Regadera.....	53
Ilustración 31. Curva de descarga del Morning Glory de la Regadera.....	54
Ilustración 32. Niveles de alerta (tomado de www.ci.woodland.ca.us/archive/eNews/en012006821.doc).....	57
Ilustración 33. Tramos de cobertura de los sensores de nivel.....	59
Ilustración 34. Análisis de capacidad hidráulica tramo aguas arriba de los embalses de amortiguación.....	61
Ilustración 35. Umbrales de alerta Puente antiguo sobre la Cr 16B en la Quebrada Chiguaza, umbrales sugeridos para el barrio San Benito.....	64
Ilustración 36. Zona de Inundación de la Quebrada Chiguaza en el barrio Abraham Lincon y San Benito.....	65
Ilustración 37. Curva de calibración del Puente de Meissen.....	67
Ilustración 38. Análisis de capacidad hidráulica tramo Gravilleras – San Benito.....	68

Ilustración 39. Zona crítica del tramo aguas abajo de los embases de amortiguación localidad de Bosa.....	69
Ilustración 40. Zona crítica de la localidad de Kennedy	72
Ilustración 41. Area afectada por el desborde en la segunda zona de menor capacidad de la localidad de Kennedy.....	73
Ilustración 42. Sector afectado por desborde en la zona de tercera menor capacidad hidráulica	73
Ilustración 43. Curva de calibración del puente de la carrera 86.....	75
Ilustración 44. Area afectada por desbordamiento en el puente de la avenida Agoberto Mejía en la localidad de Kennedy	75
Ilustración 45. Análisis de capacidad hidráulica tramo aguas abajo de los embalses de amortiguación.....	77
Ilustración 46. Análisis de capacidad hidráulica tramo Embalse No 3-Portal de Bosa.....	78
Ilustración 47. Análisis de capacidad hidráulica tramo Portal de Bosa-Desembocadura	79
Ilustración 48. Perfiles de flujo para $n=0.03$ y $n=0.04$	81
Ilustración 49. Variación de niveles registrada por el Sensor San Benito 31 jul/04.....	82
Ilustración 50. Variación de niveles registrada por el Sensor San Benito 11 may/04	83
Ilustración 51. Creciente del 11 de mayo de 2006 calculada para el sensor Kennedy.....	84
Ilustración 52. Creciente del 15 de noviembre de 2006 medida en el sensor Kennedy	84
Ilustración 53. Esquema de funcionamiento del ingreso de datos de monitoreo al sistema de pronóstico	87
Ilustración 54. Imagen lansat utilizada en para la clasificación de uso del suelo.....	88
Ilustración 55. Clasificación de uso del suelo para la cuenca del río Tunjuelo.....	89
Ilustración 56. Suelos hidrológicos en la cuenca del río Tunjuelo.....	90
Ilustración 57. Número de curva para la cuenca del río Tunjuelo	91
Ilustración 58. Números de curva para cada subcuenca del río Tunjuelo.....	92
Ilustración 59. Modelo digital de terreno de la Cuenca del río Tunjuelo.....	93
Ilustración 60. Tiempo de retardo subcuencas del río Tunjuelo.....	94
Ilustración 61. Polígonos de Thiessen incluyendo la estación Moralba.....	95
Ilustración 62. Polígonos de Thiessen sin la estación de Moralba	96
Ilustración 63. Vista de la representación de la cuenca del río Tunjuelo en el software HEC HMS	97
Ilustración 64. Curvas del embalse La Regadera	99
Ilustración 65. Curvas del embalse Chisacá	99
Ilustración 66. Curvas del embalse Cantarra	100
Ilustración 67. Curvas de descargas del embalse Cantarrana	100
Ilustración 68. Curvas de descargas del ducto de la presa Cantarrana	101
Ilustración 69. Curvas nivel-almacenamiento para los pits mineros Pozo Azul y Sánchez y González.	101
Ilustración 70. Modelo digital de terreno del río Tunjuelo.....	103
Ilustración 71. Estructura de la base de datos geográfica de información geométrica del río Tunjuelo	104
Ilustración 72. Esquematación de la zona de gravilleras.....	106
Ilustración 73. Dique que separa las Minas Santa María y Pozo Azul (tomado del estudio EAAB, 2005)	107
Ilustración 74. Esquematación del Puente de la escuela de artillería.....	108
Ilustración 75. Vista del Puente de la Escuela de Artillería y dimensiones principales	108
Ilustración 76. Tramo de la zona de Gravilleras a la zona de los Embalses de Amortiguación..	109

Ilustración 77. Esquematización estructura de control	110
Ilustración 78. Curva de descarga de la estructura de control.....	111
Ilustración 79. Puente Meissen	112
Ilustración 80. Tubo del sistema de bombeo de San Benito.....	112
Ilustración 81. Puente sobre la Avenida Boyacá en el sector de San Benito	113
Ilustración 82. Esquematización embalse No 1.....	114
Ilustración 83. Esquematización embalse No 2.....	115
Ilustración 84. Esquematización embalse No 3.....	115
Ilustración 85. Tramo Embalses - desembocadura.....	116
Ilustración 86. Puente San José.....	117
Ilustración 87. Procedimiento de operación del sistema de pronóstico	119
Ilustración 88. Localización de estaciones para calibración en la cuenca alta del río Tunjuelo .	121
Ilustración 89. Caudal de rebose en los vertederos de las presas Chisacá y La Regadera	122
Ilustración 90. Precipitación en las presas Chisacá y Regadera y en las estaciones La Unión y Villa Teresa del 18-30 mayo/ 2008	123
Ilustración 91. Precipitación registrada en las estaciones Los Tunjos, Boca Grande, La Regadera, El Hato y La Unión entre el 18 de mayo y el 30 de mayo de 2008.....	124
Ilustración 92. Comparación de la precipitación acumulada en las estaciones de la Cuenca alta del río Tunjuelo en el periodo del 18 al 30 de mayo de 2008.....	124
Ilustración 93. Precipitación acumulada en las estaciones Bocagrande, El Hato, La Regadera y Los Tunjos.	125
Ilustración 94. Precipitación de 10 minutos en las estaciones La Unión y Villa Teresa	125
Ilustración 95. Crecientes de los tributarios de la Cuenca alta durante el mes de mayo/2008	126
Ilustración 96. Precipitación registrada en la Cuenca media y baja del río Tunjuelo.....	128
Ilustración 97. Caudales medidos y simulados luego de la calibración para la tormenta del 23 al 26 de mayo/2008 en la Rápida.	129
Ilustración 98. Niveles registrados en los sensores de nivel de la cuenca baja del río Tunjuelo y niveles simulados.....	130
Ilustración 99. Precipitación diaria en las estaciones de pluviométricas localizadas en la cuenca alta del río Tunjuelo	131
Ilustración 100. Registros de caudal en las estaciones Puente Australia, La Toma y El Herradero para el periodo 1-11 de noviembre.....	132
Ilustración 101. Registro de caudal de la canaleta parshall Chisacá durante el periodo 1-11 de noviembre de 2008	133
Ilustración 102. Registros del sensor de la descarga del Embalse La Regadera	134
Ilustración 103. Caudales de descarga y rebose en la presa La Regadera	135
Ilustración 104. Resultado del tránsito de crecienta en el Embalse La Regadera	135
Ilustración 105. Comparación registros de caudal estación telemétrica Gravilleras y lecturas en la mira localizada en La Rápida.	136
Ilustración 106. Comparación de niveles simulados y medidos en el pit Sanchez y González...	137
Ilustración 107. Comparación de niveles simulados y medidos en el pit Pozo Azul.....	138
Ilustración 108. Comparación de niveles simulados y medidos en el sensor San Benito para la crecienta del 1 al 11 de noviembre de 2008	139
Ilustración 109. Comparación de niveles simulados y medidos en el sensor Kennedy para la crecienta del 1 al 11 de noviembre de 2008	140
Ilustración 110. Comparación de niveles simulados y medidos en el sensor Independencia para la crecienta del 1 al 11 de noviembre de 2008	140
Ilustración 111. Instancias de comunicación del sistema de alerta temprana del río Tunjuelo.	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tiempos medidos con el sistema de monitoreo para las crecientes históricas (fuente: Rosas, 2005)	23
Tabla 2. Picos y tiempos de viaje medidos para crecientes de baja magnitud	23
Tabla 3. Mediciones del tiempo de viaje entre la presa La Regadera y la zona de Gravilleras.....	24
Tabla 4. Actividades del equipo a cargo de la ejecución del sistema de alerta a nivel técnico ...	33
Tabla 5. Puntos de monitoreo en la zona de Gravilleras	37
Tabla 6. Monitoreo zona de Pits	37
Tabla 7. Monitoreo en la rápida	39
Tabla 8. Número de estaciones de la red hidrometeorológica de Bogotá	40
Tabla 9. Monitoreo con miras	42
Tabla 10. Cotas cero de las miras ubicadas en los puntos de medición de los sensores	42
Tabla 11. Puntos de monitoreo con miras	43
Tabla 12. Convenciones para la Ilustración 19 a la Ilustración 26.....	44
Tabla 13. Descripción de los puntos de monitoreo visual del río Tunjuelo	46
Tabla 14. Niveles de alerta del río Tunjuelo	52
Tabla 15. Emisión de alerta amarilla por localidad	54
Tabla 16. Emisión de alerta naranja por localidad	55
Tabla 17. Emisión de alerta nivel 4 por localidad.....	55
Tabla 18. Emisión de alerta amarilla por localidad.....	56
Tabla 19. Umbrales de alerta para la localidad de Tunjuelito	62
Tabla 20. Umbrales de alerta para la localidad de Ciudad Bolívar	66
Tabla 21. Umbrales de alerta para la localidad de Bosa en el tramo cubierto por el sensor Kennedy	70
Tabla 22. Umbrales de alerta para la localidad de Bosa en el tramo cubierto por el sensor Independencia.....	70
Tabla 23. Umbrales de alerta para la localidad de Bosa en el tramo cubierto por el sensor Kennedy	71
Tabla 24. Umbrales de alerta para la localidad de Bosa en el tramo cubierto por el sensor Independencia.....	71
Tabla 25. Umbrales de alerta para la localidad de Kennedy	76
Tabla 26. Umbrales de alerta para la localidad de Kennedy en el tramo cubierto por el sensor Kennedy	76
Tabla 27. Alertas por localidad con $n=0.04$	80
Tabla 28. Alertas por localidad con $n=0.03$	80
Tabla 29. Características de los tramos del modelo hidrológico	98
Tabla 30. Coberturas utilizadas en la generación del modelo digital de terreno.....	102
Tabla 31. Falta de información topográfica en el río Tunjuelo	105
Tabla 32. Conexiones de las áreas de almacenamiento en la zona de gravilleras.....	106
Tabla 33. Estructuras de los embalses 1,2 y 3 (Fuente EAAB, 1997).....	114
Tabla 34. Condiciones de frontera del modelo en HEC RAS	117
Tabla 35. Resultados de las calibraciones para el mes de mayo de 2008.....	127
Tabla 36. Resultados de la calibración de la Cuenca alta para las tormentas del 1-11 de noviembre de 2008.	132
Tabla 37. Resultados de la calibración del modelo hidrodinámico creciente 1-11 noviembre de 2008.....	139

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Puente Cra 16 b.....	21
Foto 2. Puente Meissen.....	21
Foto 3. Estructura existente en el sitio del Puente sobre la quebrada Chiguaza con cra 16B.....	63
Foto 4. Vista hacia aguas abajo del puente existente sobre la Qda. Chiguaza en la Cra 16B.	63
Foto 5. Vista de las viviendas localizadas en las bancas de la Qda. Chiguaza en la confluencia con el río Tunjuelo.	63
Foto 6. Vista del jarillón del río Tunjuelo en la confluencia con la Qda. Chiguaza.	63
Foto 7. Puente de la carrera 86 Av Agoberto Mejía, lugar de instalación del sensor Kennedy	74

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES DEL RÍO TUNJUELO -2009

1 INTRODUCCIÓN

El río Tunjuelo constituye uno de los cuerpos de agua más importantes de la ciudad de Bogotá. La cuenca media y baja de este río ha sido sujeta durante las últimas décadas a procesos de urbanización acelerada que han resultado en la localización de población, con una alta densidad, en las zonas que constituyen las planicies de inundación del río. El evento más reciente que generó la afectación de aproximadamente 3800 personas se presentó en junio de 2002 y dió origen al proceso de desarrollo del sistema de alerta de inundaciones del río Tunjuelo en la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE, implicando la instalación de una red hidrometeorológica telemétrica en la cuenca y la determinación de umbrales de alerta.

En el año 2006 se publicó la primera versión del Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones del río Tunjuelo funcionando con un sistema de pronóstico, en el cual se hacía uso de la información capturada por la estaciones telemétricas de la DPAE e información de otras fuentes, con el fin de emitir alertas con un tiempo adecuado de anticipación en la cuenca.

En el año 2008 se culminó el proyecto Cantarrana, el cual implicó cambios drásticos en el funcionamiento de la cuenca del río Tunjuelo. La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá construyó la presa seca Cantarrana y llevó a cabo un proyecto de dragado del cauce y realce de jarillones que resultó en cambios importantes en el comportamiento hidráulico del río, lo cual generó la necesidad de actualizar el sistema de alerta temprana de inundaciones del río Tunjuelo.

El sistema de alerta temprana de inundaciones del río Tunjuelo está compuesto por varios subsistemas. El principal eslabón es el sistema de pronóstico, que consta de un componente de recolección de datos, un componente de transmisión de datos al centro de pronóstico y un componente de preparación del pronóstico. En el centro de pronóstico, los datos son convertidos en pronósticos que son transmitidos a las autoridades que toman las decisiones, quienes usan el pronóstico para preparar y emitir las alertas dependiendo de su evaluación. De esta forma se activa un sistema de respuesta. La emisión de alertas es un proceso de toma de decisiones bajo condiciones de probabilidad debido a que los niveles de agua son función aleatoria del tiempo. Los hidrólogos tienen que trabajar con incertidumbres que hacen imposible obtener una extrapolación exacta de una función hidrológica del tiempo. Entre más corto es el tiempo de pronóstico, más preciso puede ser el pronóstico.

Este documento describe la actualización del diseño del sistema de alerta desarrollado para el río Tunjuelo en el Grupo de Estudios de la Coordinación de Investigación y Desarrollo de la DPAE, basado en la información disponible a marzo del año 2009 que en su mayoría fue proporcionada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá como resultado del proyecto Cantarrana.

Incluye el análisis hidrológico e hidráulico del río y la determinación de umbrales en los sensores de nivel y en todas las secciones del río. Para integrar la determinación de alertas con las acciones correspondientes de respuesta se estructuró un protocolo de actuación durante las etapas de emisión de alerta. Dado el carácter dinámico de los ríos, el sistema de alerta es también dinámico y debe ser actualizado constantemente cada vez que se produzca un cambio en el río que modifique su respuesta durante creciente, por lo tanto este protocolo es válido siempre y cuando las condiciones del río correspondan con las asumidas para el diseño del sistema.

Cabe aclarar que las actividades que se sugieren en este documento parten de la visión técnica del manejo de las crecientes del río Tunjuelo, y no se pretende asignar responsabilidades ni al interior ni al exterior de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, sino presentar una propuesta a partir de la cual se llegue de manera concertada a definir actividades y responsables que garanticen la ejecución del sistema y la toma de decisiones de manera adecuada. De la misma manera, es importante mencionar que este documento no tiene alcance para realizar un análisis de consistencia de datos ni control de calidad de la información hidrometeorológica.

2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RÍO TUNJUELO

La cuenca del río Tunjuelo está localizada al sur de la ciudad de Bogotá. En sus 388 Km² de área de drenaje se concentra una población aproximada de 2.5 millones de personas pertenecientes a las localidades de Tunjuelito, Usme, Ciudad Bolívar y Bosa cuyas características principales son la marginalidad social, pobreza y segregación. Este recurso es aprovechado para el abastecimiento de agua para el territorio sur de Bogotá y la extracción de materiales de construcción.

El río Tunjuelo forma parte del sistema hidrográfico del río Bogotá. Nace en la laguna de los Tunjos o Chisacá y desemboca en el río Bogotá, para una longitud de 53 km con un descenso de 1.340 m (entre las cotas 3.850 y 2.510).

La cuenca del río Tunjuelo puede dividirse en tres zonas (ver Ilustración 1). La parte alta y la media, territorios rurales de páramo, ricos en agua y biodiversidad, lo que los hace zona de preservación y protección ambiental. Finalmente se encuentra la Cuenca Baja, conformada por suelo urbano.

La cuenca alta es la parte más escarpada de la Cuenca y comprende el área localizada entre la Laguna de los Tunjos, lugar donde nace el río Tunjuelo, y el Embalse de la Regadera. Del páramo de Sumapaz y de la Laguna de Los Tunjos descienden los ríos Chisacá y Mugroso, de cuya confluencia procede el río Tunjuelo. Dichos afluentes alimentan la represa de Chisacá. Los embalses Chisacá y La Regadera, componentes del sistema sur de abastecimiento de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, permiten el suministro de agua potable para 250.000 personas que habitan en la localidad de Usme, abastecidos así por la captación de agua que realiza la cuenca (ver Ilustración 1).

La cuenca media hace parte del área rural del Distrito y va desde el embalse La Regadera hasta el área denominada Zona de Canteras. Los parques minero industriales del Tunjuelo, del Mochuelo y de Usme, son la fuente principal de extracción de arenas, gravas, areniscas y arcillas. Cabe resaltar que la zona de gravilleras constituye a la fecha uno de los puntos álgidos en el manejo del río debido a que los pits de extracción minera resultaron inundados durante los eventos ocurridos en junio de 2002 (para mayor información ver Proaño, 2002) y actualmente el río se encuentra ingresando a dos pits inundados para posteriormente retomar su cauce aguas abajo, en donde encuentra una estructura de control construida por la EAAB y CEMEX. Dentro de esta área se encuentra ubicado el Relleno Sanitario Doña Juana, en la localidad de Ciudad Bolívar, que comprende una extensión de 450 ha. Éste constituye un servicio urbano básico para la disposición final de residuos sólidos generados por Bogotá.

En la cuenca media se encuentra el sitio de presa del embalse seco Cantarrana diseñado para amortiguar la creciente con el periodo de retorno de 100 años (EAAB, 2000) y que fue finalizado a mediados del año 2008 junto con el dragado y realce de jarillones del río, obras de mitigación establecidas en el Plan de Ordenamiento Territorial- POT.

La cuenca baja es el área de la Cuenca del río Tunjuelo que abarca el perímetro urbano. Comprende desde la llamada Zona de Canteras hasta la desembocadura del río Tunjuelo, en el río Bogotá. La mayor proporción de esta Cuenca se encuentra poblada y aún dispone de áreas para la oferta de suelo urbanizable.

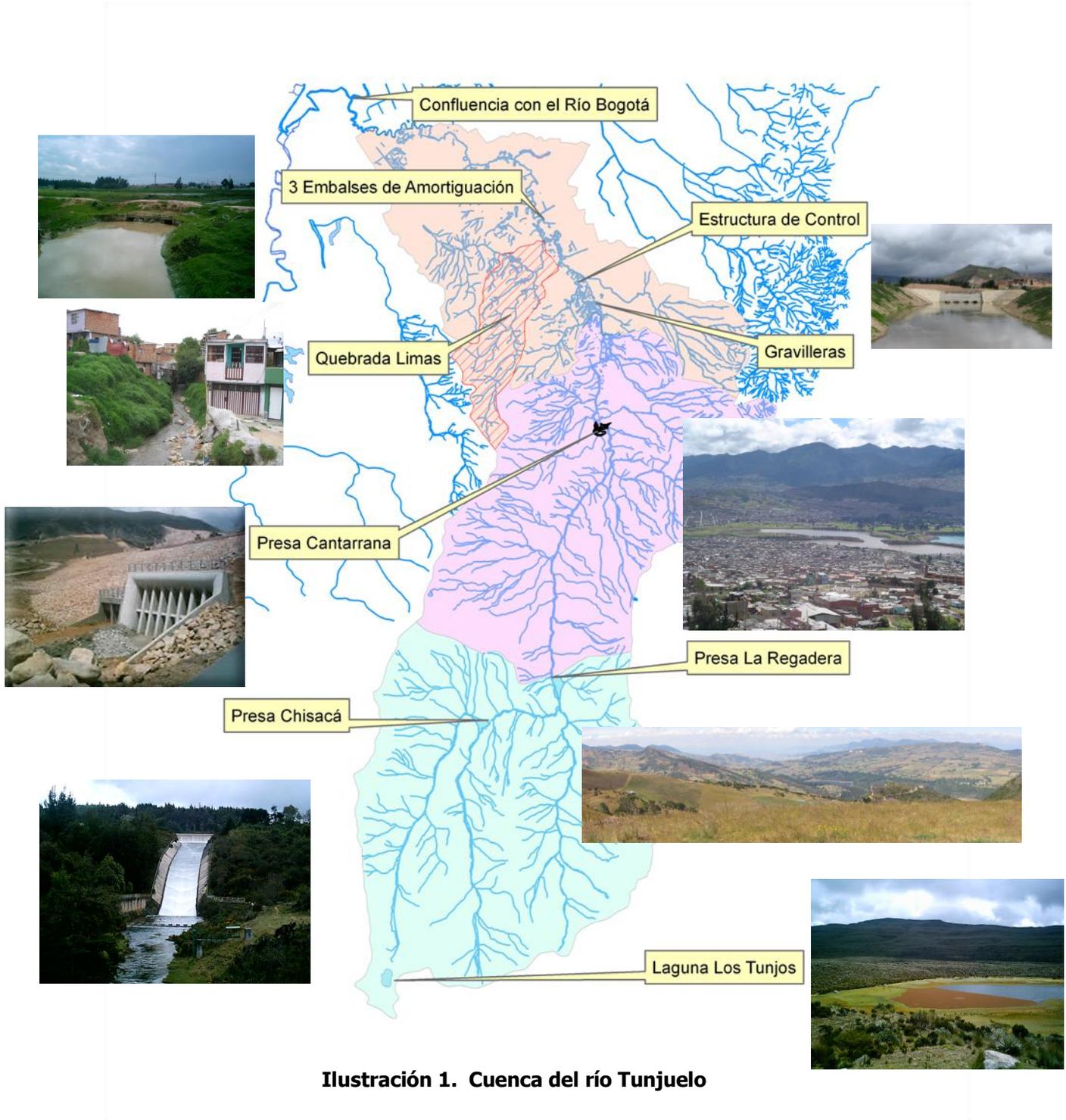


Ilustración 1. Cuenca del río Tunjuelo

3 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO TUNJUELO EN EL AÑO 2009

3.1 CUENCA ALTA

La cuenca alta del río Tunjuelo se caracteriza por la presencia de dos embalses en serie: La Regadera y Chisacá (ver Ilustración 1). Según la documentación proporcionada por la Empresa de Acueducto de Bogotá, la decisión para apertura y cierre de la descarga de fondo de la presa La Regadera se toma de la siguiente manera:

“Las premisas fundamentales para el manejo de la apertura y cierre de la válvula de fondo son:

- *Mantener una capacidad de almacenamiento de agua cruda suficiente para minimizar la posibilidad de un rebose en caso de aumento de las afluencias y por encima de las afluencias.*
- *Mantener un volumen de agua suficiente para las plantas de tratamiento, en caso de que las afluencias disminuyan y evitar que se descuelgue el nivel del embalse.*
- *Mantener el embalse en un nivel adecuado para garantizar la calidad del agua cruda que se conduce a las plantas de tratamiento.*

Las condiciones de apertura y cierre de la válvula de fondo son:

- *Si se está en tiempo de lluvias se abre la válvula de fondo si el nivel del embalse llega a 2999 msnm, lo cual ocurre generalmente entre los meses de abril a noviembre y se cierra en la cota 2997 msnm. Con esta condición el volumen almacenado cuando llega a la cota de apertura es de 2.678.372 metros cúbicos y teniendo en cuenta que el volumen en la cota de rebose es de 3.787.846 metros cúbicos, se tiene un margen de almacenamiento antes del rebose de 1.109.474 (29% del volumen total). En esta descarga de fondo se vierten 365.724 metros cúbicos de agua cruda al río Tunjuelo.*
- *Si se está en tiempo seco y el balance hídrico es negativo (mayores efluencias que afluencias), se abre en la cota 3000 msnm, lo cual ocurre generalmente de diciembre a marzo y se cierra en la cota 2999 msnm. Con esta condición el volumen almacenado cuando se llega a la cota de apertura es de 2.965.196 metros cúbicos y teniendo en cuenta que el volumen en la cota de rebose es de 3.787.846 metros cúbicos, se tienen un margen de almacenamiento antes del rebose de 822.650 (21.7% del volumen total). Este nivel asegura que habrá agua suficiente para las plantas de tratamiento, en caso de que el balance hídrico sea negativo y asegura una buena calidad del agua cruda. En esta descarga de fondo se vierten 343.688 metros cúbicos de agua cruda al río Tunjuelo, de forma similar que el caso anterior.*

En un evento de contingencia:

Si el balance hídrico es negativo y el nivel de la Regadera baja de 2997 msnm se abre la descarga de fondo de Chisaca. Esto se realiza generalmente a comienzos del mes de enero y se cierra a comienzos del mes de marzo. Si el nivel del embalse de Chisacá tiende a la bajar o cuando con descarga de fondo de Chisacá abierta, el embalse no se recupera, se abre descarga de fondo de los Tunjos. Este suceso ocurre generalmente a finales del mes de enero y se cierra a comienzos del mes de mayo. Con volumen menor a 5.700.000 en los embalses de Chisacá y la Regadera, se suspende conducción de la tubería del Tunjuelo a Vitelma, hasta que se logre recuperar los embalses. En la cota 2998.1 msnm se ordena suspensión de la Planta La Laguna.” (EAAB,2005).

El procedimiento a seguir cuando se presentan crecientes en la cuenca alta de la cuenca, se encuentra plasmado en el protocolo de emisión de alertas, en donde se estructuró la información proporcionada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (ver Anexo L).

3.2 ZONA DE CANTERAS

3.2.1 Descripción de la zona de Canteras

Como consecuencia de los eventos de mayo-junio del año 2002, el río Tunjuelo perdió su cauce en la zona de Gravilleras inundando los pits mineros. Para el año 2009, se encuentran inundadas las canteras Sanchez y González y Pozo Azul a las cuales el río Tunjuelo vierte sus aguas directamente. Los pits Santa María y Pozo Azul fueron separados el día 2 de abril de 2005 mediante el realce de un dique de separación, el cual se consideró como un dique fusible para las crecientes que se presentaron posteriormente. Durante la creciente de mayo de 2006, -debido a la magnitud de esta creciente- el dique fusible se rompió permitiendo el almacenamiento parcial de la creciente en el pit Santa María y el funcionamiento conjunto de los pits Santa María y Pozo Azul para el tránsito de la creciente. Aproximadamente a partir del mes de octubre de 2007, la gráfica de monitoreo del pit Santa María muestra el inicio del descenso de los niveles del pit, finalizando aproximadamente en mayo de 2008, llegando a la cota 2545 msnm implicando un descenso de nivel de aproximadamente 12.5 metros (ver Ilustración 2).

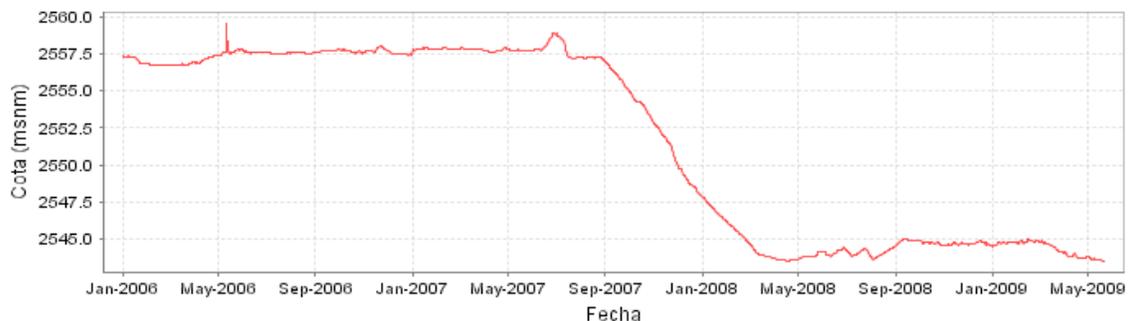


Ilustración 2. Comportamiento de los niveles del pit Santa María desde enero de 2006 hasta mayo de 2009 (Fuente: SIRE)

A la fecha, se desconoce si el pit Santa María podría volverse a inundar eventualmente ante un evento de creciente de gran magnitud en el río Tunjuelo y también son desconocidas las condiciones de aislamiento actualmente existentes entre los pits Pozo Azul y Santa María.



Ilustración 3. Zona de Gravilleras

Con respecto al comportamiento de los pits Sánchez y González (o Manuel Rey) y Pozo Azul, el 1 de enero del año 2007, la empresa CEMEX S.A. realizó un ajuste a las cotas de las miras de monitoreo de los pits, debido a que identificó una diferencia en el datum del punto de amarre con las cotas manejadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. El correo electrónico de soporte de dicho cambio del datum de amarre de las miras se encuentra en el Anexo A.

En la Ilustración 4 y la Ilustración 5 se muestran los ascensos de los pits en respuesta a las crecientes que se han presentado en el río en los últimos meses, identificándose ascensos entre los 2.5 y 3 metros durante las crecientes más importantes del río.

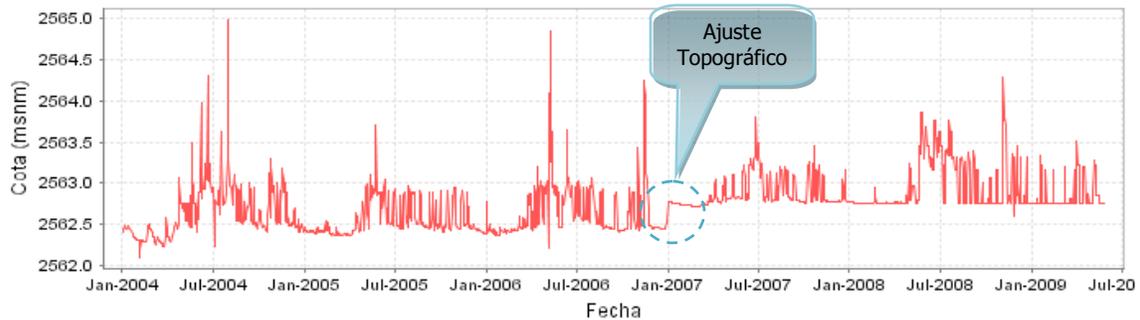


Ilustración 4. Comportamiento de los niveles del pit Sánchez y González desde enero de 2004 a mayo de 2009. (Fuente: SIRE)

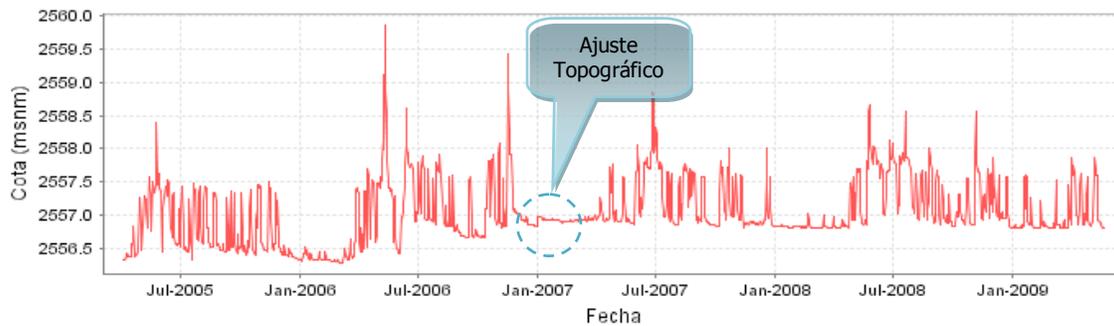


Ilustración 5. Comportamiento de los niveles del pit Pozo Azul desde Julio de 2005 hasta enero de 2009. (Fuente: SIRE)

3.2.2 Estructura de Control de Crecientes

Con el fin de utilizar más eficientemente el volumen disponible en las canteras Pozo Azul y Santamaría, se construyó una estructura de control en el meandro aguas arriba de Puente Meissen (Ver Ilustración 6 e Ilustración 7). La estructura de control entró en operación la tercera semana de abril de 2006 constituyendo un control de flujo que será explicado con detalle a continuación. Bajo las condiciones de diseño se esperaba que el sistema de esta zona permitiera controlar la crecien de periodo de retorno de 20 años sin rebose de la estructura. A continuación se resume la descripción de la estructura y sus especificaciones, tomadas del estudio llevado a cabo por HMV (EAAB, 2005):



Ilustración 6. Localización de la estructura de control

- *"Nivel de plaza de entrada: 2555 msnm*
- *Nivel de plaza de salida: 2555 msnm*
- *Nivel de corona de jarillón izquierdo entre la estructura y puente Meisen: 2562 msnm*
- *Nivel de corona de jarillón derecho en el mismo tramo: mínimo 2562 msnm*
- *Nivel de fondo del canal de salida: 2555 msnm*
- *Ancho de entrega al canal natural del río (cota 2555 msnm): 19.5 m*
- *Ancho de inicio de plaza de salida (cota 2555 msnm): mínimo ancho total de la estructura del vertedero de excesos.*
- *Ancho de entrega a la estructura de la plaza de entrada (cota 2555 msnm): mínimo ancho total de la estructura.*
- *Taludes de excavación y relleno en la zona, mínimo 1.5:1*
- *Conexión del jarillón izquierdo de la estructura con el jarillón izquierdo actual del río dentro de la zona propiedad de Cemex, en lo posible, o al menos en zona pública.*
- *Nivel mínimo de vertedero: 2560.50 msnm.*
- *Nivel de diseño de jarillones: 2562.60 msnm*

- *Borde libre de jarillones sobre el nivel de agua de diseño de 1.00 m*
- *Ancho de corona de la estructura (jarillones) de 3.50 m mínimo (todo jarillón que sea intervenido, por cualquier motivo, deberá tener esta misma especificación).*
- *Todos los jarillones deberán ser revegetalizados.*
- *Las tuberías podrán ser de cualquier material, que garantice una duración no menor de 10 años en las condiciones de la zona.*

Diseño Hidráulico:

- *El nivel de vertimiento será el correspondiente a la 2560.50 msnm*
- *El borde libre sobre este nivel será de 1.0 m*
- *El espesor y características del enrocado de fondo de las plazas de entrada y salida será determinado, para impedir el lavado del material natural bajo el cauce por el flujo de alta velocidad de los tubos por una parte, y por otra evitar el arrastre del enrocado por este mismo flujo.*
- *La plaza de entrada tendrá a la cota 2555.0, un ancho igual al de la estructura.*
- *La plaza de salida tendrá un ancho mínimo inicial a la cota 2555.0m igual al de la estructura.*
- *El diseño hidráulico de los tubos de control deberá ser tal que: Caudal de paso a la cota 2559.0 igual a 80 m³/s y diámetro mínimo de 2.0 m*

Permeabilidad

- *Mínimo un cortaflujo siguiendo el eje del jarillón derecho de la estructura, penetrando en el predio de la Escuela de Artillería, de 10 m de largo y la profundidad determinada de cimentación de la estructura cerca de ella y la cota 55 en el extremo*
- *El muro lateral en concreto de la estructura deberá tener como mínimo, una aleta cortaflujo de 1.5 m de longitud, que penetre en el cortaflujo anterior, así como en los jarillones de la estructura.*

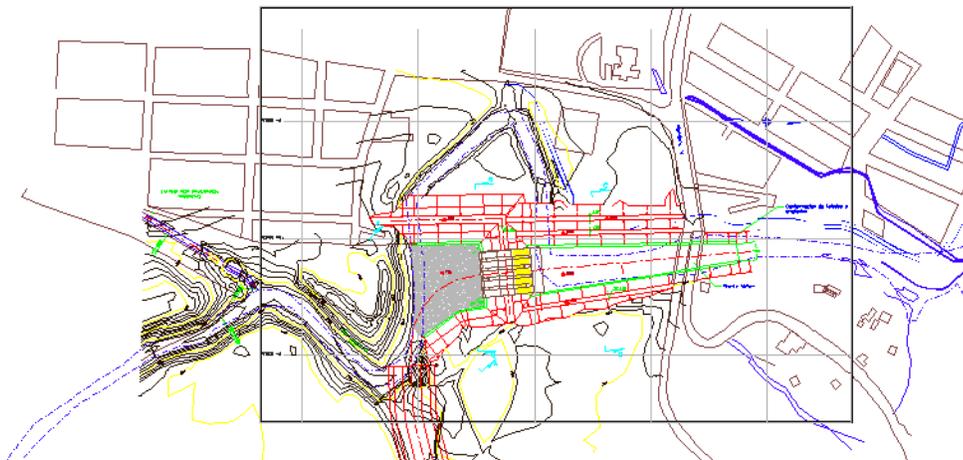


Ilustración 7. Estructura de control de crecientes (Fuente: EAAB, 2005)

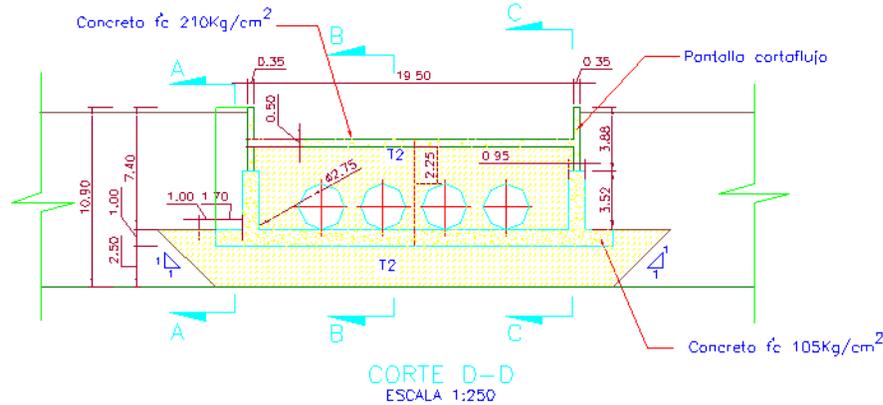


Ilustración 8. Corte estructura de Control (Fuente: EAAB, 2005)

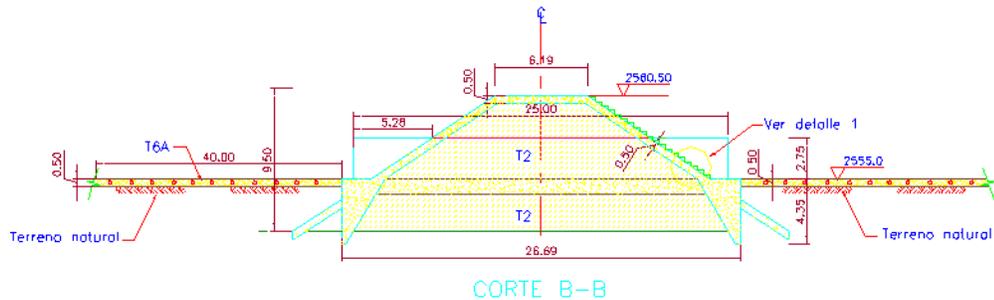


Ilustración 9. Corte estructura de control (Fuente: EAAB, 2005)

El planteamiento básico, es el de establecer una restricción de caudal con almacenamiento arriba del mismo, como los ya existentes en los Embalse 1, 2 y 3 del Tunjuelo, y como funciona Cantarrana.

Un análisis histórico de caudales disponibles, indica que crecientes con periodo de retorno de unos 10 años en la zona de canteras, con una probabilidad de presentarse en los tres años siguientes del orden del 30%, estarían dentro de la capacidad del sistema existente actualmente, sin obras adicionales.

Las modificaciones actualmente en curso en el sistema (aislamiento de lagos), hacen que esta capacidad de amortiguación de los lagos vaya disminuyendo en el tiempo, como es el caso de Santa María con Pozo Azul cuyo estado en el 2004 (unidos) permitió un nivel de embalse mayor al existente hoy.

Los volúmenes disponibles en los lagos actuales, muestran que, la creciente de 10 años, no requiere ampliación de volumen de almacenamiento, la de 25 utilizaría como mínimo el almacenamiento conseguible en los lagos Pozo Azul y Santa María (quitando la separación ya existente entre los mismos), la de 50 requeriría la utilización máxima de los anteriores, y de los lagos Sánchez-González-Madrid, y la de 100, requeriría la inundación de las canteras Manas,

Santa Inés y Guaquera, actualmente en explotación (Manas seca, Santa Inés casi seca, y Guaquera en proceso avanzado de secado).

De este análisis se desprende que las crecientes de 10 años (con probabilidad del orden del 30% de que se presenten en un periodo de 3 años) no tienen problema desde este punto de vista, las de 25 años, (con probabilidad del orden del 12% de que se presenten en el periodo), sería relativamente fácil de controlar, aunque ya requiere obras. Las de 50 años, (con probabilidad del orden del 6% de que se presenten en el periodo mencionado), serían difíciles de controlar, con vigilancia y manejo permanente (24 horas-7 días) durante el tiempo de crecientes, y las de 100 años (con probabilidad del orden del 3% en el periodo), requerirían además de todo lo anterior, la inundación de explotaciones industriales privadas en explotación, con los problemas consecuentes.

La obra recomendada está en capacidad de evacuar 80 m³/s de caudal en condiciones similares al funcionamiento actual. Una vez sobre pasado este caudal y hasta los caudales estimados para un evento de lluvia de 50 años de periodo de retorno (170 m³/s), la obra los controlaría almacenando la mayor parte de su volumen en Pozo Azul y Santa María, con una descarga controlada variable entre 80 m³/s y 120 m³/s.

Los caudales no controlados, es decir, los mayores a 170 m³/s se rebosarán pasando por encima de la estructura y entregando directamente al cauce.” (EAAB, 2005)

3.3 PUENTES

- Puente Cra 16 con quebrada Chiguaza: Dentro del plan de acción a corto plazo para el río Tunjuelo se demolió el puente sobre la carrera 16 con quebrada Chiguaza, actualmente todavía existen partes del puente que no han sido demolidas (ver Foto 1)
- Puente Meissen: el puente localizado en la calle 60G sur denominado Puente Meissen fue demolido para construir un puente con un gálibo mayor inmediatamente aguas arriba y que adicionalmente reemplaza al puente sobre la quebrada Chiguaza a la altura de la carrera 16B. A la fecha de elaboración de este documento, existen remanentes de este puente sobre el cauce del río Tunjuelo (ver **Foto 2**).



Foto 1. Puente Cra 16 b



Foto 2. Puente Meissen

3.4 JARILLONES

Para el año 2009 la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ha manifestado la culminación del Proyecto Cantarrana y sus obras anexas. Esta intervención del río incluyó el realce y reforzamiento de los jarillones, sobre cuya ejecución la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ha manifestado que *“ejecutó las obras de realce de jarillones y protección de orillas en los sitios puntuales identificados por el diseñador y en la etapa de construcción, cuyos planos record fueron remitidos mediante comunicación 2551001-2008-1231, en consecuencia las obras ejecutadas garantizan la protección contra inundaciones para los periodos de retorno diseñados, sin embargo, el Acueducto de Bogotá no puede garantizar la protección contra inundaciones en los sectores que aún no han sido intervenidos, ni en la confluencia de las quebradas afluentes del río Tunjuelo en las cuales no se haya ejecutado obras de recuperación hidráulica”* (tomado de la comunicación 2009ER4793).

3.5 DRAGADOS

Dentro del proyecto Cantarrana se llevaron a cabo actividades de dragado en el río Tunjuelo aguas abajo del sector de Gravilleras.

4 CARACTERÍSTICAS DE LAS CRECIENTES DEL RÍO TUNJUELO

Desde la instalación del sistema de monitoreo con que cuenta la DPAE se ha hecho el seguimiento de las crecientes del río Tunjuelo, permitiendo de esta forma conocer el comportamiento hidráulico del río en creciente. En la Tabla 1 se resumen los principales parámetros medidos en el periodo 2002-2005:

Fecha del evento	Caudal Pico La Regadera	Hora del Pico			Tiempo de tránsito [h]		
		San Benito	Kennedy	Independencia	Regadera a San Benito	San Benito a Kennedy	San Benito a Independencia
31-may-02	60						
1-jun-02	70						
9-jun-02	100						
9-6-04 // 7:00	17.44	9-6-04 // 13:30	9-6-04 // 20:30	9-6-04 // 21:30	6:30	7:00	8:00
31-7-04 // 8:00	72.85	31-7-04 // 14:50	1-8-04 // 1:40	1-8-04 // 2:20	6:50	10:50	11:30
26-10-04 // 7:00	22.57	26-10-04 // 15:55	27-10-04 // 0:00	27-10-04 // 1:00	8:55	8:05	9:05
23-5-05 // 14:00	23.47	23-5-05 // 20:30	24-5-05 // 2:05	24-5-05 // 3:05	6:30	5:35	6:35

Tabla 1. Tiempos medidos con el sistema de monitoreo para las crecientes históricas (fuente: Rosas, 2005)

El análisis de las otras crecientes de magnitud importante que se han registrado el río Tunjuelo se muestran en el Anexo B. Con el fin de analizar el comportamiento del río Tunjuelo en cuanto a tiempos de tránsito, se escogieron cuatro crecientes de baja magnitud, teniendo en cuenta que se contara con los datos de los 4 sensores de la DPAE para el análisis (Sensor Gravilleras, San Benito, Kennedy e Independencia).

Los valores promedio de los tiempos de viaje de las ondas de creciente para las crecientes de baja magnitud (para mayor detalle sobre las crecientes analizadas ver Anexo B) se muestran en la Tabla 2. Para las crecientes escogidas, la medición del tiempo de tránsito en la zona de los pits mineros no fue posible debido a que las crecientes se generaron en la cuenca media del río y los picos se registraron primero en la estación de nivel San Benito que en la estación Gravilleras, con excepción de la creciente del 1 de diciembre de 2008 en donde el tiempo de tránsito medido corresponde a 8:28 horas.

CRECIENTE	PICOS MEDIDOS Y TIEMPOS DE VIAJE						
	GRAVILLERAS	Δt	Sn BENITO	Δt	KENNEDY	Δt	INDEPENDENCIA
Onda de creciente 16 de noviembre/2008	16/11/2008 16:50	#	16/11/2008 16:27	4:18:00	16/11/2008 20:45	0:54:00	16/11/2008 21:39
Onda de creciente 22 de noviembre/2008	22/11/2008 01:31	#	22/11/2008 00:26	4:09:00	22/11/2008 04:35	1:19:00	22/11/2008 05:54
Onda de creciente 2 de diciembre/2008	01/12/2008 20:46	8:28:00	02/12/2008 05:14	4:17:00	02/12/2008 09:31	1:21:00	02/12/2008 10:52
Onda de creciente 16 de febrero/2009	16/02/2008 17:07	#	16/02/2008 16:50	3:53:00	16/02/2008 20:43	1:28:00	16/02/2008 22:11
PROMEDIO				4:09:15		1:15:30	

Tabla 2. Picos y tiempos de viaje medidos para crecientes de baja magnitud

Los valores de tiempo de viaje entre la estación de nivel San Benito y la estación de nivel Kennedy fueron muy cercanos para las cuatro crecientes y su valor es de aproximadamente 4:00

horas. Para el caso del tiempo de viaje entre la estación de nivel Kennedy y la estación de nivel Independencia, este valor es de alrededor de 1:15 horas.

Los tiempos registrados para crecientes de magnitud importante (ver Anexo B) en algunos casos son mayores que los mostrados en la Tabla 2 y tienen una variación significativa entre sí, esto se debe a que los tiempos de viaje de las ondas varían dependiendo del caudal de creciente, del almacenamiento en la zona de pits, del efecto de los embalses de amortiguación y además los picos de creciente pueden verse modificados por crecientes locales. Los tiempos mostrados en la Tabla 2 correspondientes al tiempo de viaje entre las estaciones de nivel Kennedy e Independencia son similares a los mostrados en el Anexo C, en algunos casos los tiempos medidos para crecientes de gran magnitud son muy inferiores, esto puede ser debido a la superposición de crecientes locales en el tramo entre las dos estaciones.

Para el caso del tiempo de viaje entre el embalse La Regadera y la zona de Gravilleras, se llevó a cabo la medición de los tiempos teniendo en cuenta el comportamiento de los niveles registrados en la descarga de la presa La Regadera donde se encuentra ubicado un sensor de nivel perteneciente a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y los niveles registrados en la estación Gravilleras de la DPAE. Se escogieron aperturas y cierres de la válvula de fondo de la regadera de tal manera que se contara con información completa de ambos sensores. Los resultados de las mediciones se encuentran en la Tabla 3 (para detalles de la medición ver Anexo D).

Fecha y hora apertura válvula de fondo	Fecha y hora apertura Ascenso Gravilleras	Δt	Fecha y hora cierre válvula de fondo	Inicio descenso Gravilleras	Δt	Fin descenso Gravilleras	Δt entre inicio y final	Δt entre cierre y final
21/11/2008 12:00	21/11/2008 16:35	04:35	24/11/2008 18:00	24/11/2008 20:50	02:50	25/11/2008 10:50	14:00:00	16:50:00
			28/11/2008 17:55	28/11/2008 20:50	02:55	29/11/2008 04:15	7:25:00	10:20:00
			02/12/2008 18:00	02/12/2008 20:50	02:50	03/12/2008 10:40	13:50:00	16:40:00
09/12/2008 05:40	09/12/2008 10:40	05:00	10/12/2008 05:40	10/12/2008 08:30	02:50	11/12/2008 01:40	17:10:00	20:00:00
21/12/2008 06:00	21/12/2008 11:00	05:00						
17/01/2009 11:50	17/01/2009 16:40	04:50	18/01/2009 18:00	18/01/2009 21:00	03:00			
20/01/2009 06:00	20/01/2009 10:20	04:20	22/01/2009 06:00	22/01/2009 08:00	02:00	23/01/2009 09:00	25:00:00	27:00:00
27/01/2009 18:00	27/01/2009 23:20	05:20	29/01/2009 06:00	29/01/2009 08:20	02:20			
12/02/2009 17:00	13/02/2009 22:15	05:15						
07/03/2009 06:15	07/03/2009 11:20	05:05	09/03/2009 06:00	09/03/2009 09:00	03:00	09/03/2009 20:12	11:12:00	14:12:00
			28/03/2009 18:00	28/03/2009 21:00	03:00	29/03/2009 09:20	12:20:00	15:20:00
02/04/2009 17:50	02/04/2009 22:30	04:40	07/04/2009 17:50	07/04/2009 21:00	03:10			
13/04/2009 17:55	13/04/2009 22:40	04:45	17/04/2009 06:25	17/04/2009 09:20	02:55	17/04/2009 22:40	13:20:00	16:15:00
22/04/2009 18:00	23/04/2009 23:10	05:10						
04/05/2009 12:00	04/05/2009 16:30	04:30	10/05/2009 06:00	10/05/2009 09:00	03:00	10/05/2009 16:30	7:30:00	10:30:00
PROMEDIO		04:52			02:49		13:31:53	16:20:47

Tabla 3. Mediciones del tiempo de viaje entre la presa La Regadera y la zona de Gravilleras

Los resultados muestran que en promedio el tiempo de viaje entre la presa La Regadera y la zona de Gravilleras es de 4:52 horas para las condiciones de aperturas de la válvula de fondo presentes en el análisis, en las cuales no se presentaron crecientes en la cuenca media durante la medición, es decir que los caudales variaron entre aproximadamente 0.5 m³/s (compuerta cerrada) y 8 m³/s (compuerta abierta).

En el caso de la apertura de la compuerta se forma un frente de onda abrupto, cuya celeridad está dada por la ecuación:

$$U = V + C^1$$

Siendo $C = \sqrt{gd}$ con d igual a la profundidad de flujo para un canal rectangular y V la velocidad de flujo. La distancia entre el embalse la Regadera y la rápida es de aproximadamente 18000 metros lo que implicaría una velocidad del frente de onda de 1.03 m/s.

Cuando se realiza un cierre de la compuerta, se produce una oleada negativa que produce una disminución en la celeridad de la onda, de esta manera la onda negativa tiene características dispersivas. La celeridad a la que se propaga esta onda es:

$$U = \sqrt{gd_o}$$

Para un canal rectangular, donde d_o es la profundidad inicial del flujo. A medida que la profundidad se reduce, la celeridad C disminuye. La velocidad de propagación de la onda en el instante de cierre de la compuerta es de 1.78 m/s.

Como puede observarse de las fórmulas, las velocidades de propagación de las ondas varían con las condiciones hidráulicas presentes en el río y puede esperarse que a mayor caudal en el río en condiciones iniciales, mayor sea la velocidad de propagación. Además, debe tenerse en cuenta que el comportamiento del río se ve influenciado por la presencia del embalse Cantarrana que modifica por completo el tránsito de la onda de crecienta.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la Ilustración 10 se muestran los tiempos de tránsito promedio. Para el caso del tiempo entre el embalse La Regadera y la rápida se muestra el mayor tiempo medido correspondiente a 5 horas, equivalente al tiempo aproximado que toma en llegar a la zona de gravilleras la onda de crecienta provocada por la apertura de la válvula de fondo de la presa La Regadera, bajo condiciones de caudales bajos en el río (caudal base con válvula de fondo cerrada en la presa La Regadera). Adicionalmente se muestra un valor promedio de 2 horas correspondiente a los tiempos medidos bajo condiciones de crecienta de magnitud considerable (ver Anexo C).

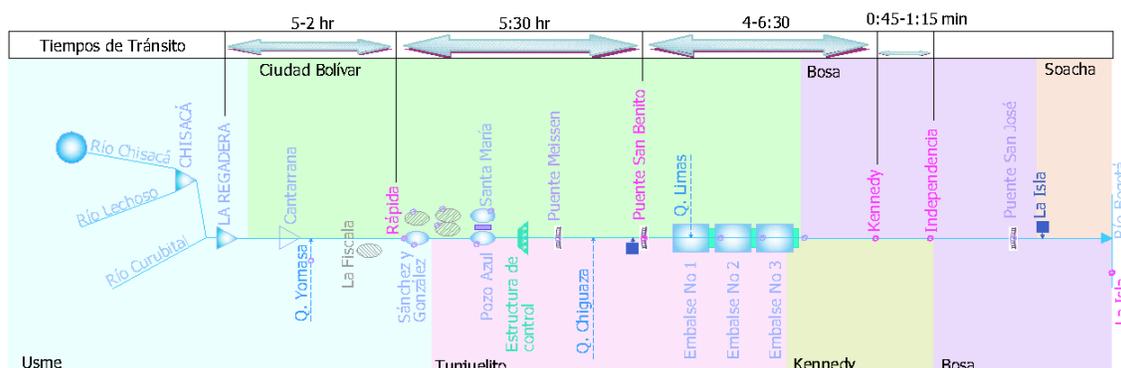


Ilustración 10. Tiempos de tránsito promedio medidos en el río Tunjuelo

¹ Tomado de Chanson, H., Ed. (2004). *The hydraulics of open channel flow: and introduction*, Elsevier.

Para el caso del tiempo de tránsito entre el puente de San Benito y la estación de nivel Kennedy, se muestra un valor de 4:00 horas correspondiente al tiempo tomado por la onda bajo condiciones de crecientes de baja magnitud y el valor de 6:30 que es el promedio del tiempo medido para crecientes de gran magnitud.

Del análisis de los datos de las crecientes registradas se puede concluir lo siguiente:

- ✓ Los caudales generadores de inundaciones provienen generalmente de la cuenca alta, es decir las crecientes monitoreadas en su mayoría se han ocasionado por el rebose del morning glory de la presa La Regadera, siendo este el escenario más frecuente de emisión de alertas de la cuenca.
- ✓ Los tiempos de tránsito desde la Regadera y desde La Rápida en la zona de Canteras son suficientes para que teniendo un conocimiento adecuado del río se puedan emitir alertas tempranas de inundación, que permitan la preparación con anticipación de la comunidad posiblemente afectada y de la atención de una emergencia.

5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES

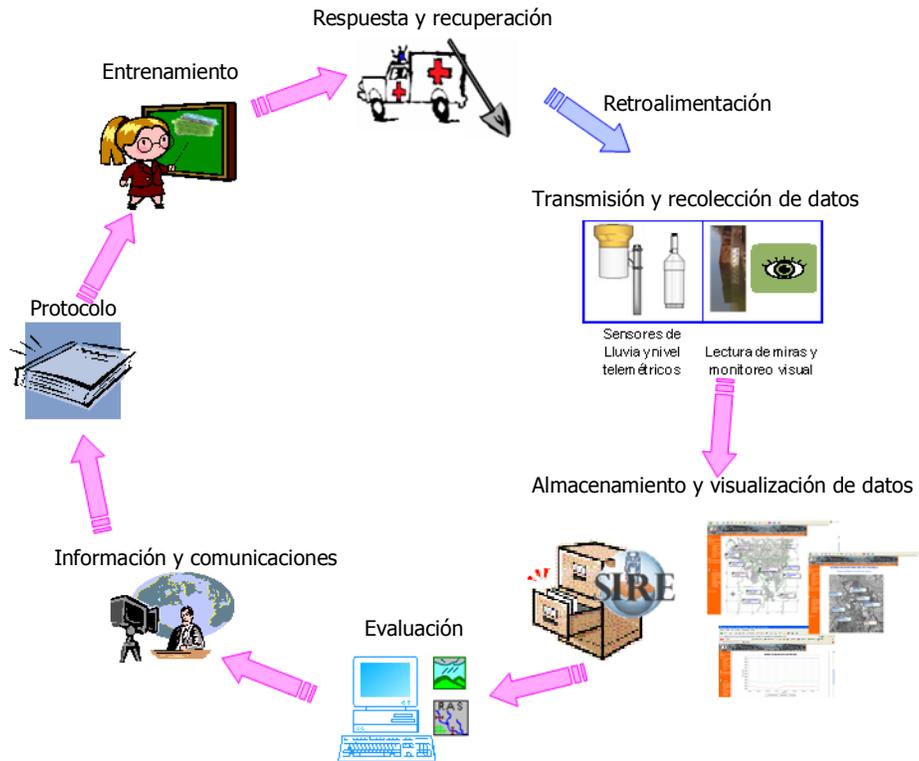


Ilustración 11. Componentes del sistema de alerta temprana de inundaciones

Un sistema de alerta temprana es un sistema integrado de equipos de transmisión y recolección de datos, modelos de pronóstico, procedimientos y planes de respuesta y recursos humanos. El funcionamiento en conjunto de estos elementos incrementa el tiempo de anticipación con el cual puede emitirse una alerta permitiendo que las autoridades y la comunidad puedan tomar acciones para reducir el daño y proteger sus vidas. Los sistemas de alerta se clasifican como medidas no estructurales de manejo de inundaciones. Los componentes de un sistema de alerta temprana de inundación se muestran en la Ilustración 11. En este documento se describen los componentes correspondientes a transmisión y recolección de datos; almacenamiento y visualización de datos; evaluación; información y comunicaciones; y protocolo y se dan algunas recomendaciones generales para la fase de entrenamiento y respuesta debido a que esta fase corresponde a un proceso posterior de implementación del sistema de alerta fuera del alcance de este documento. En lo que se refiere a respuesta y recuperación, este proceso corresponde a la atención de la emergencia y por lo tanto se encuentra también fuera del alcance de este documento.

El primer componente del sistema de alerta es la **recolección y transmisión de datos**. El sistema de monitoreo del río Tunjuelo está compuesto por una red telemétrica y un sistema de monitoreo visual y con miras en puntos estratégicos del río. Se realiza monitoreo de niveles, caudales, lluvias y estado general del río y sus estructuras. La toma de los datos es responsabilidad de varias entidades (EAAB, DPAE, CEMEX, Defensa Civil y Bomberos) que tienen injerencia en el río y que coordinadamente hacen el envío de información a la DPAE por varios canales de comunicación cuya descripción detallada se encuentra más adelante en este capítulo.

Los datos transmitidos son recibidos en la DPAE en donde son almacenados en el SIRE (Sistema de Información para la gestión de riesgos y atención de emergencias) en un módulo destinado para el **almacenamiento y visualización** de la información y que ha sido conceptualizado como el sistema de soporte de decisiones para la ejecución del sistema de alerta (para mayor información sobre el SIRE consultar <http://www.sire.gov.co/portal/page/portal/sire>). El SIRE cuenta con las herramientas de software para la visualización y análisis de los datos recolectados por el sistema de monitoreo y permite el reconocimiento de condiciones peligrosas en el río mediante la comparación de los datos recolectados con los umbrales de alerta preestablecidos haciendo una **evaluación** instantánea de los datos.

Para la **evaluación** de las condiciones en el río Tunjuelo se establecieron 6 niveles de alerta que a su vez tienen equivalencia con niveles de alerta amarilla, naranja y roja para la comunidad (ver Ilustración 12). El número de niveles de alerta y su definición depende de la necesidad a nivel del Sistema de Prevención y Atención de Emergencias para llevar a cabo procedimientos de monitoreo cada vez más minuciosos y hacer preparativos para la eventual atención de una emergencia. Las alertas amarilla, naranja y roja corresponden a las alertas emitidas a la comunidad que tienen una equivalencia con los 6 niveles de alerta preestablecidos, esto con el fin de que la comunidad reciba información de acuerdo a un código intuitivamente fácil de comprender que ha sido utilizado históricamente para describir los estados del río y que adicionalmente coincide con los niveles del SDPAE para instalar el PMU, hacer traslado de recursos y determinar una condición crítica en la cual se evalúa la posibilidad de emitir una orden de evacuación.

Los datos de lluvia y niveles son analizados en la DPAE mediante un **sistema de pronóstico** que utiliza el software HEC HMS y HEC RAS, permitiendo el pronóstico del comportamiento del río y el reconocimiento de futuras condiciones peligrosas, es decir si con las condiciones actuales pueden alcanzarse las condiciones que detonan las alertas, permitiendo de esta forma extender el tiempo con el cual se emiten las alertas y por lo tanto una mejor preparación para una eventual emergencia.

Cuando se determina que una condición de alerta está presente o puede presentarse, se comunica la alerta apropiadamente utilizando un **sistema de información y comunicaciones**, inicialmente a nivel interno en la DPAE, posteriormente a las entidades del SDPAE y finalmente a la comunidad. De esta forma cuando se reconoce una condición de alerta ya sea por la comparación de las condiciones actuales del río con los umbrales o mediante el pronóstico de las condiciones del río, se ejecutan acciones para proteger la vida y la propiedad de las personas ubicadas en la zona de amenaza del río, dichos procedimientos se encuentran indicados en el **protocolo** de manejo de inundaciones del río Tunjuelo. Cabe mencionar que la retroalimentación del sistema una vez se atiende una emergencia es un insumo vital para el mejoramiento y recalibración del mismo.

NIVEL DE ALERTA	DETONANTE	IMPLICACIONES
1 (alerta interna DPAAE)	<p><u>Estando en temporada seca:</u> el nivel del embalse La Regadera es 3001 msnm, válvula de fondo abierta y afluencias en cualquiera de los dos embalses (Chisacá o Regadera) superiores a 500.000 m³/día o suma de las afluencias de los dos embalses superiores a 800.000 m³/día (descontando afluencias de embalse La Regadera por descarga de fondo del Embalse Chisacá)</p> <p>o</p> <p><u>Estando en tiempo lluvioso:</u> el embalse La Regadera alcanza el nivel 3000 msnm, válvula de fondo abierta y afluencias en cualquiera de dos embalses (Chisacá o Regadera) superiores a 500.000 m³/día o suma de las afluencias de los dos embalses superiores a 800.000 m³/día (descontando afluencias de embalse La Regadera por descarga de fondo del Embalse Chisacá).</p>	Activación interna de la DPAAE que involucra el aumento de frecuencia del monitoreo en la cuenca alta.
2 (alerta interna DPAAE)	Se alcanza una cota de 3002 msnm en el embalse La Regadera.	El vertedero morning glory de la presa La Regadera inicia el reboso. Se implementa un monitoreo más periódico en la zona de canteras, la DPAAE inicia el sistema de pronóstico y se inicia un seguimiento minucioso de la creciente a lo largo del río.
3 (alerta comunicada a la comunidad como alerta amarilla)	Los sensores o el sistema de pronóstico muestran niveles en el río 1.5 metros por debajo de la cota de desborde y se espera un aumento de los niveles.	Los jarillones se encuentran en condiciones cercanas a las de diseño.
4 (alerta comunicada a la comunidad como alerta naranja)	Los sensores muestran niveles en el río 1.0 metro por debajo de la cota de desborde o el sistema de pronóstico muestra un aumento de niveles a las cotas definidas como naranja y se espera un aumento mayor.	Los jarillones están sometidos a esfuerzos grandes que pueden comprometer su estabilidad ya que se encuentran bajo las condiciones para las cuales fueron diseñados. La Zona de gravilleras requiere especial atención debido a que bajo las condiciones presentes hasta el año 2007 en este nivel de alerta era probable el rompimiento del dique que separa los pits Santa María de Pozo Azul.
5	Los sensores muestran niveles en el río 0.5 metro por debajo de la cota de desborde o el sistema de pronóstico muestra un aumento de niveles a las cotas definidas como nivel 5 y se espera un aumento mayor.	Solicitud de evacuación preventiva de ancianos, niños y personas con discapacidad. Y evacuación voluntaria.
6 (alerta comunicada a la comunidad como alerta roja)	Los niveles se encuentran a 30 cm del desborde o el sistema de pronóstico muestra un aumento de niveles a las cotas definidas como rojas y se espera un aumento mayor.	Se alcanzó un nivel muy peligroso en el cual se puede producir una falla de los jarillones y es inminente un desborde. Evacuación

Ilustración 12. Niveles de alerta utilizados para el río Tunjuelo

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Para la operación del sistema de alerta del río Tunjuelo existe una separación entre el servicio meteorológico, -el cual es proporcionado por el IDEAM-, y la emisión de pronósticos del comportamiento del río, emisión de alertas y respuesta que está bajo la coordinación de la DPAAE. El IDEAM cuenta con una serie de productos entre los que se encuentran el pronóstico cualitativo del estado del tiempo, el pronóstico cuantitativo de precipitación para Bogotá correspondiente al modelo WRF y el pronóstico cuantitativo para el aeropuerto El Dorado del modelo WRF 00Z. Dada la resolución e incertidumbre de estos modelos, a la fecha no se encuentran enlazados con los modelos de pronóstico de niveles del río Tunjuelo.

Tal como se muestra en la Ilustración 13, el sistema de alerta tiene 6 niveles, los dos primeros niveles son de activación interna del grupo de profesionales a cargo de la operación del sistema dentro del grupo de Estudios de la DPAE que constituyen el Centro de Pronóstico y Emisión de Alertas, el tercer nivel de alerta es el equivalente a la alerta amarilla que es proporcionada al público en general, el cuarto nivel de alerta es la alerta naranja que se comunica al público, el quinto nivel corresponde a una alerta intermedia entre la naranja y la roja la cual implica la recomendación de evacuación voluntaria y por último el sexto nivel que corresponde a la alerta roja para la comunidad que involucra la recomendación de evacuación.

Alertas del sistema de alerta del río Tunjuelo



Ilustración 13. Niveles de alerta del sistema de alerta del río Tunjuelo

El descenso de los niveles de alerta se realiza en sentido contrario una vez se registren los umbrales de alerta en sentido descendente. En una ejecución normal, con una creciente de la cuenca alta del río es de esperarse que se emitan las alertas ascendentemente sin obviar ninguna, pero puede darse el caso, especialmente cuando la creciente no tiene su origen en la cuenca alta, en el cual se inicie el sistema con un estado de alerta sin necesariamente haber pasado por los niveles inferiores.

Cabe aclarar que el Centro de Pronóstico y Emisión de Alertas emite las alertas técnicas a través de boletines de acuerdo con el protocolo de emisión establecido y los tomadores de decisiones en este caso el Comité de Alertas recomienda la alerta que debe ser declarada por el Alcalde de la ciudad.

5.1.1 EQUIPO UTILIZADO POR EL CENTRO DE MONITOREO, PRONÓSTICO Y EMISIÓN DE ALERTAS TÉCNICAS

El software y la información necesaria para la ejecución del sistema de pronóstico se encuentran en **dos computadores** pertenecientes al Grupo de Estudios de la Coordinación de Investigación y Desarrollo. El computador en el cual se encuentran los modelos de pronóstico que se utilizan para la emisión de alertas tiene conexión directa con el Servidor **Svrdpae10**, en el cual se

almacenan los datos de monitoreo del sistema (tanto estaciones tipo Campbell como Motorola) en una base de datos DSS² que se enlaza con los programas de pronóstico, por lo cual esta conexión es indispensable para el buen funcionamiento del sistema. Adicionalmente, se considera que debe establecerse conexión de este computador con el **servidor de información geográfica** para contar con la información suficiente para los análisis que se realizan durante la emisión de pronósticos. El otro computador está conectado con los servidores que contienen la información recibida del sistema de monitoreo hidrometeorológico telemétrico tanto de la red hidrometeorológica Motorola como la Campbell. Dada la naturaleza del sistema y la posibilidad de que se requiera la elaboración de pronósticos e informes a cualquier hora del día cualquier día de la semana, al sistema conformado por los dos computadores y los servidores se puede acceder desde fuera de la entidad, a través de **conexión VPN**, lo cual permite comunicación desde cualquier computador con una **conexión a internet** que garantice un enlace adecuado para que no se produzcan desconexiones o falta de velocidad.

Para garantizar la ejecución de los sistemas adecuadamente, debe garantizarse el suministro de **electricidad de manera ininterrumpida** (la Central de la DPAE cuenta con esta capacidad).

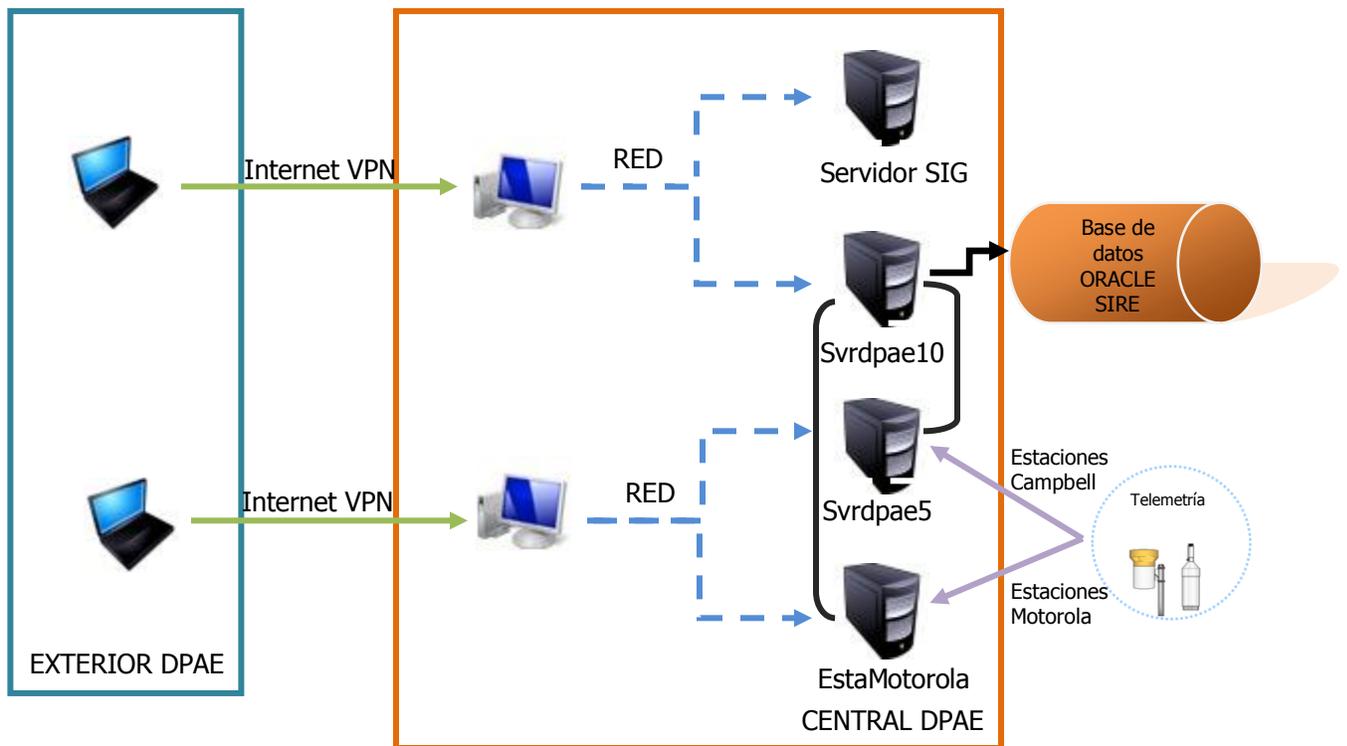


Ilustración 14. Sistema conformado por los equipos utilizados para la elaboración de pronósticos y emisión de alertas

² Base de datos compatible con el software de la serie de los HEC del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, para mayor información ver Engineers, U. A. C. o. (2005). HEC-DSSvue Hec data storage system User's Manual.

En el caso de no contar con internet y VPN en una ejecución del sistema fuera de la entidad, se tendrían los siguientes problemas:

- No se tendría acceso a la base de datos de monitoreo del río y su cuenca. Algunos de los datos podrían obtenerse por medio telefónico como el caso de los datos recopilados por CEMEX y los que se tomen con observación de miras, pero el sistema más grande que es el telemétrico quedaría fuera de alcance.
- No se tendría acceso a la información geográfica que es de gran importancia para el análisis de las condiciones del río.
- Si alguna de las estaciones presenta una falla sería imposible detectarla a tiempo y sería imposible realizar acciones correctivas relacionadas con el software de captura de datos de las estaciones.
- Las limitaciones anteriores imposibilitarían la elaboración de pronósticos y el análisis de datos como se requiere y comprometen la emisión de alertas de la manera como ha sido conceptualizada.

Es posible que si se cuenta con un par de computadores de especificaciones adecuadas se pueda realizar un montaje de contingencia del sistema, en el caso de un escenario en el cual no se pueda por ningún motivo utilizar los sistemas ya creados para el sistema de alerta temprana (internet no disponible en ningún lugar de la ciudad, daño de los servidores de la DPAE etc.), en este caso debe evaluarse si existe el tiempo y los datos para ejecutar los sistemas de pronóstico o si es preferible simplemente evaluar la información de campo en los tres sensores o en las 3 miras de las estaciones Kennedy, Independencia y San Benito.

En todo caso se recomienda que el sistema se ejecute siempre que sea técnicamente posible utilizando los equipos y sistemas de conexión que han sido creados para este fin. Las conexiones de VPN han sido ideadas para darle flexibilidad al sistema y permitir periodos de pronóstico adecuados para los profesionales que tienen a su cargo la emisión de alertas y que el sistema sea sostenible y robusto para ser operado desde cualquier punto geográfico de la ciudad, sin embargo para su operación con conexión VPN deben asegurarse conexiones de internet adecuadas.

Adicionalmente, el centro de monitoreo pronóstico y emisión de alerta debe contar con un teléfono fijo exclusivo y comunicación vía celular. Eventualmente, puede requerirse impresora, plotter y fax.

La ejecución del Sistema de Alerta en sus componentes de monitoreo, almacenamiento y visualización, evaluación y comunicaciones en lo relacionado exclusivamente con la parte técnica es responsabilidad del grupo de Estudios de la Coordinación de Investigación y Desarrollo. Para su ejecución se requiere de dos ingenieros especialistas en hidráulica con experiencia en el manejo del sistema y dos ingenieros electrónicos como soporte para garantizar el funcionamiento de las redes telemétricas. Eventualmente, se requiere el apoyo de un ingeniero de sistemas del Área de Apoyo Institucional para soporte en el manejo de los servidores, almacenamiento y visualización de la información a través de la web en caso de presentarse alguna falla. En la Tabla 4, se muestran las actividades a cargo de cada profesional durante la ejecución de los sistemas de alerta. Se aclara que este es el equipo mínimo que se requiere para la ejecución del sistema. En caso de crecientes de larga duración o cuando se presenten eventos simultáneos con el río Bogotá por ejemplo, los

profesionales especializados en Hidráulica del Grupo de Estudios realizan turnos de ejecución de los sistemas con el fin de garantizar su operación, teniendo en cuenta que existen las herramientas para reducir el desgaste de procesamiento de datos y que se pueden lograr tiempos de descanso adecuados.

	ACTIVIDADES
Profesional Especializado en Hidráulica (GRUPO DE ESTUDIOS TÉCNICOS)	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación del estado de funcionamiento de la red. • Coordinación de acciones correctivas para el funcionamiento de las redes telemétricas. • Coordinación del envío de datos provenientes de otras entidades, recepción y organización de esta información. • Envío de mensajes SMS en caso de ser necesario. • Pre-procesamiento de la información (verificación de la calidad de los datos, manejo de datos faltantes). • Operación del sistema de pronóstico (inicialización, configuración, ejecución y salida de datos) • Pos-procesamiento de la información (análisis de pronósticos, elaboración de reportes y envío de reportes). • Mantener comunicación constante con los delegados de cada entidad para manejo de información técnica. • Proyección de áreas posiblemente inundadas y análisis de información geográfica para emitir recomendaciones. • Análisis de información técnica post evento
Ingeniero electrónico (GRUPO DE ESTUDIOS TÉCNICOS)	<ul style="list-style-type: none"> • Acciones correctivas para garantizar el funcionamiento de las redes telemétricas.
Profesional Sistemas (COORDINACIÓN DE INFORMÁTICA)	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración de las tareas programadas del servidor svrdpae10 para responder a las necesidades del sistema de alerta. • Prestar apoyo en caso de falla de alguno de los sistemas que soportan el sistema de alerta.

Tabla 4. Actividades del equipo a cargo de la ejecución del sistema de alerta a nivel técnico

6 SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRANSMISIÓN DE DATOS

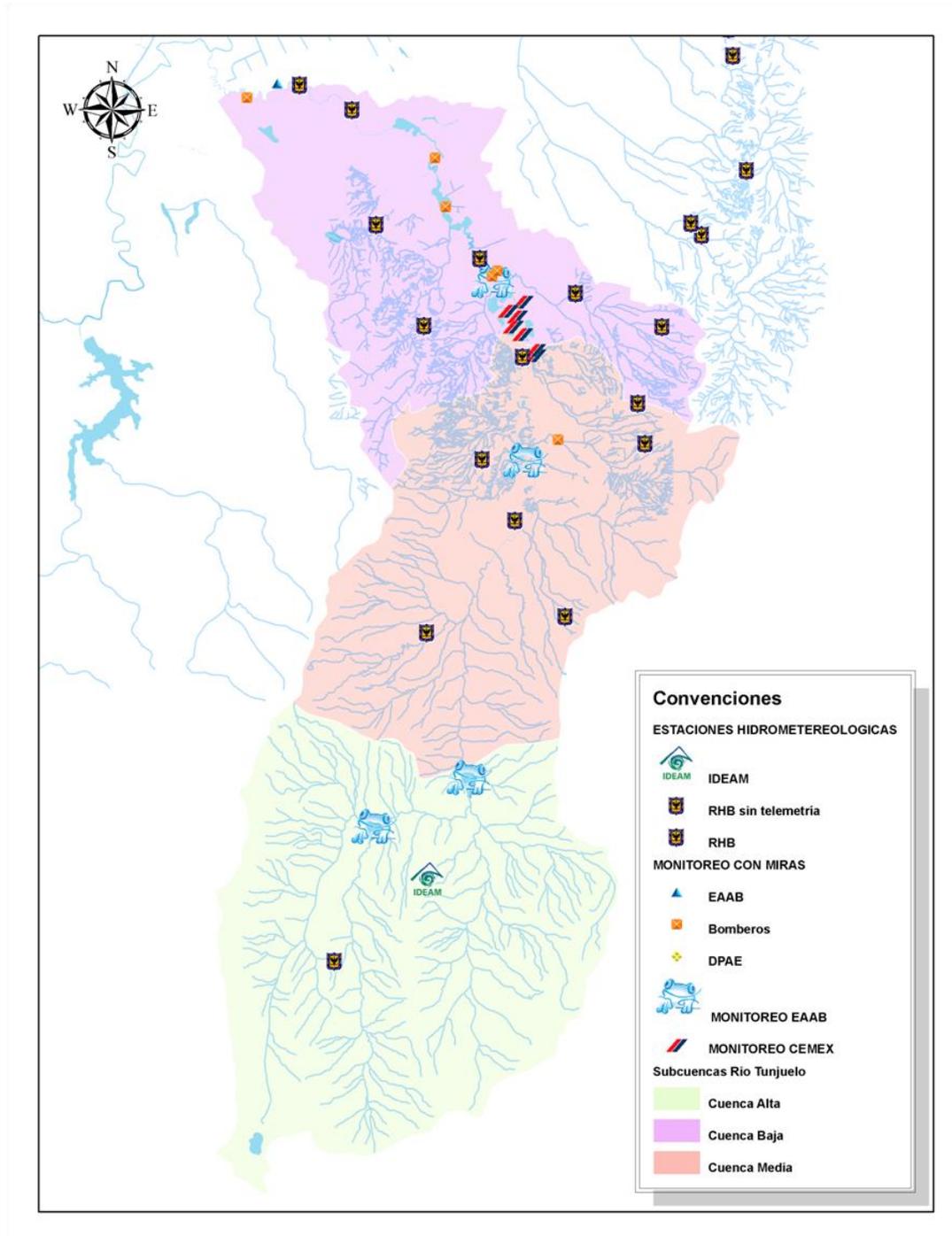


Ilustración 15. Monitoreo de la cuenca del río Tunjuelo

El esquema general de monitoreo del río Tunjuelo se muestra en la Ilustración 15. El Sistema de monitoreo es el resultado de la integración de varios sistemas de monitoreo operados por las siguientes entidades: Dirección de Prevención y Atención de Emergencias – DPAAE que opera la red hidrometeorológica de Bogotá; La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB que monitorea los embalses ubicados en la cuenca alta del río, las estructuras a su cargo (Presa Cantarrana y Estructura de Control) y apoya en la lectura de miras; El Instituto de Meteorología Hidrología y Estudios Ambientales – IDEAM, CEMEX S.A que está a cargo del monitoreo de la zona de gravilleras; y un sistema de lectura de miras que se activa solo bajo condiciones de alerta amarilla coordinado por la DPAAE en el cual tiene participación la comunidad, Bomberos, Defensa Civil y los Comités Locales de Emergencias. Adicional a este monitoreo, esta versión del sistema de alerta propone también la vigilancia de los diques y la observación del río durante creciente que será abordada en secciones posteriores. Según cada nivel de alerta se definió la periodicidad y tipo de monitoreo requerido para el sistema.

6.1.1 Monitoreo de estructuras

El monitoreo de las estructuras que se encuentran en el río es realizado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, siendo ésta empresa la dueña y operadora de las estructuras.

Para el envío de la información de los datos de los embalses de la cuenca alta, se cuenta con un procedimiento establecido en el protocolo del Sistema de Alerta según el cual, mediante la evaluación de los datos de nivel de los embalses y de las afluencias a los mismos, se realiza toma de datos con determinada periodicidad. Los parámetros medidos en los embalses La Regadera y Chisacá corresponden a nivel del embalse, precipitación en el sitio de presa, estado de las válvulas de fondo (abierta o cerrada), caudal de rebose y afluencias.

En las estructuras correspondientes a la Presa Cantarrana y a la estructura de control, el procedimiento para el envío de la información monitoreada está por ser establecido con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

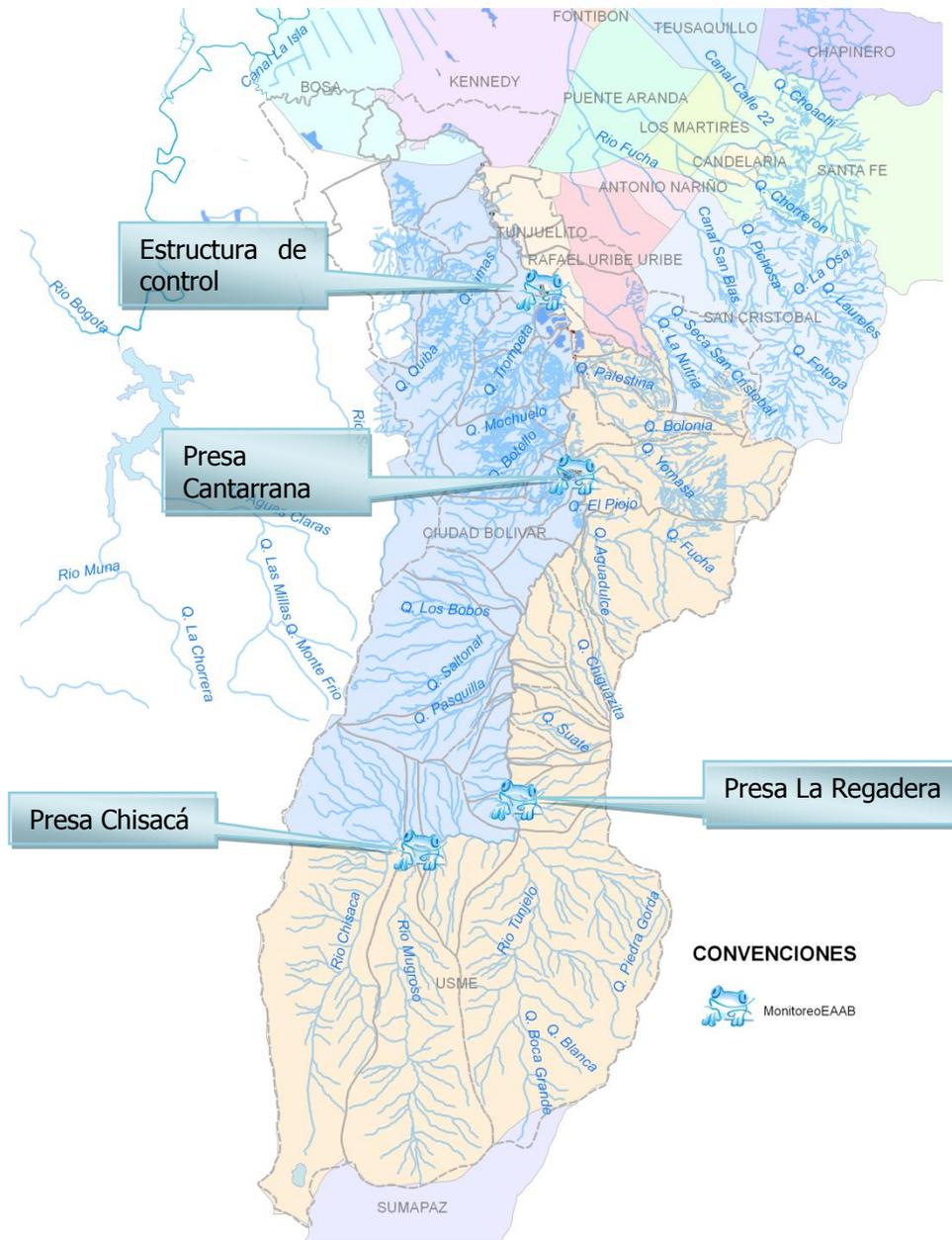


Ilustración 16. Monitoreo de estructuras

6.1.2 Monitoreo de la zona de gravilleras

Los datos tomados en la zona de gravilleras correspondientes a los pits inundados y la rápida son responsabilidad de la empresa CEMEX S.A. y son ingresados al sistema de monitoreo a través de

la página web www.sire.gov.co/monitoreo/monitoreo. Los datos son registrados en el menor tiempo posible con el objeto de tener su disponibilidad inmediata para el análisis. Este procedimiento está basado en los acuerdos expresados en el convenio No CONV-439-2007 firmado entre la empresa CEMEX S.A. y la DPAAE. Cabe aclarar que no se cuenta con información adicional sobre el estado de la zona de Gravilleras desde el año 2007. En resumen, los aspectos principales del monitoreo propuesto de esta zona son:

Punto de monitoreo	Datos recopilados	Responsable
Rápida	Niveles y caudales (calculados automáticamente por el SIRE de los valores de los niveles)	CEMEX
Pits inundados (Santa María, Pozo Azul, Sanchez y González, Guaquera, Ingeniesa y Santa Inés)	Niveles	CEMEX
Estructura de Control	Niveles y Caudales	EAAB

Tabla 5. Puntos de monitoreo en la zona de Gravilleras

El monitoreo en los pits inundados es llevado a cabo por la empresa CEMEX. Los parámetros monitoreados corresponden al nivel en la rápida con el cual se estima el caudal del río mediante la curva de calibración correspondiente y los niveles de los pits inundados pero no conectados al río Tunjuelo correspondientes a Santa María, Santa Inés, Ingeniesa y Guaquera y los dos pits que se encuentran conectados al río Tunjuelo: Sánchez y González o Manuel Rey y Pozo azul.

Nivel de alerta	Acción de Monitoreo
0 estado normal	Toma de datos diariamente del nivel de los pits inundados: Santa María, Pozo Azul, Guaquera, Ingeniesa, Sanchez y Gonzalez y Santa Inés.
1	Toma de datos de los niveles de los pits inundados cada 12 horas.
2	Toma de datos de los niveles de los pits inundados cada hora. CEMEX realiza el monitoreo de los pits Pozo Azul y Santa María y Defensa Civil coordinada por DPAAE realiza el monitoreo del Pit Sánchez y González. El pico de la creciente debe registrarse tomando nota cuidadosa de la hora en la cual se presenta. Para esto debe tenerse en cuenta que el pico en la cantera Sánchez y González se presentó aproximadamente 45 minutos después del pico en la rápida en la creciente del 31 de julio de 2004 y el pico en la cantera Pozo Azul 4:30 horas después del pico de la rápida. Estos intervalos de tiempo pueden variar de forma considerable debido a las modificaciones que se han introducido en el comportamiento del río. Para la creciente del 7 de mayo de 2006 el pico en el pit Sánchez y González fue 1 hora después del pico en la rápida y en Pozo Azul fue 2 horas después (instante del rompimiento del dique que separa este pit del pit Santa María).
3	El monitoreo de los niveles de las canteras se realiza cada hora y debe ser complementado con un monitoreo por observación de los taludes que potencialmente pueden generar problemas en la zona: La Fiscala, Sánchez y González-Ingeniesa, Pozo Azul-Santa María y Talud de Santa María-Santa Inés.
4-5	El monitoreo de los niveles de las canteras continúa cada hora y debe ser complementado con un monitoreo por observación de los taludes que potencialmente pueden generar problemas en la zona: La Fiscala, Sánchez y González-Ingeniesa, Pozo Azul-Santa María y Talud de Santa María-Santa Inés. Adicionalmente, bajo las condiciones presentes hasta el año 2007, para este nivel de alerta se alcanzaban cotas suficientes en el pit Pozo Azul como para que se presentara el rompimiento del dique que lo separa del pit Santa María por lo cual se requiere seguimiento minucioso de este talud.
6-7	El monitoreo de los niveles de las canteras continúa y debe ser complementado con un monitoreo por observación de los taludes que potencialmente pueden generar problemas en la zona: La Fiscala, Sánchez y González-Ingeniesa, Pozo Azul-Santa María y Talud de Santa María-Santa Inés).

Tabla 6. Monitoreo zona de Pits

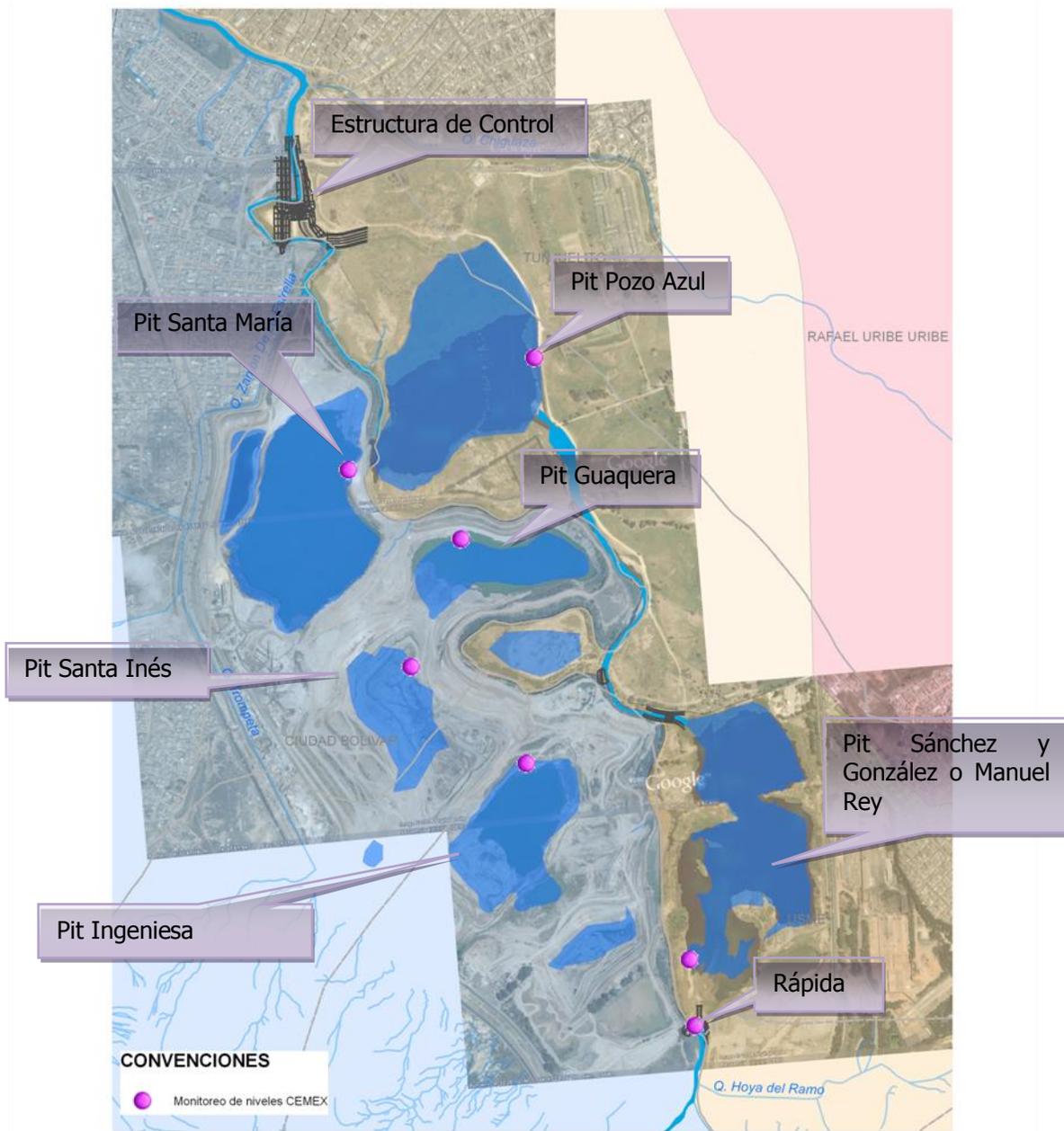


Ilustración 17. Monitoreo en la zona de Gravilleras

Los niveles en la estructura de entrada al pit Sánchez y González son registrados de la siguiente manera de acuerdo con el estado del río:

Nivel de alerta	Acción de Monitoreo
0 estado normal	Toma de datos cada hora.
1	Toma de datos cada hora.
2	Toma de datos cada media hora o cada vez que el nivel de la mira aumente 5 cm.
3	Toma de datos media hora o cada vez que el nivel de la mira aumente 5 cm.
4-5	Toma de datos media hora o cada vez que el nivel de la mira aumente 5 cm.
6-7	Toma de datos media hora o cada vez que el nivel de la mira aumente 5 cm.

Tabla 7. Monitoreo en la rápida

Adicionalmente, es de vital importancia que cualquier cambio estructural que presente la rápida sea informado inmediatamente a la DPAE. Esta estructura fue construida como estructura provisional y durante su funcionamiento ha mostrado problemas de socavación por lo cual es importante su seguimiento con el fin de detectar tempranamente la necesidad de intervención.

6.1.3 ESTRUCTURA DE CONTROL

A la fecha de emisión de este documento, el sistema de monitoreo de la estructura de control no ha sido definido por la EAAB.

La estructura de control construida en la salida de la mina Pozo Azul requiere de un monitoreo especial tal como fue recomendado por HMV (2005):

"Es necesario precisar que por la naturaleza de las obras (emergencia para mitigar la probabilidad de una inundación aguas abajo de las canteras) y dada la necesidad de su construcción de manera inmediata y la utilización de elementos disponibles en el mercado, es claro que el factor de seguridad durante la construcción de estas obras se reduce por la rapidez con que se necesitan construir, por lo que se requiere, durante la construcción y durante el período que estas deben estar operando, un permanente monitoreo de personal con capacidad técnica y con capacidad de decisión, para adelantar las actividades y obras complementarias que se requieran, operativamente, para evitar cualquier daño en las obras, o en su defecto para hacer las reparaciones del caso en el evento que estas sufran algún deterioro. Esta situación es más crítica para las obras de la alternativa 2, pues estas requerirían además del monitoreo permanente de personal altamente capacitado, vigilancia durante las 24 horas del día para reportar inmediatamente cualquier eventualidad que se pueda presentar."

Atendiendo esta recomendación se requiere del monitoreo por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá antes, durante y después de las crecientes que se presenten. Adicionalmente se hace indispensable la implementación de elementos de medición que permitan el registro y seguimiento de los caudales que se presenten en la estructura. Actualmente, este monitoreo no es proporcionado a la DPAE durante la ejecución de los sistemas de alerta.

6.1.4 Monitoreo de la red hidrometeorológica de Bogotá - DPAE

La red hidrometeorológica de Bogotá está concentrada mayormente en la cuenca del río Tunjuelo (ver Ilustración 18). Actualmente, la información en tiempo real que recibe la DPAE a través de su sistema de monitoreo hidrometeorológico se complementa con los datos tomados por la estación automática satelital operada por el IDEAM localizada en la cuenca alta –estación Villa Teresa- y la estación La Isla que pertenece a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá cuya transmisión es vía celular y que se localiza sobre el río Bogotá muy cerca a la confluencia del río Tunjuelo. La estación Villa Teresa se encuentra en pruebas para ser integrada al módulo del sistema de alerta del río Tunjuelo con visualización en tiempo real, en el caso de la estación la Isla de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá se espera que en el corto plazo pueda ser integrada, pero por el momento los datos se manejan manualmente capturándolos desde el sistema de información hidrológica de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB. En el sistema de monitoreo hidrometeorológico de la DPAE existen además dos estaciones automáticas sin sistema de transmisión que corresponden a las instaladas en la cuenca de la quebrada Chiguaza. Los observadores de estas estaciones se activan cuando comienza el rebose en el vertedero de la presa La Regadera lo cual da inicio al nivel de alerta 2. El proceso de activación de estos observadores está planeado para ser realizado mediante el envío de un mensaje SMS a los teléfonos celulares que deberán ser proporcionados previamente por la Coordinación de Gestión Territorial. Cabe aclarar que el Grupo de Estudios entabla comunicación exclusivamente con el líder del grupo de monitoreo de la quebrada Chiguaza para tratar temas relacionados con el proceso de transmisión de información vía SMS (en caso de que éste tipo de transmisión esté activada), las otras actividades inherentes al proceso de monitoreo en esta cuenca están fuera del alcance del Grupo de Estudios.

Parámetro monitoreado	No de estaciones automáticas	No de estaciones con telemetría vía radio	No de estaciones con telemetría satelital	No de estaciones con telemetría celular	No de estaciones de la DPAE
Lluvia	12	10	1 (IDEAM)		11
Nivel	6	4		1 (EAAB)	5

Tabla 8. Número de estaciones de la red hidrometeorológica de Bogotá

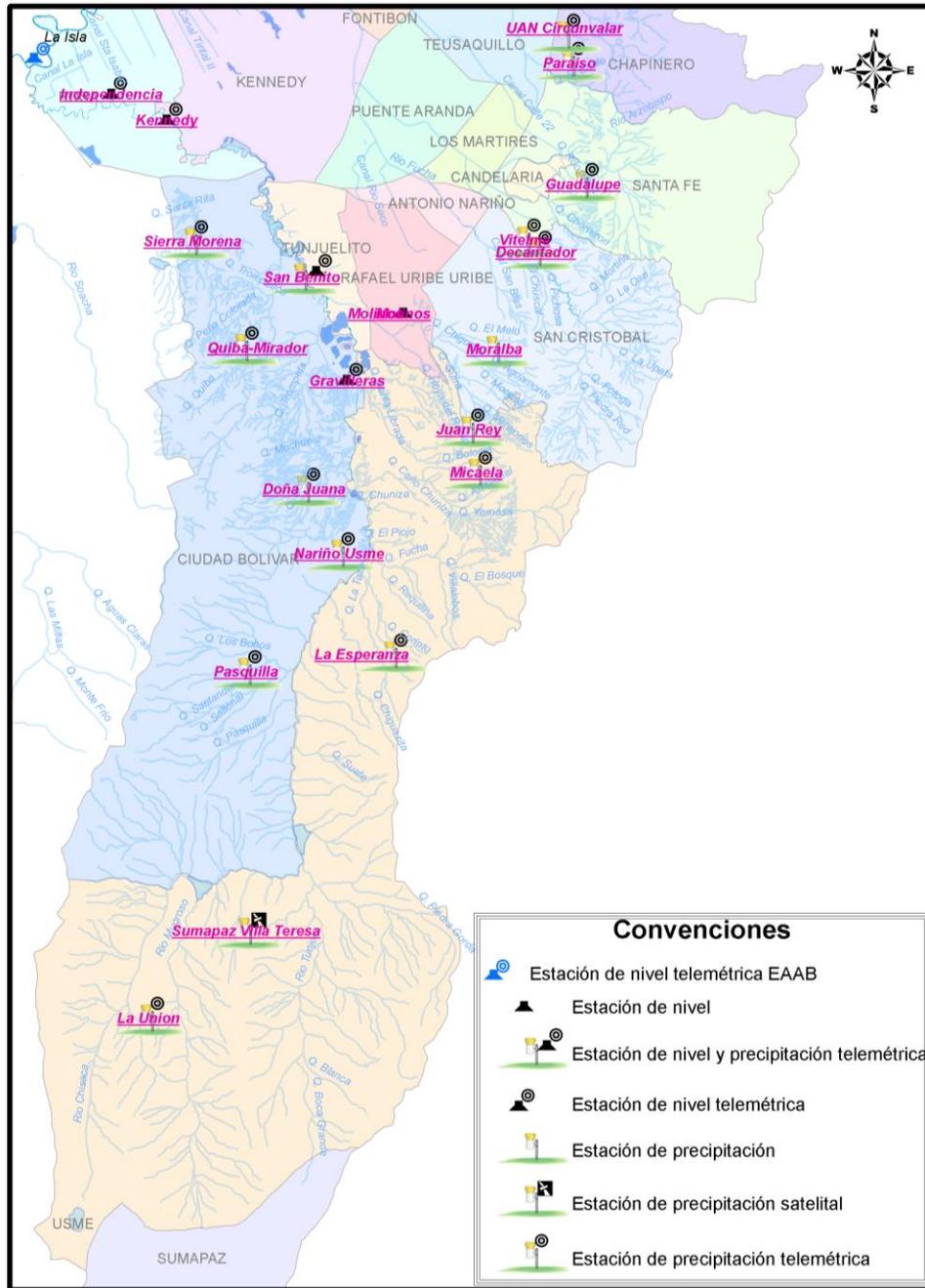


Ilustración 18. Localización de Estaciones localizadas en la cuenca del río Tunjuelo

6.1.5 SISTEMA DE MIRAS

La activación del sistema de monitoreo de miras se realiza cuando se alcanza el nivel de alerta amarilla. Los datos obtenidos mediante el monitoreo de miras son tomados por la Defensa Civil, Bomberos y Acueducto de acuerdo con la Tabla 11, adicionalmente, la lectura de miras por parte de la comunidad se encuentra en proceso de implementación en la DPAAE, por lo cual a medida que avance este proceso se podrían incorporar más puntos de observación. La transmisión de los datos tomados por la Defensa Civil, Bomberos y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá se realiza por radio por el personal de Defensa Civil y Bomberos directamente a la Central de Radio de la DPAAE y en el caso de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB se recibe en la central de radio de Acueducto y se transmite a la DPAAE. Se espera que durante las ejecuciones del sistema de alerta del río Tunjuelo, el monitoreo de los puntos de mira se empiece a transmitir a través de mensaje de texto de celular para su ingreso directo al SIRE. Los puntos de monitoreo con miras se muestran en la Tabla 11.

En los puntos de medición de los sensores telemétricos se instalaron miras con el objeto de utilizarlas como instrumentación de respaldo si alguno de los sensores sale de funcionamiento durante la emergencia, por lo cual, si se presenta este evento, se realizaría la medición a través de personal de defensa Civil de acuerdo con la metodología descrita en la Tabla 9.

Nivel de alerta	Acción de Monitoreo
0 estado normal	Ninguna
1	Ninguna
2	Ninguna
3	Toma de datos cada 30 minutos o cada vez que el nivel de la mira aumente 10 cm.
4-5	Toma de datos cada 30 minutos o cada vez que el nivel de la mira aumente 10 cm.
5-6	Toma de datos cada 30 minutos o cada vez que el nivel de la mira aumente 10 cm.

Tabla 9. Monitoreo con miras

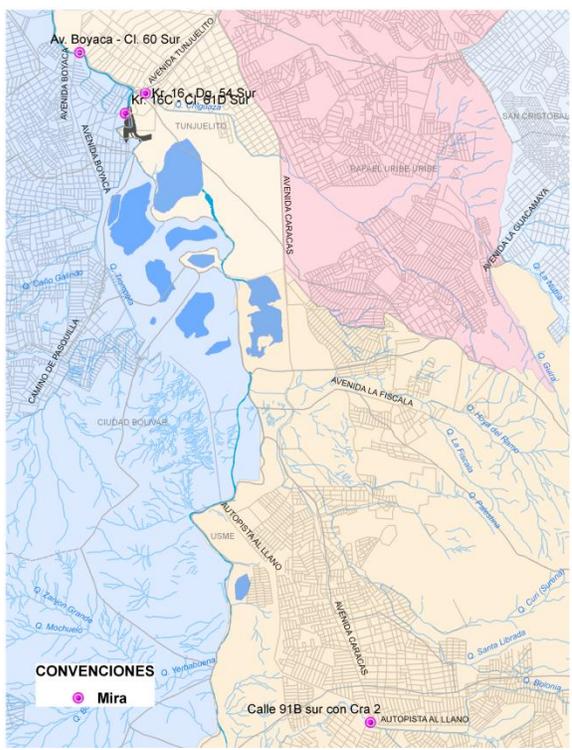
Las cotas cero de las miras de los sensores se muestran en la Tabla 10 (para fotografía y ubicación ver anexo Anexo E):

Mira del Sensor	Cota cero de la mira
San Benito	2554.10
Kennedy	2543.58
Independencia	2541.40

Tabla 10. Cotas cero de las miras ubicadas en los puntos de medición de los sensores

Es de vital importancia que los eventos relevantes en el río sean reportados inmediatamente a la DPAAE informando la hora (hora y minutos) en que ocurren, el área que afectan y la descripción más detallada posible del evento. Dichas situaciones son:

- Contacto de la superficie del agua con vigas inferiores de puentes
- Sobrepaso del agua en los puentes
- Reflujo
- Rompimiento de jarillones

	ENTIDAD A CARGO DEL MONITOREO	DIRECCIÓN DE LA MIRA	NOMBRE DE LA MIRA	ELEMENTO MONITOREADO CON LA MIRA
	BOMBEROS O DEFENSA CIVIL	Calle 91B sur con Cra 2	Q. YOMASA	Estado de la Q. Yomasa
	ACUEDUCTO	Kr 16C con Calle 61Dsur	ESTRUCTURA DE CONTROL	Estructura de Control
	BOMBEROS O DEFENSA CIVIL*	PUENTE CR 16B Diag 54 Sur	PUENTE CHIGUAZA	Remanso provocado por el Río Tunjuelo
	ACUEDUCTO (monitorea su mira) DPAE: Mira del sensor de nivel**	Av. Boyacá - Calle 60 Sur	SAN BENITO	Estado del río Tunjuelo frente a la estación elevadora San Benito.
	BOMBEROS O DEFENSA CIVIL	AV. J.E. GAITÁN-CLL 75 SUR	J.E. GAITAN	Monitoreo de la estructura de embalse No 1
	BOMBEROS O DEFENSA CIVIL	AUTO. SUR (CLL 46ASUR) CR 63	FRIGORÍFICO GUADALUPE	Monitoreo de la estructura de embalse No 2
	DPAE: Mira del sensor de nivel**	Av A. Mejía (Kr 86) Cl. 60 Sur	KENNEDY	Niveles en el río Tunjuelo
	DPAE: Mira del sensor de nivel**	Cl. 70 Sur - Kr 27	INDEPENDENCIA	Niveles en el río Tunjuelo
	ACUEDUCTO	CL 79A SUR-KR 100A	GRANCO-LOMBIANO	Niveles del río Tunjuelo en este punto
	BOMBEROS O DEFENSA CIVIL	VEREDA SAN JOSE DE BOSA	PUENTE SAN JOSE	Niveles del río Tunjuelo en este punto

*Punto propuesto para monitoreo comunitario
 ** Las miras de los sensores de nivel solo se activan si se presenta falla en el sensor correspondiente.
 NOTA: Puntos adicionales pueden ser activados de acuerdo a los avances de la Coordinación de Gestión Territorial en monitoreo comunitario.

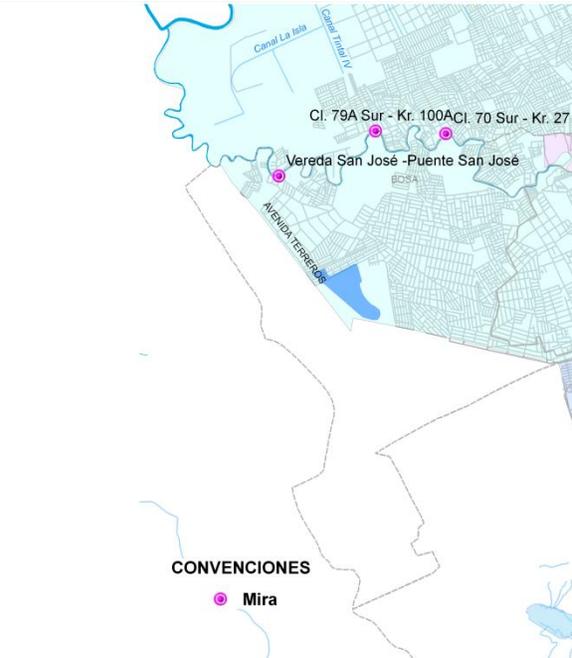

<p>CONVENCIONES</p> <p>Mira</p>

Tabla 11. Puntos de monitoreo con miras

Con el fin de llevar a cabo el monitoreo de jarillones se diseñó un formato (ver Anexo F) que puede ser usado como guía para la recopilación de información tanto con la comunidad como con las Entidades que participan en la ejecución del sistema de alerta.

6.1.6 MONITOREO VISUAL

A partir del nivel de alerta amarilla se debe llevar a cabo un monitoreo general del río. Es importante tener en cuenta que cuando los jarillones trabajan bajo condiciones de alturas de flujo importantes del río Tunjuelo es posible que presenten filtraciones que pueden ser consideradas como normales (poca cantidad de agua y agua clara), pero un flujo rápido y abundante de agua puede ser peligroso y por lo tanto debe ser reportado, así como grietas, desplazamientos o desprendimientos de la estructura. Para realizar este monitoreo visual de los jarillones se recomienda tener en cuenta el formato diseñado para tal fin, que se encuentra en el Anexo F de este documento. Se recomienda que los jarillones del río sean patrullados en su totalidad a partir del nivel de alerta amarilla y que se dé especial atención a los puntos que se indican en las figuras de la Ilustración 19 a la Ilustración 26 cuyas convenciones se muestran en la Tabla 12.

	Punto de énfasis del monitoreo visual de jarillones
	Punto con desborde hacia la margen derecha cuyo orden de capacidad hidráulica corresponde a su número
	Punto con desborde hacia la margen izquierda cuyo orden de capacidad hidráulica corresponde a su número
	Punto de mira

Tabla 12. Convenciones para la Ilustración 19 a la Ilustración 26

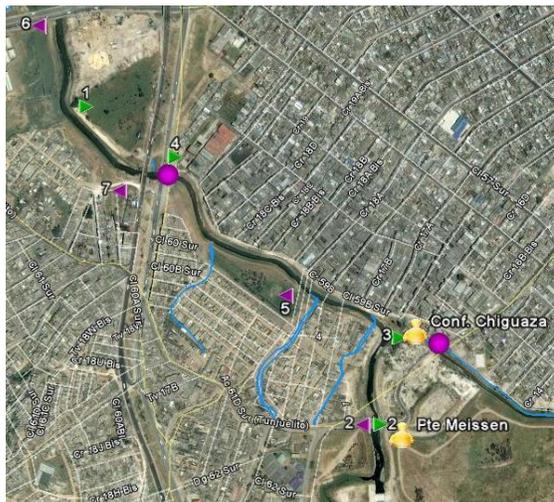


Ilustración 19. Puente Meissen y Q. Chiguaza

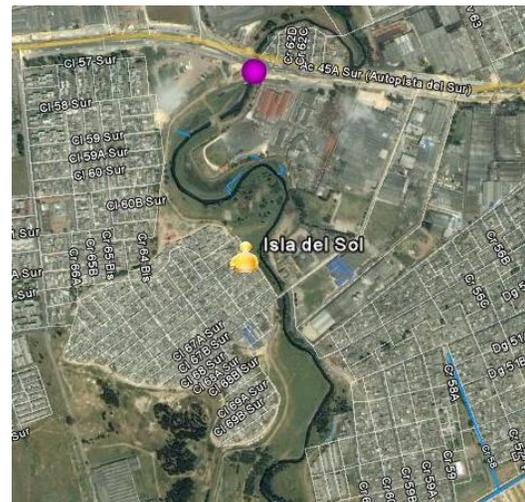


Ilustración 20. Isla del sol

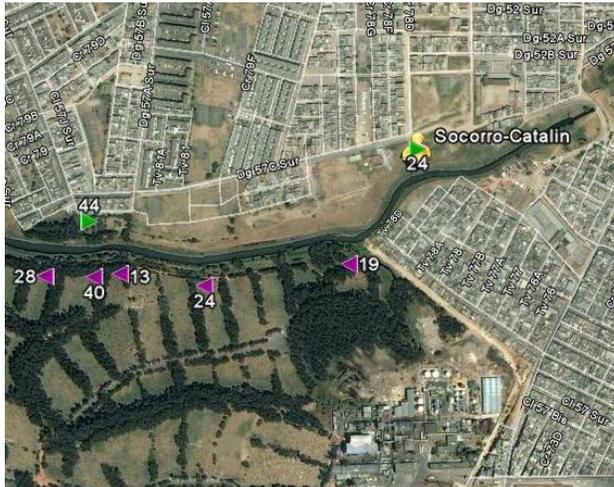


Ilustración 21. Socorro - Catalina

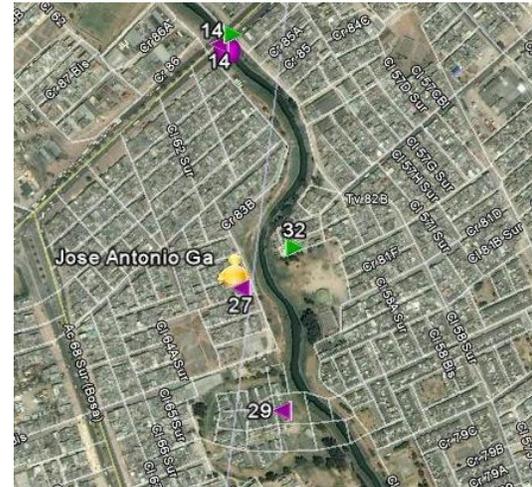


Ilustración 22. José Antonio Galán



Ilustración 23. Class y La Paz



Ilustración 24. Islandia A, B y Villa S



Ilustración 25. San Pedro



Ilustración 26. El Jardín y Puente San José

La descripción del monitoreo para cada punto se muestra en la Tabla 13. Se recomienda que en caso de ser posible estos puntos sean monitoreados permanentemente por la comunidad sin implicar lo anterior que las patrullas en el río se eliminen. Se recomienda al menos realizar una patrulla diaria de los jarillones.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
Pte Meissen	Monitoreo del estado de la zona del antiguo Puente Meissen, chequeo de niveles con respecto al nivel de los jarillones en el antiguo puente.
Confluencia Chiguaza	Revisión de los niveles de la quebrada Chiguaza y del remanso causado por el río Tunjuelo en la zona de confluencia de la quebrada Chiguaza.
Isla del Sol	Inspección visual del jarillón que protege el barrio Isla del Sol, revisión de niveles del río Tunjuelo con respecto a los niveles de los jarillones. Revisión de que no se presente reflujos en la zona.
Islandia A	Inspección visual de los niveles del río en comparación con los niveles de los jarillones. Chequeo del buen comportamiento de los jarillones durante la creciente.
Islandia B	Inspección visual de los niveles del río en comparación con los niveles de los jarillones. Chequeo del buen comportamiento de los jarillones durante la creciente.
Jose Antonio Galán	Inspección visual de los niveles frente al barrio José Antonio Galán y revisión de que no se presente reflujos en la zona.
Class	Inspección visual de los niveles del río en comparación con los niveles de los jarillones. Chequeo del buen comportamiento de los jarillones durante la creciente.
La Paz	Inspección visual de los niveles del río en comparación con los niveles de los jarillones. Chequeo del buen comportamiento de los jarillones durante la creciente.
Villa de Suaita	Inspección visual de los niveles del río en comparación con los niveles de los jarillones. Chequeo del buen comportamiento de los jarillones durante la creciente.
San Pedro	Inspección visual de los niveles del río en comparación con los niveles de los jarillones. Chequeo del buen comportamiento de los jarillones durante la creciente.
El Jardín	Inspección visual de los niveles del río en comparación con los niveles de los jarillones. Chequeo del buen comportamiento de los jarillones durante la creciente.
Puente San José	Inspección visual de los niveles del río en comparación con los niveles de los jarillones. Chequeo del buen comportamiento de los jarillones durante la creciente.
Socorro-Catalina	Inspección visual de los niveles del río en comparación con los niveles de los jarillones. Chequeo del buen comportamiento de los jarillones durante la creciente.

Tabla 13. Descripción de los puntos de monitoreo visual del río Tunjuelo

Adicionalmente, es importante que durante las patrullas periódicas que se realicen se verifique el estado de las estructuras que se encuentran en el río observando que no se encuentren obstruidas con basura o material arrastrado por el río.

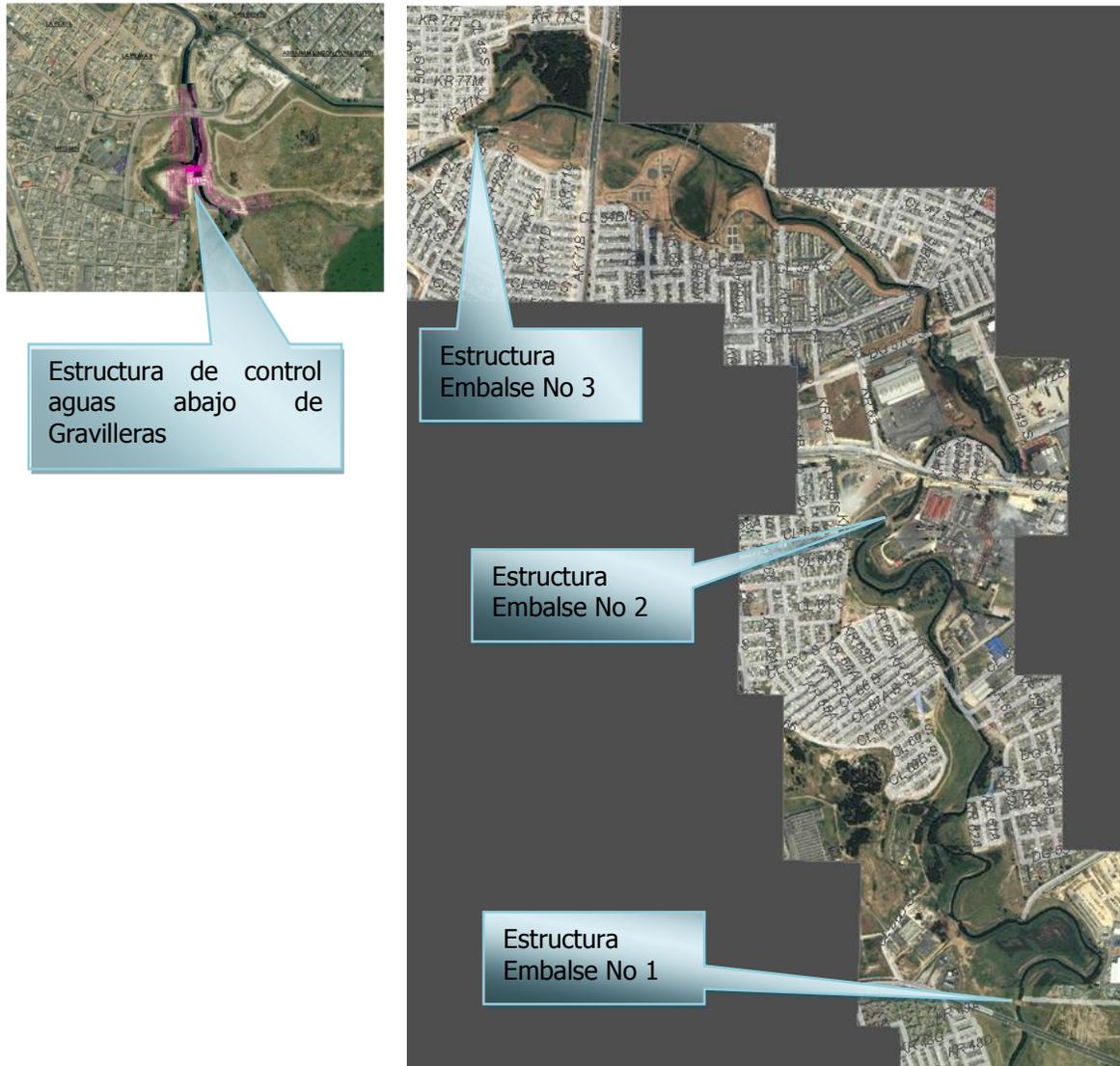


Ilustración 27. Estructuras a ser incluidas durante patrullaje de las condiciones del río Tunjuelo

Adicional a lo explicado anteriormente se incluyó una inspección visual que se recomienda realizar periódicamente durante la temporada invernal. En el protocolo se ubicó esta actividad en el nivel de alerta 1 bajo el nombre “Verificación visual del río y sus estructuras”.

La inspección visual debe incluir:

- ✓ Revisión del estado de la rápida: estabilidad general y socavación.
- ✓ Estados de la salida del río de la cantera Sánchez y González: Este punto tiene tendencia a acumular basuras y buchón, en caso de presentarse la posibilidad de una obstrucción

- se debe gestionar con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB el mejoramiento de este punto.
- ✓ Estructura de control "Cantarranita": Se debe realizar una inspección visual de la estructura, revisar que no presente obstrucciones y que no presente alguna posibilidad de inestabilidad.
 - ✓ Inspección visual a la quebrada Chiguaza (en los puntos de monitoreo)
 - ✓ Inspección visual a la quebrada Yomasa (en los puntos de monitoreo)
 - ✓ Revisión de las estructuras de los embalses 1, 2 y 3 para determinar posibles obstrucciones.

Todas las actividades de monitoreo anteriormente mencionadas se llevan a cabo durante todo el proceso de emisión de alertas hasta la orden de evacuación.

6.1.7 Información que debería recopilarse durante un evento de inundación

Con el fin de retroalimentar el sistema de alerta, los siguientes datos deben recopilarse por un profesional especializado:

1. Causa de la inundación: es muy importante que se especifique la causa concreta de la inundación indicando claramente si se presentó sobrepaso o rompimiento de los jarillones o si la causa fue reflujó de alcantarillado o encharcamiento.
2. En caso de rompimiento o sobrepaso de los jarillones debe especificarse el lugar en el cual se rompió o sobrepasó el jarillón.
3. El área de inundación debe especificarse lo mejor posible y la altura de la inundación debe estimarse.
4. Es de gran importancia registrar la hora en la cual ocurre cada evento.
5. El tiempo en el cual el agua drena completamente de la zona inundada debe registrarse.
6. Se recomienda que si la emergencia se categoriza como nivel 5 (para mayor información sobre los niveles de emergencia consultar el glosario de este documento), se tenga en cuenta la posibilidad de utilizar el protocolo de toma de la Fotografía satelital del área afectada a través de la Carta Internacional sobre el Espacio y las Grandes Catástrofes. Ante una emergencia de nivel inferior la DPAA definirá la necesidad de sobre vuelos en el área afectada en cooperación con el IGAC y la EAAB.

7 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y VISUALIZACIÓN DE DATOS

Toda la información de monitoreo de la cuenca del río Tunjuelo se ingresa a la base de datos del SIRE (Sistema de Información para la gestión de riesgos y atención de emergencias) en la central de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE. Los datos de la Red Hidrometeorológica del Distrito- RHB con sistema telemétrico se reciben en dos servidores –uno para la red Motorola y otro para la red Campbell- para ser almacenados posteriormente en la base de datos de Oracle del SIRE de la que posteriormente se despliegan en la página web diseñada para manejar la información en tiempo real, graficarla y analizarla.

Los datos tomados por CEMEX se ingresan a través de la página web por funcionarios de CEMEX, los datos de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB se comunican vía radio desde la central de comunicaciones de la EAAB y son ingresados al SIRE por los radio operadores de la DPAE.

La página web está organizada por zonas de monitoreo, permitiendo la observación tanto de los datos de lluvia como de niveles, adicionalmente tiene herramientas para la graficación de los datos y comparación con los niveles de alerta y permite llevar a cabo consultas y reportes.

En la Ilustración 28 se muestra el esquema del funcionamiento del sistema de almacenamiento y visualización de los datos.

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES DEL RÍO TUNJUELO – 2009

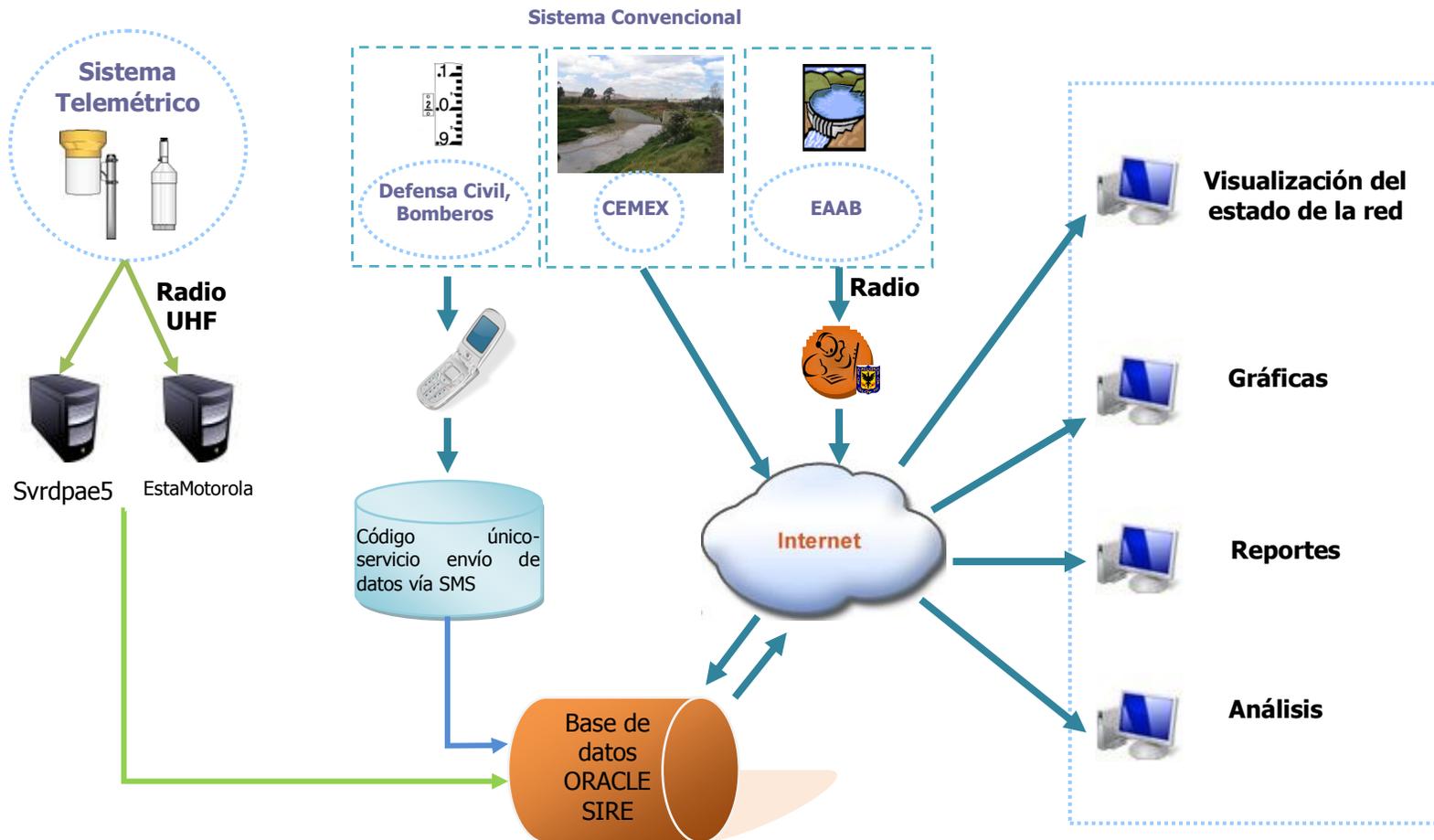


Ilustración 28. Sistema de almacenamiento y visualización de la información de monitoreo

8 SISTEMA DE EVALUACIÓN

El sistema de evaluación determina las condiciones del río para las cuales deben emitirse las alertas, permitiendo la toma de decisiones durante emergencia y no es necesariamente dependiente del sistema de pronóstico. Es decir, en caso de falla del sistema de pronóstico, la emisión de alertas deberá realizarse con el seguimiento y evaluación en tiempo real de los niveles registrados por los sensores y con base en los criterios que se presentan en este capítulo.

La emisión de alertas se llevará a cabo por localidad y por barrio. Las localidades con las cuales colinda el río se muestran en la Ilustración 29 y corresponden a Usme, Ciudad Bolívar, Tunjuelito, Kennedy y Bosa. El tramo del río perteneciente a su desembocadura colinda por la margen izquierda con el municipio de Soacha.

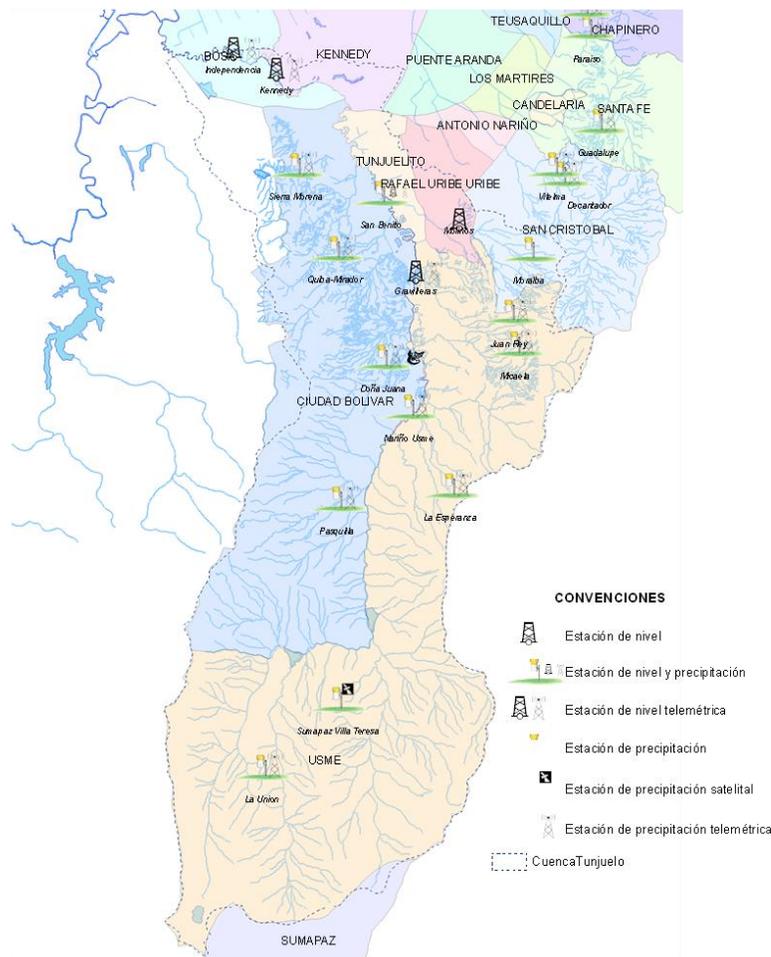


Ilustración 29. Localidades en la cuenca del río Tunjuelo

Integrando los umbrales de alerta determinados para los sensores y las condiciones a lo largo del río en los diferentes puntos de monitoreo se definieron los siguientes estados de alerta teniendo en cuenta niveles de alerta internos para activar actividades y niveles de alerta para la comunidad equivalentes a amarilla, naranja y roja. En la Tabla 14 se muestran los diferentes niveles de alerta determinados para el río Tunjuelo. En las secciones subsiguientes se hace una descripción más detallada de cada uno.

NIVEL DE ALERTA	DETONANTE	IMPLICACIONES
1 (alerta interna DPAAE)	<u>Estando en temporada seca:</u> el nivel del embalse La Regadera es 3001 msnm, válvula de fondo abierta y afluencias en cualquiera de los dos embalses (Chisacá o Regadera) superiores a 500.000 m ³ /día o suma de las afluencias de los dos embalses superiores a 800.000 m ³ /día (descontando afluencias de embalse La Regadera por descarga de fondo del Embalse Chisacá) o <u>Estando en tiempo lluvioso:</u> el embalse La Regadera alcanza el nivel 3000 msnm, válvula de fondo abierta y afluencias en cualquiera de dos embalses (Chisacá o Regadera) superiores a 500.000 m ³ /día o suma de las afluencias de los dos embalses superiores a 800.000 m ³ /día (descontando afluencias de embalse La Regadera por descarga de fondo del Embalse Chisacá).	Activación interna de la DPAAE que involucra el aumento de frecuencia del monitoreo en la cuenca alta.
2 (alerta interna DPAAE)	Se alcanza una cota de 3002 msnm en el embalse La Regadera.	El vertedero morning glory de la presa La Regadera inicia el rebose. Se implementa un monitoreo más periódico en la zona de canteras, la DPAAE inicia el sistema de pronóstico y se inicia un seguimiento minucioso de la creciente a lo largo del río.
3 (alerta comunicada a la comunidad como alerta amarilla)	Los sensores o el sistema de pronóstico muestran niveles en el río 1.5 metros por debajo de la cota de desborde y se espera un aumento de los niveles.	Los jarillones se encuentran en condiciones cercanas a las de diseño.
4 (alerta comunicada a la comunidad como alerta naranja)	Los sensores muestran niveles en el río 1.0 metro por debajo de la cota de desborde o el sistema de pronóstico muestra un aumento de niveles a las cotas definidas como naranja y se espera un aumento mayor.	Los jarillones están sometidos a esfuerzos grandes que pueden comprometer su estabilidad ya que se encuentran bajo las condiciones para las cuales fueron diseñados. La Zona de gravilleras requiere especial atención debido a que bajo las condiciones presentes hasta el año 2007 en este nivel de alerta era probable el rompimiento del dique que separa los pits Santa María de Pozo Azul.
5	Los sensores muestran niveles en el río 0.5 metro por debajo de la cota de desborde o el sistema de pronóstico muestra un aumento de niveles a las cotas definidas como nivel 5 y se espera un aumento mayor.	Solicitud de evacuación preventiva de ancianos, niños y personas con discapacidad. Y evacuación voluntaria.
6 (alerta comunicada a la comunidad como alerta roja)	Los niveles se encuentran a 30 cm del desborde o el sistema de pronóstico muestra un aumento de niveles a las cotas definidas como rojas y se espera un aumento mayor.	Se alcanzó un nivel muy peligroso en el cual se puede producir una falla de los jarillones y es inminente un desborde. Evacuación

Tabla 14. Niveles de alerta del río Tunjuelo

La declaratoria de alertas se llevará a cabo por localidad dependiendo de las condiciones hidráulicas del río. Para cada localidad existe un umbral de alerta definido según una zona escogida como crítica como criterio para la emisión de alertas. Si esta cota se registra o el sistema de pronóstico indica que hay probabilidad de ser sobrepasada, la alerta técnica es emitida para la localidad. Adicionalmente existen cotas de umbral de alerta para cada zona susceptible a ser inundada para preparar la atención de emergencia a nivel de barrio.

8.1 Nivel de alerta 1

Constituye el inicio de un monitoreo más periódico de las condiciones de la cuenca alta del río. El ascenso del nivel del embalse La Regadera a la cota 3000 msnm marca el inicio de esta etapa durante el periodo lluvioso y la cota 3001 durante el periodo seco. El monitoreo y la toma de decisiones durante este nivel de alerta fue definido por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado-EAAB de acuerdo con sus criterios y experiencia en la operación de los embalses. Los detalles de las actividades y decisiones se encuentran en el diagrama de flujo del protocolo de emisión de alertas. Para referencia en la Ilustración 30 se muestran las curvas nivel-almacenamiento de los embalses de la cuenca alta.

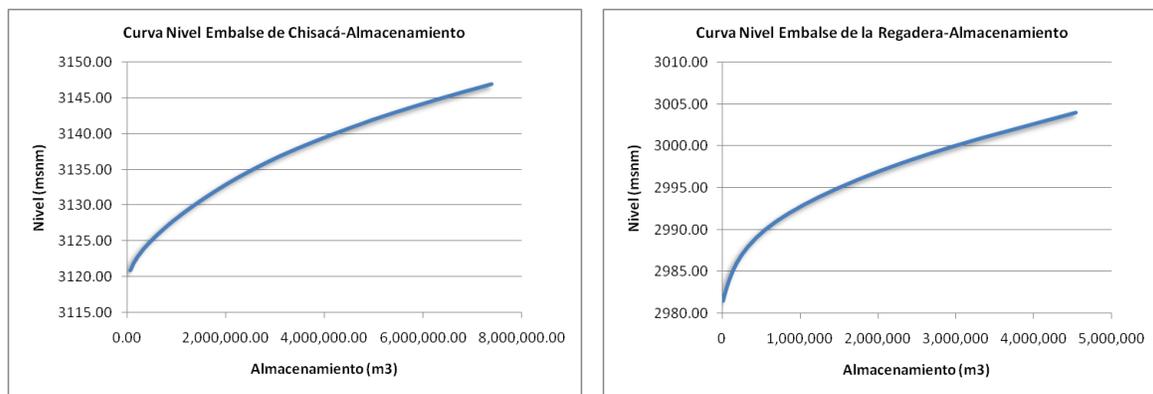


Ilustración 30. Curva nivel almacenamiento embalses Chisacá y la Regadera

8.2 Nivel de alerta 2

Este nivel de alerta se inicia cuando comienza el rebose del vertedero morning glory del embalse La Regadera. Se requiere de un monitoreo minucioso con el fin de registrar adecuadamente el comportamiento del río en creciente. En la Ilustración 31 se muestra la curva de descarga del vertedero de la presa La Regadera como referencia.

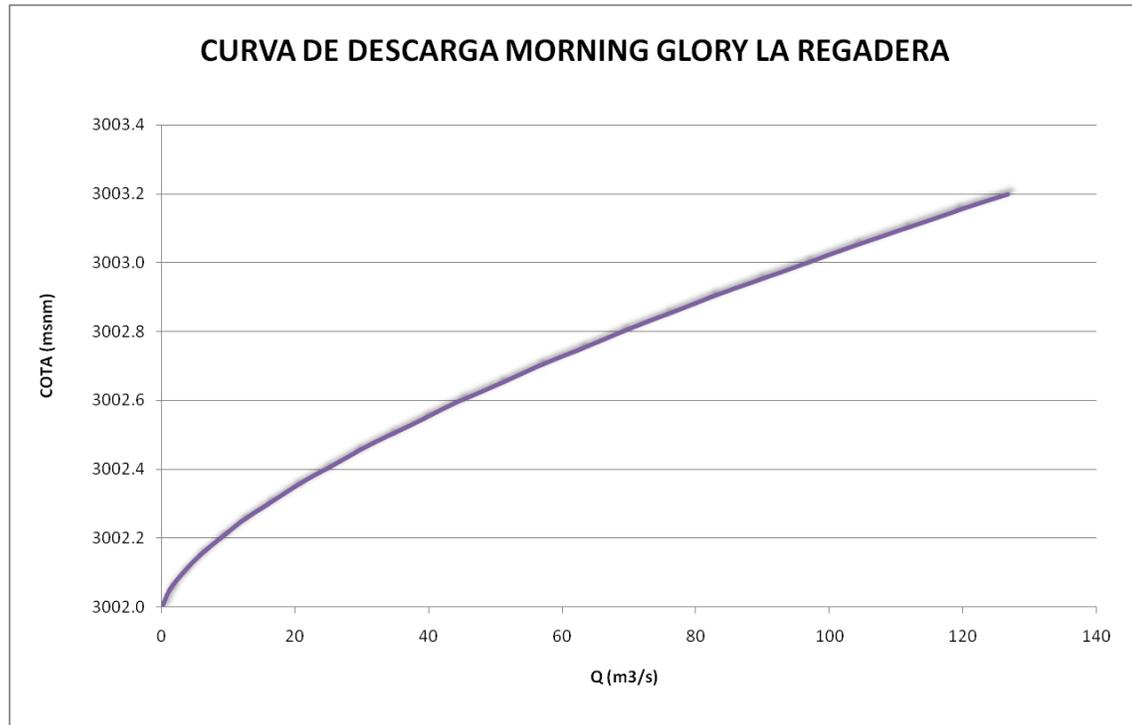


Ilustración 31. Curva de descarga del Morning Glory de la Regadera

8.3 Nivel de alerta 3

El criterio de emisión de esta alerta corresponde a un nivel en los sensores 1.5 m por debajo de la cota crítica de desborde (definida como la cota de desborde más baja para el tramo cubierto por el sensor). Se estima que según las velocidades de ascenso de nivel registradas durante las crecientes previas del río, este 1.5 m podría proveer un tiempo antes del desborde de aproximadamente 6 horas.

La declaratoria de alertas se llevará a cabo por localidad de la siguiente manera:

Localidad de Ciudad Bolívar:	2557.28	En Sensor San Benito
Localidad de Tunjuelito:	2557.85	En Sensor San Benito
Localidad de Kennedy:	2546.51	En Sensor Kennedy
Localidad de Bosa:	2544.04	En Sensor Independencia
Soacha:	2544.62	En Sensor Independencia

Tabla 15. Emisión de alerta amarilla por localidad

8.4 Nivel de alerta 4

Esta alerta corresponde a la alerta naranja para la comunidad. El criterio de emisión de alerta corresponde a la lectura de los sensores 1.0 m por debajo de la cota crítica de desborde (definida como la cota de desborde más baja para el tramo cubierto por el sensor). Se estima que según las velocidades de ascenso de nivel registradas durante las crecientes previas del río, este 1.0 m podría proveer un tiempo antes del desborde de aproximadamente 4 horas.

Otro criterio para declarar esta alerta corresponde al análisis de los datos obtenidos mediante el sistema de pronóstico. Si los niveles proyectados en los sensores superan las cotas umbrales y se obtiene un pronóstico que implique un ascenso posterior de los niveles se pasa al nivel de alerta 4.

La declaratoria de alertas se llevará a cabo por localidad de la siguiente manera:

Localidad de Ciudad Bolívar:	2557.82	En Sensor San Benito
Localidad de Tunjuelito:	2558.39	En Sensor San Benito
Localidad de Kennedy:	2547.02	En Sensor Kennedy
Localidad de Bosa:	2544.55	En Sensor Independencia
Soacha:	2545.28	En Sensor Independencia

Tabla 16. Emisión de alerta naranja por localidad

8.5 Nivel de alerta 5

Este corresponde a un nivel de alerta intermedio creado con el fin de proteger a la población más vulnerable una vez se han reconocido condiciones potencialmente generadoras de un desbordamiento en el río Tunjuelo o cuando se detecten condiciones que impliquen la ocurrencia de reflujos. Cuando los sensores muestren cotas 0.5 m por debajo de las cotas de desborde definidas para cada sector del río Tunjuelo o cuando el sistema de pronóstico indique estas cotas con la posibilidad de un ascenso posterior que puede indicar un rompimiento de diques o una falla por sobrepaso, se recomienda la evacuación de la población más vulnerable de la zona (ancianos, niños, discapacitados etc.). En teoría el tiempo restante para una posible inundación estaría del orden de 2 horas si no se presenta un rompimiento de jarillón antes del sobrepaso.

Las cotas en los sensores para emitir esta alerta por localidad son:

Localidad de Ciudad Bolívar:	2558.33	En Sensor San Benito
Localidad de Tunjuelito:	2558.85	En Sensor San Benito
Localidad de Kennedy:	2547.56	En Sensor Kennedy
Localidad de Bosa:	2545.05	En Sensor Independencia
Soacha:	2545.92	En Sensor Independencia

Tabla 17. Emisión de alerta nivel 4 por localidad

8.6 Nivel de alerta 6

Este nivel de alerta corresponde a la alerta roja para la comunidad. Se declara cuando los sensores muestran niveles 0.3 m por debajo de las cotas de desborde para cada zona del río (como fue explicado en la sección 8). En teoría este nivel proveería alrededor de 1 hora antes del desbordamiento si no se presenta la ruptura de algún jarillón.

Este nivel de alerta también puede ser declarado con base en la información obtenida del sistema de pronóstico si éste muestra niveles correspondientes a los de alerta roja y un ascenso adicional de los mismos.

Localidad de Ciudad Bolívar:	2558.51	En Sensor San Benito
Localidad de Tunjuelito:	2559.03	En Sensor San Benito
Localidad de Kennedy:	2547.77	En Sensor Kennedy
Localidad de Bosa:	2545.25	En Sensor Independencia
Soacha:	2546.20	En Sensor Independencia

Tabla 18. Emisión de alerta amarilla por localidad

Luego de que se ha presentado un evento, la disminución de alertas puede llevarse a cabo de manera regresiva previa verificación de condiciones normales en los jarillones, estructuras de control y en la zona de gravilleras y previa información del PMU – Puesto de Mando Unificado.

Cabe aclarar que la recomendación de declaratoria de alertas para el municipio de Soacha no la lleva a cabo la DPAAE, los umbrales que se han definido en este documento para la ciudad de Soacha se han obtenido siguiendo los mismos principios que los utilizados para la definición de alertas en la ciudad de Bogotá como un resultado agregado del sistema de alerta y que son utilizados con el fin de brindar apoyo al Comité Regional de Prevención y Atención de Desastres de Cundinamarca - CREPAD durante las crecientes del río Tunjuelo. La comunicación de los niveles a esta entidad tiene una finalidad puramente informativa para que Soacha de manera independiente determine la necesidad de declarar alguna alerta.

8.7 Metodología para la Emisión de Alertas con base en los niveles registrados en los sensores

Luego de la expansión de la red telemétrica realizada en el año 2007, el río Tunjuelo cuenta con 4 sensores de nivel telemétricos correspondientes a las estaciones de Gravilleras (instalada en el año 2007), San Benito, Kennedy e Independencia. El río fue dividido en tramos de cobertura de las estaciones tal como se muestra en la Ilustración 33. Cada tramo tiene influencia sobre una serie de barrios que ha sido resaltada en verde en la Ilustración 33. Cada tramo ha sido dividido en subtramos para los cuales se han identificado los puntos de desborde críticos, sobre cuya base se determinaron las cotas de alerta.

En la Ilustración 33 se observan los barrios para los cuales se definieron umbrales de alerta por desbordamiento en el tramo del barrio o procedimientos de vigilancia como es el caso del barrio La Isla.

Debido a que el sistema de alerta consta de 6 niveles de alerta de los cuales los cuatro superiores tienen umbrales definidos por las condiciones de nivel en el río en los diferentes tramos, se definieron cotas umbral para cada tramo teniendo en cuenta la adecuación a la cual ha sido sometido el río. Como referencia se muestra la definición de niveles del documento Flood warning notification (www.ci.woodland.ca.us/archive/eNews/en012006821.doc) en el cual se define un nivel de monitoreo en el cual es obligatoria la patrulla de los jarillones, un nivel de diseño de proyecto que corresponde al nivel para el cual se diseñó el proyecto de control de inundaciones y que según la normatividad norteamericana debe tener un borde libre de al menos 3 pies y un nivel peligroso en el cual el flujo está por encima de la capacidad diseñada y se produce peligro extremo para la vida y la propiedad en el evento de un rompimiento de los diques, éste último corresponde a un pie por encima del nivel de proyecto.

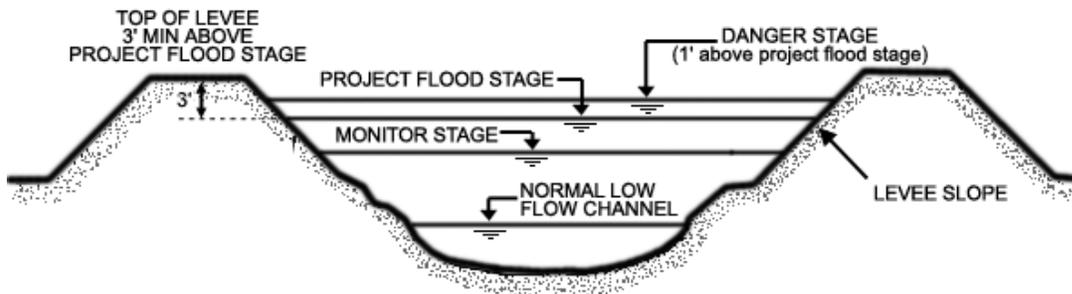


Ilustración 32. Niveles de alerta (tomado de www.ci.woodland.ca.us/archive/eNews/en012006821.doc)

Según el documento "Diseños para construcción de las obras para el control de crecientes en la cuenca del río Tunjuelo" de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá:

"La elevación a la cual deberán realizarse los diques de confinamiento del río Tunjuelo, será como mínimo la equivalente al nivel máximo de agua, producido por el tránsito hidráulico de la crecida de los 100 años, más un borde libre estimado para manejar factores de oleaje, sobre-elevación por sinuosidad del cauce y factores topográficos y geotécnicos."

Los criterios definidos para los bordes libres según el mencionado estudio son:

- Para el realce de diques a lo largo del río, se considerará un borde básico de 0,35 m. Este borde incluye 0,20 m para compensar asentamientos, deterioros locales de la cresta e imprecisiones topográficas, y 0,15 m para contener posibles perturbaciones locales del flujo, debidas a la irregularidad del cauce.

En el costado externo de las curvas, se incluirá un peralte adicional de 0,20 m , con el cual el borde básico será de 0,55 m.

- *Para el realce de los diques que conforman los embalses Nos. 1, 2 y 3, se considerará un borde básico de 0,70 m . Este borde incluye 0,20 m para compensar asentamientos, deterioros locales e imprecisiones topográficas de la cresta y 0,50 m para contener sobre-elevaciones por oleaje inducido por viento y/o crecientes un poco mayores que la creciente de diseño.*
- *De acuerdo con los resultados de la evaluación del estado actual de los diques (véase el Documento No. 13, Capítulo 2.2), se tendrá en cuenta un borde adicional que depende del estado actual de cada sector de los diques, variable entre 0,50 m y 0,80 m.*

Con base en lo anterior se infiere que los bordes libres considerados para el diseño se encuentran en el rango 0.85-1.15 m. De esta forma, se considerará un nivel 1.5 metros por debajo del desborde para la alerta amarilla, 1.0 por debajo del desborde para la alerta naranja (correspondiente en teoría para el nivel de proyecto), 0.5 m para alerta intermedia Nivel 5 (que sería equivalente al nivel peligroso definido anteriormente) y 0.3 m para alerta roja.

Las alertas del sistema funcionan a nivel de localidad y de barrio. Las condiciones más críticas de los tramos correspondientes a cada localidad definen su nivel de alerta. Lo mismo ocurre a nivel de barrio teniendo en cuenta que determinado barrio puede resultar inundado por un desbordamiento localizado aguas arriba o aguas abajo del mismo según las condiciones geomorfológicas de la planicie de inundación.

Para definir los umbrales de nivel correspondientes a las localidades y los barrios se determinaron las capacidades hidráulicas de las secciones del río así como los niveles de desborde en las secciones críticas equivalentes a la lectura de nivel tomada en los sensores del río. En la siguiente sección se aborda este tema en detalle.

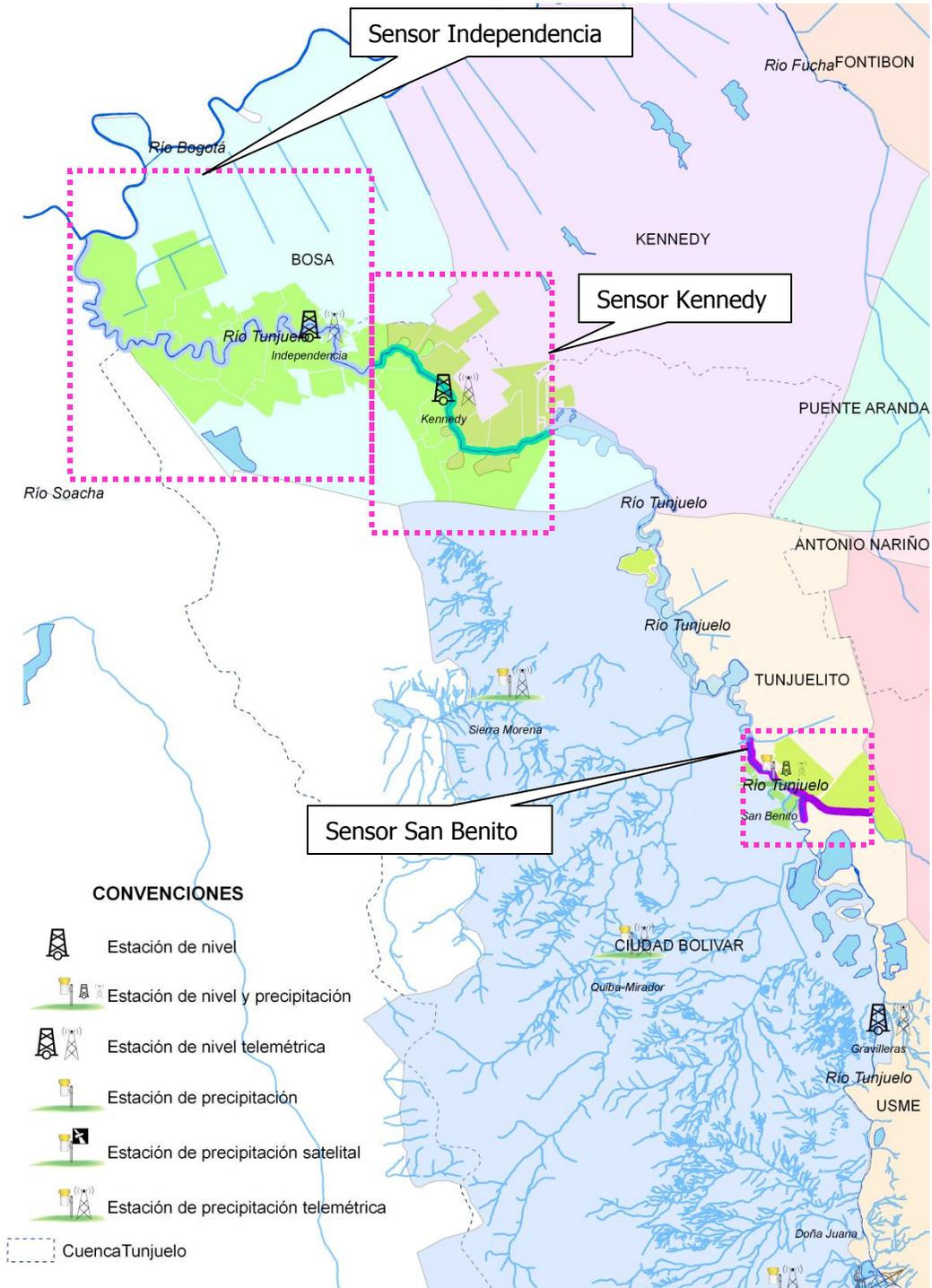


Ilustración 33. Tramos de cobertura de los sensores de nivel

8.8 Evaluación de la capacidad hidráulica del río y determinación de umbrales de nivel del río Tunjuelo

La capacidad hidráulica de las secciones del río fue evaluada cada 20 metros aproximadamente, utilizando el modelo del río Tunjuelo desarrollado en el software HEC RAS para el sistema de pronóstico, el cual será explicado en detalle en la sección correspondiente a los componentes del sistema de pronóstico del sistema de alerta. Se realizó trabajo de campo para verificar la topografía suministrada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado - EAAB, con el cual se llevó a cabo una corrección de la cota de los jarillones de una de las secciones localizada frente al barrio San Benito. Las capacidades hidráulicas a banca llena de las secciones se encuentran en el Anexo G y el Anexo H.

Para el análisis de capacidad hidráulica se tuvieron en cuenta dos divisiones del río: aguas arriba de los embalses de amortiguación y aguas abajo de los embalses de amortiguación.

De acuerdo con las capacidades hidráulicas de las secciones evaluadas bajo condiciones de flujo permanente, se le asignó un número a cada barrio colindante con el río Tunjuelo, siendo el número 1 correspondiente al barrio o los barrios localizados en la zona de influencia con la capacidad hidráulica a banca llena más baja del tramo del río analizado. La numeración es independiente para el tramo aguas arriba de los embalses de amortiguación y para el tramo aguas abajo de los embalses.

Para el caso del tramo aguas arriba de los embalses de amortiguación los desbordes ocurren de la siguiente manera:

1. La sección con más baja capacidad se encuentra frente a la zona verde localizada aguas abajo del puente de San Benito, el desborde se produce hacia la margen derecha inundando una zona verde limitada por la Avenida Bogotá y un relleno que se extiende hasta la Avenida Villavicencio.
2. La zona más crítica del primer tramo la constituyen los barrios La Playa, La Playa II y Meissen debido a que el punto de segunda menor capacidad del tramo es el Puente de Meissen, cuyo desborde produce la afectación a los barrios anteriormente mencionados y adicionalmente afecta la zona conocida como Areneras.
3. La tercera afectación corresponde al barrio San Benito y Abraham Lincon debido al desborde en la zona de confluencia de la Quebrada Chiguaza. Este desborde tiene una gran incertidumbre debido a la falta de topografía de la zona. El desborde se asumió en el puente de la cra 16B que a la fecha de elaboración de este informe se encuentra parcialmente demolido, de esta forma la cota del tablero del antiguo puente se tomó como la cota de desborde en esta zona.
4. El desborde subsecuente se presentaría en la sección inmediatamente aguas arriba de la Avenida Villavicencio, afectando una zona verde.
5. El desborde posterior se presentaría hacia la margen derecha en los barrios Villa Helena, Acacia II parte baja y la zona habitada localizada entre el barrio Acacia II parte baja y la avenida Boyacá.

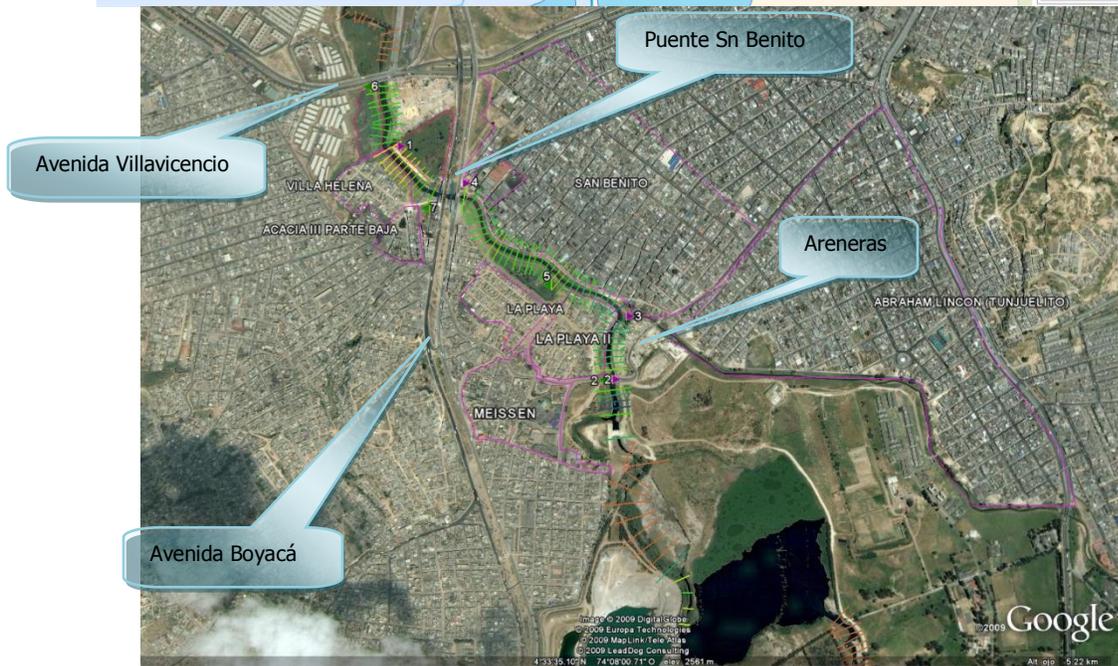
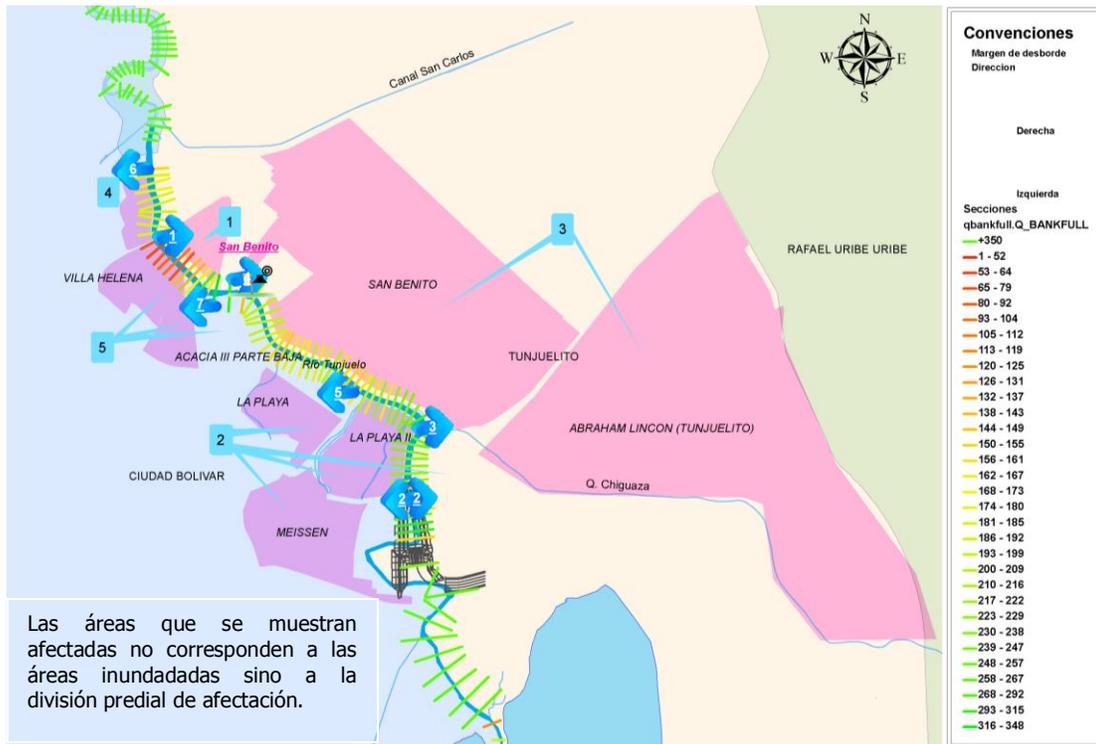


Ilustración 34. Análisis de capacidad hidráulica tramo aguas arriba de los embalses de amortiguación

En este tramo se verían afectadas las localidades de Tunjuelito y Ciudad Bolívar, el punto crítico para estas dos localidades lo constituye el sitio del antiguo puente Meissen en donde a la fecha de emisión de este informe todavía se encuentran remanentes del puente y los jarillones en el puente no han sido conformados a la altura de los adyacentes.

Los umbrales de alerta determinados para este tramo para la localidad de Tunjuelito se muestran en la Tabla 19. Con respecto al barrio San Benito es importante aclarar que la inundación de este barrio ocurre bajo las condiciones actuales por el desborde No 3 tal como se muestra en la Ilustración 28, correspondiendo éste a un desborde no propiamente del río Tunjuelo sino de la Quebrada Chiguaza en la confluencia que todavía se encuentra sin adecuación.

UMBRALES DE ALERTA LOCALIDAD DE TUNJUELITO

Barrio	Pto Crítico	Qdes m ³ /s	Niveles de alerta en la estación San Benito								Orden de d
			Roja	Q.roja m ³ /s	Nivel 5	Q. A 5 m ³ /s	Naranja	Q. naranja m ³ /s	Amarilla	Q. am m ³ /s	
Gravilleras	25380.25	109	2559.74	148	2558.67	90	2558.34	77	2557.90	66	No consid
Barrio San Benito	23600.00	149	2559.45	131	2559.25	120	2558.75	94	2558.25	75	4
Zona verde margen derecha	23320.00	79	2558.12	71	2557.92	66	2557.42	53	2556.93	42	1

*Orden de d: corresponde al orden de desborde mostrado en la Ilustración 34. "No consid" corresponde a puntos críticos pertenecientes al barrio correspondiente que no fueron tenidos en cuenta debido a que son predios privados o tienen capacidades hidráulicas muy altas o la inundación del barrio ocurre con el punto crítico localizado en otro barrio.

Tabla 19. Umbrales de alerta para la localidad de Tunjuelito

Con respecto a la cota de desborde en la confluencia de la quebrada Chiguaza y el río Tunjuelo, que produce la afectación del Barrio San Benito y el sector de El Hoyo (Barrio Abraham Lincon), debido a que no se cuenta con topografía detallada de la zona de confluencia de la Quebrada Chiguaza, se tomó como punto crítico la cota del puente antiguo en la Cra 16 B sobre la Quebrada Chiguaza y se estableció la cota equivalente en el sensor de San Benito (ver Ilustración 35). Se recomienda que estos últimos umbrales se utilicen para la emisión de alertas del Barrio San Benito, a pesar de la incertidumbre en la topografía. Cabe mencionar que en el estudio ejecutado por JICA, 2006 se realizó el levantamiento topográfico de secciones transversales en la quebrada Chiguaza y se obtuvieron algunas secciones en la zona de confluencia sin embargo, se encontraron algunas inconsistencias entre la topografía generada por JICA, 2006 y la disponible en la DPAE por lo cual se desconoce la confiabilidad de las secciones transversales tomadas. Dichas secciones muestran niveles muy bajos para la zona de confluencia hacia la margen derecha de la quebrada Chiguaza que detonarían alertas constantemente durante cualquier creciente del río, por esta razón estos valores se muestran en el Anexo G y en el Anexo H para referencia pero no se utilizan para la emisión, sin embargo se reitera la necesidad de monitorear cuidadosamente este sector.

El puente localizado en la carrera 16B sobre la quebrada Chiguaza fue reemplazado, pero a la fecha de elaboración de este informe, en el sitio del puente todavía existen remanentes del mismo (ver **Foto 3**) y la canalización de la quebrada no ha finalizado. Las bancas de la quebrada en la zona de confluencia se encuentran muy bajas con respecto a los jarillones del río Tunjuelo por lo cual este constituye un punto de alta importancia durante el monitoreo del río ya que un sobrepaso en esta zona podría afectar el sector los barrios Abraham Lincon y San Benito.

Adicionalmente, cabe destacar que en el tramo de la confluencia existen viviendas localizadas en las banquetas de la quebrada (ver **Foto 4** y **Foto 5**).



Foto 3. Estructura existente en el sitio del Puente sobre la quebrada Chiguaza con cra 16B



Foto 4. Vista hacia aguas abajo del puente existente sobre la Qda. Chiguaza en la Cra 16B.



Foto 5. Vista de las viviendas localizadas en las banquetas de la Qda. Chiguaza en la confluencia con el río Tunjuelo.

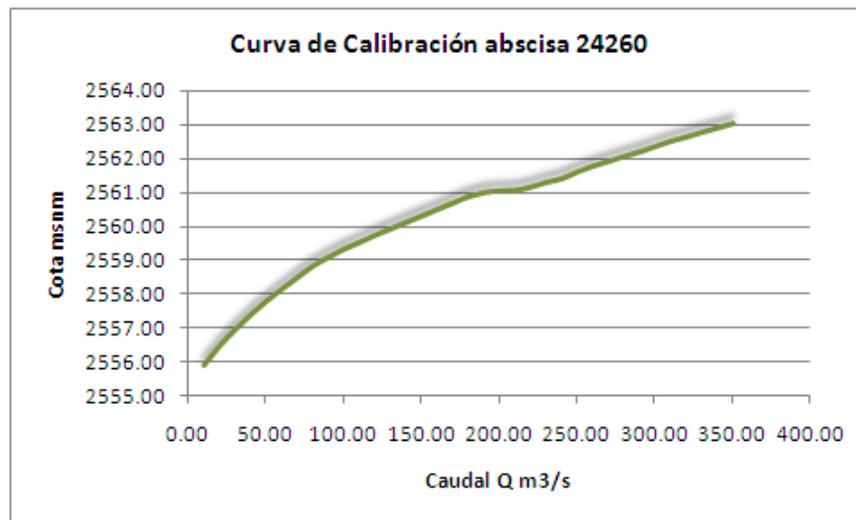


Foto 6. Vista del jarillón del río Tunjuelo en la confluencia con la Qda. Chiguaza.

Mientras la zona de la confluencia no sea adecuada incluyendo el retiro de los remanentes del puente sobre de la Carrera 16B éste constituye un sector crítico que puede generar problemas de desbordamiento. Las cotas superior e inferior del puente de la carrera 16B corresponden respectivamente a 2559.81 y 2558.61. La cota de alerta roja por desbordamiento en el puente puede fijarse 30 cm por debajo del nivel de desborde de acuerdo con los criterios establecidos para el sistema de alerta: **2559.51**. Debe tenerse en cuenta que el comportamiento de la quebrada involucra además del control en el río Tunjuelo, las crecientes propias de la quebrada

que tienden a ser muy rápidas por su carácter torrencial, por lo cual debe monitorearse cuidadosamente la lluvia de esta cuenca.

La abscisa del río Tunjuelo que constituye el control hidráulico de la quebrada Chiguaza corresponde a la 24260. La curva de calibración teórica de esta sección se muestra en la Ilustración 35. Cabe reiterar que no se cuenta con un levantamiento topográfico detallado de la zona de confluencia de la que quebrada Chiguaza que permita establecer con algún grado de certeza la cota de desborde en esta zona, la única cota conocida es la del puente sobre la carrera 16B por lo cual se tomó como referencia por lo cual, se debe monitorear cuidadosamente toda esta zona para detectar los puntos de desborde durante una creciente.



COTA SUPERIOR DEL TABLERO:	2559.81 msnm
CAUDAL ANTES DEL DESBORDE:	122.6 m ³ /s
COTA INFERIOR DE LA VIGA:	2558.61 msnm
CAUDAL PARA TOCAR LA VIGA:	72.9 m ³ /s

Nivel de alerta	Roja	Nivel 5	Naranja	Amarilla
Cota Pte Cra 16B (msnm)	2559.51	2559.31	2558.81	2558.31
Caudal río Tunjuelo m ³ /s	108.00	98.34	78.83	64.12
Cota sensor San Benito	2559.03	2558.85	2558.39	2557.85

Ilustración 35. Umbrales de alerta Puente antiguo sobre la Cr 16B en la Quebrada Chiguaza, umbrales sugeridos para el barrio San Benito

Los valores de caudal mostrados en la Ilustración 35 corresponden a los caudales del río Tunjuelo que generan las condiciones de control hidráulico en la desembocadura que

corresponden a las alertas. Dichas alertas pueden ser determinadas mediante la evaluación de los datos registrados en el sensor de San Benito.

En la **Ilustración 36** se muestra resaltado en azul el área que morfológicamente podría ser inundada por el desbordamiento del río Tunjuelo y la quebrada Chiguaza en la zona de confluencia.



Ilustración 36. Zona de Inundación de la Quebrada Chiguaza en el barrio Abraham Lincon y San Benito

Los umbrales para los barrios localizados en este tramo pertenecientes a la localidad de Ciudad Bolívar se muestran en la Tabla 20. La emisión de alertas tanto de la localidad de Tunjuelito como de Ciudad Bolívar se basa en los umbrales de Puente Meissen.

UMBRALES DE ALERTA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR

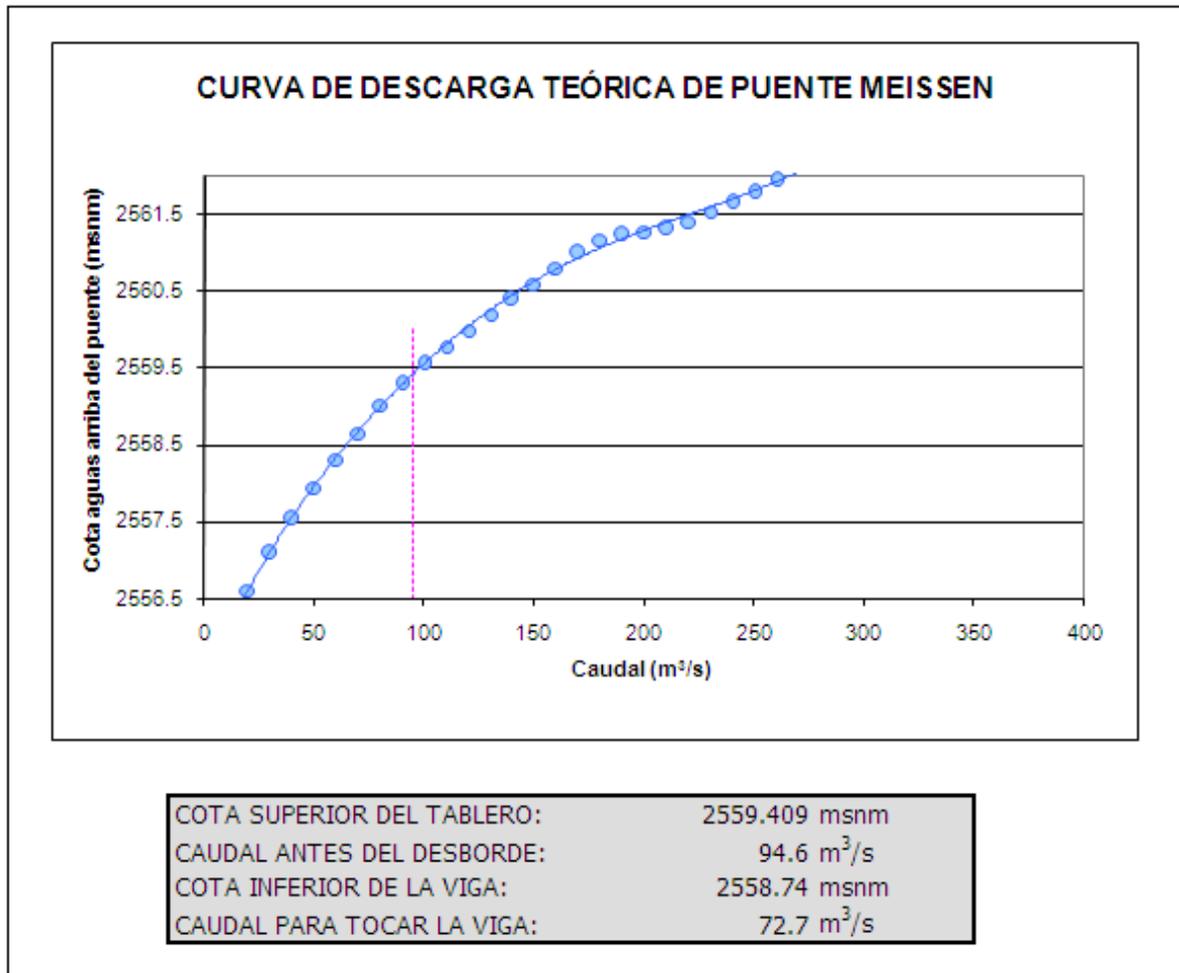
Barrio	Pto Crítico	Qdes m ³ /s	Niveles de alerta en la estación San Benito								Orden de d
			Roja	Q.roja m ³ /s	Nivel 5	Q. A 5 m ³ /s	Naranja	Q. naranja m ³ /s	Amarilla	Q. am m ³ /s	
Barrio México II	24926.49				2562.31	305	2561.31	242	2559.81	153	No consid
Barrios Meissen, La Playa II y La Playa	Pte Meissen	95	2558.51	84	2558.33	77	2557.82	63	2557.28	49	2
Barrio Meissen	24560.00	164	2559.74	148	2559.56	138	2559.12	113	2558.69	91	No consid
Areneras	24420.00	155	2559.59	139	2559.41	129	2558.97	105	2558.52	84	No consid
Barrio La Playa II	24120.00	185	2560.09	168	2559.90	158	2559.45	131	2559.00	106	No consid
Barrio La Playa	24000.00	161	2559.69	145	2559.50	134	2559.04	109	2558.58	86	5
Barrio La Ronda	23500.09	169	2559.79	151	2559.57	138	2559.07	110	2558.58	86	7
Zona verde margen izquierda	23100.00	161	2559.63	142	2559.43	130	2558.93	102	2558.43	80	6

*Orden de d: corresponde al orden de desborde mostrado en la Ilustración 34. "No consid" corresponde a puntos críticos pertenecientes al barrio correspondiente que no fueron tenidos en cuenta debido a que son predios privados o tienen capacidades hidráulicas muy altas o la inundación del barrio ocurre con el punto crítico localizado en otro barrio.

Tabla 20. Umbrales de alerta para la localidad de Ciudad Bolívar

Los valores de los umbrales en el Puente de Meissen se determinaron con base en la curva de calibración obtenida en el software HEC RAS que se muestra en la Ilustración 37. Aunque el puente fue demolido parte de la infraestructura se encuentra en el río a la fecha de elaboración de este informe por lo cual dentro del modelo hidráulico se consideró un puente para el análisis.

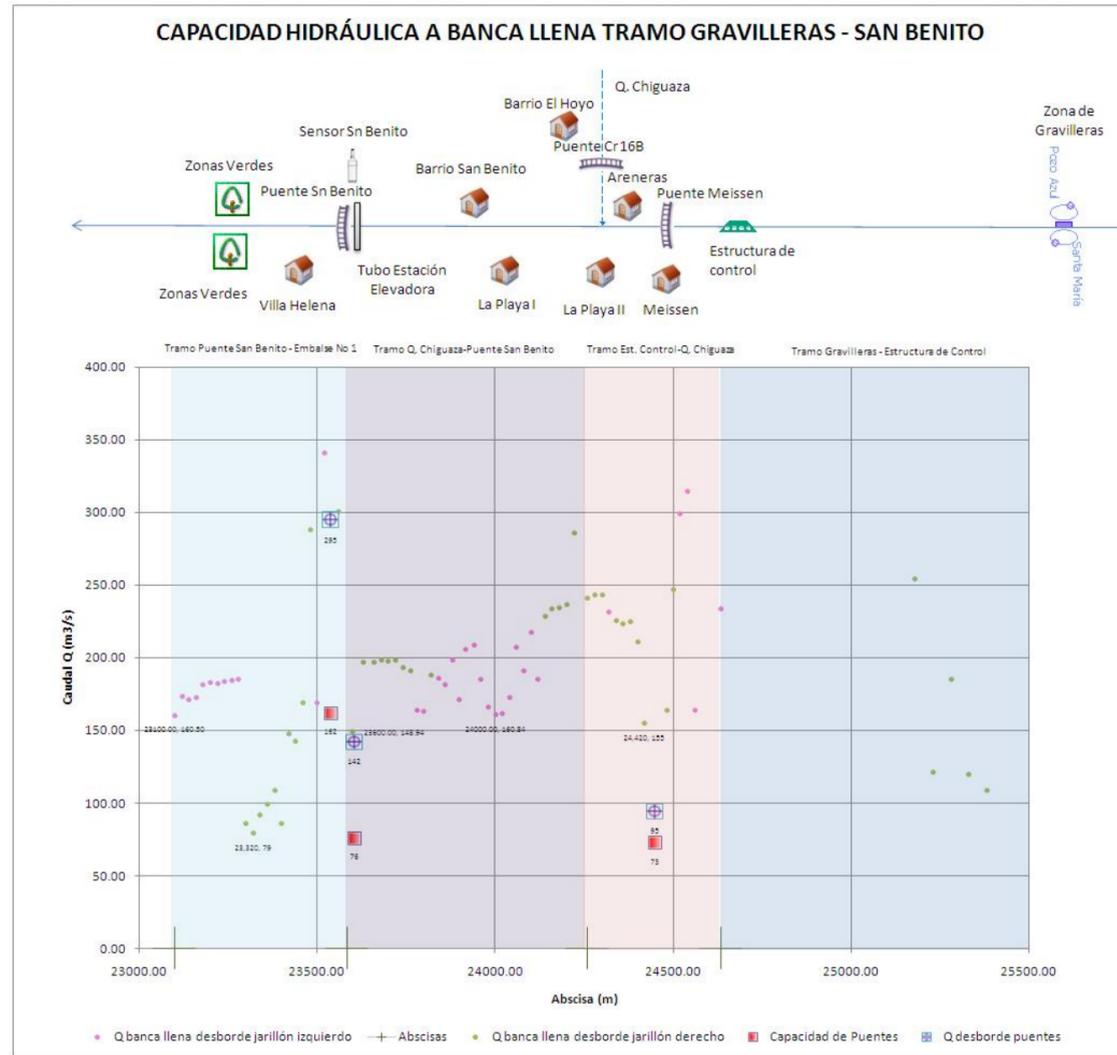
El consolidado de los resultados, utilizando un coeficiente de Manning de 0.04, se muestra en la Ilustración 38 en donde la gráfica de capacidad hidráulica a banca llena indica los valores máximos de caudal y la dirección de desborde de cada sección, en planta se muestran los desbordamientos ordenados de acuerdo con su capacidad hidráulica siendo el 1 la sección con menor capacidad hidráulica y finalmente se muestra el perfil del tramo comparando la altura de los jarillones con los perfiles de flujo obtenidos bajo flujo permanente.



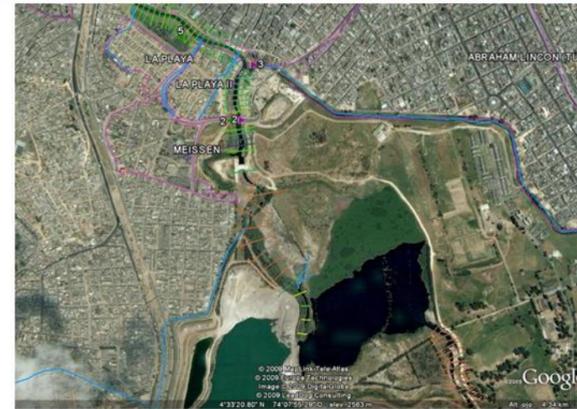
Nivel de alerta	Roja	Nivel 5	Naranja	Amarilla
Cota Pte Meissen (msnm)	2559.109	2558.909	2558.409	2557.909
Caudal (Q) m ³ /s	83.53	77.27	63.20	49.24
Cota sensor San Benito	2558.51	2558.33	2557.82	2557.28

Ilustración 37. Curva de calibración del Puente de Meissen

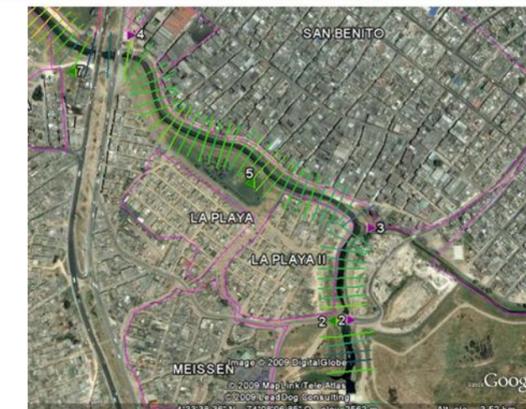
ANÁLISIS DE CAPACIDAD HIDRÁULICA A BANCA LLENA - TRAMO GRAVILLERAS SAN BENITO n=0.04



TRAMO GRAVILLERAS - QUEBRADA CHIGUAZA K24+634 - K24+260



TRAMO QUEBRADA CHIGUAZA - PUENTE SAN BENITO K24+260 - K23+583



TRAMO PUENTE SAN BENITO - EMBALSE No 1 K23+583 - K23+100

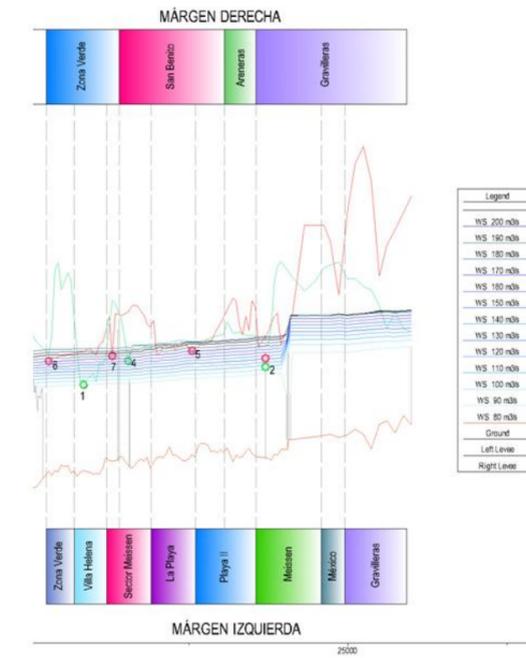


Ilustración 38. Análisis de capacidad hidráulica tramo Gravilleras – San Benito

En la zona aguas abajo de los embalses de amortiguación, el orden de las capacidades hidráulicas frente a cada tramo se muestra en la Ilustración 45. La descripción de la localización de los puntos de menor capacidad hidráulica se realiza a continuación, cabe aclarar que corresponden a la Localidad de Bosa:

1. La menor capacidad hidráulica y la séptima se localizan en la primera curva del río en el barrio Islandia y el desborde ocurre hacia la margen izquierda, inundando una zona en la que se encuentran parqueaderos.
2. El segundo desborde ocurre en la siguiente curva del río en el barrio La Esmeralda hacia la margen izquierda, haciendo que este sector del río frente al barrio Islandia y la Esmeralda sea el más crítico aguas abajo de los embalses de amortiguación.
3. La tercera y la quinta capacidad hidráulica más baja ocurre hacia el barrio El Jardín en una zona de relativamente baja densidad poblacional.
4. La cuarta, la sexta y octava capacidad hidráulicas más bajas ocurren en el barrio los Laureles hacia la margen izquierda en una zona sin mayor ocupación.
5. El quinto barrio con menor capacidad hidráulica es San Pedro hacia la margen izquierda.

Esta relación de capacidades hidráulicas muestra que la zona más crítica del tramo es la que se muestra en la Ilustración 39 (el área sombreada corresponde a la zona de amenaza alta, media y baja de inundación por desbordamiento hacia la margen izquierda).



Ilustración 39. Zona potencialmente crítica del tramo aguas abajo de los embalses de amortiguación localidad de Bosa

El primer desborde que se muestra en la Ilustración 39 determina los umbrales de alerta para la localidad de Bosa. En la Tabla 21 y Tabla 22 se muestran los umbrales obtenidos para la localidad de Bosa considerando los puntos críticos identificados en cada tramo correspondiente al barrio, sin embargo en la última columna se muestra el orden de desborde teniendo en cuenta la posibilidad de que el barrio se inunde por un desborde correspondiente a cualquier punto crítico, es decir al punto crítico del barrio o uno localizado aguas arriba o aguas abajo.

UMBRALES DE ALERTA LOCALIDAD DE BOSA - TRAMO CUBIERTO POR EL SENSOR DE KENNEDY

Barrio	Pto Crítico	Qdes m ³ /s	Niveles de alerta en la estación Kennedy							Niveles de alerta en la estación Independencia				Orden de d	
			Roja	Q.roja m ³ /s	Nivel 5	Q. A 5 m ³ /s	Naranja	Q. naranja m ³ /s	Amarilla	Q. am m ³ /s	Roja	Nivel 5	Naranja		Amarilla
Barrio Nuevo Chile	12293.53	141.04	2548.46	128.00	2548.30	121.94	2547.86	105.70	2547.36	87.46	2546.54	2546.46	2546.04	2545.56	6
Cementerio El Apogeo	11780.00	112.45	2547.76	101.89	2547.57	94.48	2547.03	77.36	2546.52	61.28	2545.94	2545.75	2545.28	2544.77	6
Barrio Andalucía	11240.00	140.24	2548.46	128.00	2548.29	121.75	2547.83	104.67	2547.33	86.54	2546.54	2546.45	2546.01	2545.54	16
Barrio José Antonio Galán	10920.00	118.42	2547.95	109.21	2547.76	102.07	2547.26	84.45	2546.74	68.00	2546.13	2545.94	2545.48	2544.99	12
Barrio Bosa	10219.16	144.17	2548.50	129.44	2548.30	122.04	2547.81	103.65	2547.28	85.00	2546.56	2546.46	2545.98	2545.49	16A
Barrio La Riviera II	10100.00	120.07	2547.95	109.31	2547.75	101.61	2547.22	83.17	2546.70	66.73	2546.13	2545.93	2545.45	2544.95	17
Barrio Argelia II	9500.00	112.66	2547.73	100.88	2547.52	92.88	2546.97	75.58	2546.46	59.50	2545.91	2545.70	2545.22	2544.71	8
Barrio Xochimilco	9740.00	205.61	2549.47	168.54	2548.97	151.10	2548.30	121.95	2547.78	102.73	2547.00	2546.88	2546.46	2545.96	8
Portal de Bosa	9180.00	202.33	2549.35	161.49	2548.76	142.33	2548.15	116.60	2547.63	97.00	2546.96	2546.76	2546.33	2545.81	8
Barrio La Paz	9120.00	127.90	2548.09	114.23	2547.88	106.54	2547.35	87.00	2546.82	70.33	2546.27	2546.06	2545.55	2545.06	7
Barrio La Paz Bosa	9580.00	111.46	2547.71	100.04	2547.50	92.04	2546.95	74.70	2546.43	58.64	2545.89	2545.68	2545.20	2544.68	7

*Orden de d: corresponde al orden de desborde mostrado en la Ilustración 45.

Tabla 21. Umbrales de alerta para la localidad de Bosa en el tramo cubierto por el sensor Kennedy

UMBRALES DE ALERTA LOCALIDAD DE BOSA - TRAMO CUBIERTO POR EL SENSOR INDEPENDENCIA

Barrio	Pto Crítico	Qdes m ³ /s	Niveles de alerta en la estación Kennedy							Niveles de alerta en la estación Independencia				Orden de d	
			Roja	Q.roja m ³ /s	Nivel 5	Q. A 5 m ³ /s	Naranja	Q. naranja m ³ /s	Amarilla	Q. am m ³ /s	Roja	Nivel 5	Naranja		Amarilla
Barrio La Paz Bosa	9100.00	134.42	2548.22	118.92	2548.00	111.04	2547.48	91.08	2546.93	74.20	2546.40	2546.18	2545.66	2545.18	7
Barrio Antonia Santos	8920.00	165.43	2548.68	138.86	2548.49	129.13	2547.87	106.00	2547.33	86.53	2546.71	2546.56	2546.05	2545.54	8
Barrio Villa de Suaita	8600.00	117.43	2547.90	107.04	2547.69	99.29	2547.14	81.06	2546.63	64.64	2546.07	2545.87	2545.39	2544.88	13
Barrio Los Sauces II	8580.00	163.81	2548.66	137.54	2548.44	127.11	2547.83	104.65	2547.29	85.51	2546.69	2546.53	2546.01	2545.51	13
Barrio Los Sauces	8339.20	165.99	2548.65	137.29	2548.42	126.62	2547.83	104.46	2547.31	85.93	2546.69	2546.52	2546.01	2545.52	13
Barrio Islandia	8496.66	86.34	2547.00	76.53	2546.80	69.88	2546.31	55.17	2545.81	42.86	2545.25	2545.05	2544.55	2544.04	1
Barrio Nuestra Señora de la Paz y Otros	8320.00	136.21	2548.26	120.56	2548.04	112.36	2547.53	93.04	2546.98	75.63	2546.44	2546.22	2545.71	2545.22	11
Barrio San Diego la Paz IV sector	8016.41	160.10	2548.62	135.61	2548.34	123.40	2547.77	102.44	2547.23	83.74	2546.66	2546.48	2545.95	2545.46	11
Barrio La Paz San Ignacio Sector La Esperanza	7985.77	165.76	2548.68	138.84	2548.44	127.27	2547.84	104.76	2547.29	85.52	2546.71	2546.53	2546.01	2545.51	11
Barrio La Paz I y II	7880.00	144.77	2548.49	128.99	2548.18	117.40	2547.64	97.50	2547.07	78.83	2546.56	2546.36	2545.82	2545.32	11
Barrio La Esmeralda	8080.00	88.07	2547.05	78.06	2546.85	71.40	2546.36	56.54	2545.87	44.14	2545.30	2545.09	2544.60	2544.09	2
Barrio La Paz San Ignacio Las Vegas	7860.00	151.45	2548.55	132.17	2548.23	119.56	2547.71	99.96	2547.13	80.70	2546.60	2546.42	2545.89	2545.38	11
Barrio La Independencia	7523.81	115.72	2547.83	104.62	2547.63	96.93	2547.06	78.39	2546.56	62.50	2546.01	2545.81	2545.31	2544.81	11
Barrio Islandia	6547.90	110.09	2547.66	98.00	2547.44	89.70	2546.84	71.15	2546.30	55.06	2545.84	2545.62	2545.09	2544.54	5
Barrio San Pedro	6500.12	117.88	2547.86	105.71	2547.64	97.38	2547.04	77.67	2546.49	60.24	2546.04	2545.82	2545.29	2544.74	5
Barrio El Remanso I	6200.00	118.26	2547.89	106.92	2547.68	98.88	2547.05	78.26	2546.49	60.45	2546.07	2545.86	2545.31	2544.74	14
Barrio Los Laureles	6296.29	102.50	2547.45	90.00	2547.19	82.31	2546.61	64.14	2546.08	49.07	2545.63	2545.42	2544.86	2544.31	4
Barrio Remanso Urbamo	5520.00	114.44	2547.77	102.17	2547.54	93.48	2546.90	73.08	2546.33	55.76	2545.95	2545.72	2545.15	2544.57	10
Barrio El Jardín	5020.00	102.07	2547.43	89.52	2547.16	81.52	2546.57	62.78	2546.05	48.37	2545.62	2545.40	2544.82	2544.28	3
Barrio San Bernardino XVII	3920.00	132.78	2548.22	119.09	2547.97	110.00	2547.43	89.63	2546.87	72.00	2546.40	2546.15	2545.62	2545.11	22
Barrio San Bernardino XXII	3320.00	136.85	2548.32	122.91	2548.07	113.66	2547.49	91.54	2546.89	72.75	2546.47	2546.25	2545.67	2545.14	22
Barrio San Diego Bosa	3180.51	122.93	2547.95	109.09	2547.72	100.39	2547.11	79.97	2546.58	63.10	2546.13	2545.90	2545.36	2544.83	19
Municipio de Soacha	2520.00	126.28	2548.02	111.79	2547.74	101.26	2547.03	77.45	2546.37	57.00	2546.20	2545.92	2545.28	2544.62	21
Barrio San Bernardino XXV	2960.00	125.17	2548.00	110.95	2547.77	102.13	2547.15	81.16	2546.60	63.84	2546.18	2545.95	2545.39	2544.85	20

*Orden de d: corresponde al orden de desborde mostrado en la Ilustración 45.

Tabla 22. Umbrales de alerta para la localidad de Bosa en el tramo cubierto por el sensor Independencia

Teniendo en cuenta el punto crítico identificado para cada barrio evaluando desbordes aguas abajo y aguas arriba del mismo, los niveles de alerta serían los mostrados en la Tabla 23 y Tabla 24 para la localidad de Bosa.

UMBRALES DE ALERTA LOCALIDAD DE BOSA - TRAMO CUBIERTO POR EL SENSOR DE KENNEDY

Barrio	Pto Crítico	Qdes m ³ /s	Niveles de alerta en la estación Kennedy							Niveles de alerta en la estación Independencia				
			Roja	Q.roja m ³ /s	Nivel 5	Q. A 5 m ³ /s	Naranja	Q. naranja m ³ /s	Amarilla	Q. am m ³ /s	Roja	Nivel 5	Naranja	Amarilla
Barrio Nuevo Chile	11780.00	112	2547.76	102	2547.57	94	2547.03	77	2546.52	61	2545.94	2545.75	2545.28	2544.77
Cementerio El Apogeo	11780.00	112	2547.76	102	2547.57	94	2547.03	77	2546.52	61	2545.94	2545.75	2545.28	2544.77
Barrio Andalucía	11120.00	121	2548.01	111	2547.82	104	2547.33	87	2546.80	70	2546.19	2546.00	2545.54	2545.04
Barrio José Antonio Galán	10920.00	118.42	2547.95	109.21	2547.76	102.07	2547.26	84.45	2546.74	68.00	2546.13	2545.94	2545.48	2544.99
Barrio Bosa	10479.08	112	2547.78	103	2547.61	96	2547.15	81	2546.64	65	2545.96	2545.79	2545.39	2544.89
Barrio La Riviera II	10100.00	120	2547.95	109	2547.75	102	2547.22	83	2546.70	67	2546.13	2545.93	2545.45	2544.95
Barrio Argelia II	9500.00	113	2547.73	101	2547.52	93	2546.97	76	2546.46	59	2545.91	2545.70	2545.22	2544.71
Barrio Xochimilco	9500.00	113	2547.73	101	2547.52	93	2546.97	76	2546.46	59	2545.91	2545.70	2545.22	2544.71
Portal de Bosa	9500.00	113	2547.73	101	2547.52	93	2546.97	76	2546.46	59	2545.91	2545.70	2545.22	2544.71
Barrio La Paz	9580.00	111	2547.71	100	2547.50	92	2546.95	75	2546.43	59	2545.89	2545.68	2545.20	2544.68
Barrio La Paz Bosa	9580.00	111	2547.71	100	2547.50	92	2546.95	75	2546.43	59	2545.89	2545.68	2545.20	2544.68

Tabla 23. Umbrales de alerta para la localidad de Bosa en el tramo cubierto por el sensor Kennedy

UMBRALES DE ALERTA LOCALIDAD DE BOSA - TRAMO CUBIERTO POR EL SENSOR INDEPENDENCIA

Barrio	Pto Crítico	Qdes m ³ /s	Niveles de alerta en la estación Kennedy							Niveles de alerta en la estación Independencia				
			Roja	Q.roja m ³ /s	Nivel 5	Q. A 5 m ³ /s	Naranja	Q. naranja m ³ /s	Amarilla	Q. am m ³ /s	Roja	Nivel 5	Naranja	Amarilla
Barrio La Paz Bosa	9580.00	111.46	2547.71	100.04	2547.50	92.04	2546.95	74.70	2546.43	58.64	2545.89	2545.68	2545.20	2544.68
Barrio Antonia Santos	9500.00	112.66	2547.73	100.88	2547.52	92.88	2546.97	75.58	2546.46	59.50	2545.91	2545.70	2545.22	2544.71
Barrio Villa de Suaita	8600.00	117.43	2547.90	107.04	2547.69	99.29	2547.14	81.06	2546.63	64.64	2546.07	2545.87	2545.39	2544.88
Barrio Los Sauces II	8600.00	117.43	2547.90	107.04	2547.69	99.29	2547.14	81.06	2546.63	64.64	2546.07	2545.87	2545.39	2544.88
Barrio Los Sauces	8600.00	117.43	2547.90	107.04	2547.69	99.29	2547.14	81.06	2546.63	64.64	2546.07	2545.87	2545.39	2544.88
Barrio Islandia	8496.66	86.34	2547.00	76.53	2546.80	69.88	2546.31	55.17	2545.81	42.86	2545.25	2545.05	2544.55	2544.04
Barrio Nuestra Señora de la Paz y Otros	7523.81	115.72	2547.83	104.62	2547.63	96.93	2547.06	78.39	2546.56	62.50	2546.01	2545.81	2545.31	2544.81
Barrio San Diego la Paz IV sector	7523.81	115.72	2547.83	104.62	2547.63	96.93	2547.06	78.39	2546.56	62.50	2546.01	2545.81	2545.31	2544.81
Barrio La Paz San Ignacio Sector La Esperanza	7523.81	115.72	2547.83	104.62	2547.63	96.93	2547.06	78.39	2546.56	62.50	2546.01	2545.81	2545.31	2544.81
Barrio La Paz I y II	7523.81	115.72	2547.83	104.62	2547.63	96.93	2547.06	78.39	2546.56	62.50	2546.01	2545.81	2545.31	2544.81
Barrio La Esmeralda	8080.00	88.07	2547.05	78.06	2546.85	71.40	2546.36	56.54	2545.87	44.14	2545.30	2545.09	2544.60	2544.09
Barrio La Paz San Ignacio Las Vegas	7523.81	115.72	2547.83	104.62	2547.63	96.93	2547.06	78.39	2546.56	62.50	2546.01	2545.81	2545.31	2544.81
Barrio La Independencia	7523.81	115.72	2547.83	104.62	2547.63	96.93	2547.06	78.39	2546.56	62.50	2546.01	2545.81	2545.31	2544.81
Barrio Islandia	6547.90	110.09	2547.66	98.00	2547.44	89.70	2546.84	71.15	2546.30	55.06	2545.84	2545.62	2545.09	2544.54
Barrio San Pedro	6547.90	110.09	2547.66	98.00	2547.44	89.70	2546.84	71.15	2546.30	55.06	2545.84	2545.62	2545.09	2544.54
Barrio El Remanso I	6200.00	118.26	2547.89	106.92	2547.68	98.88	2547.05	78.26	2546.49	60.45	2546.07	2545.86	2545.31	2544.74
Barrio Los Laureles	6296.29	102.50	2547.45	90.00	2547.19	82.31	2546.61	64.14	2546.08	49.07	2545.63	2545.42	2544.86	2544.31
Barrio Remanso Urbano	5520.00	114.44	2547.77	102.17	2547.54	93.48	2546.90	73.08	2546.33	55.76	2545.95	2545.72	2545.15	2544.57
Barrio El Jardín	5020.00	102.07	2547.43	89.52	2547.16	81.52	2546.57	62.78	2546.05	48.37	2545.62	2545.40	2544.82	2544.28
Barrio San Bernardino XVII	3920.00	132.78	2548.22	119.09	2547.97	110.00	2547.43	89.63	2546.87	72.00	2546.40	2546.15	2545.62	2545.11
Barrio San Bernardino XXII	3920.00	132.78	2548.22	119.09	2547.97	110.00	2547.43	89.63	2546.87	72.00	2546.40	2546.15	2545.62	2545.11
Barrio San Diego Bosa	3180.51	122.93	2547.95	109.09	2547.72	100.39	2547.11	79.97	2546.58	63.10	2546.13	2545.90	2545.36	2544.83
Municipio de Soacha	2520.00	126.28	2548.02	111.79	2547.74	101.26	2547.03	77.45	2546.37	57.00	2546.20	2545.92	2545.28	2544.62
Barrio San Bernardino XXV	2960.00	125.17	2548.00	110.95	2547.77	102.13	2547.15	81.16	2546.60	63.84	2546.18	2545.95	2545.39	2544.85

Tabla 24. Umbrales de alerta para la localidad de Bosa en el tramo cubierto por el sensor Independencia

Para el caso de la localidad de Kennedy, los puntos con menor capacidad hidráulica son:

1. El punto con menor capacidad hidráulica en la localidad de Kennedy se encuentra localizado en el barrio Class. Frente a este barrio se encuentra la capacidad hidráulica de orden 15 que fue la utilizada para la definición de los umbrales de alerta. Adicionalmente, en el límite de la localidad de encuentra la capacidad hidráulica de orden 12, que a pesar

de encontrarse en la localidad de Bosa se consideró en la localidad de Kennedy ya que su principal afectación se encuentra en esta localidad (ver Ilustración 40).



Ilustración 40. Zona potencialmente crítica de la localidad de Kennedy

2. La segunda zona de menor capacidad en la localidad de Kennedy se encuentra localizada en el barrio Catalina, cuyo desborde se estima afectaría el área que se muestra en la Ilustración 41.
3. La tercera área de menor capacidad en la localidad de Kennedy se encuentra localizada sobre la margen izquierda del río en el barrio La Cecilia que igualmente se muestra en la Ilustración 41.
4. El desborde de la cuarta capacidad hidráulica más baja afectaría el sector de El Rubí y el barrio Prados de Kennedy (Ver Ilustración 42).

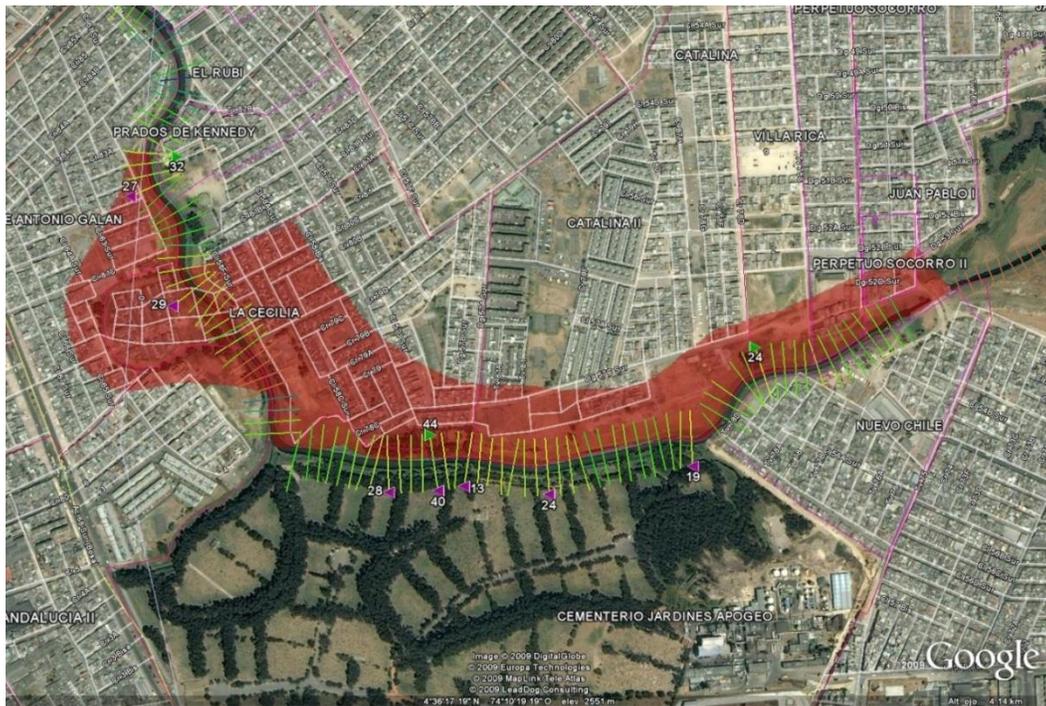


Ilustración 41. Área que potencialmente puede resultar afectada por el desborde en la segunda zona de menor capacidad de la localidad de Kennedy

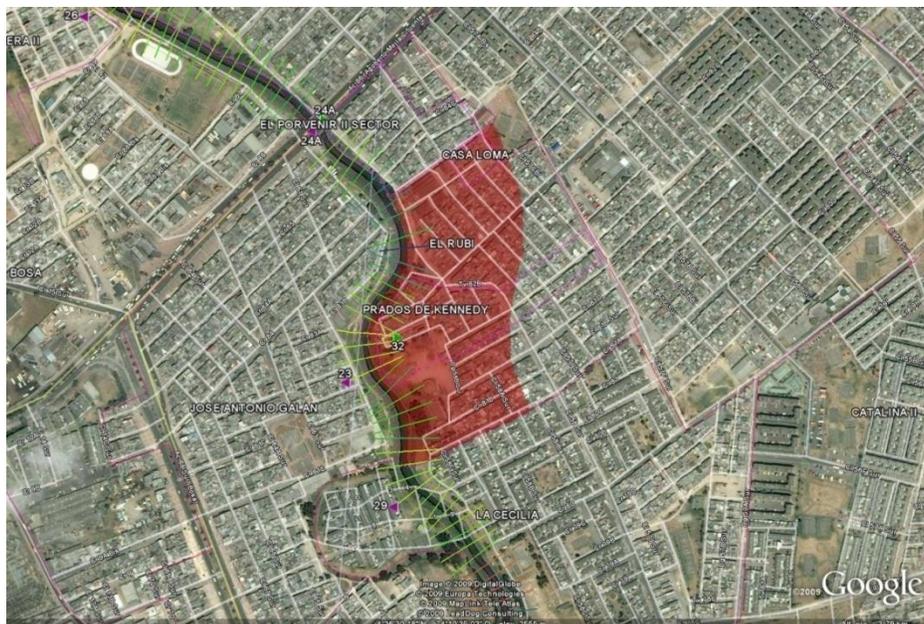


Ilustración 42. Sector que potencialmente puede resultar afectado por desborde en la zona de tercera menor capacidad hidráulica

5. La quinta zona de menor capacidad hidráulica corresponde al Puente de la carrera 86 Av Agoberto Mejía en donde se encuentra localizado el sensor Kennedy. Debido a que para el presente informe no se cuenta con información topográfica del levantamiento del puente, se asumió la cota inferior del puente equivalente a la cota del sensor de nivel y una altura del tablero de 1.8m (ver Foto 7).

El análisis de capacidad hidráulica del puente de la carrera 86 Av Agoberto Mejía se muestra en la Ilustración 43. El desborde en este puente también afectaría el barrio José Antonio Galán pero sobre este barrio existe otra zona de menor capacidad que la calculada para el puente que corresponde al desborde numerado como 23 en la Ilustración 44. En la Ilustración 44 se muestra el área que resultaría afectada por el desborde en el puente en la localidad de Kennedy.



Foto 7. Puente de la carrera 86 Av Agoberto Mejía, lugar de instalación del sensor Kennedy

La curva de calibración correspondiente obtenida mediante el uso del modelo desarrollado para el río en el software HEC RAS se muestra en la Ilustración 43.



Ilustración 43. Curva de calibración del puente de la carrera 86



Ilustración 44. Área que potencialmente podría resultar afectada por desbordamiento en el puente de la avenida Agoberto Mejía en la localidad de Kennedy

Las capacidades hidráulicas calculadas para los tramos correspondientes a cada barrio de la localidad de Kennedy se muestran en la Tabla 25 aplicando el mismo principio de los análisis anteriores y asignando un orden de desborde correspondiente al punto crítico que afecta el barrio.

UMBRALES DE ALERTA LOCALIDAD DE KENNEDY

Barrio	Pto Crítico	Qdes	Niveles de alerta en la estación Kennedy							Niveles de alerta en la estación Independencia				Orden de d	
			Roja	Q.roja	Nivel 5	Q. A 5	Naranja	Q. naranja	Amarilla	Q. am	Roja	Nivel 5	Naranja		Amarilla
Barrio Perpetuo Socorro II	12581.39	141.54	2548.65	128.82	2548.44	122.94	2547.89	107.04	2547.40	88.67	2546.55	2546.47	2546.07	2545.59	15
Barrio Villa Rica	12480.00	152.36	2548.84	138.39	2548.68	129.79	2548.14	114.64	2547.63	96.89	2546.70	2546.57	2546.28	2545.81	15
Barrio Catalina	12360.00	119.12	2547.97	110.03	2547.78	102.63	2547.27	84.70	2546.75	68.15	2546.15	2545.96	2545.49	2544.99	15
Barrio Catalina II	11800.00	137.57	2548.41	126.18	2548.25	120.12	2547.81	103.72	2547.30	85.80	2546.52	2546.43	2545.99	2545.52	15
Barrio La Cecilia Margen Izquierda	11120.00	120.97	2548.02	111.36	2547.82	104.36	2547.33	86.52	2546.80	69.75	2546.19	2546.00	2545.54	2545.04	16
Barrio La Cecilia margen derecha	11720.00	127.70	2548.23	119.50	2548.05	112.83	2547.58	95.00	2547.04	77.83	2546.42	2546.23	2545.76	2545.29	15
Barrio El Rubí	10980.00	154.74	2548.86	139.61	2548.71	130.92	2548.13	114.55	2547.62	96.71	2546.72	2546.58	2546.28	2545.80	18
Barrio Prados de Kennedy	10862.60	122.81	2548.08	113.00	2547.86	105.92	2547.38	88.06	2546.85	71.38	2546.23	2546.04	2545.58	2545.09	18
Barrio El Porvenir II sector	10540.00	139.75	2548.61	127.80	2548.37	121.14	2547.83	104.62	2547.36	87.47	2546.54	2546.45	2546.01	2545.56	16A
Barrio Class	10060.00	113.25	2547.77	102.26	2547.57	94.44	2547.02	77.04	2546.51	60.97	2545.95	2545.75	2545.27	2544.76	9
Barrio Gran Britalia	9860.00	123.92	2548.04	112.08	2547.82	104.39	2547.29	85.31	2546.76	68.57	2546.21	2546.00	2545.50	2545.00	9

*Orden de d: corresponde al orden de desborde mostrado en la Ilustración 45.

Tabla 25. Umbrales de alerta para la localidad de Kennedy

Teniendo en cuenta el punto crítico que afecta cada barrio, los umbrales de alerta corresponden a los mostrados en la Tabla 26.

UMBRALES DE ALERTA LOCALIDAD DE KENNEDY

Barrio	Pto Crítico	Qdes	Niveles de alerta en la estación Kennedy							Niveles de alerta en la estación Independencia				
			Roja	Q.roja	Nivel 5	Q. A 5	Naranja	Q. naranja	Amarilla	Q. am	Roja	Nivel 5	Naranja	Amarilla
Barrio Perpetuo Socorro II	12360.00	119.12	2547.97	110.03	2547.78	102.63	2547.27	84.70	2546.74	68.15	2546.15	2545.96	2545.49	2544.99
Barrio Villa Rica	12360.00	119.12	2547.97	110.03	2547.78	102.63	2547.27	84.70	2546.74	68.15	2546.15	2545.96	2545.49	2544.99
Barrio Catalina	12360.00	119.12	2547.97	110.03	2547.78	102.63	2547.27	84.70	2546.74	68.15	2546.15	2545.96	2545.49	2544.99
Barrio Catalina II	12360.00	119.12	2547.97	110.03	2547.78	102.63	2547.27	84.70	2546.74	68.15	2546.15	2545.96	2545.49	2544.99
Barrio La Cecilia Margen Izquierda	11120.00	120.97	2548.01	111.36	2547.82	104.36	2547.33	86.52	2546.80	69.75	2546.19	2546.00	2545.54	2545.04
Barrio La Cecilia margen derecha	12360.00	119.12	2547.97	110.03	2547.78	102.63	2547.27	84.70	2546.74	68.15	2546.15	2545.96	2545.49	2544.99
Barrio El Rubí	10862.60	122.81	2548.05	113.00	2547.87	105.92	2547.38	88.06	2546.85	71.38	2546.23	2546.04	2545.58	2545.09
Barrio Prados de Kennedy	10862.60	122.81	2548.05	113.00	2547.87	105.92	2547.38	88.06	2546.85	71.38	2546.23	2546.04	2545.58	2545.09
Barrio El Porvenir II sector	10479.08	112.10	2547.78	102.66	2547.61	96.00	2547.15	81.11	2546.64	65.00	2545.96	2545.79	2545.39	2544.89
Barrio Class	10060.00	113.25	2547.77	102.26	2547.56	94.44	2547.02	77.04	2546.51	60.97	2545.95	2545.75	2545.27	2544.76
Barrio Gran Britalia	10060.00	113.25	2547.77	102.26	2547.56	94.44	2547.02	77.04	2546.51	60.97	2545.95	2545.75	2545.27	2544.76

Tabla 26. Umbrales de alerta para la localidad de Kennedy en el tramo cubierto por el sensor Kennedy

En la Ilustración 46 e Ilustración 47 se muestra el consolidado de los resultados del análisis de capacidad hidráulica para los tramos Embalses – K9+120 y K9+120 – K0+000, utilizando un coeficiente de Manning de 0.04. Las gráficas muestran la capacidad hidráulica a banca llena indicando los valores máximos de caudal y la dirección de desborde de cada sección, en planta se muestran los desbordamientos ordenados de acuerdo con su capacidad hidráulica siendo el 1 la sección con menor capacidad hidráulica y finalmente se muestra el perfil del tramo comparando la altura de los jarillones con los perfiles de flujo obtenidos bajo flujo permanente.

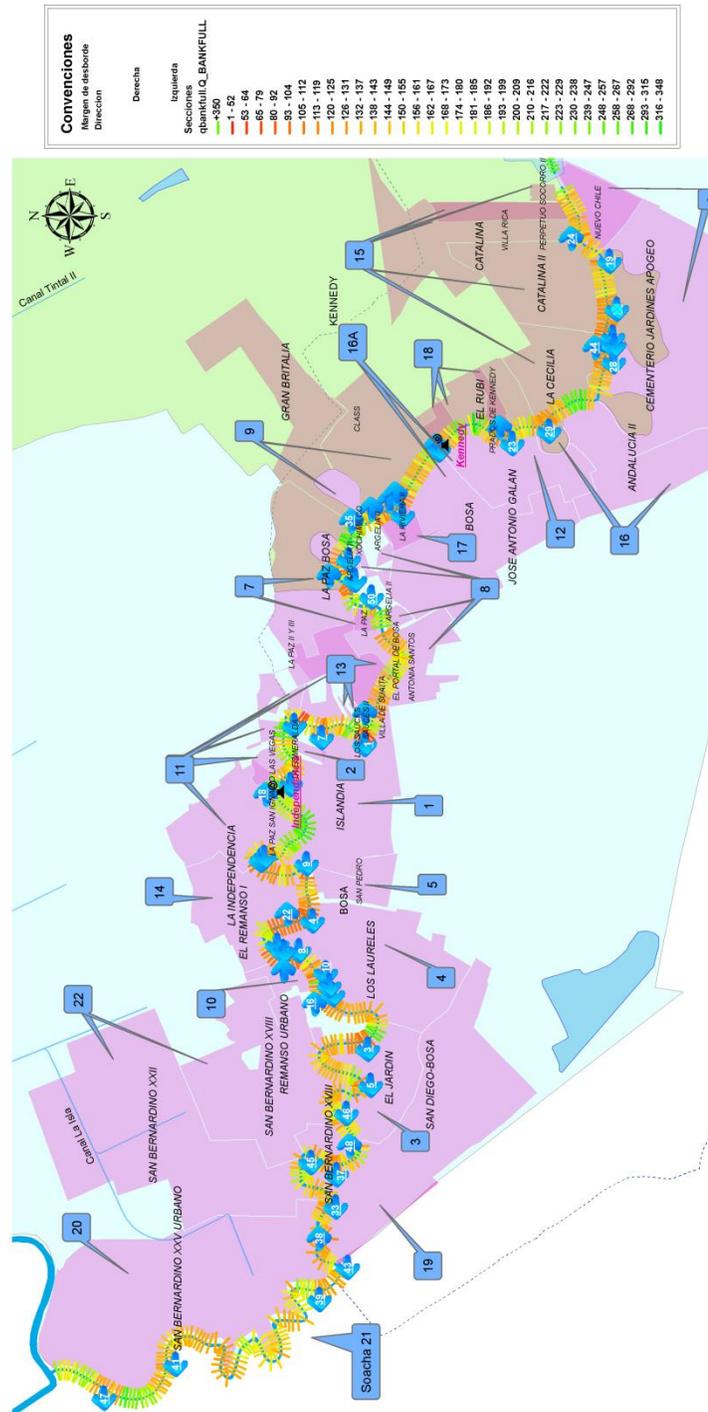
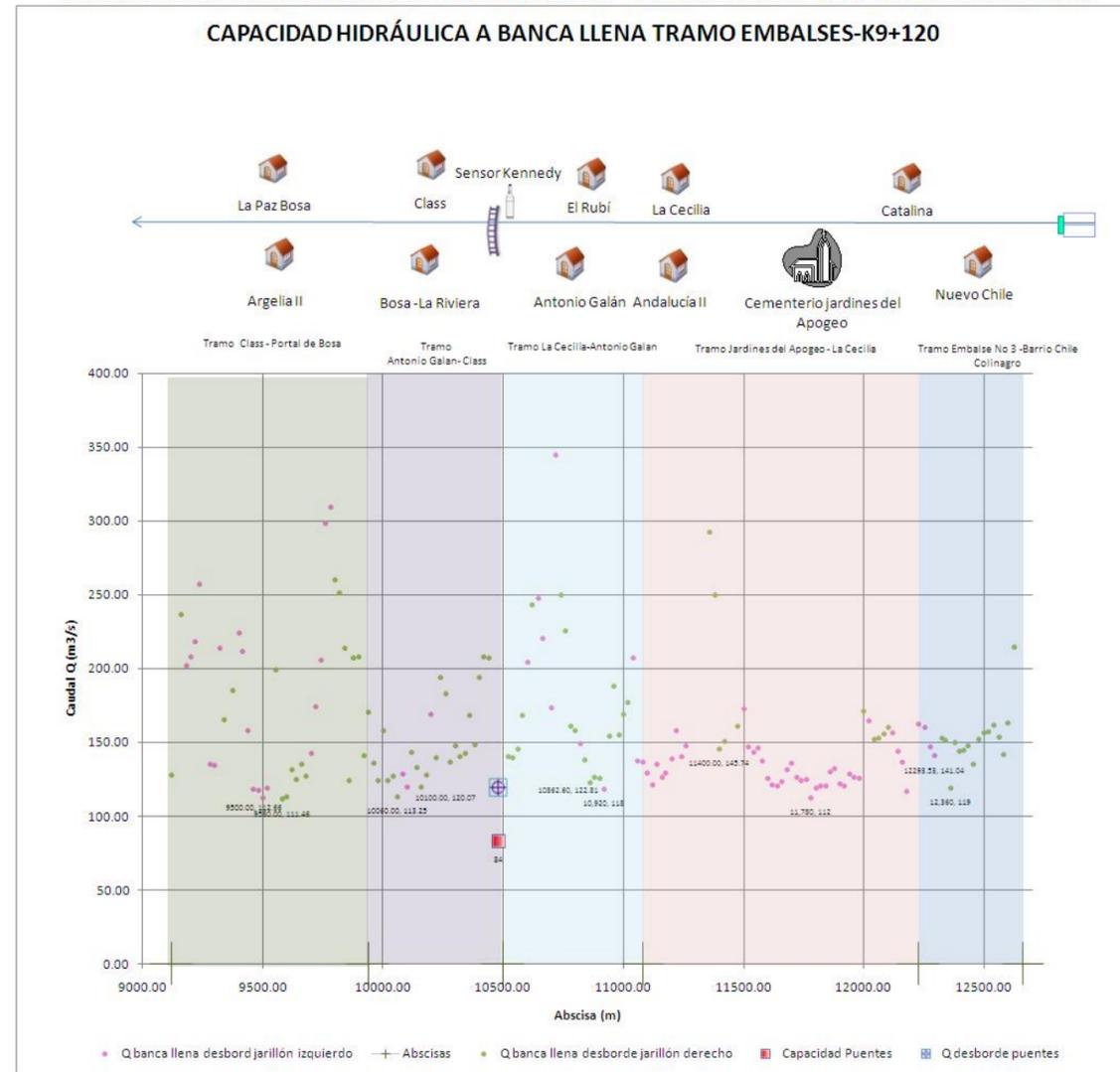


Ilustración 45. Análisis de capacidad hidráulica tramo aguas abajo de los embalses de amortiguación

ANÁLISIS DE CAPACIDAD HIDRÁULICA A BANCA LLENA - TRAMO EMBALSE No 3-PORTAL BOSA n=0.04



Nota: la capacidad de hidráulica de los puentes corresponde al caudal que produce que la superficie del agua toque la viga inferior del puente

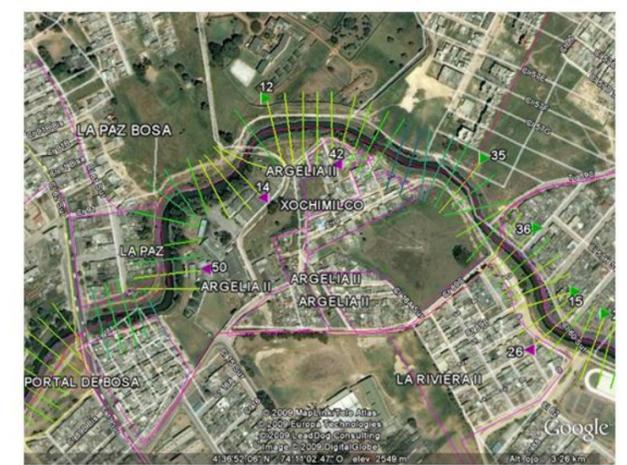
TRAMO EMBALSE No 3 - CEMENTERIO JARDINES DEL APOGEO K12+660 - K12+227



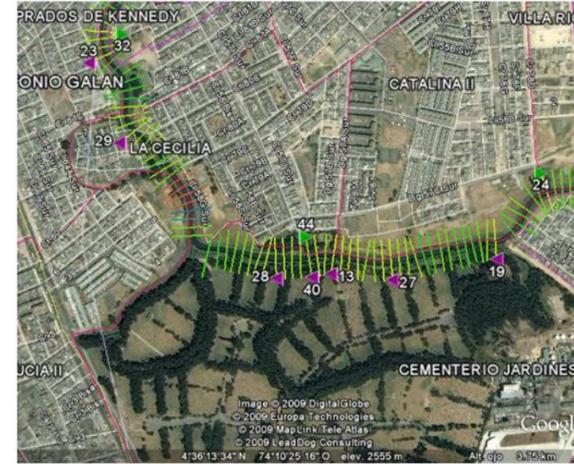
TRAMO BARRIO LA CECILIA - BARRIO JOSÉ ANTONIO GALÁN K11+080 - K10+500



TRAMO BARRIO CLASS - BARRIO PORTAL DE BOSA K9+940 - K9+120



TRAMO CEMENTERIO JARDINES DEL APOGEO - BARRIO LA CECILIA K12+227 - K11+080



TRAMO BARRIO JOSÉ ANTONIO GALÁN - BARRIO CLASS K10+500 - K9+940

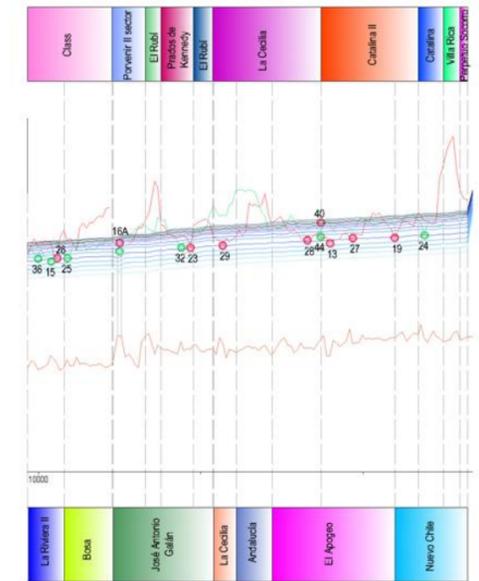
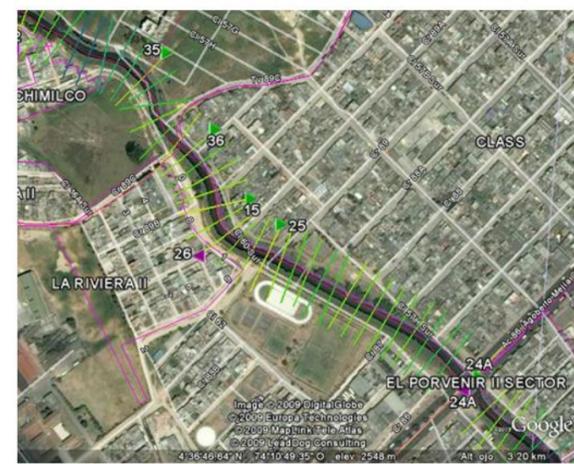


Ilustración 46. Análisis de capacidad hidráulica tramo Embalse No 3-Portal de Bosa

ANÁLISIS DE CAPACIDAD HIDRÁULICA A BANCA LLENA - TRAMO K9+120-K0+000 n=0.04

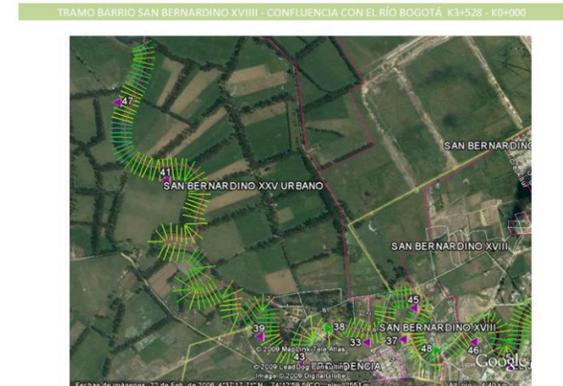
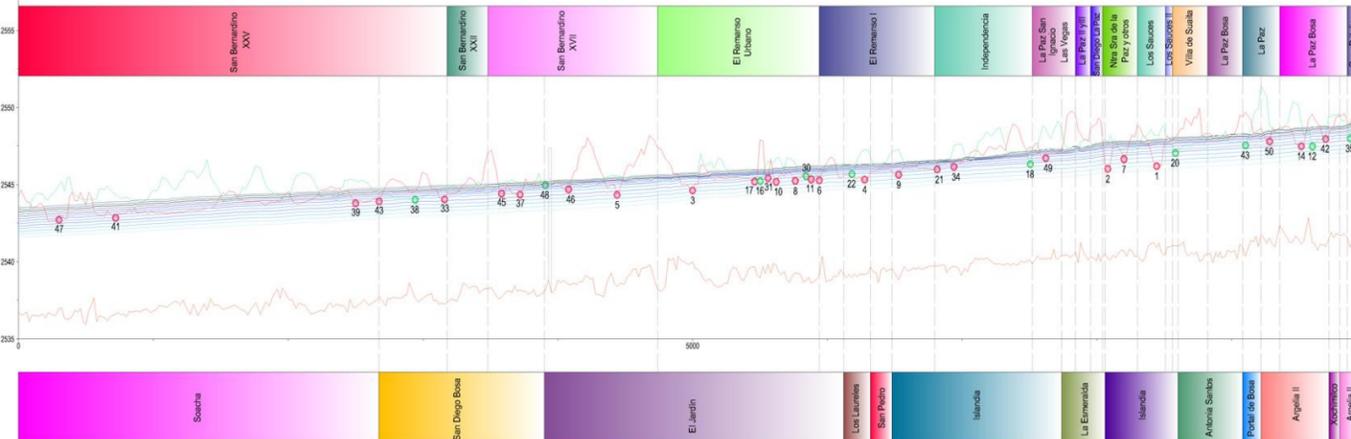
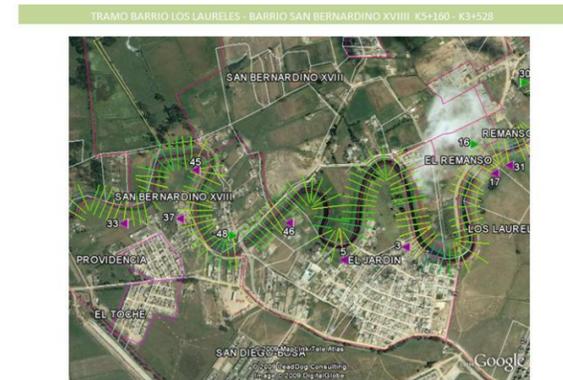
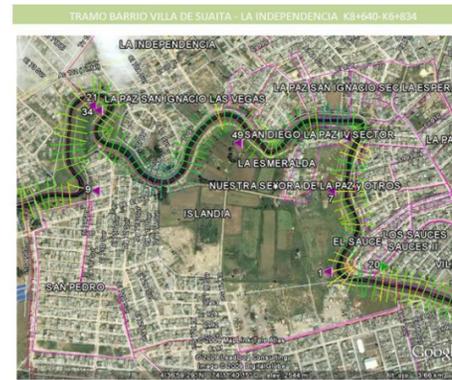
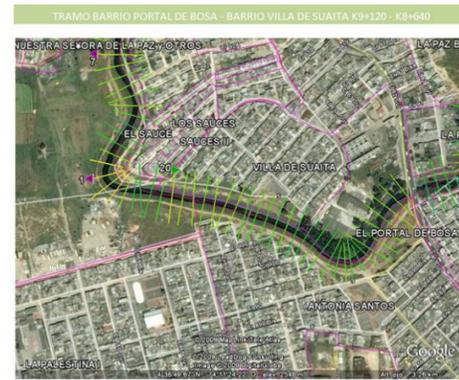
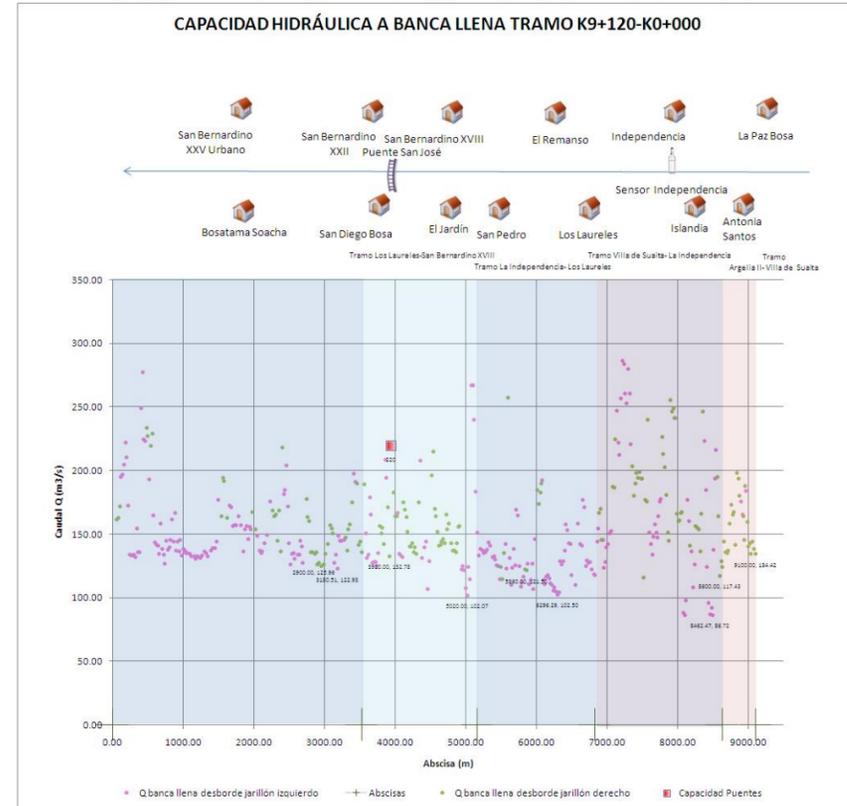


Ilustración 47. Análisis de capacidad hidráulica tramo Portal de Bosa-Desembocadura

Cabe aclarar que para el caso de la localidad de Bosa, existe un tramo cubierto por el sensor de Kennedy y otro cubierto por el sensor de Independencia, según la división que se mostró anteriormente. Los umbrales de alerta de todo el tramo han sido determinados en los dos sensores de tal forma que siendo el sensor de Kennedy el ubicado más aguas arriba en todo el tramo, este sería el encargado de emitir las alertas de manera más temprana que el sensor de Independencia, sin embargo el sensor de Independencia permite la corroboración de las alertas, su calibración y la posibilidad de tener en cuenta las condiciones de desborde en algunos sectores para la emisión de alertas en los puntos que se encuentran aguas arriba de este.

8.9 Sensibilidad de los resultados

Con el fin de determinar la sensibilidad de los umbrales obtenidos ante un cambio en el coeficiente de Manning en el río, dichos valores se calcularon nuevamente utilizando un coeficiente de Manning de 0.03. Se aclara que el valor del coeficiente de Manning utilizado para el cálculo de los umbrales mostrado en las secciones anteriores es de 0.04 y se considera un valor relativamente alto para el río por lo cual constituye un límite superior del análisis mientras que el valor de 0.03 constituye un límite inferior.

El principal efecto de la reducción de rugosidad lo constituye el aumento de la capacidad hidráulica en el río. Los ejemplos más importantes de este aumento de capacidad lo constituyen las secciones hidráulicas más críticas del río que determinan las alertas por localidad. De la Tabla 27 y Tabla 28 se observa que en promedio el incremento en la capacidad es de alrededor de 20 m³/s en las secciones críticas al reducir el coeficiente de Manning de 0.04 a 0.03.

RESUMEN DE ALERTAS POR LOCALIDADES

Barrio	Pto Crítico	Qdes	Niveles de alerta en la estación San Benito							
			Roja	Q.roja	Nivel 5	Q. A 5	Naranja	Q. naranja	Amarilla	Q. am
Ciudad Bolívar	Pte Meissen	94.57	2558.51	83.53	2558.33	77.27	2557.82	63.20	2557.28	49.24
Tunjuelito	23600.00	122.63	2559.03	108.00	2558.85	98.34	2558.39	78.83	2557.85	64.12
Kennedy	10060.00	113.25	2547.77	102.26	2547.56	94.44	2547.02	77.04	2546.51	60.97
Bosa	8496.66	86.34	2547.00	76.53	2546.80	69.88	2546.31	55.17	2545.81	42.86

Tabla 27. Alertas por localidad con n=0.04

RESUMEN DE ALERTAS POR LOCALIDADES

Barrio	Pto Crítico	Qdes	Niveles de alerta en la estación San Benito							
			Roja	Q.roja	Nivel 5	Q. A 5	Naranja	Q. naranja	Amarilla	Q. am
Ciudad Bolívar	Pte Meissen	119.15	2558.59	103.84	2558.40	94.74	2557.89	76.04	2557.31	61.03
Tunjuelito	23600.00	148.39	2559.05	131.11	2558.88	119.49	2558.42	95.42	2557.92	76.72
Kennedy	10060.00	139.21	2547.70	126.24	2547.51	116.72	2546.98	95.46	2546.47	75.59
Bosa	8496.66	107.34	2546.98	95.25	2546.78	87.16	2546.28	68.58	2545.79	53.50

Tabla 28. Alertas por localidad con n=0.03

Al variar el coeficiente de Manning, los umbrales de alerta sufren variaciones que pueden ser consideradas como despreciables para los tramos cubiertos por los sensores San Benito e Independencia (tramos del río desde la zona de Gravilleras hasta el Embalse No 1 y desde el K9+160 hasta la confluencia), pero para el caso de los umbrales establecidos para el sensor Kennedy, se presentan variaciones considerables en los umbrales debido a que el cambio en el coeficiente de rugosidad modifica de manera importante la curva de calibración de la sección del puente en el que se encuentra instalado el sensor, presentándose una variación de hasta 30 cm en los umbrales especialmente para las secciones con caudal de desborde alto. En todo caso, se tomaron los umbrales obtenidos para las condiciones de rugosidad de 0.04 dado que son más conservadores.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, corresponde al efecto de remanso del río Bogotá que puede modificar sustancialmente las condiciones de desborde del tramo de confluencia. Como ejemplo en la Ilustración 48 se muestran los perfiles obtenidos con los dos coeficientes de rugosidad utilizados, de lo cual se puede observar que en una extensión de aproximadamente 4 kilómetros hay una influencia importante en los perfiles de flujo de la condición de borde. Se aclara que esto ocurre para esta condición en particular al variar los coeficientes de Manning, lo cual además tiene influencia en la determinación de umbrales con ambas rugosidades, siendo los valores más conservadores los obtenidos con el coeficiente de 0.04.

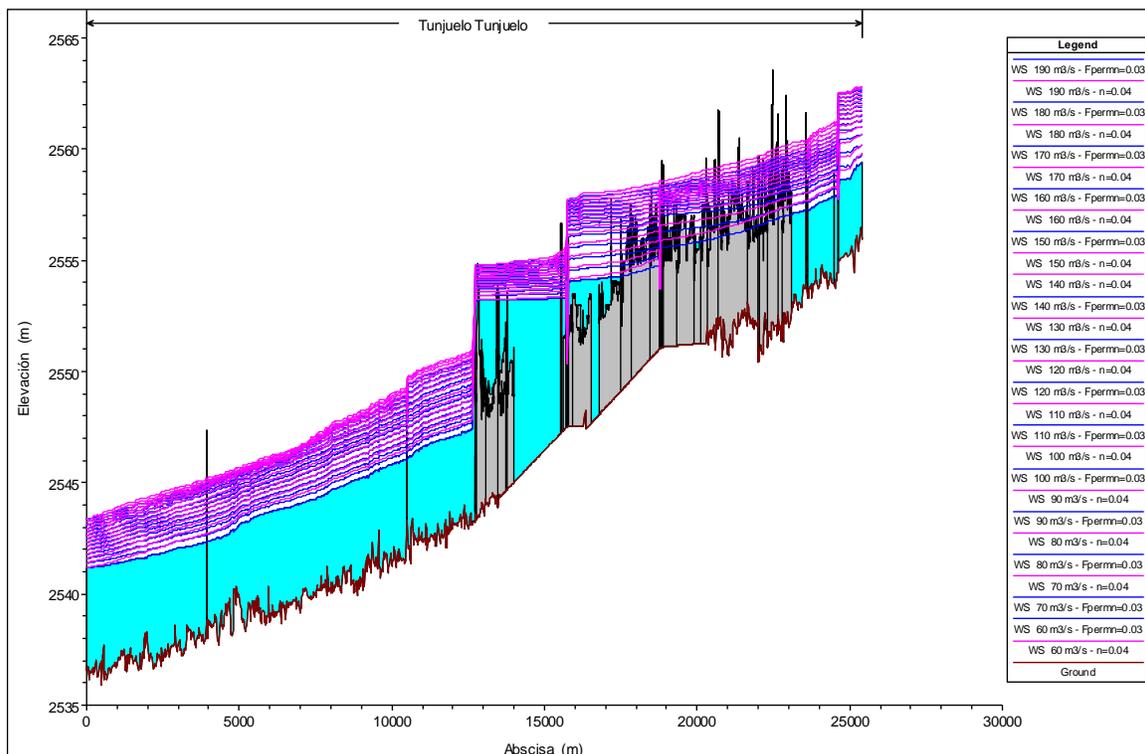


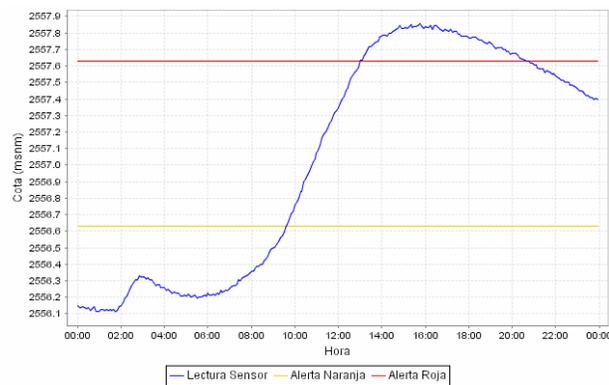
Ilustración 48. Perfiles de flujo para n=0.03 y n=0.04

8.10 Reflujo

De acuerdo con la información proporcionada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB en noviembre de 2007 *“Como parte integral del manejo de crecientes y mitigación de inundaciones en la cuenca del río Tunjuelo, la EAAB ha ejecutado las obras para la instalación de válvulas Charnela o antirreflujo en las descargas directas del río, evitando con ello que durante las crecientes del río las aguas de éste regresen hacia las viviendas y las inunden”*. Por lo cual es de esperarse que el problema de reflujo durante crecientes en el río Tunjuelo se haya minimizado. Sin embargo, se recopila en esta sección la información histórica con la que se cuenta con respecto a este tipo de eventos en las riberas del río Tunjuelo.

Según la información histórica de la DPAAE, las zonas en donde se ha presentado reflujo son:

- ⊙ Nuevo Muzu: Según diagnóstico 1479 (inundación río Tunjuelo año 2002) se presentó reflujo en este barrio pero no se tiene información de a que cota y cuál fue la afectación.
- ⊙ Villa Nohra: Según diagnóstico 1479 (inundación río Tunjuelo año 2002) se presentó reflujo en este barrio pero no se tiene información de a que cota y cuál fue la afectación.
- ⊙ San Benito



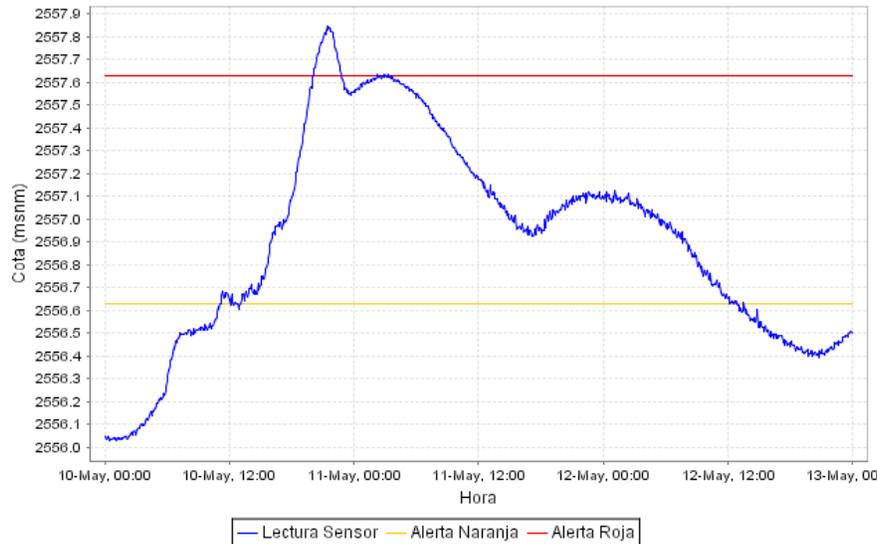
Nota: los umbrales de alerta mostrados corresponden a los vigentes en el momento del análisis y no necesariamente corresponden a los actuales del sistema

Ilustración 49. Variación de niveles registrada por el Sensor San Benito 31 jul/04

El 31 de julio de 2004 se reportó el evento 25860 en el cual se informó a las 23:15 una inundación en la zona de San Benito por reflujo de aguas en la vía pública. Dado que a la hora del reporte el hidrograma se encontraba en descenso es imposible conocer la cota exacta a la cual se produce el primer reflujo en San Benito pero de este evento se estima que este fenómeno ocurrió entre las cotas 2557.853 y 2557.44 del sensor San Benito.

Durante la creciente del 11 de mayo de 2006 hubo un reporte vía telefónica en donde se informó que aproximadamente a las 9:00 pm se estaba presentando reflujo en la vía del barrio San Benito. Las lecturas del sensor entre las 8:00 y las 9:00 pm respectivamente son 2557.63 y 2557.8.

De estas dos observaciones se puede concluir que antes de la intervención de la EAAB, el rango de valores de lecturas del sensor San Benito con mayor probabilidad de presentar reflujos es 2557.6-2557.8.



Nota: los umbrales de alerta mostrados corresponden a los vigentes en el momento del análisis y no necesariamente corresponden a los actuales del sistema

Ilustración 50. Variación de niveles registrada por el Sensor San Benito 11 may/04

- ⊗ Isla del Sol: Las zonas más bajas de este barrio se encuentran ubicadas en el sector occidental del mismo. Desafortunadamente, no se cuenta con registros que indiquen la cota del nivel del agua del río Tunjuelo a la cual se produce el reflujos, ni las afectaciones.
- ⊗ José Antonio Galán: Este barrio ha sido afectado por reflujos en varias ocasiones. Entre ellas se encuentra la creciente del 11 de mayo de 2006 y la creciente del 15 de noviembre de 2006 en donde gran cantidad de viviendas resultaron afectadas.

Al revisar la bitácora del evento del 11 de mayo de 2006 hay un registro de inundación del colegio del barrio José Antonio Galán (Cra 72 Bis con Calle 58 F sur) presumiblemente por reflujos a las 10:50 pm. A esta hora la cota calculada (durante esta emergencia el sensor de Kennedy no estaba en operación) es de 2546.55 (ver Ilustración 51).

Durante la creciente del 11 de mayo/2006 se reportó el reflujos en las viviendas del barrio José Antonio Galán a las 6:00 am cuando la cota calculada del sensor de Kennedy es de 2546.85, sin embargo existe otro reporte en la bitácora en donde se indica que a las 9:26 am del 11 de mayo la comunidad todavía indicaba el ingreso de agua por el sistema de alcantarillado, a esta hora la cota calculada del sensor de Kennedy es 2546.63. Durante la creciente del 15 de noviembre de 2006 (ver **Ilustración 52**) se presentó reflujos en el barrio José Antonio Galán durante la noche, con una variación de cotas entre la 2546.55

y 2546.86. Del análisis realizado se puede concluir que el rango de lecturas del sensor de Kennedy en el cual se presentaba reflujos antes de la intervención de la EAAB, se encuentra entre las cotas 2546.55 y 2546.86.

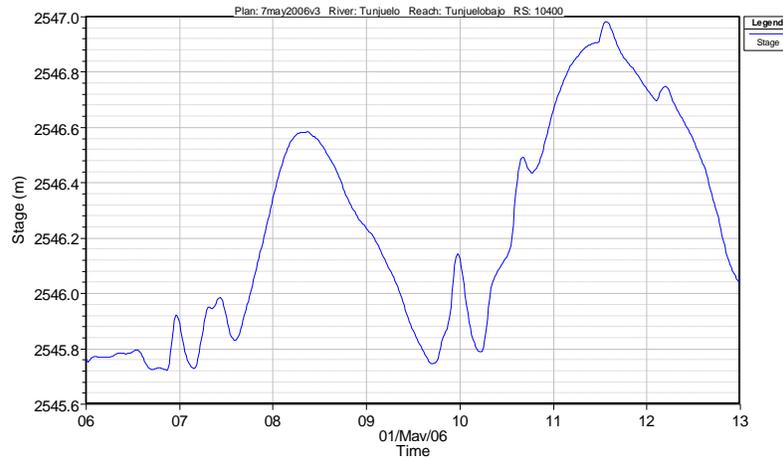
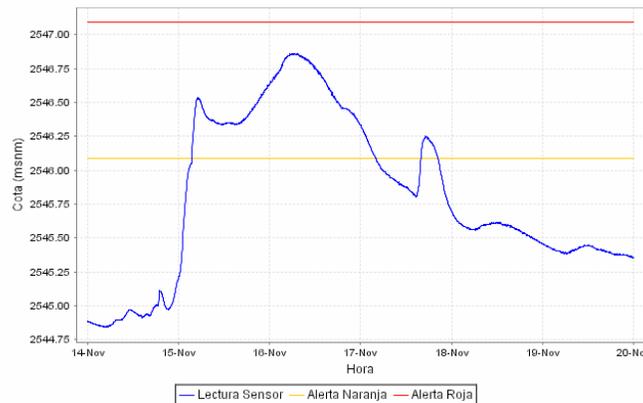


Ilustración 51. Creciente del 11 de mayo de 2006 calculada para el sensor Kennedy
Día mayo/06



Nota: los umbrales de alerta mostrados corresponden a los vigentes en el momento del análisis y no necesariamente corresponden a los actuales del sistema

Ilustración 52. Creciente del 15 de noviembre de 2006 medida en el sensor Kennedy

Según la información que fue suministrada por la EAAB la cota a la cual comenzaba el reflujos antes de la intervención que se realizó en el río, en los barrios anteriormente mencionados ubicados aguas abajo de los embalses de acuerdo a la lectura de miras obtenida en el punto de monitoreo Gran Colombiano era: 2544.60 m.

8.11 Limitaciones de los análisis

Es importante resaltar que el análisis realizado tiene las siguientes limitaciones:

- Existe una sensibilidad alta a cualquier cambio topográfico que se realice en la zona, es decir, cualquier nueva intervención realizada en el río podría modificar de manera importante los umbrales presentados en esta sección, por lo tanto dichos umbrales solo son válidos bajo las condiciones consideradas en el análisis.
- El orden de desborde del río no necesariamente es igual al orden de capacidad hidráulica ya que este puede variar dependiendo de la forma del hidrograma.
- No se tiene en cuenta el rompimiento de los jarillones como causa de la inundación, sino el sobrepaso de estas estructuras.
- Para el protocolo de emisión de alertas no se tuvo en cuenta el escenario de reflujos debido a que la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá indicó que se instalaron válvulas antirreflujo en el río.
- Los umbrales de alerta de la localidad de Tunjuelito correspondientes al barrio San Benito fueron determinadas utilizando una aproximación a las cotas del puente que existía anteriormente en la carrera 16B sobre la quebrada Chiguaza.

9 SISTEMA DE PRONÓSTICO

9.1.1 Sistema de Pronóstico – desarrollo del sistema de captura de datos de monitoreo

La información recopilada mediante el monitoreo telemétrico y el monitoreo convencional es utilizada desde la base de datos existente en el SIRE (sistema de información para la gestión del riesgo y atención de emergencias de Bogotá) para alimentar los modelos hidrológico e hidrodinámico de la cuenca del río Tunjuelo. Los datos recopilados por la red hidrometeorológica telemétrica y los datos de las otras fuentes son ingresados a una base de datos .dss (base de datos de uso del software HEC RAS y HEC HMS) mediante el uso de rutinas de software que funcionan como tareas programadas del servidor Svrdpae10 cuyo intervalo de ejecución se acelera (normalmente a 3 o 5 minutos) cuando se activa el sistema de pronóstico del río (ver Ilustración 53). A través de conexión de red el equipo Estudios07 se conecta con la base de datos crecientes.dss residente en el servidor Svrdpae10, utilizando esta conexión en el software HEC HMS. De esta forma los valores de precipitación recibidos de la red telemétrica correspondientes a las estaciones pluviométricas que se encuentran dentro de la cuenca y en sus cercanías se ingresan al modelo hidrológico elaborado en el software HEC HMS, con el fin de hacer una estimación de los caudales de aporte de las quebradas del río Tunjuelo. Debido a las limitaciones del modelo este valor debe considerarse como una estimación que tiene un margen de error amplio debido principalmente a la falta de calibración. Estos valores de caudal estimado se ingresan al modelo hidráulico desarrollado en el software HEC RAS en el cauce del río como entradas laterales.

En el equipo Estudios07 residen los modelos desarrollados en el software HEC-HMS y HEC-RAS, es decir, desde este equipo se ejecutan los modelos de pronóstico del sistema. Adicionalmente, el equipo Estudios07 tiene enlace vía VPN para ser operado desde fuera de la DPAE

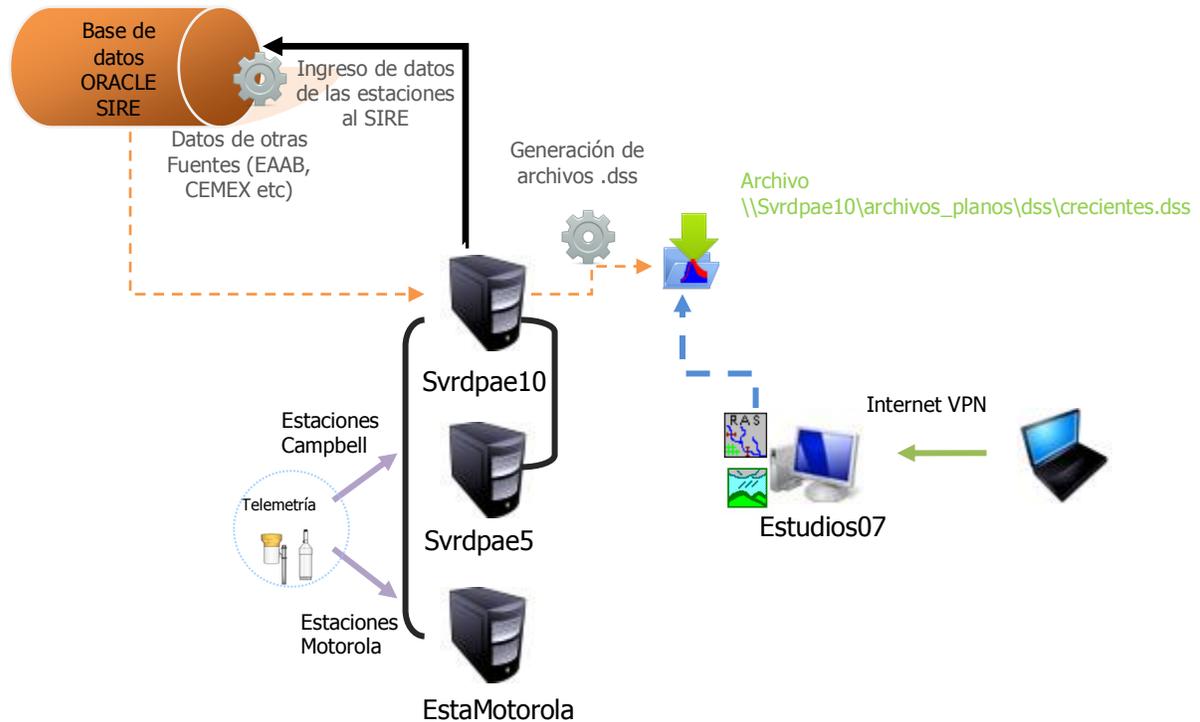


Ilustración 53. Esquema de funcionamiento del ingreso de datos de monitoreo al sistema de pronóstico

9.2 Sistema de Pronóstico – Modelo hidrológico

Con el fin de estimar los caudales de los tributarios del río Tunjuelo, se desarrolló un modelo hidrológico utilizando el software HEC HMS.

El primer paso para el desarrollo de dicho modelo, consistió en el análisis de los usos del suelo de la cuenca para lo cual se utilizaron diferentes fuentes de información. Como primera medida se utilizó la clasificación de uso del suelo disponible en la DPAAE, la cual cubre la zona urbana de Bogotá. Debido a que una gran proporción del área de la cuenca del río Tunjuelo se encontraba fuera de la zona cubierta por la clasificación de uso del suelo, fue necesario complementar las coberturas con la clasificación de una imagen Landsat (ver Ilustración 54) cuya descripción se indica a continuación:

ETM+
 WRS-2, Path 008, Row 057
 2007-02-07
 USGS
 SLC-Off, L1G
 Colombia

NASA Landsat Program, 2007, Landsat ETM+, SLC-Off, USGS.

El uso de esta imagen es libre y fue obtenida de Global Land Cover Facility (GLCF)
www.landcover.org.

Los resultados de la clasificación se muestran en la Ilustración 55.

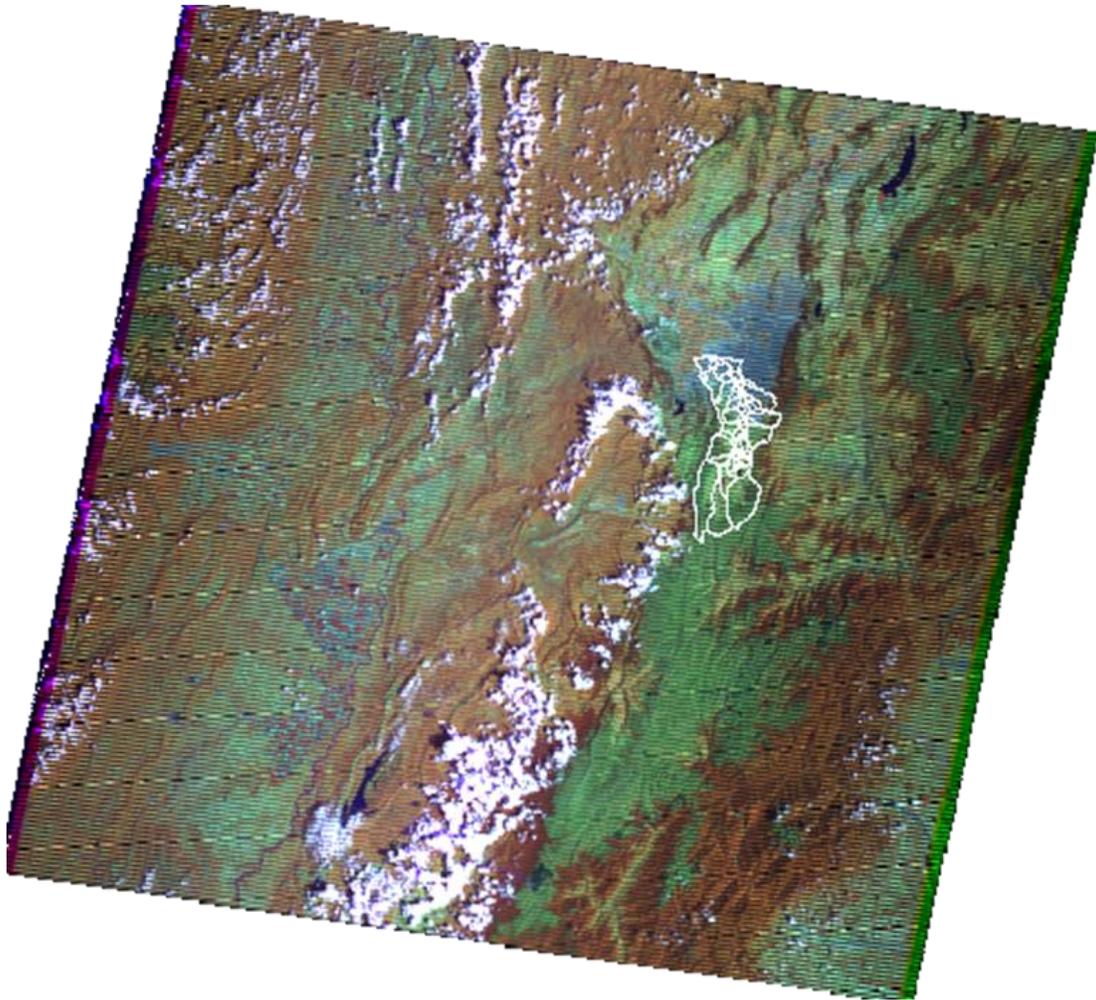


Ilustración 54. Imagen lansat utilizada en para la clasificación de uso del suelo

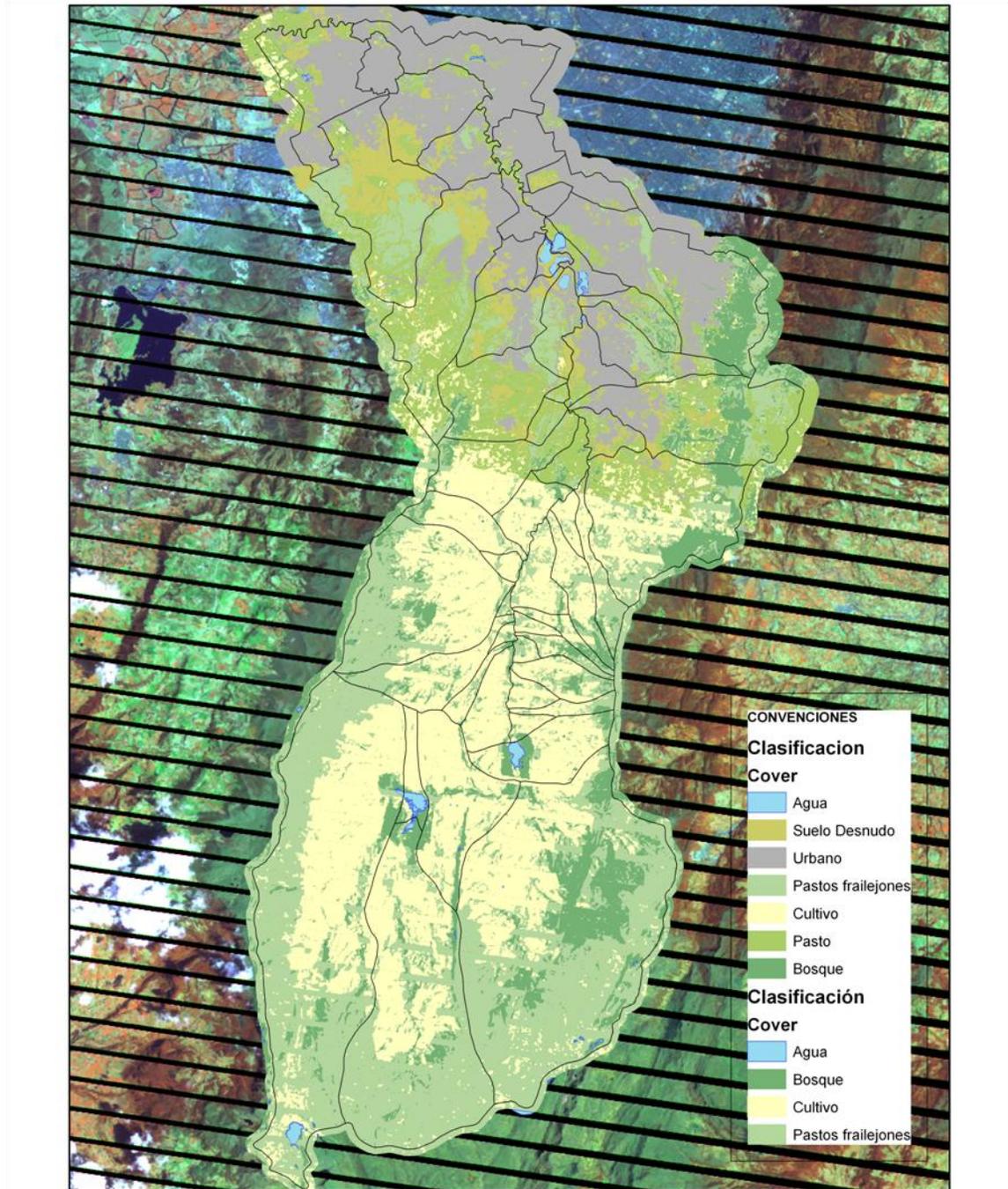


Ilustración 55. Clasificación de uso del suelo para la cuenca del río Tunjuelo

Utilizando la información disponible del estudio de control de crecientes del río Tunjuelo (INGETEC, 2002) se obtuvo la cobertura de la geología de la cuenca en donde cada unidad geológica se asoció a un suelo hidrológico de acuerdo con la metodología del SCS (Soil conservation service) (Division, 1986) como se muestra en la Ilustración 56.

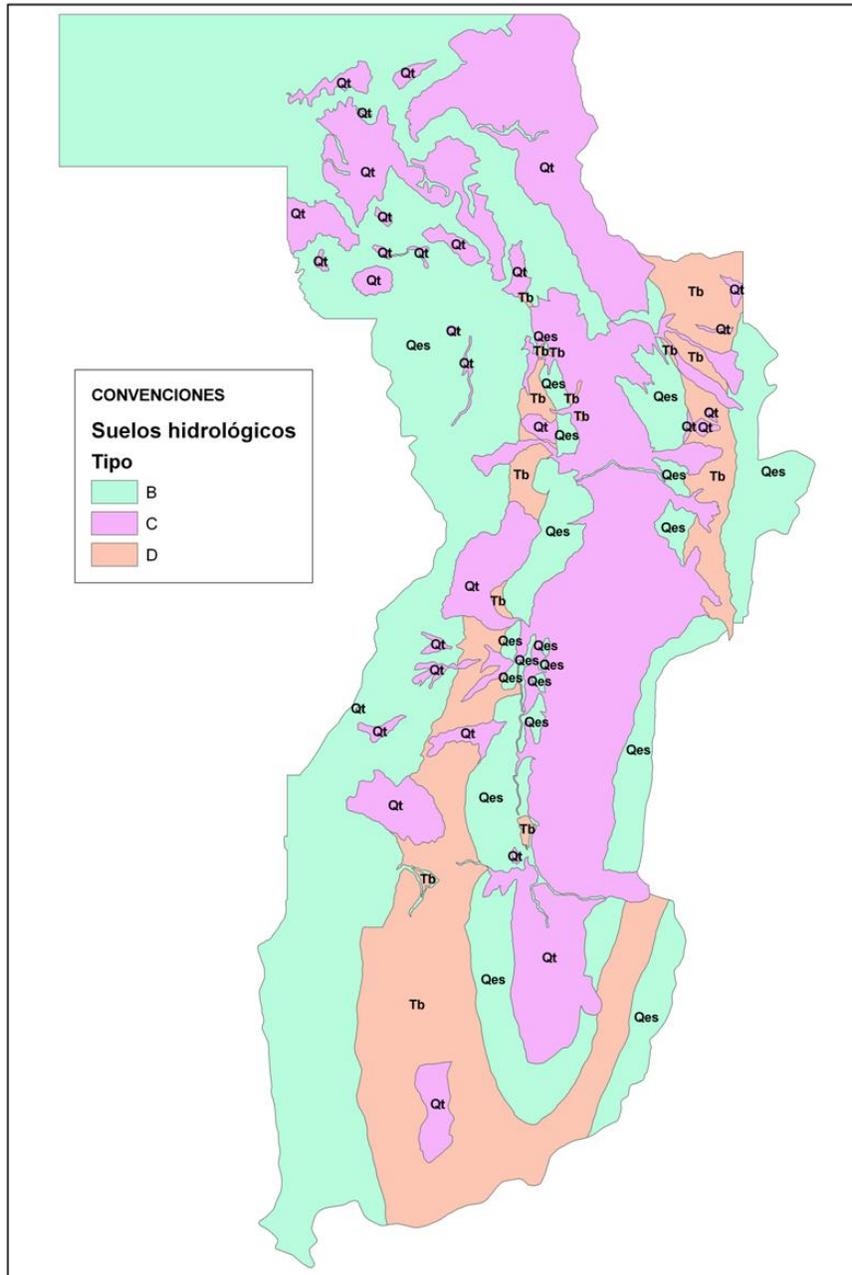


Ilustración 56. Suelos hidrológicos en la cuenca del río Tunjuelo

Mediante la combinación de la información de suelo hidrológico y uso del suelo se obtuvo un mapa de la cuenca de número de curva según la metodología del SCS (Soil conservation service) (Division, 1986) que puede ser observado en la Ilustración 57.

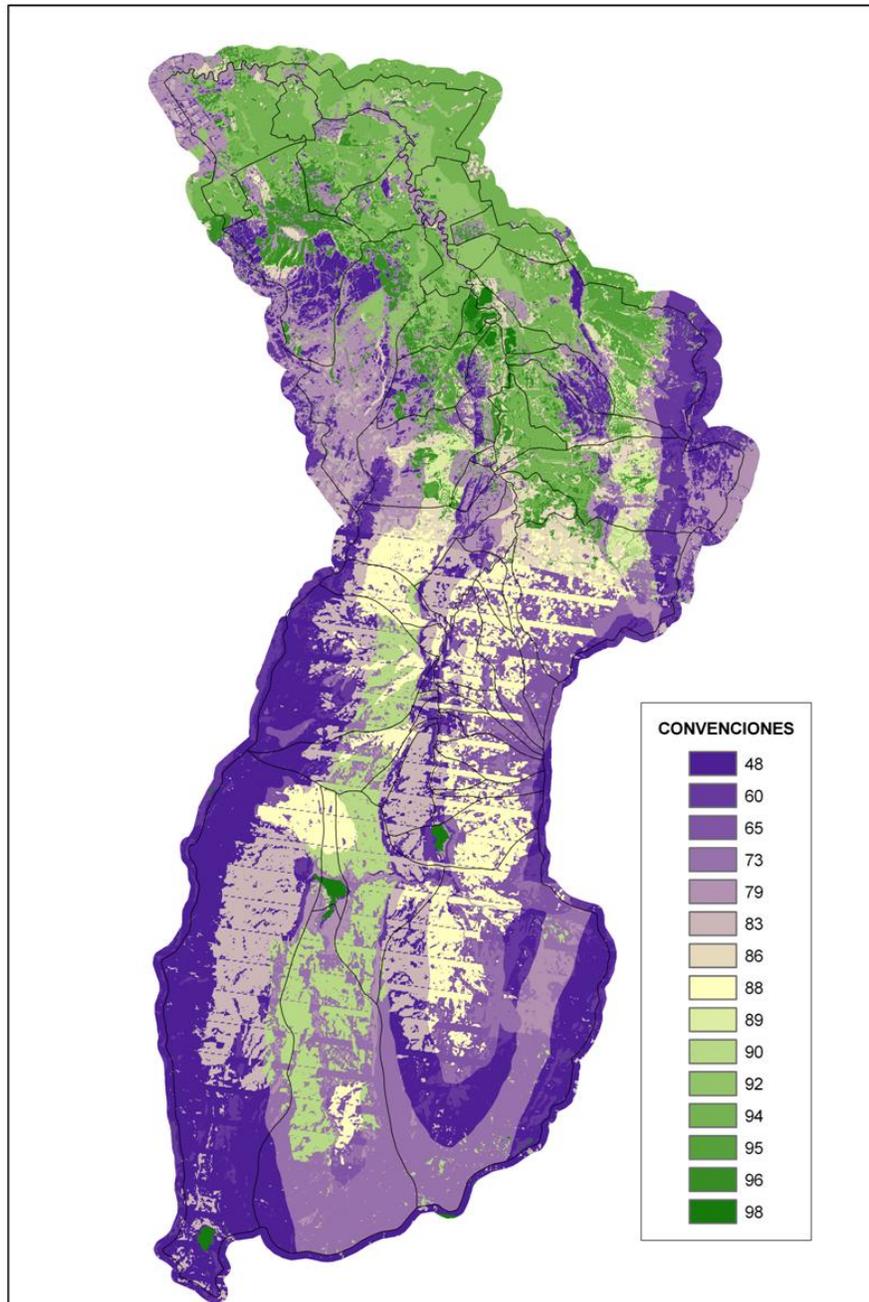


Ilustración 57. Número de curva para la cuenca del río Tunjuelo

Mediante el uso del software HEC GEOHMS se obtuvieron valores de número de curva ponderados para cada cuenca. Los valores calculados pueden observarse en la Ilustración 58. Cabe aclarar que para el sistema Tibanica y la Cuenca de San Benito no se calcularon estos valores debido a que la entrega de caudales al río Tunjuelo se realiza por medio de bombeo. Para la zona de Gravilleras tampoco se calculó debido a que la mayoría de la precipitación cae directamente sobre los embalses o pits de explotación.

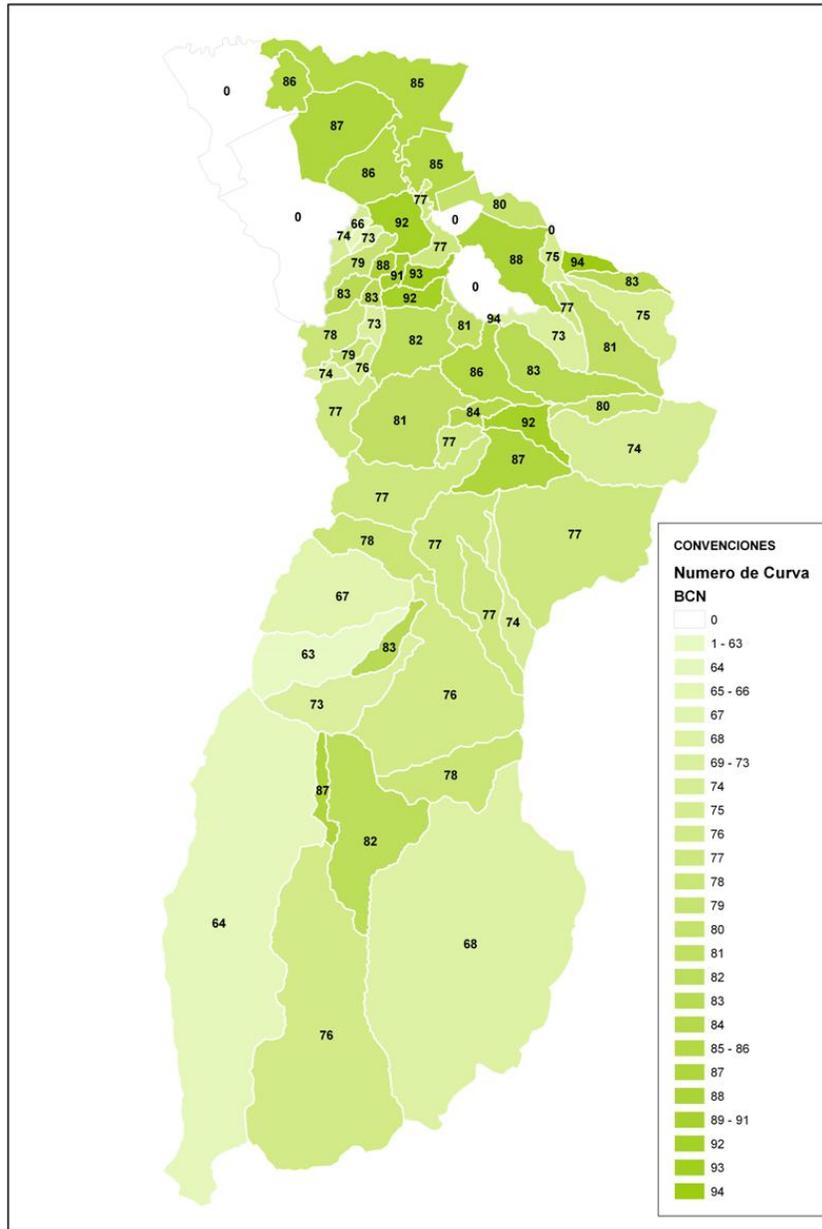


Ilustración 58. Números de curva para cada subcuenca del río Tunjuelo

El modelo digital de terreno utilizado para los análisis se muestra en la Ilustración 59. Este modelo fue obtenido mediante el procesamiento de las curvas de nivel disponibles en la DPAE para el área.

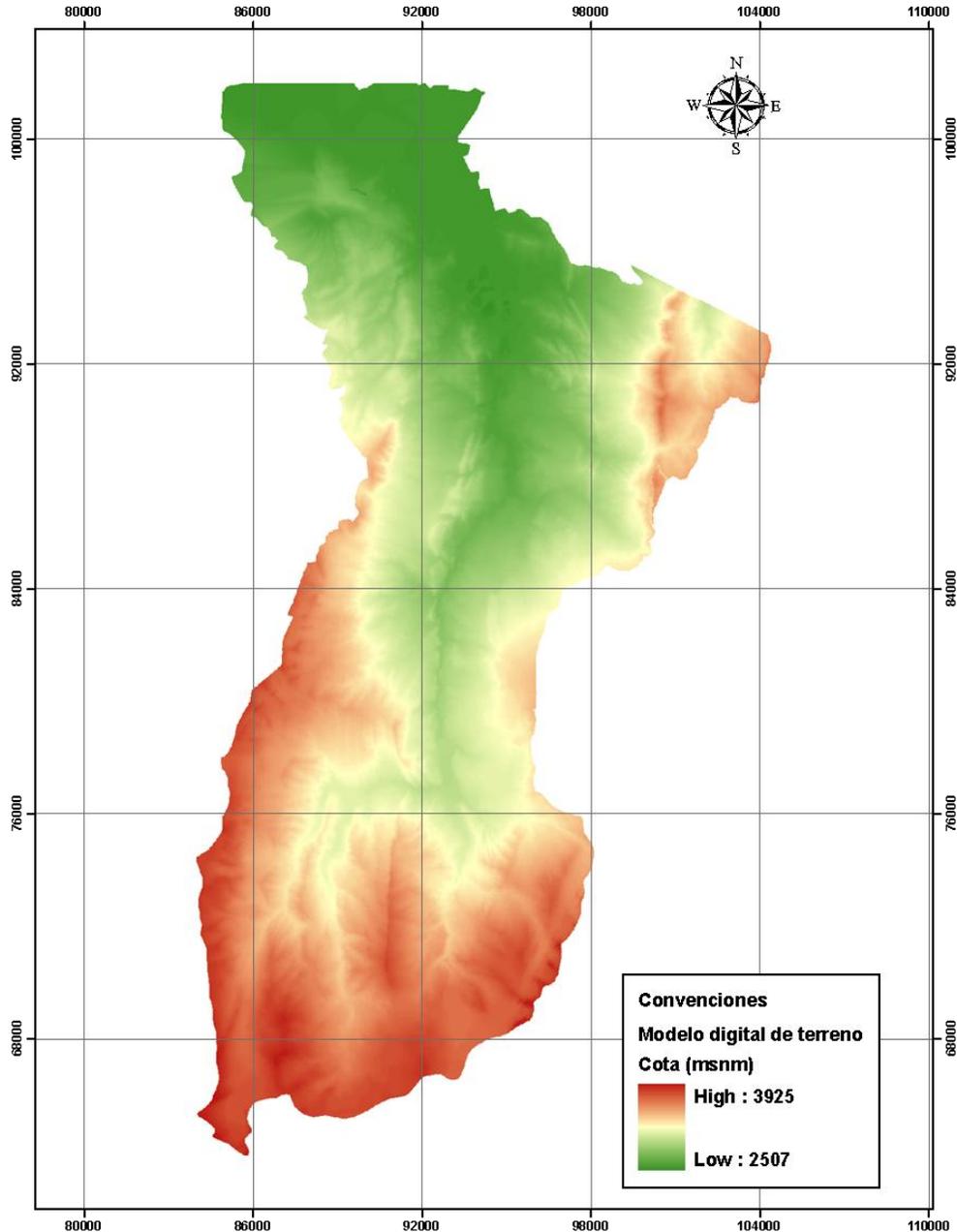


Ilustración 59. Modelo digital de terreno de la Cuenca del río Tunjuelo

Mediante el uso del método del SCS (Soil conservation service) (Division, 1986) se calcularon los valores de tiempo de concentración y tiempo de retardo utilizando las herramientas del software HEC GEO HMS. Los valores obtenidos de tiempo de retardo para cada cuenca se muestran en la Ilustración 60.

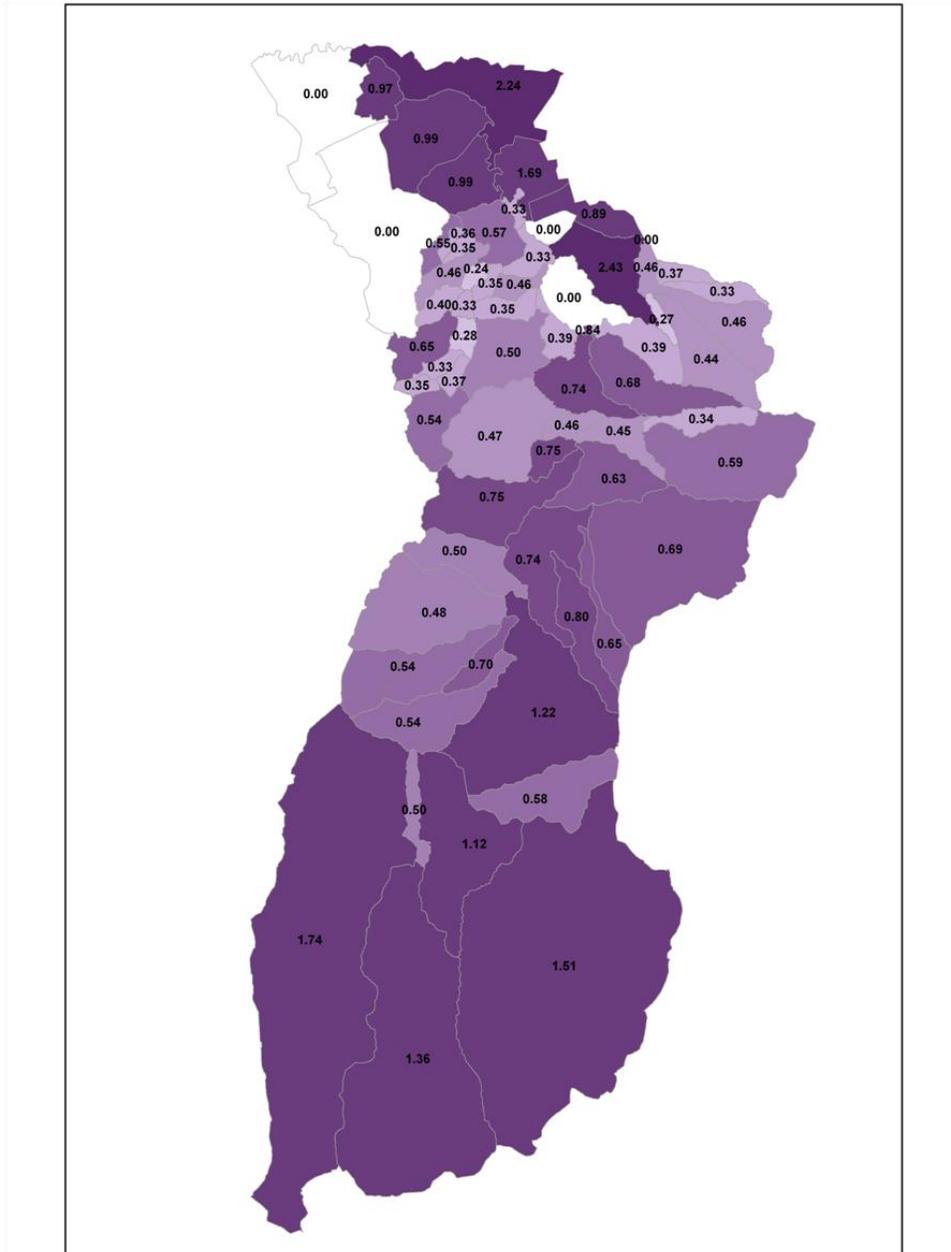


Ilustración 60. Tiempo de retardo subcuencas del río Tunjuelo

Una vez se obtuvieron las tres coberturas básicas anteriores se realizó el procesamiento de la información utilizando el software HEC GEO HMS, con el cual se obtuvo el archivo de características físicas de la cuenca (para mayor información del procedimiento ver Manual del software HEC GEO HMS, Engineers, 2003).

Para el desarrollo del modelo meteorológico, se asignó peso a cada una de las estaciones para cada cuenca con base en el área de cobertura de cada estación según los polígonos de Thiessen correspondientes. Los polígonos obtenidos para el sistema de monitoreo existente (ver sección 6.1.4) incluyendo la estación de precipitación de Moralba cuyos registros son tomados por la comunidad, se muestran en la Ilustración 61.

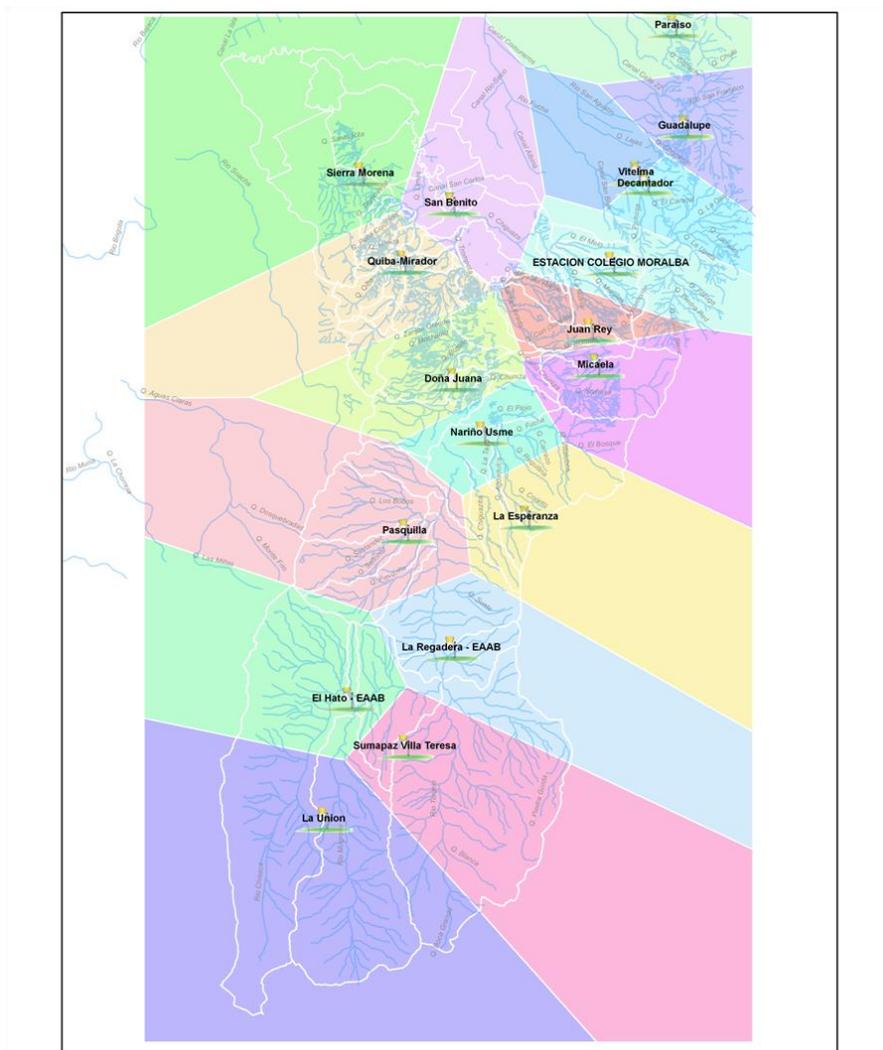


Ilustración 61. Polígonos de Thiessen incluyendo la estación Moralba

En caso de no disponibilidad de la estación Moralba, se obtuvieron los polígonos para el modelo meteorológico sin esta estación, los resultados se muestran en la Ilustración 62.

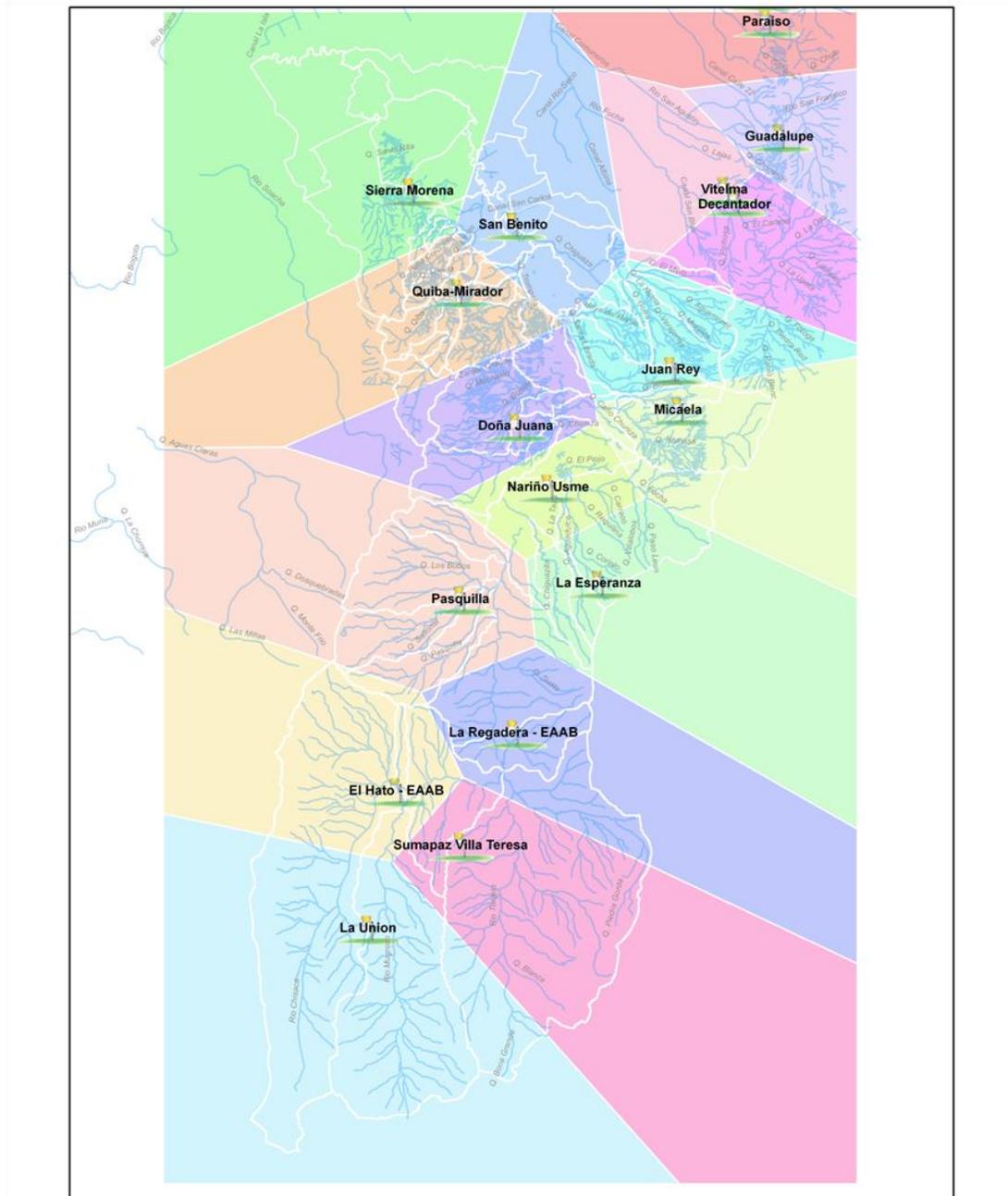


Ilustración 62. Polígonos de Thiessen sin la estación de Moralba

Los pesos asignados a cada estación para cada cuenca según el caso se muestran en el Anexo I.

Los datos de entrada del modelo meteorológico corresponden a las series de datos de precipitación en tiempo real de las estaciones de la red hidrometeorológica cuyo enlace en tiempo real con el modelo es explicado en la sección 9.1.1.

El resultado final del procesamiento de información es el modelo hidrológico (ver Ilustración 63) desarrollado en el software HEC HMS, en donde los componentes de la cuenca están representados por elementos con determinadas características que representan los parámetros físicos de las subcuencas, cauce y estructuras.

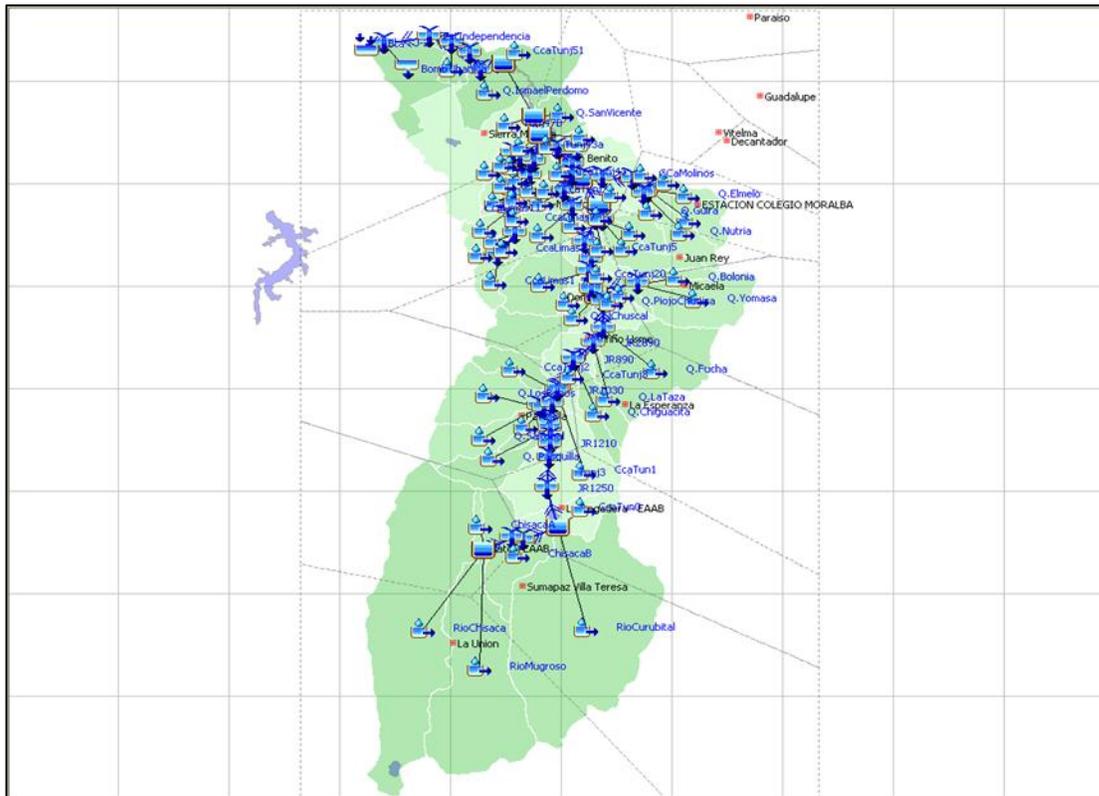


Ilustración 63. Vista de la representación de la cuenca del río Tunjuelo en el software HEC HMS

El modelo está compuesto por 62 elementos de tipo cuenca de drenaje, 54 tramos de cauce (cuyas características se muestran en la Tabla 29), dos entregas directas que corresponden a las estaciones de bombeo de San Benito y Tibanica y siete elementos tipo embalse que corresponden a los dos embalses de la cuenca alta: La Regadera y Chisacá; el embalse Cantarrana y los pits inundados Sanchez y Gonzalez y Pozo Azul; y los tres embalses de amortiguación. Las características de los embalses se muestran en la Ilustración 64 a Ilustración 69.

Tramo	Longitud (m)	Pendiente (m/m)	Manning	Forma	Ancho (m)	Pendiente lateral (xH:1V)
Chiguaza1	1067	0.0403	0.04	Trapezoid	2	3
Chiguaza2	1968.1	0.0022	0.04	Trapezoid	2	3
ChiguazaR1	355.1	0.0563	0.04	Trapezoid	2	3
ChiguazaR2	62.1	0.0644	0.04	Trapezoid	2	3
ChiguazaR4	1832	0.007	0.04	Trapezoid	2	3
DescChisacaA	1200.5	0.0175	0.04	Trapezoid	4	3
DescChisacaC	2179.2	0.0289	0.04	Trapezoid	4	3
DescChisacaD	554.2	0.0198	0.04	Trapezoid	4	3
Gravilleras	1110.26	0.005	0.04	Eight Point		
HoyaR1	340.7	0.02	0.04	Trapezoid	2	3
LimasR12	801.1	0.0374	0.04	Trapezoid	2	3
LimasR13	486.6	0.0863	0.04	Trapezoid	2	3
LimasR14	629.4	0.0508	0.04	Trapezoid	2	3
LimasR15	174.5	0.0516	0.04	Trapezoid	2	3
LimasR16	1672.3	0.0102	0.04	Trapezoid	2	3
LimasR2	1538.7	0.0422	0.04	Trapezoid	2	3
LimasR3	1547.8	0.0678	0.04	Trapezoid	2	3
LimasR8	1050	0.0533	0.04	Trapezoid	2	3
LimasR9	1482	0.112	0.04	Trapezoid	2	3
Q.SaltonalRA	318	0.0912	0.04	Trapezoid	2	3
Q.SaltonalRB	467	0.0642	0.04	Trapezoid	2	3
R2420	977.7	0.0237	0.04	Trapezoid	2	3
R370	993.3	0.0071	0.04	Trapezoid	2	3
R670	5	0.0074	0.04	Trapezoid	3	3
Reach-1	1070	0.005	0.04	Eight Point		
Reach-2	5700	0.005	0.04	Eight Point		
Reach-3	1300	0.005	0.04	Eight Point		
Tunj13	1818.5	0.0192	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj10	1809.2	0.0166	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj11	1473.1	0.0204	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj12	941.2	0.0372	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj14	930.7	0.0064	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj15	7.1	0.0237	0.04	Trapezoid	2	3
Tunj16	1013.2	0.0237	0.04	Trapezoid	3	2
Tunj17	673.7	0.0074	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj18	1129.5	0.0053	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj19	1527.4	0.0098	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj2	1121.4	0.0446	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj20	10	0.0037	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj21	925.1	0.0013	0.04	Eight		
Tunj22	1174	0.0002	0.04	Eight		
Tunj25	2574.2	0.0016	0.04	Eight		
Tunj26	1767.1	0.005	0.04	Trapezoid	4	3
Tunj27	2042.3	0.0024	0.04	Eight Point		
Tunj3	1663.4	0.0246	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj30	20	0.0037	0.04	Eight Point		
Tunj4	682.8	0.0205	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj5	400.1	0.0625	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj6	498.6	0.0321	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj7	381.9	0.0445	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj8	1008.1	0.0367	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj9	793.9	0.0252	0.04	Trapezoid	5	3
Tunj9A	111.9	0.0166	0.04	Trapezoid	2	3
YomasaR1	2772.4	0.0429	0.04	Trapezoid	3	2

Tabla 29. Características de los tramos del modelo hidrológico

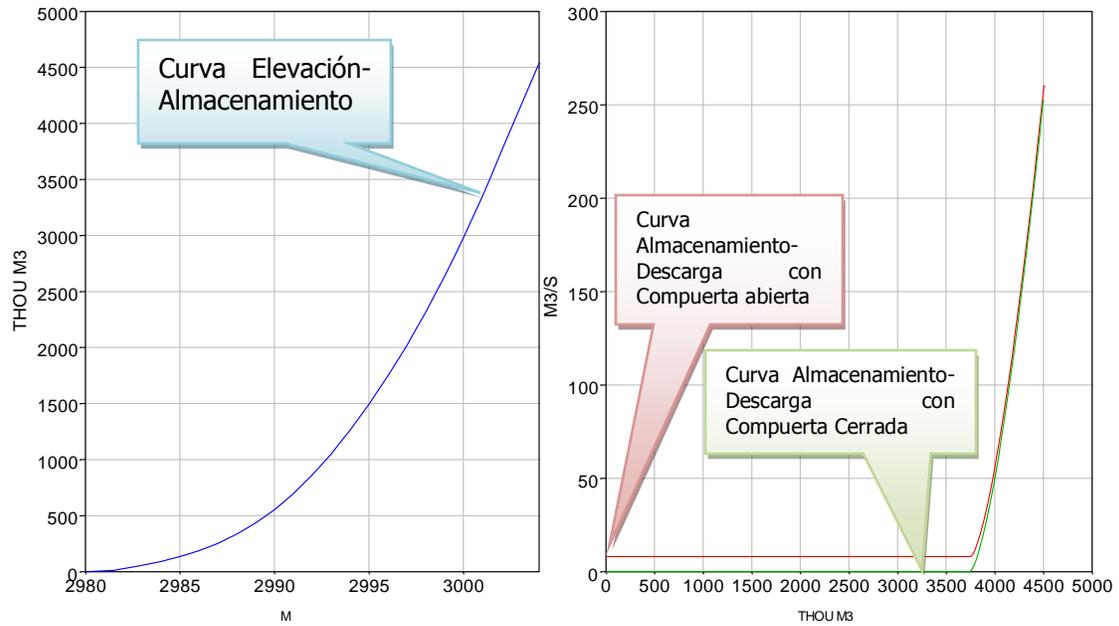


Ilustración 64. Curvas del embalse La Regadera

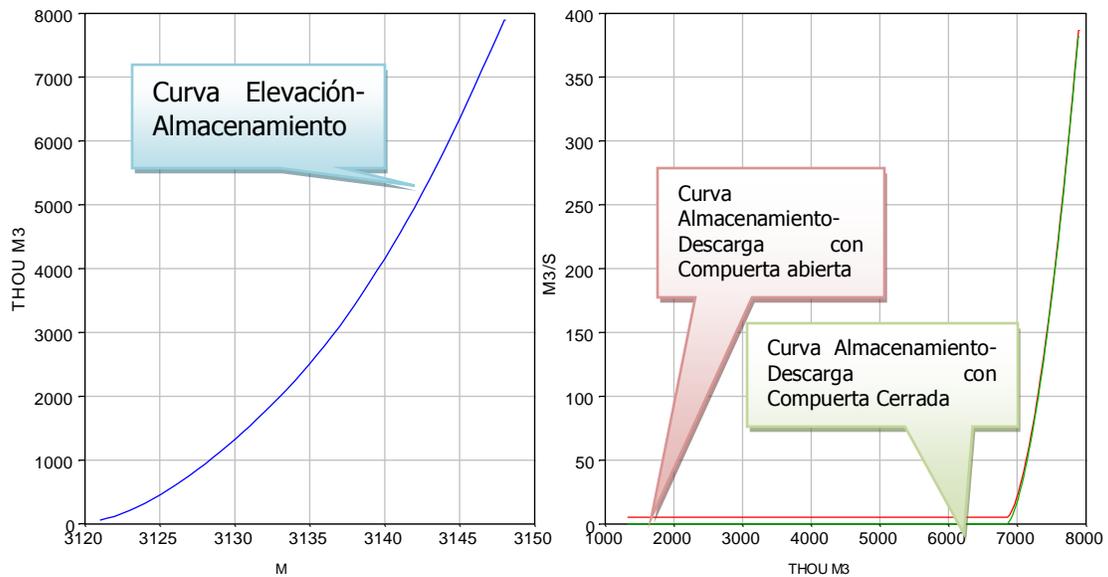


Ilustración 65. Curvas del embalse Chisacá

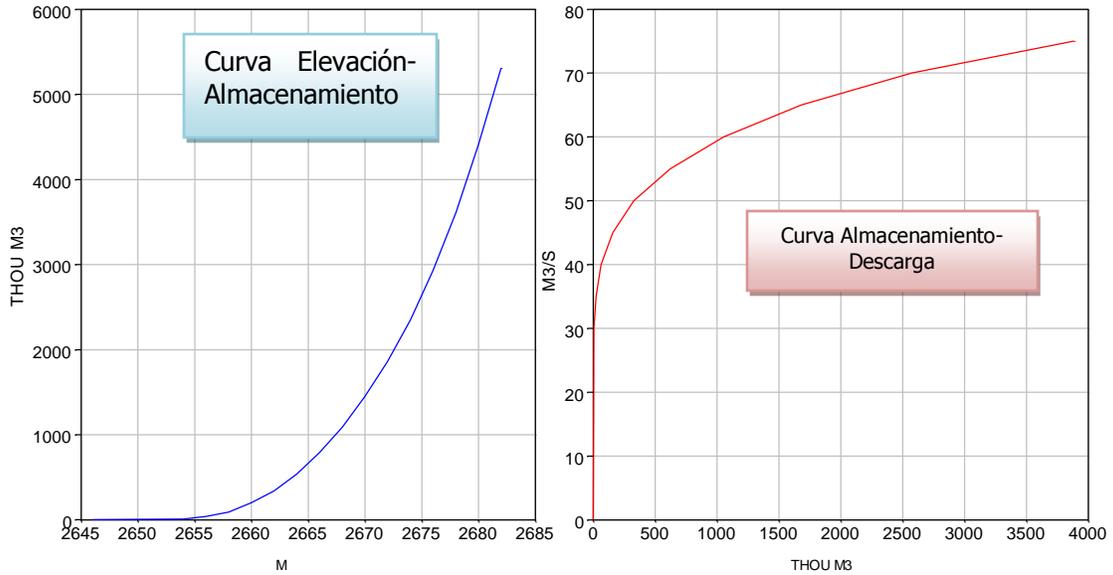


Ilustración 66. Curvas del embalse Cantarra

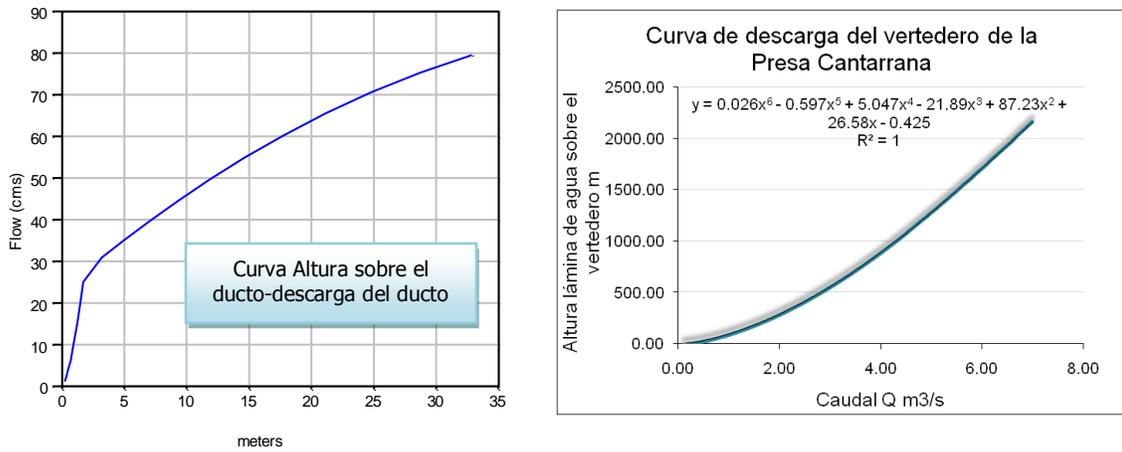


Ilustración 67. Curvas de descargas del embalse Cantarrana

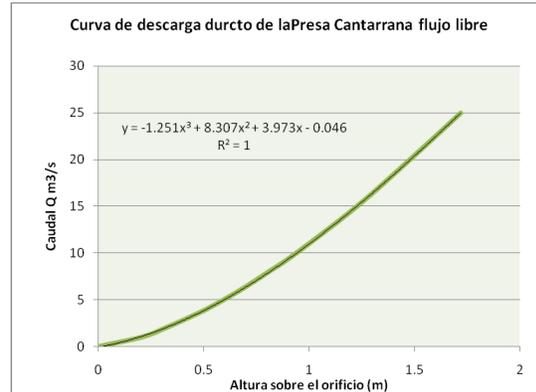
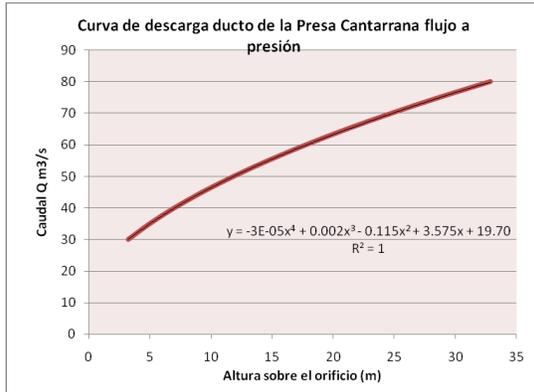


Ilustración 68. Curvas de descargas del ducto de la presa Cantarrana

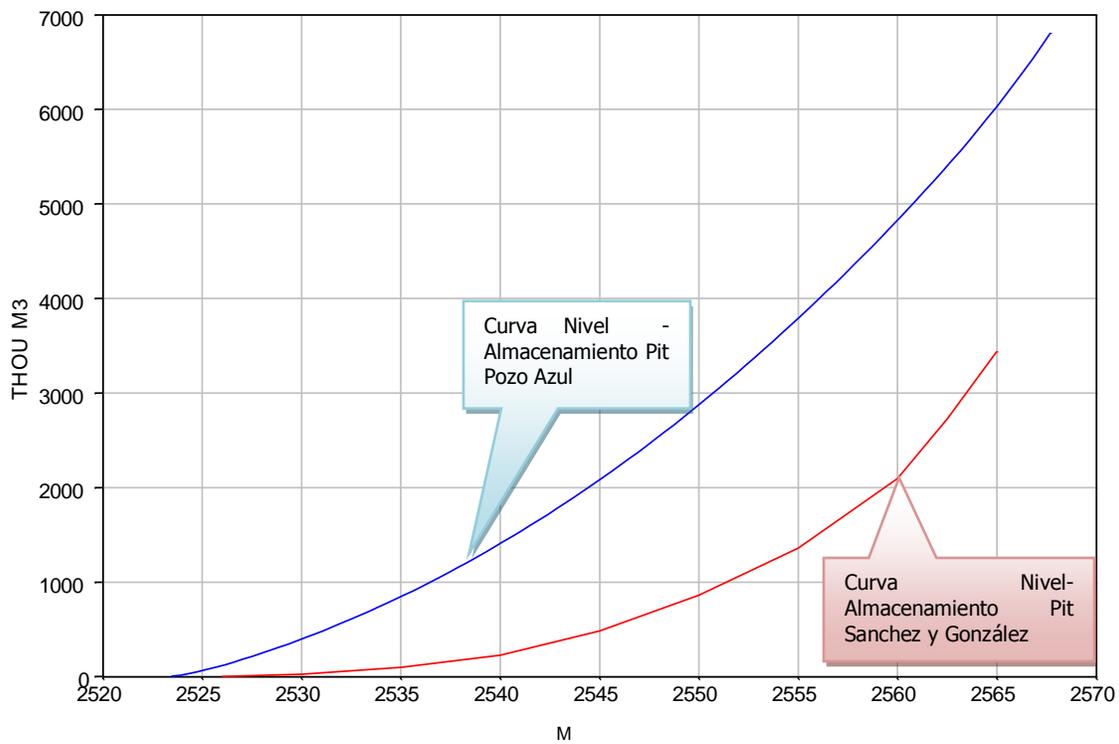


Ilustración 69. Curvas nivel-almacenamiento para los pits mineros Pozo Azul y Sánchez y González.

9.3 Sistema de Pronóstico – modelo hidrodinámico

Con el fin de realizar un pronóstico de los niveles del río se desarrolló un modelo hidrodinámico utilizando el software HEC-RAS. El modelo comprende desde la zona de Gravilleras hasta la desembocadura del río Tunjuelo. Inicialmente, se realizó el procesamiento de la información topográfica disponible y posteriormente el desarrollo de la esquematización del río en el software. A continuación se explica en detalle el procedimiento.

9.3.1 Procesamiento topográfico

Con base en la información recibida de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá en junio de 2008, una vez finalizadas las obras de dragado y realce de jarillones, se generó un modelo digital de terreno para el río y área inundable. Las coberturas utilizadas para la generación del modelo digital se indican en la Tabla 30.

Cobertura Base	Cobertura de puntos generada	Ruta en información de proyecto
Total.img	MDTbog_points.shp	:\Tunjuelo08\CoberturasMDT\mdtbog_points.shp
	MDTTunj_points.shp	:\Tunjuelo08\CoberturasMDT\mdttunj_points.shp
A partir de la información topográfica de la Empresa de Acueducto	Vertedero.shp Bosa.shp SnbenitEmb3.shp Bosatama.shp	C:\Tunjuelo08\CartografiaEAAB\río tunjuelito TOPO FINAL\Coberturas*.shp
Curvas de nivel de Ingetec en zonas no cubiertas por otras coberturas más recientes	Contours_MDTrio_jul08.shp	:\Tunjuelo08\CoberturasMDT\FinalJun08\Contours_MDTrio_jul08.shp
Curvas de nivel de Ingetec en los embalses en zonas no cubiertas por otras coberturas más recientes	Contours_embalses_erase.shp	:\Tunjuelo08\CoberturasMDT\FinalJun08\Contours_embalses_erase.shp
Curvas de nivel de 1m (Catastro Distrital) de la zona de la Q. Chiguaza	Contours_MDT3.shp	:\Tunjuelo08\CoberturasMDT\CoteDic08\Contours_MDT3.shp
Curvas de nivel de Ingetec en el río en zonas no cubiertas por otras coberturas más recientes	Contours_MDT5rio_jul08.shp	:\Tunjuelo08\CoberturasMDT\FinalJun08\Contours_MDT5rio_jul08.shp
Curvas de nivel en gravilleras según HMV (2006)	Contours_gravilleras.shp	:\Tunjuelo08\CoberturasMDT\CoteDic08\Contours_gravilleras.shp
Curvas de nivel en la cantera la Fiscala según CEMEX	Contour_Fiscala.shp	C:\Tunjuelo08\CoberturasMDT\Contour_Fiscala.shp
Curvas de nivel en la cantera Santa María según CEMEX	CurvasSantamariaV2.shp	:\Tunjuelo08\CoberturasMDT\FinalJun08\CurvasSantamariaV2.shp
Curvas complementarias de 1m	CurvasMDT1Copy.shp	:\Tunjuelo08\CoberturasMDT\FinalJun08\CurvasMDT1Copy.shp
Topografía de san Benito	CurvasMDT4.shp	:\Tunjuelo08\CoberturasMDT\FinalJun08\CurvasMDT4.shp
Curvas complementarias 1m	CurvasMDT2Copy.shp	:\Tunjuelo08\CoberturasMDT\FinalJun08\CurvasMDT2Copy.shp

Tabla 30. Coberturas utilizadas en la generación del modelo digital de terreno

El modelo digital de terreno abarca desde la entrada del río a la zona de gravilleras frente a la cantera la Fiscala hasta su desembocadura en el río Bogotá.

Es importante mencionar, que debido a las fuentes de información con las que se desarrolló el modelo digital existen zonas con mejor resolución que otras y que la información suministrada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá contaba con muy buena resolución pero presentaba faltas de información en algunos tramos del río.

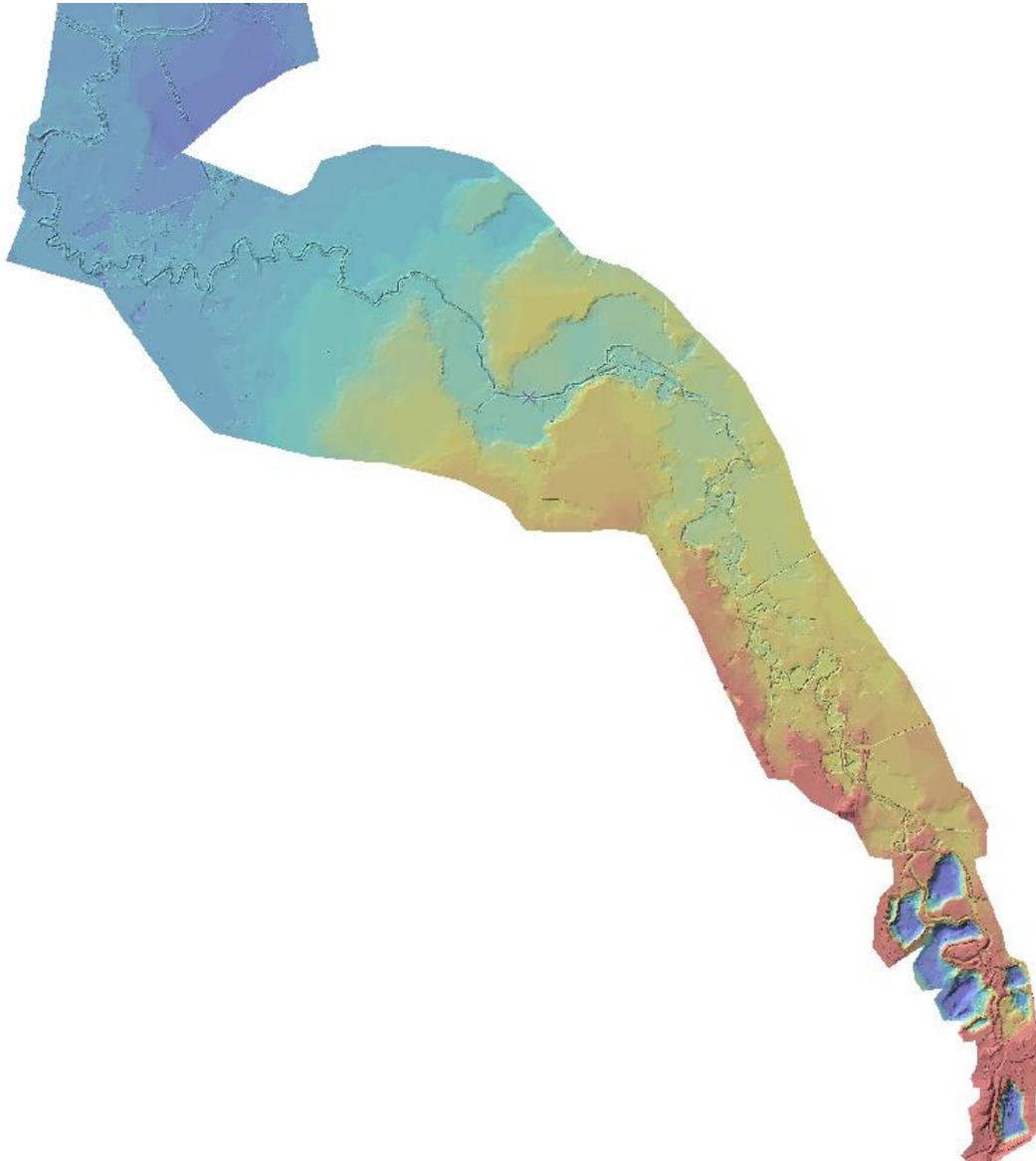


Ilustración 70. Modelo digital de terreno del río Tunjuelo

Una vez generado el modelo digital de terreno se procedió a la generación de la geodatabase de información geométrica del río utilizando para este fin el software HEC GEORAS. La geodatabase está compuesta de las coberturas mostradas en la Ilustración 71.

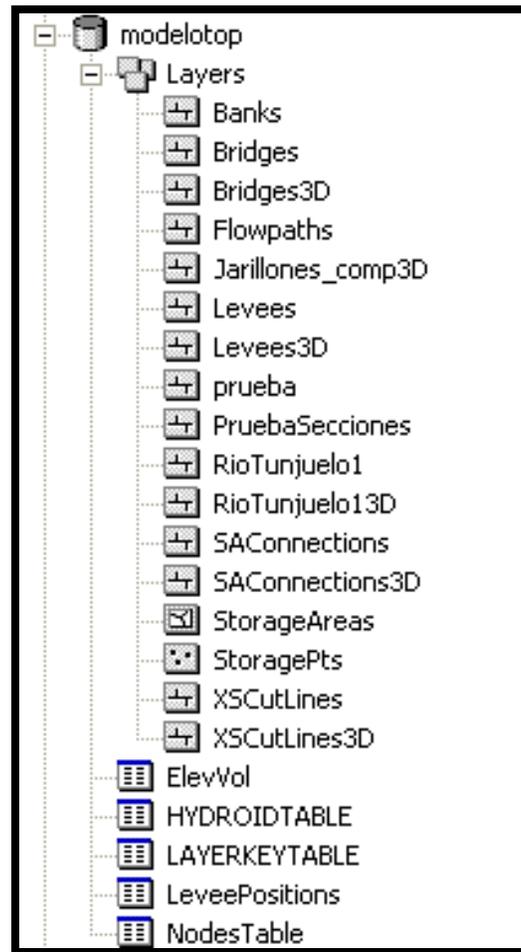


Ilustración 71. Estructura de la base de datos geográfica de información geométrica del río Tunjuelo

Para la generación de secciones transversales se desarrolló la capa **XCutlines** dibujando secciones cada 20 metros aproximadamente en toda la longitud del cauce del río. Posteriormente esta capa de información fue procesada utilizando las herramientas del software HEC GEORAS para obtener una cobertura de líneas tridimensionales. Al importar esta información en el software HEC RAS, se visualizaron con claridad las zonas en las cuales existía falta de información topográfica, dichas zonas se muestran en Tabla 31.

Tramo	Información topográfica complementaria
Aguas arriba estructura de control hasta la salida del pit Santa María K24+634.5-K25+380.25	Debido a que no se contaba con levantamiento de la EAAB en esta zona para las obras de adecuación, la topografía se obtuvo del levantamiento de INGETEC para el diseño de las obras del año 2002.
Tramo K 21+860 a K21+820	La topografía levantada por la EAAB comprende los jarillones del río pero no el cauce por lo que se realizó una interpolación
Tramo K20+293 a K18+800	Para ésta zona no existe topografía disponible para la DPAE con excepción de la restitución fotográfica realizada por INGETEC, por esta razón se reemplazó la sección 18+800 con la sección interpolada del modelo hidrodinámico de versión anterior que está localizada al mismo nivel de la estructura de control de caudal y se realizó una interpolación hasta la abscisa K20+293. Las secciones interpoladas resultado de esta operación fueron superpuestas con las que se obtienen del modelo digital de terreno de la restitución fotográfica.
Tramo K15+760-K13+520	Para ésta zona no existe topografía disponible para la DPAE con excepción de la restitución fotográfica realizada por INGETEC, la EAAB tomó algunos puntos topográficos entre las abscisas K13+819.86 a K13+540 pero estos puntos no cubrían las secciones transversales completas en algunos casos y en otros parecían estar muy por encima del nivel de lecho de las secciones más cercanas a la estructura de control, por esta razón se reemplazó la sección 15+760 con la sección interpolada del modelo hidrodinámico de versión anterior que está localizada al mismo nivel de la estructura de control de caudal y se realizó una interpolación hasta la abscisa K13+520. Las secciones interpoladas resultado de esta operación fueron superpuestas con las que se obtienen del modelo digital de terreno de la restitución fotográfica.
Zona de confluencia de la Quebrada Chiguaza con el río Tunjuelo (entre la confluencia y la canalización de la quebrada)	Entre la confluencia y el avance de obra de la canalización de la quebrada Chiguaza no se cuenta con información batimétrica. En el año 2007 durante la ejecución del proyecto JICA se tomaron algunas secciones en este tramo pero se encontraron discrepancias importantes entre los niveles tomados en la topografía del proyecto y los niveles con los que contaba previamente la DPAE por lo que se considera que esta topografía debe confirmarse.
Topografía de puentes sobre el río Tunjuelo	Algunos puentes del río Tunjuelo cuentan con información topográfica pero todavía quedan algunos sin que se conozcan sus características geométricas. El caso prioritario lo constituye el puente sobre la Av. Agoberto Mejía en el cual se encuentra instalado el sensor Kennedy, dado que en este estudio se detectó que dicho puente puede constituir un control de flujo importante por lo que es necesario corroborar la información topográfica y batimétrica del mismo.

Tabla 31. Falta de información topográfica en el río Tunjuelo

9.3.2 Zona de gravilleras

La zona de gravilleras corresponde a la zona desde la avenida Boyacá en la cantera La Fiscala hasta la salida de la cantera Pozo Azul. En esta zona, en el modelo, se generaron áreas de almacenamiento para las canteras Sánchez y González, Pozo Azul y Santa María. Estas dos últimas se encuentran actualmente separadas por un dique (ver sección 3.2 para mayor información).

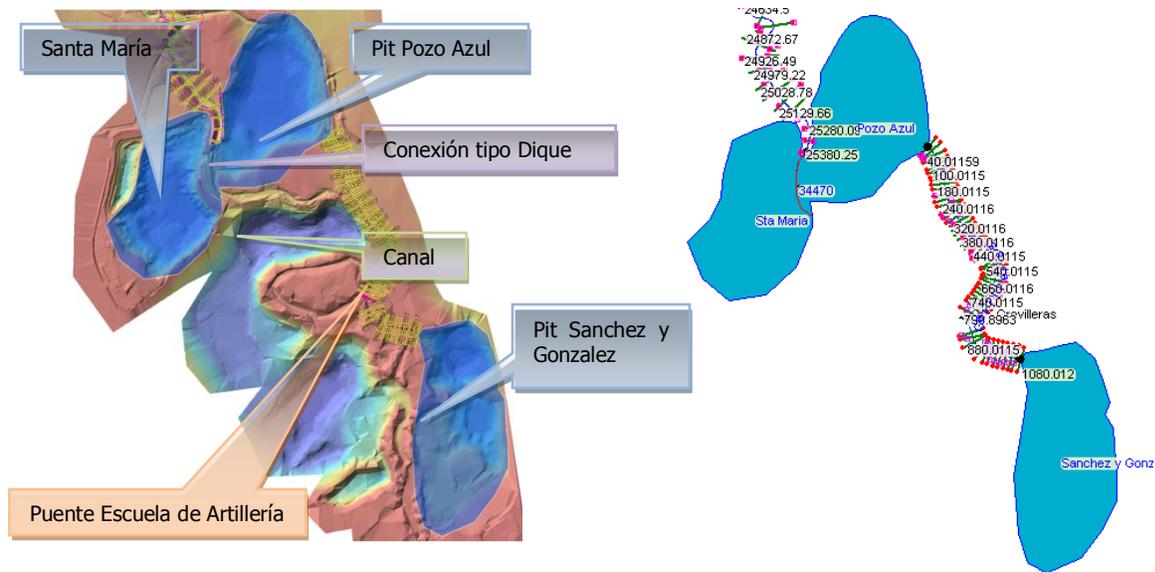


Ilustración 72. Esquematización de la zona de gravilleras

Las conexiones entre áreas de almacenamiento se describen en la Tabla 32:

Pit	Pit	Conexión
Sanchez Gonzalez	y Pozo Azul	Canal: como aspecto relevante, en el canal está el puente construido por la escuela de artillería.
Pozo Azul	Santa María	Conexión de almacenamiento: DIQUE.

Tabla 32. Conexiones de las áreas de almacenamiento en la zona de gravilleras

La rápida constituye la condición de frontera del modelo, siendo el punto de entrada de los caudales. La rápida corresponde en el modelo a una entrada lateral de caudal en el pit Sanchez y Gonzalez. Las curvas nivel vs almacenamiento de los pits mineros corresponden a los mostrados en la Ilustración 69.

A finales del año 2007 -como se mencionó en la sección 3.2- la mina Santa María fue drenada, por lo cual se asume que a la fecha la conexión de la mina Santa María y Pozo Azul ya no es posible, sin embargo se conservó como alternativa en el modelo matemático. En el año 2004 las minas estaban unidas pero en el 2005 se elevó el dique que las separa. Inicialmente el dique

estaba a la cota 2560.4 msnm y posteriormente para la temporada invernal del 2006 la cota se disminuyó a 2559.9 msnm.

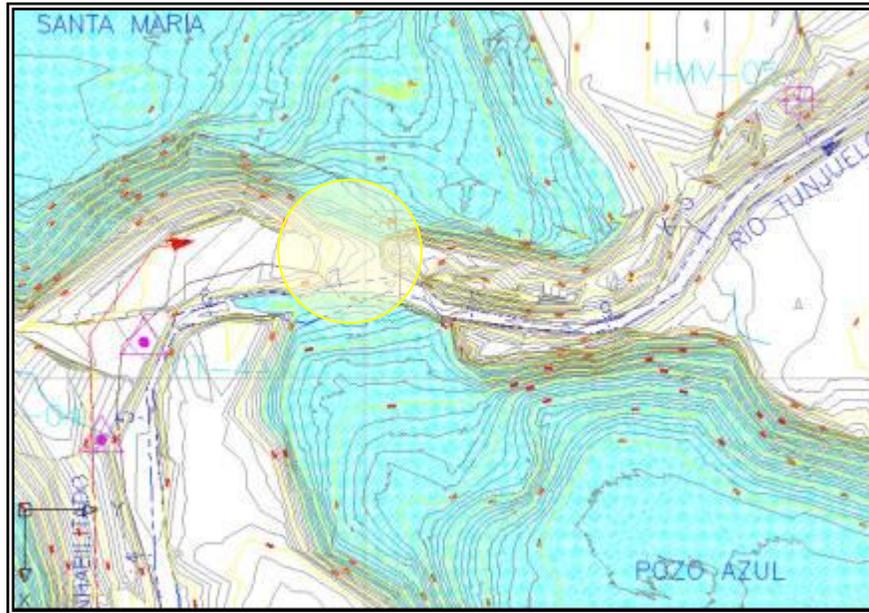


Ilustración 73. Dique que separa las Minas Santa María y Pozo Azul (tomado del estudio EAAB, 2005)

Con base en la topografía entregada por HMV y levantada en el año 2005, las secciones del canal se introdujeron en el programa HEC RAS. Este tramo tiene una longitud de 1110.28 m. Para la esquematización se utilizaron secciones cada 20 metros. En este tramo del río está construido un puente vehicular en la escuela de Artillería que fue esquematizado como un culvert en el software HEC RAS.

Debido a que las secciones no cubrían toda la longitud del canal se complementó la topografía con la disponible del estudio de Geingeniería (DPAE, 2002).

Frente a la Escuela de Artillería antes del meandro abandonado del río Tunjuelo existe un puente vehicular con un ancho de tablero de aproximadamente 4 metros. El culvert está compuesto por 13 tuberías de 90 cm de diámetro. Debido a que durante inspección visual se observó que la tubería que se encuentra localizada en el estribo izquierdo del puente se encuentra bloqueada, se decidió utilizar solo 12 tuberías en la modelación (ver Ilustración 74).

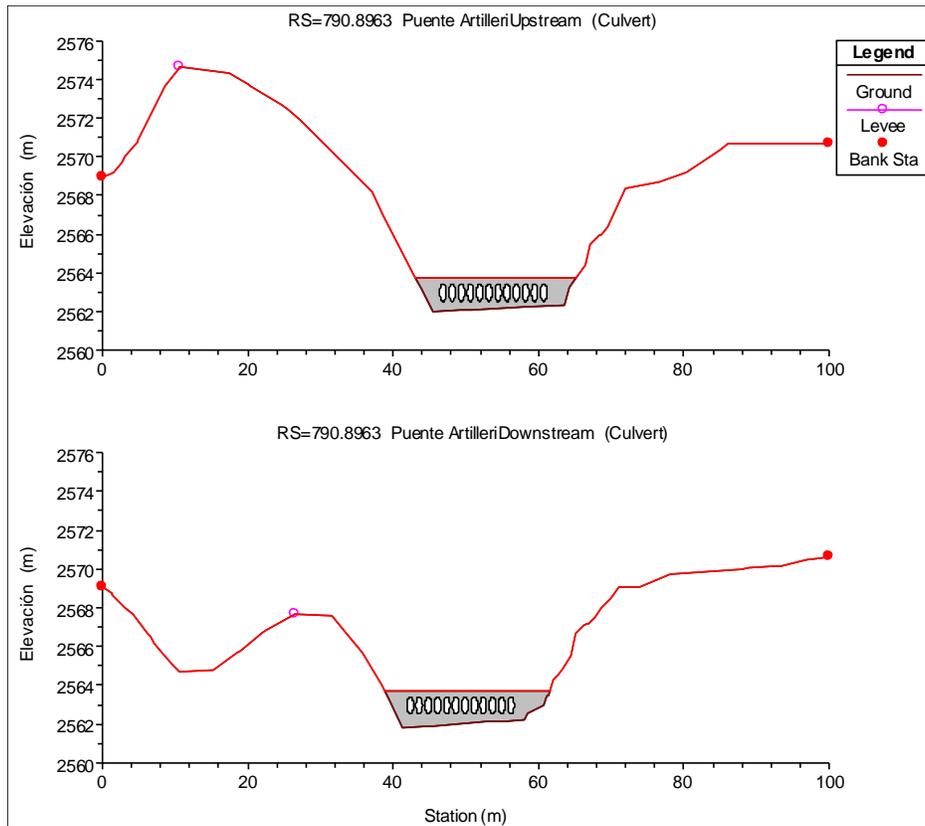


Ilustración 74. Esquematización del Puente de la escuela de artillería



Ilustración 75. Vista del Puente de la Escuela de Artillería y dimensiones principales

9.3.3 Tramo Canteras - Embalses

En este tramo se ingresaron en el modelo las geometrías de Puente Meissen (estructura remanente después de la demolición), la estructura de control, el tubo que se encuentra frente a la estación de bombeo de San Benito y el puente de San Benito (río Tunjuelo con Avenida Boyacá).

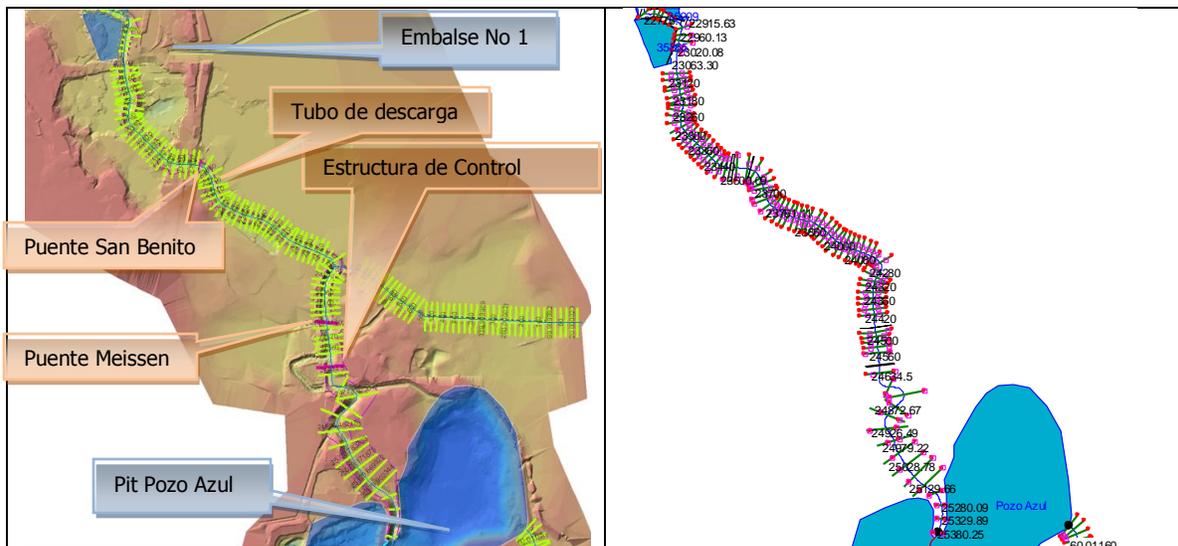


Ilustración 76. Tramo de la zona de Gravilleras a la zona de los Embalses de Amortiguación.

La estructura de control construida por la EAAB y CEMEX y puesta en funcionamiento en abril de 2006, se encuentra localizada en este tramo en el meandro aguas arriba del Puente de Meissen (ver Ilustración 76). Para la creación de la estructura de control en el software HEC RAS se utilizó un elemento "bridge culvert" con las características geométricas mostradas en la Ilustración 77.

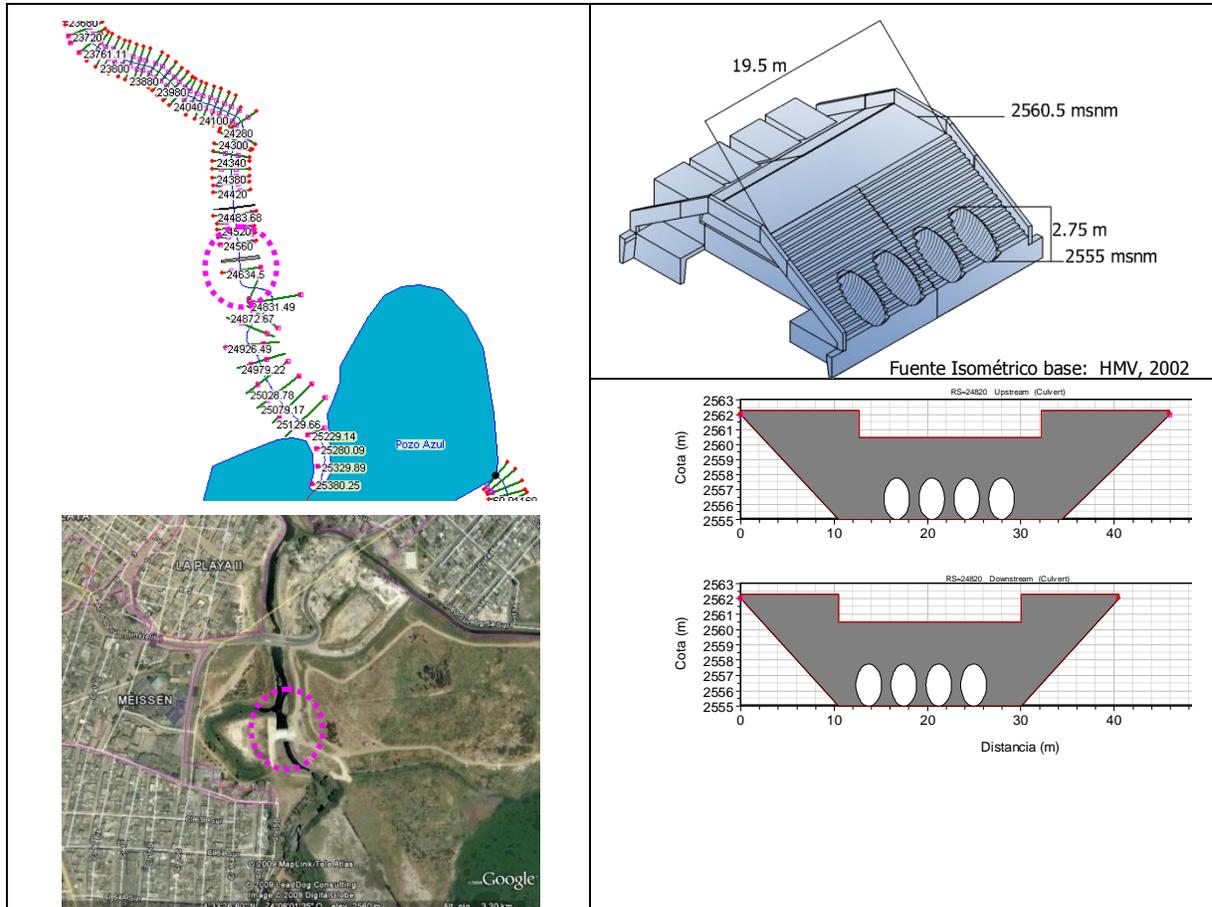


Ilustración 77. Esquemática estructura de control

Mediante las simulaciones realizadas con el modelo hidrodinámico del río Tunjuelo bajo condiciones de flujo permanente se obtuvo una curva de descarga **teórica** de la estructura.

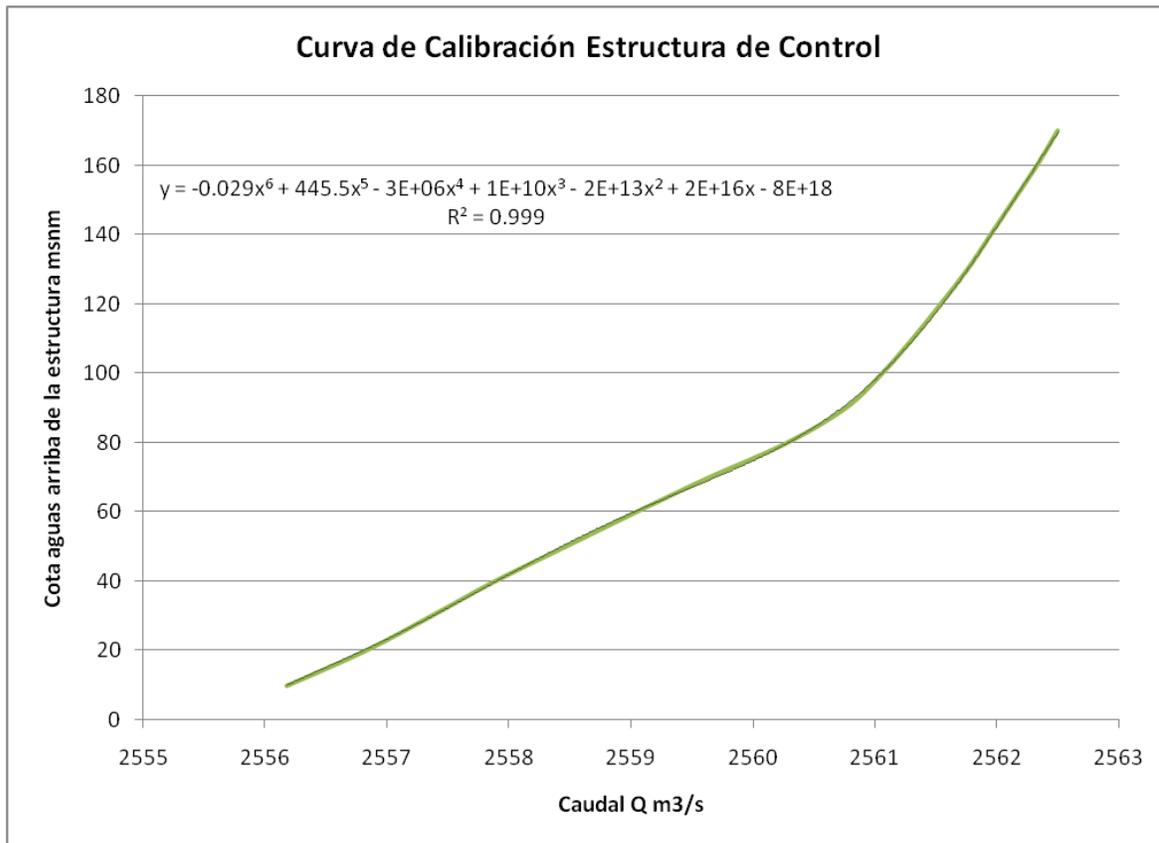


Ilustración 78. Curva de descarga de la estructura de control

La siguiente estructura corresponde al Puente de Meissen que puede observarse en la Ilustración 79. Este puente fue demolido, y a la fecha de elaboración de este informe todavía se encuentra en el cauce del río Tunjuelo una parte de la infraestructura, por lo cual en el modelo hidrodinámico se utilizó una estructura tipo "bridge" con pilotes.

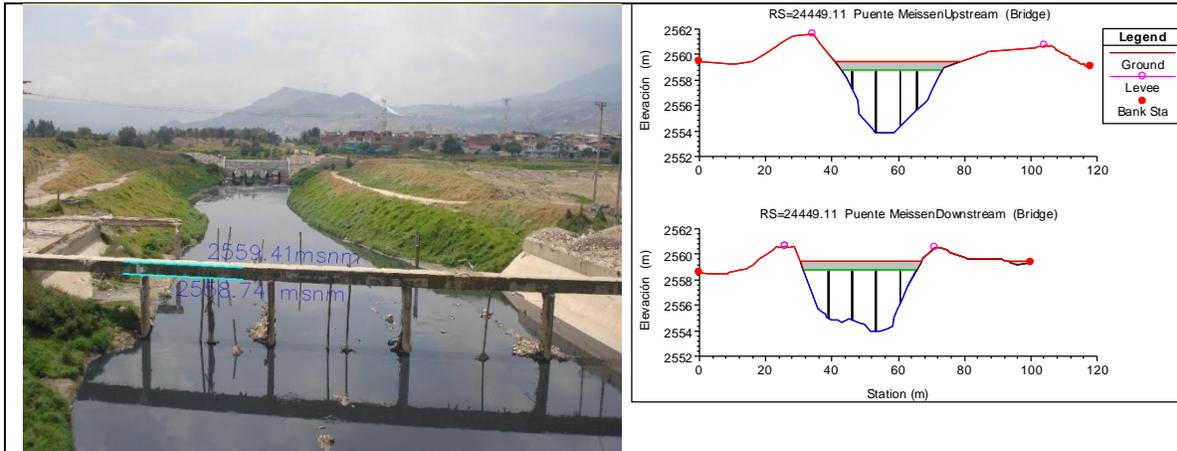


Ilustración 79. Puente Meissen

Inmediatamente aguas arriba del Puente sobre el río Tunjuelo en la avenida Boyacá, se encuentra un tubo perteneciente al sistema de bombeo de San Benito. La configuración de este tubo se muestra en la Ilustración 80. Esta estructura fue esquematizada como un puente en el software HEC RAS.



Ilustración 80. Tubo del sistema de bombeo de San Benito

Por último, aguas abajo del tubo de descarga de la estación elevadora están los puentes sobre la Avenida Boyacá. Debido a que no es posible –en el software HEC RAS–, ubicar dos puentes

seguidos con al menos dos secciones intermedias, se decidió utilizar la geometría de un solo puente en esta zona. Las características del puente se muestran en la Ilustración 81.



Ilustración 81. Puente sobre la Avenida Boyacá en el sector de San Benito

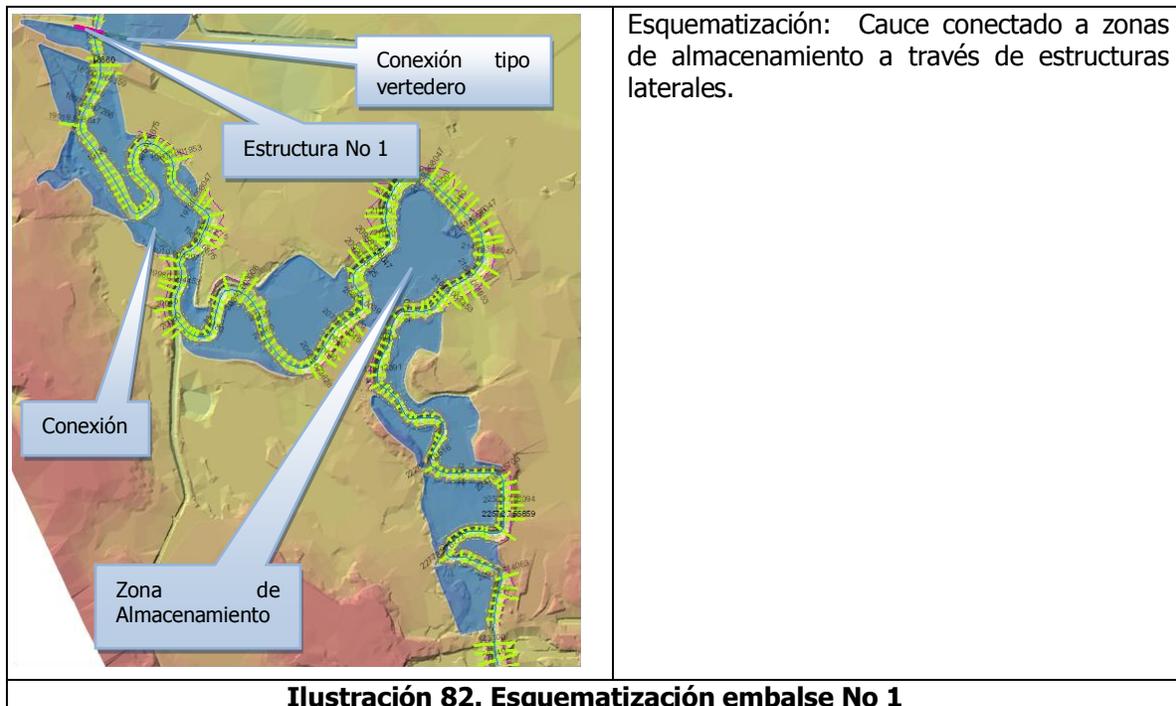
9.3.4 Zona de embalses de amortiguación

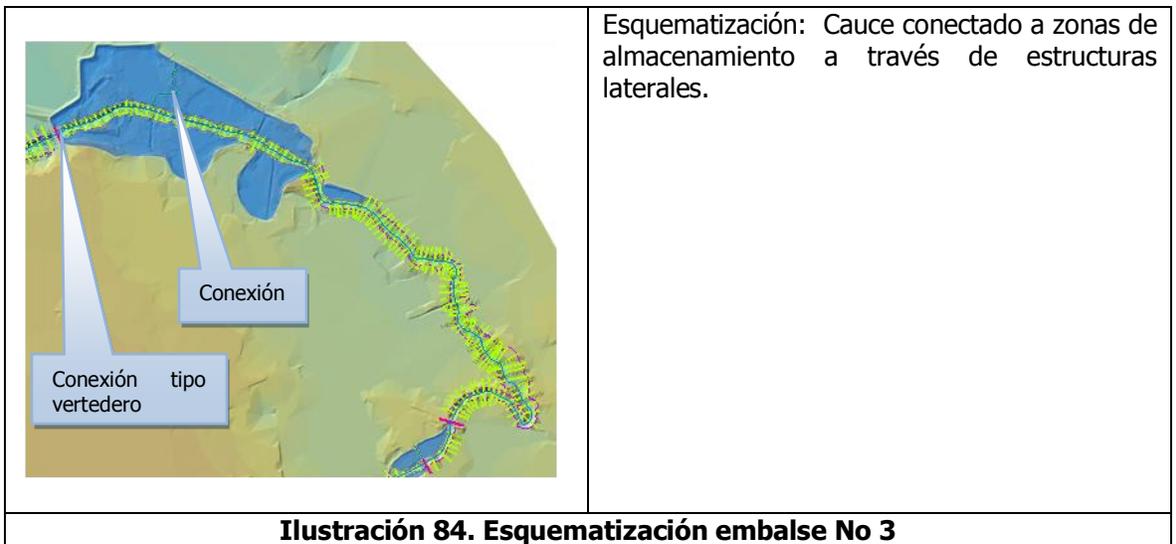
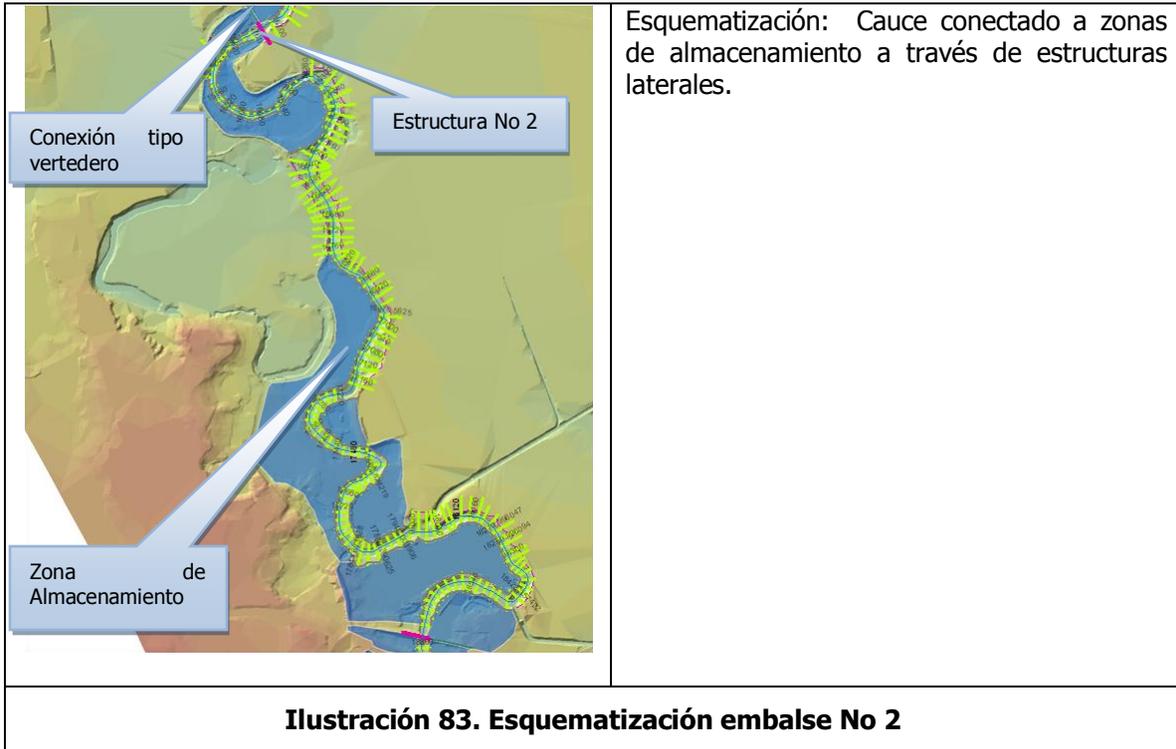
La zona de embalses del río Tunjuelo está conformada por 3 embalses en serie conectados por estructuras tipo culvert y vertederos. Las Características de estas estructuras se muestran en la Tabla 33.

	Embalse 1	Embalse 2	Embalse 3
Ancho de celda del culvert	2.65 m	2.8 m	2.15 m
Altura de la celda del culvert	2.65 m	2.8 m	2.15 m
Longitud del culvert	18.6 m	20.5 m	32.9 m
Longitud del vertedero	25 m	25 m	25 m
Número de celdas del culvert	4	4	3
Nivel del fondo de entrada	2551.10 msnm	2547.54 msnm	2544.07 msnm
Nivel del fondo de salida			2543.69 msnm
Nivel de la cresta del vertedero	2556.14 msnm	2553.14 msnm	2552.14 msnm

Tabla 33. Estructuras de los embalses 1,2 y 3 (Fuente EAAB, 1997)

La esquematización realizada se muestra en la **Ilustración 82**, la Ilustración 83 y la **Ilustración 84**. Los embalses fueron divididos en zonas de almacenamiento conectadas al cauce del río mediante estructuras laterales (vertederos). La topografía disponible para esta zona del río corresponde a la proporcionada en el estudio de EAAB, (2002) en el cual se hizo una restitución para obtener las curvas de nivel de las zonas de almacenamiento. Durante las obras de adecuación del río realizadas durante el periodo 2007-2008 se levantó topografía de algunas zonas pequeñas sobre el cauce en el área de los embalses. Sin embargo la topografía de cauce disponible es poca por lo que fue necesario realizar interpolación de secciones.





9.3.5 Tramo embalses – desembocadura

Toda la información topográfica del cauce de este tramo fue obtenida del modelo digital de terreno construido con la información de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Se esquematizaron secciones cada 20 metros.

En esta zona se esquematizó el puente San José como estructura de relevancia.

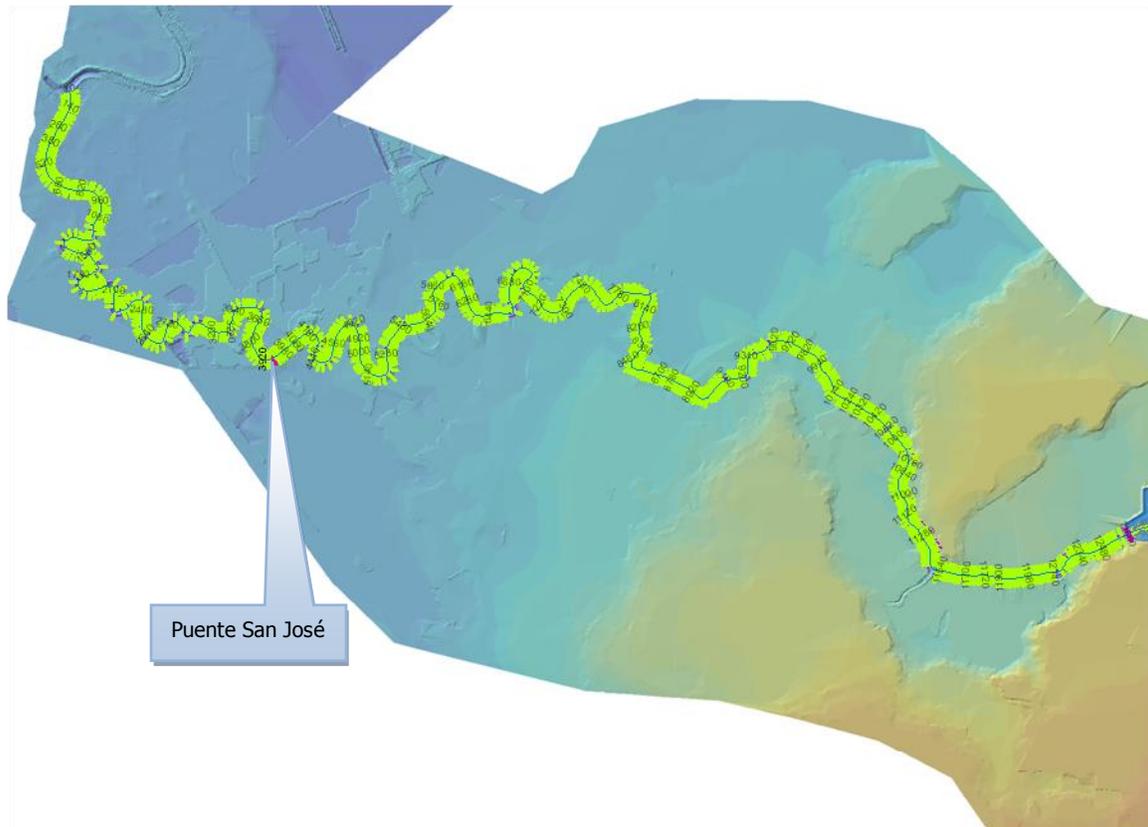


Ilustración 85. Tramo Embalses - desembocadura

Las características geométricas de este puente (Puente San José) se obtuvieron mediante un levantamiento topográfico realizado por la DPAE en el año 2007. (Ver Ilustración 86).



Ilustración 86. Puente San José

9.3.6 Condiciones de frontera del modelo hidrodinámico

La condición de frontera aguas arriba en el modelo hidrodinámico la constituye el hidrograma medido en la rápida, esquematizado como una entrada lateral de caudales al pit Sánchez y Gonzalez. Para las entradas adicionales de caudal se determinaron las siguientes condiciones:

Cuenca	Abscisa de ingreso del hidrograma	Tipo de condición de Frontera
Quebrada Chiguaza	24223	Hidrograma de entrada lateral
Quebrada Trompeta	24926	Hidrograma de entrada lateral
Cuenca 43 (según INGETEC)	23500	Hidrograma de entrada lateral
Cuenca San Carlos	22960	Caudal de Bombeo
Cuenca 43A	21984	Hidrograma de entrada lateral
Quebrada Limas	20080	Hidrograma de entrada lateral
Cuenca Q. San Vicente	18423	Hidrograma de entrada lateral
Cuenca 47B (según INGETEC)	17480	Hidrograma de entrada lateral
Cuenca Q. Ismael Perdomo	11540	Hidrograma de entrada lateral
Cuenca 51 (según INGETEC)	11520	Hidrograma de entrada lateral
Cuanca 49 (según INGETEC)	9060	Hidrograma de entrada lateral

Tabla 34. Condiciones de frontera del modelo en HEC RAS

La condición de frontera aguas abajo corresponde a los niveles medidos por la estación la Isla de la EAAB. Esta estación está localizada inmediatamente aguas arriba de la confluencia.

9.3.7 Tiempos de ejecución del sistema

De acuerdo con el procedimiento establecido, durante los dos primeros niveles de alerta se realiza una observación continua de la evolución de los niveles en la cuenca alta del río y de la precipitación en la cuenca media y baja del río Tunjuelo. Una vez comienza el rebose del embalse La Regadera el sistema de pronóstico se activa, dicha activación implica la disminución de los intervalos de tiempo en los cuales se ejecuta la tarea programada del servidor Srvdpae10, lo cual toma apenas unos minutos una vez se detecta el rebose en el embalse. Adicionalmente, se prepara todo el sistema para ejecutar tanto el modelo hidrológico como hidrodinámico del río,

lo cual toma aproximadamente 30 minutos. Una vez activado todo el sistema, los siguientes tiempos son de importancia (ver Ilustración 87):

- **Tiempo de recolección:** correspondiente al tiempo entre la medición de un parámetro y en estar disponible para ser ingresado al sistema de pronóstico (Sene, 2008). Para el caso de los datos de precipitación, los datos son registrados en acumulados de 10 minutos y cada 15 minutos son recolectados por el receptor en la central de la DPAE. El tiempo para que el dato esté disponible en la base de datos .dss depende del intervalo de tiempo para el cual se especifique la tarea programada del servidor Svrtpae10, que se ha establecido en 5 minutos. Luego de estos procedimientos los datos están disponibles para su análisis en el software del equipo Estudios07.
- **Tiempo de preprocesamiento:** tiempo para preparar y validar los datos para su ingreso al modelo y cualquier otro análisis previo (ej. Manejo de datos perdidos). Los problemas que normalmente se presentan con los datos corresponden a intervalos de tiempo en los cuales la base de datos .dss no se encuentra actualizada con datos debido a errores en la ejecución del software que genera los archivos planos, normalmente un error de este tipo se soluciona en periodos de 10-15 minutos. Cabe aclarar que errores en registros de las estaciones hidrometeorológicas telemétricas son manejados internamente por el SIRE (sistema de información para la gestión del riesgo y atención de emergencias de Bogotá) con rutinas que han sido diseñadas para este fin. Errores en el ingreso manual de datos deben ser corregidos manualmente.
- **Tiempo de corrida del modelo:** tiempo de ejecución de los dos modelos enlazados. Tiene gran dependencia de las características del equipo en el cual se esté realizando la ejecución de los dos modelos y del periodo de tiempo para el cual se realice la corrida. Normalmente se encuentra en un periodo de 15-30 minutos.
- **Tiempo de pos procesamiento:** análisis de los resultados y elaboración de reportes. La elaboración de los reportes se realiza bajo condiciones normales en un tiempo de 10-20 minutos.

De acuerdo con lo anterior, el tiempo que toma la elaboración de un pronóstico es de aproximadamente 1 hora.

Adicionalmente están:

- **Tiempo de toma de decisiones:** tiempo que toman los ejecutores del sistema de pronóstico para revisar los resultados y decidir si se aprueba el pronóstico o no y el que toman las personas que reciben el pronóstico en decidir si se emite una alerta.
- **Tiempo de difusión de la alerta:** el tiempo que se toma desde que se emite la alerta de inundación y el momento en el cual todos los involucrados en alguna actividad de los procedimientos reciben el mensaje.

Es importante mencionar que los dos tiempos anteriores corresponden a actividades fuera del centro de pronóstico.

Uno de los objetivos de los esfuerzos que se han realizado en cuanto a automatización es el proporcionar la mayor cantidad de tiempo posible para la interpretación y discusión de los datos en lugar de en el ingreso de datos.

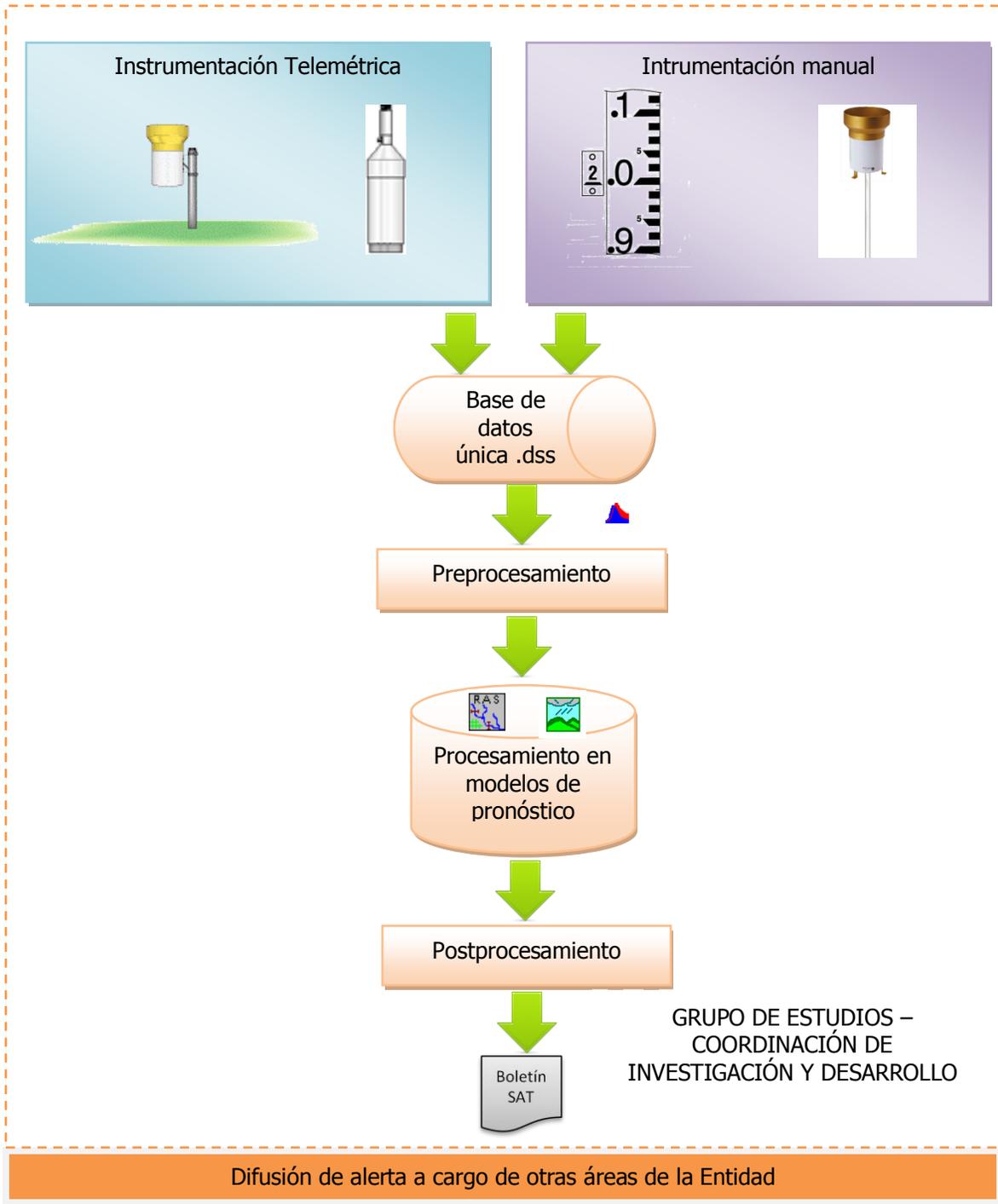


Ilustración 87. Procedimiento de operación del sistema de pronóstico

9.3.8 Esquema de uso de los datos para generar pronóstico

Dado que los datos para generar los pronósticos y para realizar la evaluación del estado del río provienen de diversas fuentes, la falta de datos en algún punto de monitoreo obedece a factores diversos dependientes del mecanismo de toma de los datos y su contingencia por lo tanto varía.

Para el caso de las estaciones telemétricas de precipitación, la falla de alguna de las estaciones durante la ejecución del sistema de alerta se soluciona provisionalmente mediante el reemplazo de los datos de dicha estación con los datos de la estación más cercana y se realizan los procedimientos correspondientes para la reparación de la estación.

Cuando se produce la falla de una de las estaciones de nivel, se recurre a la lectura de la mira correspondiente al sensor y los datos se envían vía SMS para su ingreso automático al SIRE. Adicionalmente, si el daño se produce en el sensor Kennedy o Independencia, uno de estos sensores puede funcionar como respaldo del otro para la emisión de alertas.

En el caso de que no se obtengan datos de las otras fuentes que tienen ingreso manual, por radio o vía SMS, debe gestionarse con cada fuente para obtener la información.

9.4 Sistema de Pronóstico – Proceso de calibración

El proceso de calibración de los modelos hidrológico e hidráulico enlazados se llevó a cabo para la cuenca alta, la cuenca media y la cuenca baja del río Tunjuelo con datos recopilados durante el año 2008.

En la cuenca alta, se utilizaron todos los datos disponibles incluyendo los registros de las estaciones de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado, los datos con que cuenta la DPAE y los datos de la estación de precipitación del IDEAM Villa Teresa. En la cuenca alta existen estaciones en todas las subcuencas, con datos adecuados para realizar calibraciones. Los datos de las estaciones Los Tunjos, Bocagrande Salitre y El Hato que pertenecen a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá cuentan con datos de precipitación a nivel diario mientras que en la presa La Regadera existe una estación automática de precipitación que registra cuando se alcanzan 0.2 mm acumulados de precipitación. En la zona de entrega a los embalses, cada tributario cuenta con una estación limnigráfica operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, estas estaciones son la Toma, El Herradero y Puente Australia que permiten el registro de caudal de los ríos Chisacá, Mugroso y Curubital respectivamente. Las estaciones utilizadas para calibración se muestran en la Ilustración 88.

Para la calibración en la cuenca media, se realizó el tránsito de la creciente desde el embalse La Regadera hasta la rápida localizada en la zona de gravilleras utilizando el modelo hidrológico y como datos de entrada se utilizaron los registros de las estaciones de precipitación de la red hidromeorológica de Bogotá operada por la DPAE, localizadas en la cuenca media del río Tunjuelo.

En la cuenca baja, el sistema de pronóstico funciona con el modelo hidrológico e hidráulico enlazados por lo que la calibración se llevó a cabo utilizando los datos de nivel en el río Tunjuelo

registrados por los tres sensores de la red hidrometeorológica de Bogotá localizados en esta parte del río.

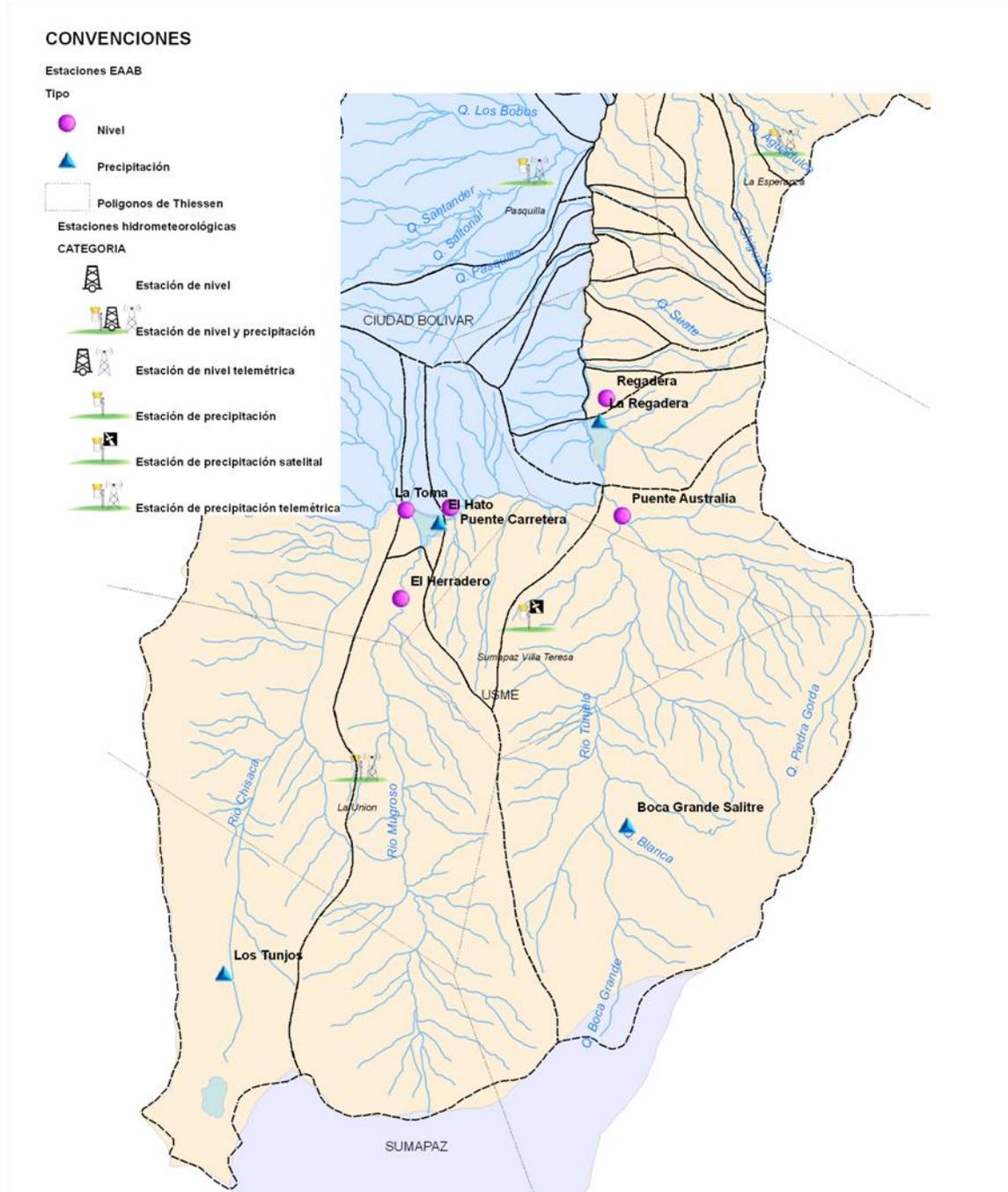


Ilustración 88. Localización de estaciones para calibración en la cuenca alta del río Tunjuelo

9.4.1 Seguimiento creciente 25-28 de mayo de 2008 – Calibración

Durante el periodo del 25 al 28 de mayo de 2008 se presentó un rebose en el vertedero de la Presa de La Regadera que no implicó la emisión de alertas a la comunidad. Los datos de precipitación registrados en la cuenca alta en las estaciones La Regadera y Chisacá operadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá junto con los registros de las estaciones La Unión y Villa Teresa se muestran en la Ilustración 90 en el periodo del 18 al 30 de mayo.

Los hidrogramas registrados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá en los vertederos de las presas Chisacá y la Regadera se muestran en la Ilustración 89. Los picos del hidrograma se presentaron el día 25 de mayo alcanzando valores de 18 m³/s en el embalse Chisacá y 15 m³/s en el embalse La Regadera.

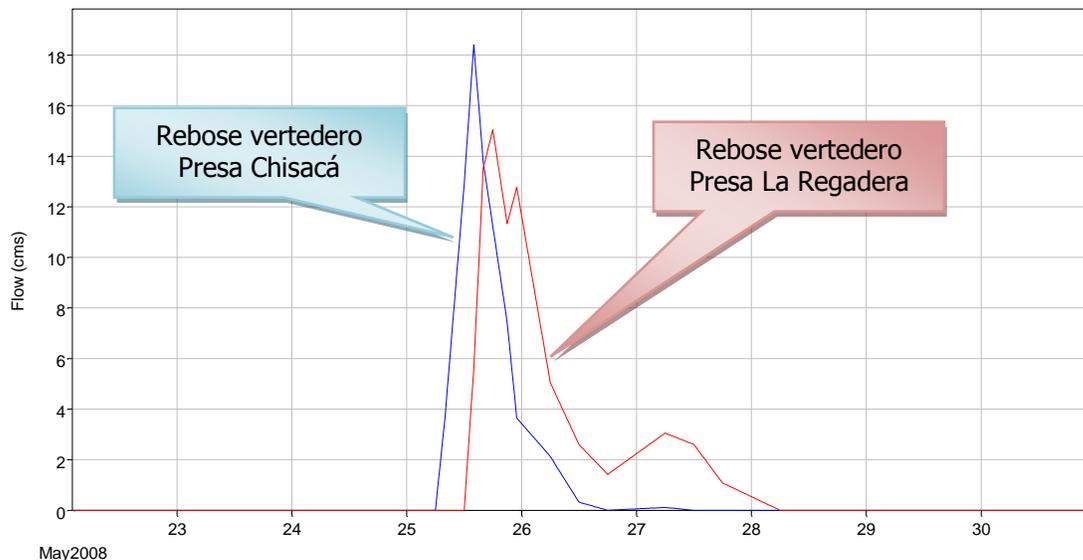


Ilustración 89. Caudal de rebose en los vertederos de las presas Chisacá y La Regadera

Los registros diarios de precipitación en la cuenca alta (ver Ilustración 90 e Ilustración 91) muestran patrones temporales de precipitación similares en todas las estaciones, sin embargo al comparar el volumen registrado se observan diferencias importantes, especialmente en los registros de las estaciones Villa Teresa y La Unión (ver Ilustración 92 e Ilustración 94).

Los registros de precipitación del mes de mayo de 2008 muestran tormentas de magnitud importante durante todo el mes, localizándose los valores acumulados de precipitación más altos en la estación Boca Grande Salitre. Cabe aclarar, que para este evento no se cuenta con los datos de precipitación de la estación automática de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá localizada en el sitio de presa de La Regadera por lo que para los análisis se utilizaron los datos de la estación convencional localizada en este mismo lugar.

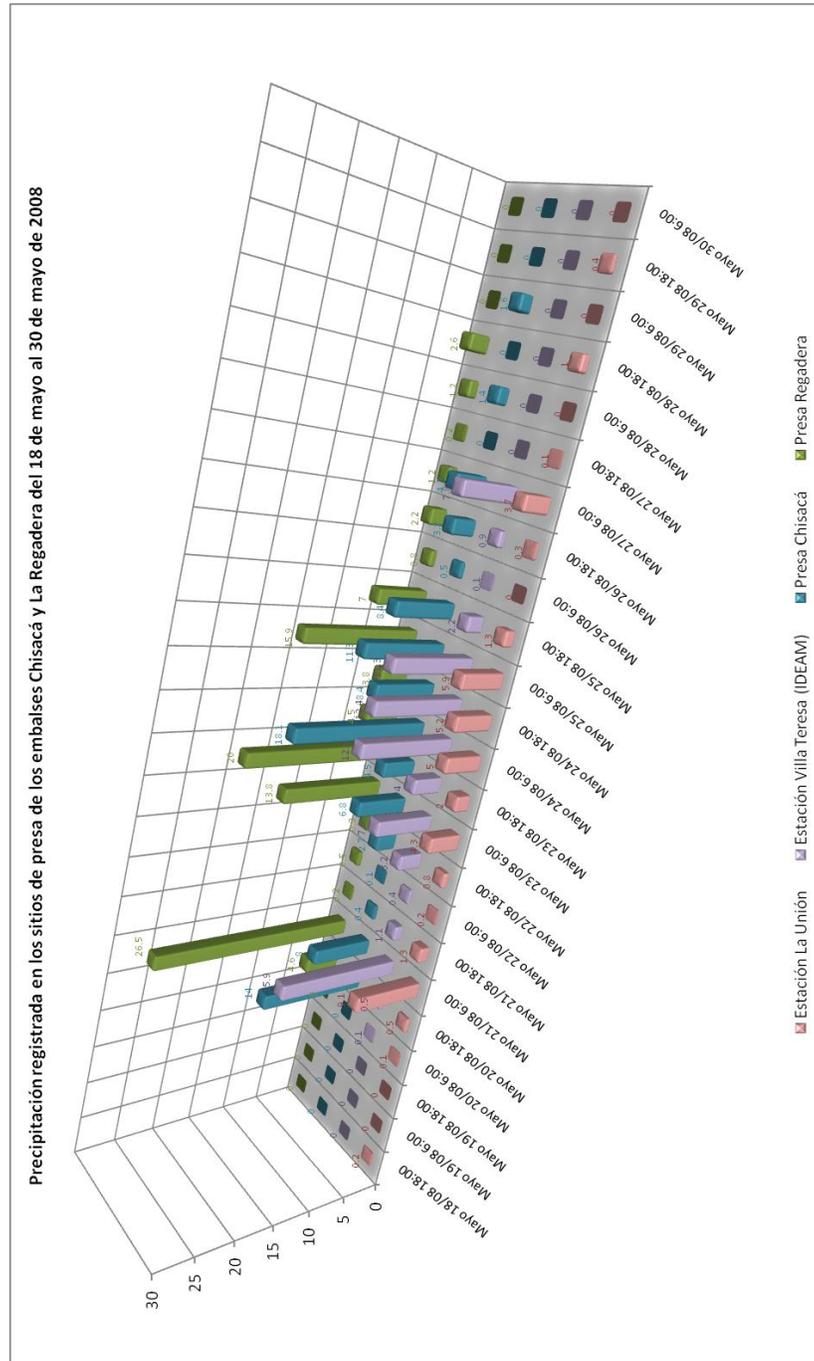


Ilustración 90. Precipitación en las presas Chisacá y Regadera y en las estaciones La Unión y Villa Teresa del 18-30 mayo/ 2008

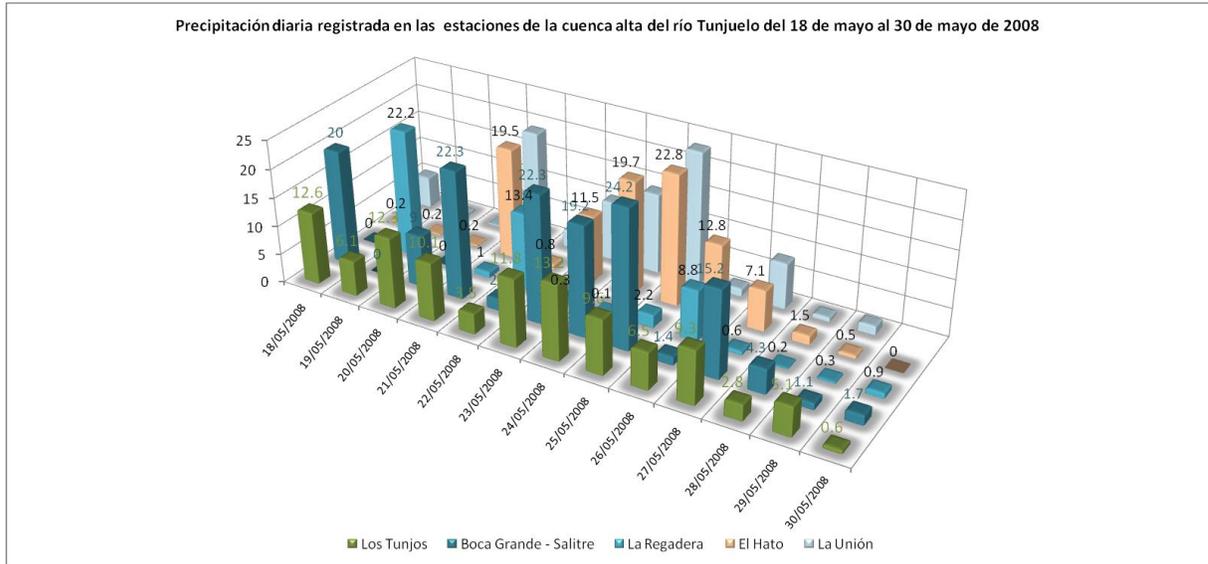


Ilustración 91. Precipitación registrada en las estaciones Los Tunjos, Boca Grande, La Regadera, El Hato y La Unión entre el 18 de mayo y el 30 de mayo de 2008



Ilustración 92. Comparación de la precipitación acumulada en las estaciones de la Cuenca alta del río Tunjuelo en el periodo del 18 al 30 de mayo de 2008

En la Ilustración 93 se muestra la precipitación acumulada durante el mes de mayo para las estaciones de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá de la cuenca alta.

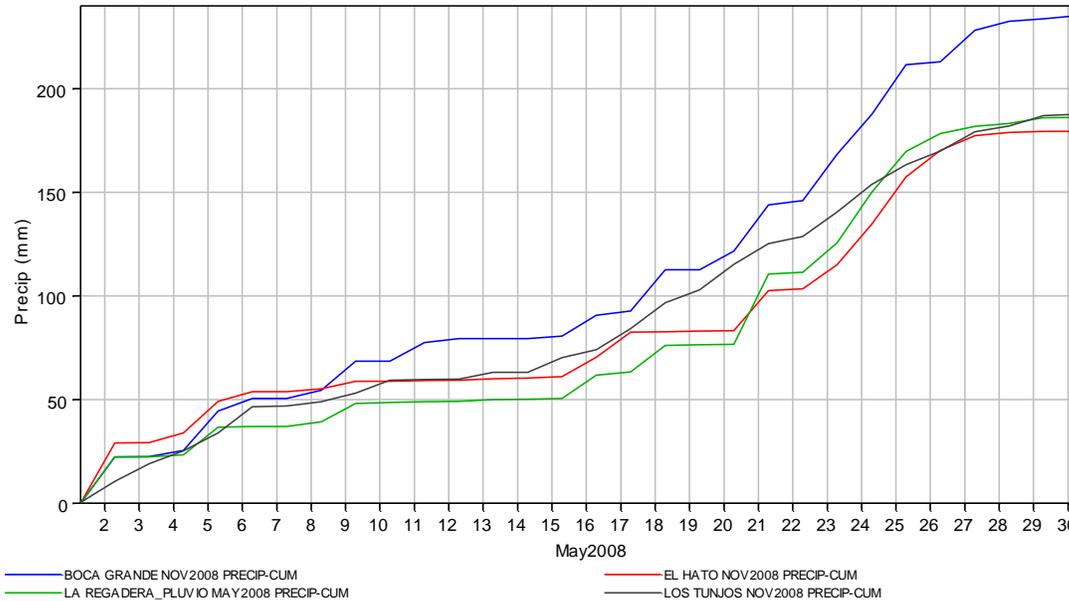


Ilustración 93. Precipitación acumulada en las estaciones Bocagrande, El Hato, La Regadera y Los Tunjos.

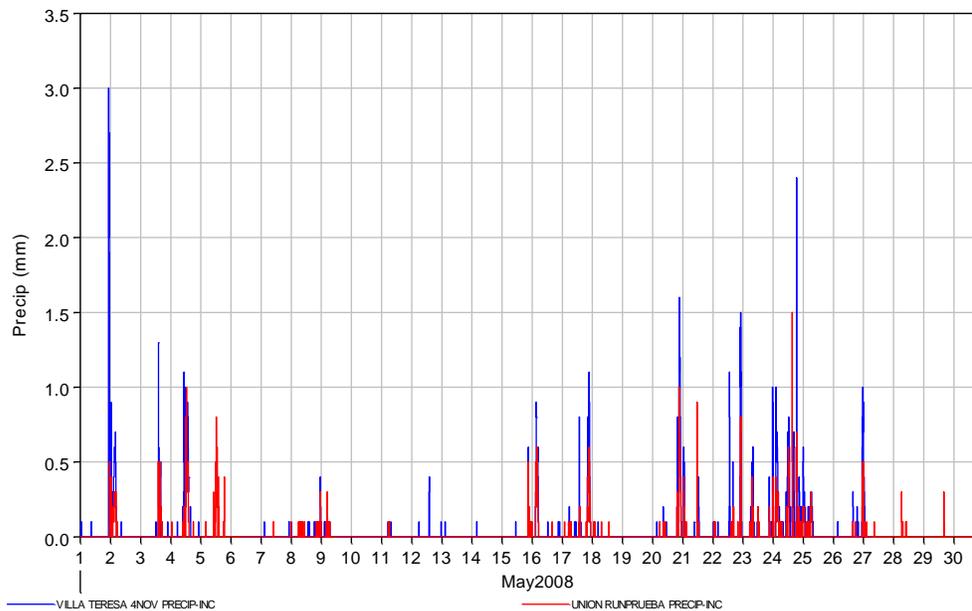


Ilustración 94. Precipitación de 10 minutos en las estaciones La Unión y Villa Teresa

Los registros de lecturas de las miras localizadas en la cuenca alta del río Tunjuelo³ muestran que los tres tributarios de esta parte de la cuenca presentaron crecientes importantes durante el mes de mayo de 2008. Desafortunadamente, la evaluación de los datos mostró que para la estación La Toma no se cuenta con información durante algunos periodos de tiempo. Con el fin de llevar a cabo el proceso de calibración y teniendo en cuenta que el modelo SCS no es continuo, se identificaron 7 eventos de creciente que se tratarán por separado, con duraciones según lo indicado en la **Ilustración 95**.

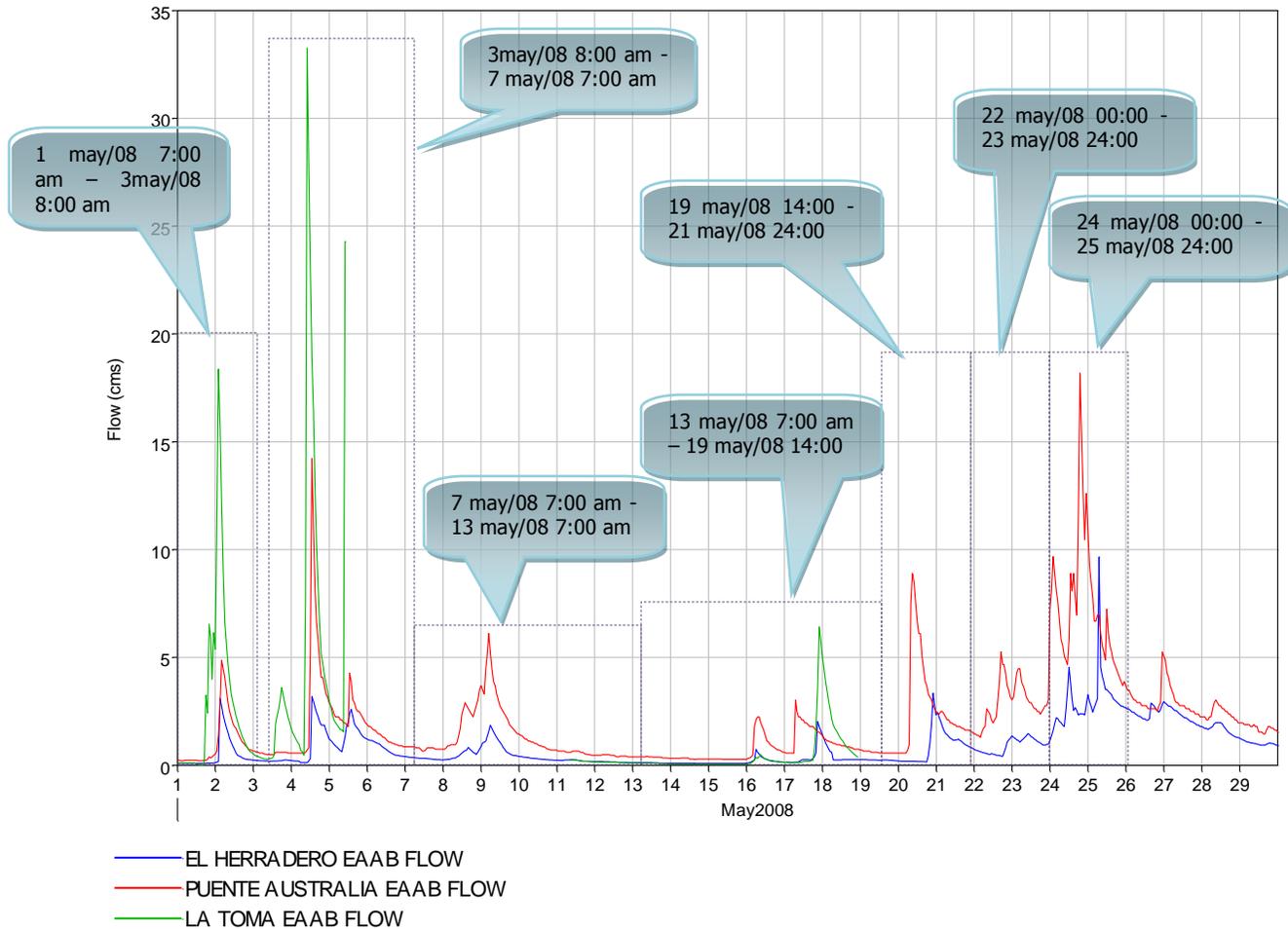


Ilustración 95. Crecientes de los tributarios de la Cuenca alta durante el mes de mayo/2008

³ Miras pertenecientes a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB, cuyos registros son obtenidos mediante consulta en el Sistema de Información hidrológica de la EAAB - SIH

Los resultados obtenidos de las calibraciones se muestran en la Tabla 35. La variabilidad de los resultados y la comparación de los hidrogramas observados y los obtenidos como resultado de las calibraciones, no permiten considerar estos procesos de calibración como satisfactorios.

Periodo de la creciente	Rio Chisacá			Rio Mugroso			Rio Curubital			Precipitación antecedente 5 días mm				
	Lag T	NC	Abst Inicial	Lag T	NC	Abst Inicial	Lag T	NC	Abst Inicial	El Hato	Bocagrande	La Unión	Villa Teresa	La Regadera
Mayo 1-3	40.797	70.318	0	278.68	71.946	0	279.47	57.759	0.0010519	17.6	30.5	3.2	6.7	22.9
Mayo 3-7	41.524	80.473	0	294.18	81.499	0	165.15	64.413	1.6376	30.2	29.9	6.5	23.9	26.1
Mayo 7-13				290.75	87.913	0	131.9	71.948	0.0010318	53.8	50.4	17.9	19.9	36.9
Mayo 13-19	333.7	52.531	0	302.45	37.443	0	302.45	37.443	0	2.2	12.2	0.3	1.6	1.8
Mayo 19-21				297.51	69.809	0	659.16	44.126	0.85789	22.1	41	12.7	19.1	27.1
Mayo 22-23				367.31	66.905	0.0010711	367.31	66.905	0.0010711	21.9	53.3	16.2	30.3	48.1
Mayo 24-25				143.75	99	0	83.418	90.559	0.0010602	32.2	55.6	23.5	46.6	49.5

Tabla 35. Resultados de las calibraciones para el mes de mayo de 2008

Las causas de que el modelo del SCS no reprodujera adecuadamente las crecientes medidas en la Cuenca alta del río Tunjuelo pueden radicar en:

- Para estos procesos de calibración solo se cuenta con los patrones de precipitación registrados en las estaciones La Unión y Villa Teresa, localizadas en la zona media de la cuenca alta. Es posible que los registros puntuales de estas estaciones no representen adecuadamente el patrón espacio-temporal de las tormentas.
- Los registros de la estación la Unión parecen ser muy bajos en comparación con los registros de las otras estaciones por lo que es posible que se estén presentando problemas de registro de la precipitación en esta estación.⁴
- Los registros de precipitación de la estación Villa Teresa presentan una gran cantidad de datos faltantes que en algunos casos corresponden a tormentas completas por lo que los patrones de precipitación en estos casos son desconocidos para una parte importante de la cuenca que está cubierta por esta estación.
- Algunos de los hidrogramas registrados muestran el pico de creciente antes de que se registre la lluvia en las estaciones (ver creciente del río Curubital del 20 al 21 de mayo de 2008 en el Anexo J), lo cual podría implicar incertidumbre en la toma de datos de nivel de las estaciones de calibración o una muy baja representatividad de los patrones temporales de las tormentas con solo las estaciones La Unión y Villa Teresa.

En lo que se refiere a la cuenca media del río Tunjuelo, las estaciones de la red hidrometeorológica de Bogotá muestran la ocurrencia de 4 eventos de precipitación importantes que se observan en la Ilustración 96.

⁴ Para mayor información consultar el Informe Anual de la Red Hidrometeorológica de Bogotá del año 2008.

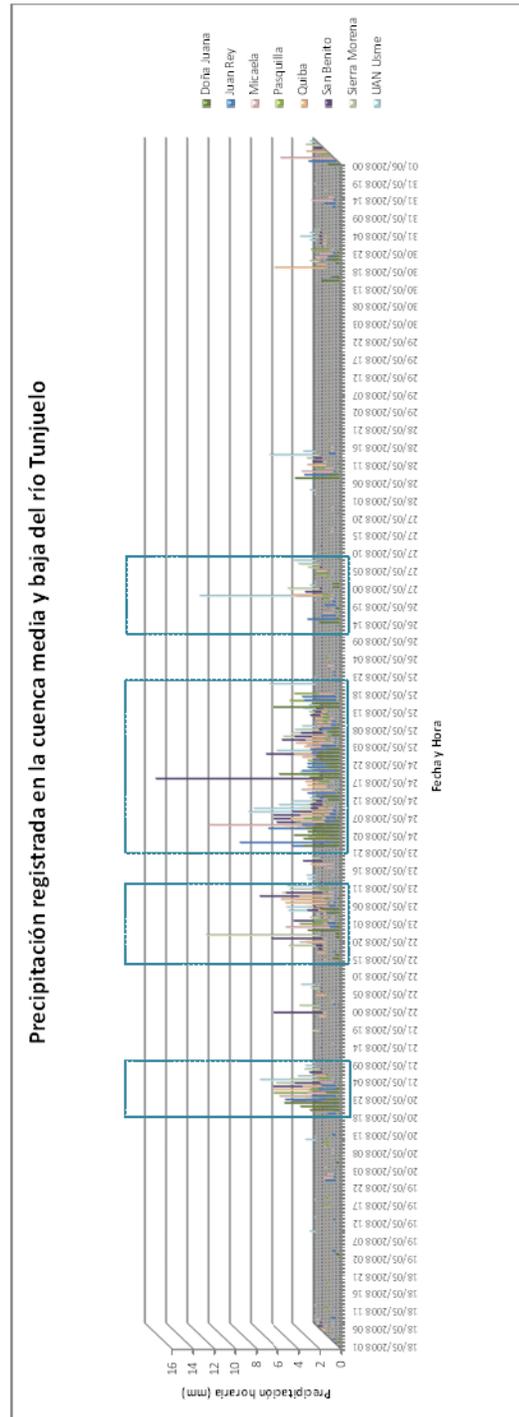


Ilustración 96. Precipitación registrada en la Cuenca media y baja del río Tunjuelo

Con base en las tormentas indicadas en la Ilustración 99 se realizaron dos calibraciones en la cuenca media del río Tunjuelo, correspondientes a la tormenta del 20 al 22 de mayo y a la tormenta del 23 al 26 de mayo. Los resultados obtenidos para la primera tormenta no fueron satisfactorios, pero en el caso de la segunda se obtuvo una buena correspondencia entre los datos observados y los simulados luego del proceso de calibración, la gráfica obtenida se observa en la Ilustración 97, los resultados de la calibración pueden observarse en el Anexo J.

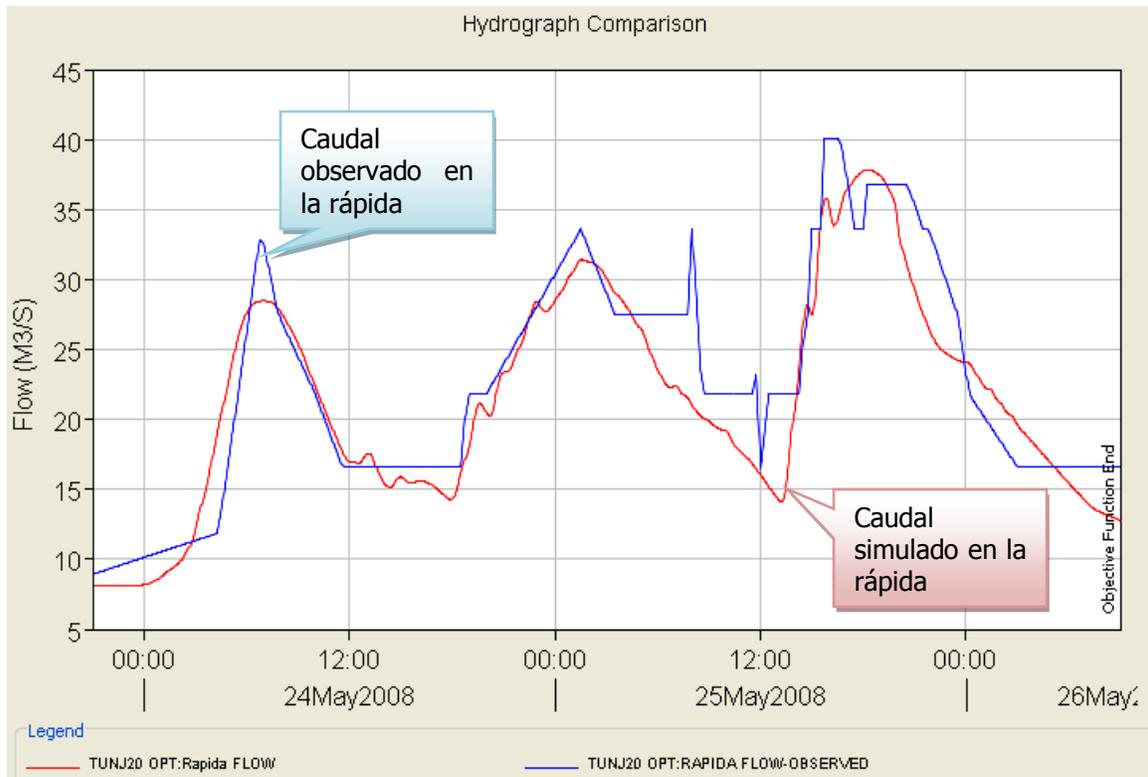


Ilustración 97. Caudales medidos y simulados luego de la calibración para la tormenta del 23 al 26 de mayo/2008 en la Rápida.

Dados los resultados de la calibración para los datos de tormenta del 23 al 26 de mayo de 2008, los parámetros calibrados fueron ingresados al modelo hidrológico para ser usados en las próximas ejecuciones del sistema de alerta, sin embargo se enfatiza que estos son datos preliminares y que pueden presentar errores considerables dentro del pronóstico.

En cuanto a la cuenca baja del río, los procesos de calibración del modelo hidrodinámico se llevaron a cabo con la creciente registrada en el mes de noviembre del año 2008 y la calibración se verificó con los datos disponibles para la creciente de mayo de 2008. Los resultados de la verificación se muestran en la Ilustración 98.

Niveles observados y simulados en los sensores de nivel para la creciente de mayo 22-26 de 2008

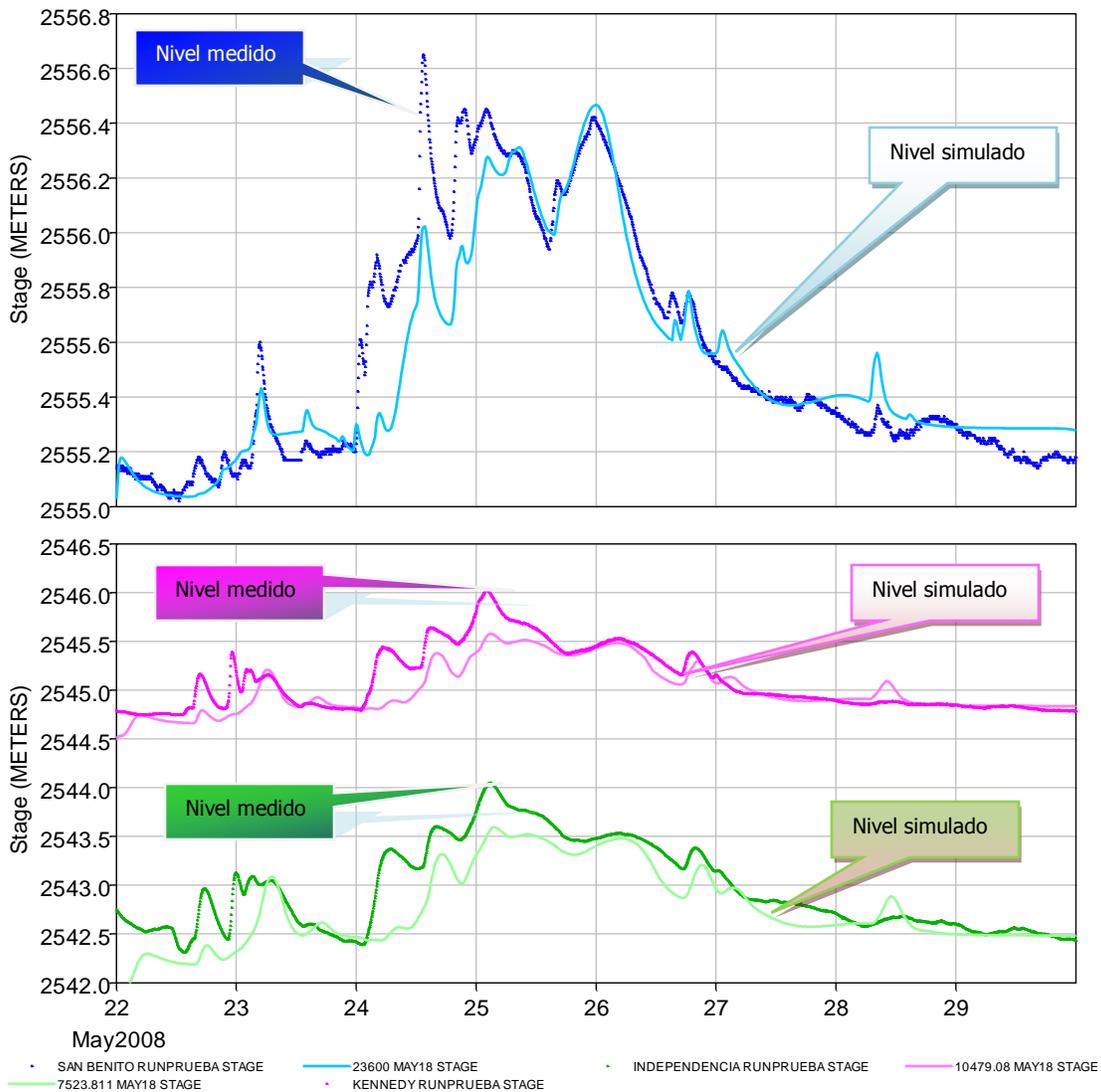


Ilustración 98. Niveles registrados en los sensores de nivel de la cuenca baja del río Tunjuelo y niveles simulados

Los niveles medidos y simulados en los puntos en donde se encuentran instalados los sensores en la cuenca baja del río Tunjuelo muestran una correspondencia aceptable. Los mayores errores se presentan cuando se presentan hidrogramas de ingreso de los afluentes del río Tunjuelo, que en una creciente de baja magnitud como es el caso de la analizada son más evidentes. Se estima que el caudal pico entregado al río Bogotá fue del orden de 36 m³/s.

9.4.2 Seguimiento creciente 1-7 de noviembre de 2008 – Calibración

Durante la creciente registrada en el periodo 1-7 de noviembre de 2008 no se emitió ninguna alerta para la comunidad. La precipitación registrada entre el 1 y el 7 de noviembre de 2008 en la cuenca alta del río Tunjuelo se muestra en la Ilustración 99. El mayor volumen de precipitación se concentró en los días 3, 4 y 5 de noviembre, siendo el volumen más alto registrado el correspondiente a la estación Bocagrande en la cual durante estos tres días la precipitación acumulada alcanzó 82.8 mm.

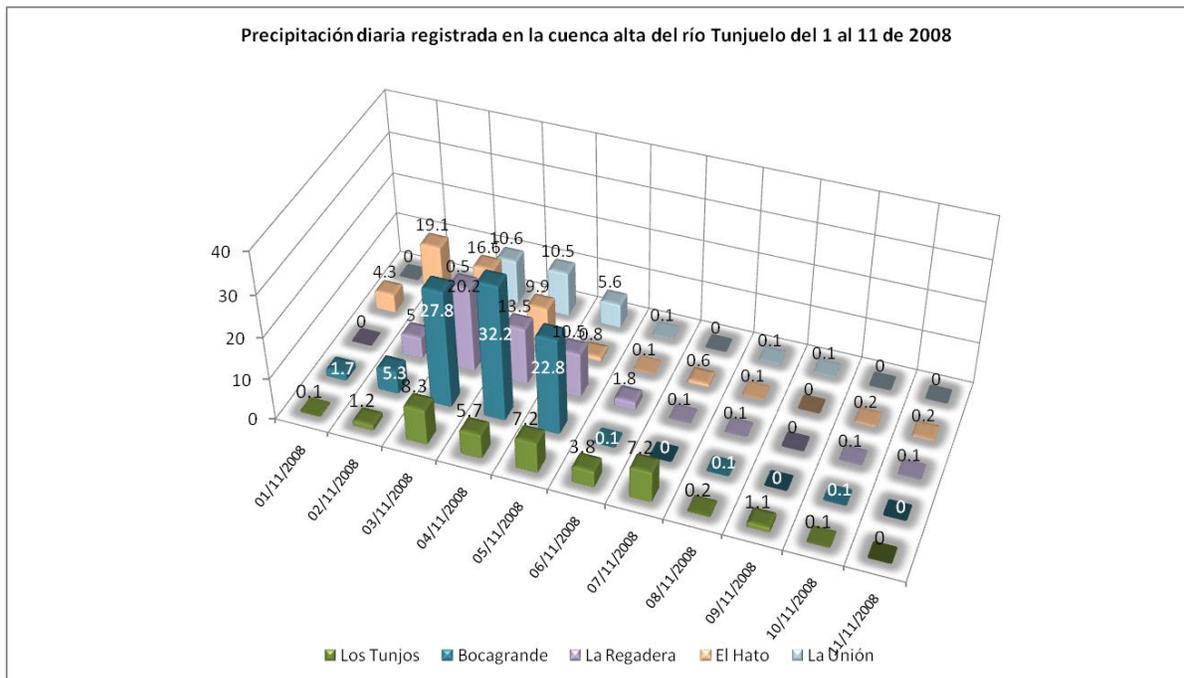


Ilustración 99. Precipitación diaria en las estaciones de pluviométricas localizadas en la cuenca alta del río Tunjuelo

La calibración en la cuenca alta se llevó a cabo para cada uno de los tributarios de esta zona de la cuenca. Desafortunadamente los registros de caudal en las estaciones La Toma y El Herradero no cubren todo el periodo de análisis. Los resultados obtenidos para la cuenca del río Curubital se muestran en la Tabla 36. Las calibraciones realizadas para los ríos Chisacá y Mugroso no resultaron ser satisfactorias (para mayor detalle ver el Anexo K) pero los resultados de la calibración realizada para el río Curubital arrojó una reproducción adecuada de las dos crecientes que se presentaron en el periodo del 1-11 de noviembre (ver Anexo K) indicando un tiempo de retardo de 144 minutos y dos números de curva que pueden ser asociados a dos condiciones de humedad antecedente (ver Tabla 36).

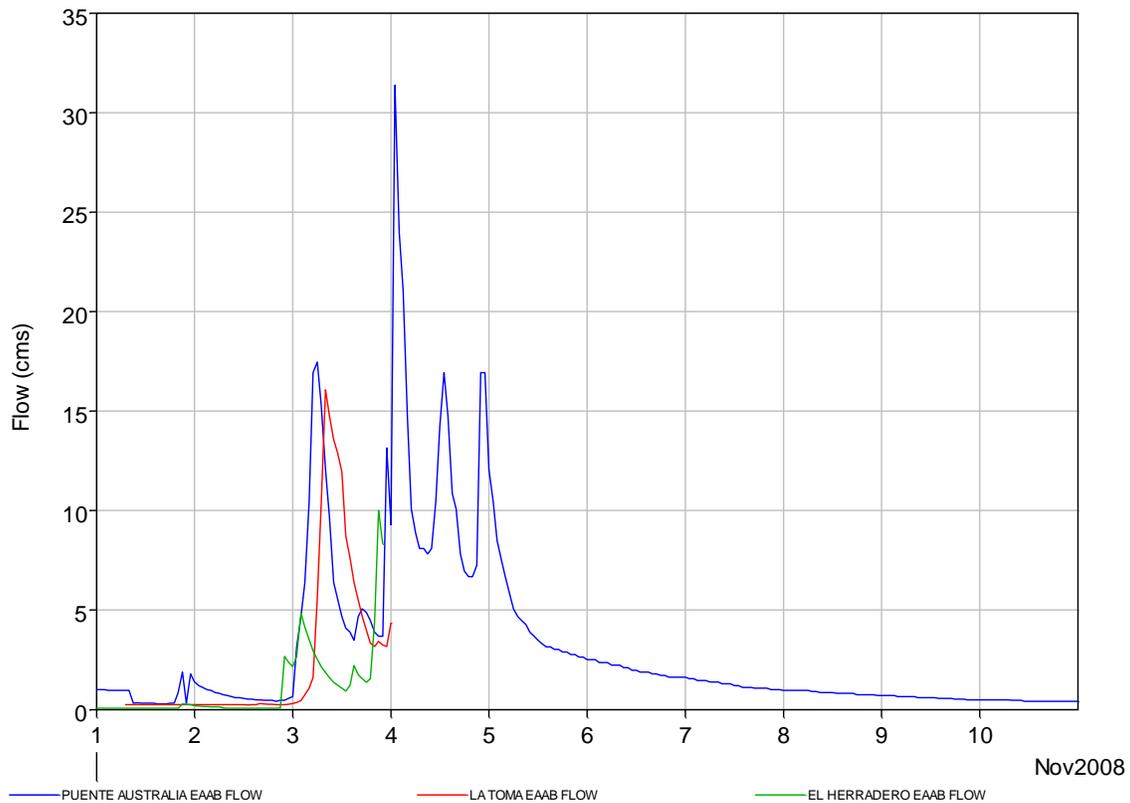


Ilustración 100. Registros de caudal en las estaciones Puente Australia, La Toma y El Herradero para el periodo 1-11 de noviembre

	Lag T	NC	Abst Inicial	Precipitación antecedente 5 días	Precipitación antecedente 5 días mm					
					El Hato	Bocagrande	La Unión	Villa Teresa	La Regadera	Los Tunjos
Río Chisacá	388.72	95	0.00	Precipitación antecedente 5 días	8.3	12.9	0.9	6.7	7.7	2.7
Río Mugroso	83.023	58	0.00							
Río Curubital	143.63	57	5.36							
Promedio río Curubital	144.49	82	0.00	27.4	40.7	4.2	25.8	27.9	11	

Promedio río Curubital **144.06**

Tabla 36. Resultados de la calibración de la Cuenca alta para las tormentas del 1-11 de noviembre de 2008.

El valor de número de curva de 57 mostrado en la Tabla 36 para la cuenca del río Curubital corresponde a los valores de precipitación acumulada de los últimos cinco días más bajos, lo cual permite inferir que este puede ser un valor aproximado cuando la cuenca se encuentra en condiciones secas. El valor de 82 para el número de curva corresponde a condiciones de precipitación antecedente mayores que el número de curva anterior lo cual permitiría asociar este número de curva a condiciones de humedad promedio de la cuenca. En el modelo hidrológico se utilizarán los valores para las condiciones de precipitación más alta.

Según los registros de caudal del punto de medición correspondiente a la Canaleta Parshall Chisacá (ver Ilustración 101) y a la información suministrada por la EAAB en tiempo real durante el seguimiento de la creciente, las válvulas de la presa Chisacá se abrieron el día 3 de noviembre a las 18:00, -de los registros de la canaleta Parshall-, aparentemente se realizó una apertura gradual, posteriormente un cierre y finalmente una apertura total. Según los datos de la Canaleta Parshall la compuerta se cerró a las 13:00 del 10 de noviembre de 2008.

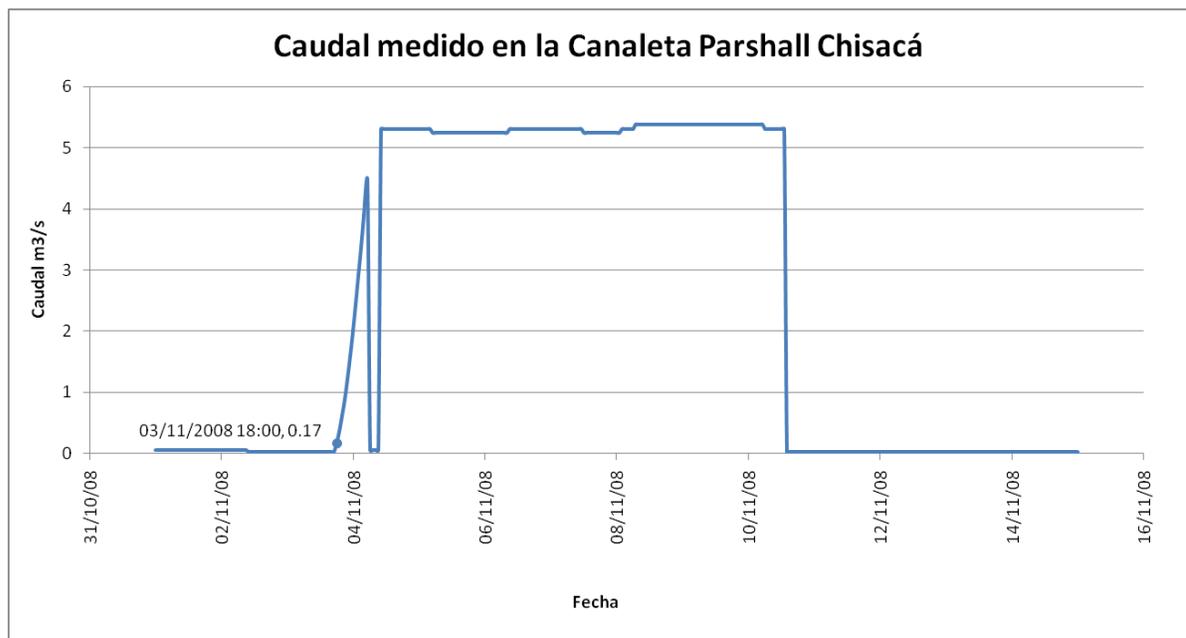


Ilustración 101. Registro de caudal de la canaleta parshall Chisacá durante el periodo 1-11 de noviembre de 2008

Los registros del sensor de nivel de la descarga del embalse La Regadera, muestran la apertura de la válvula de esta presa a las 12:22 pm del día 3 de noviembre de 2008 (ver Ilustración 102). A partir del 4 de noviembre la gráfica de los datos del sensor muestra un comportamiento errático y posteriormente no hay datos en la base de datos del Sistema Hidrológico de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

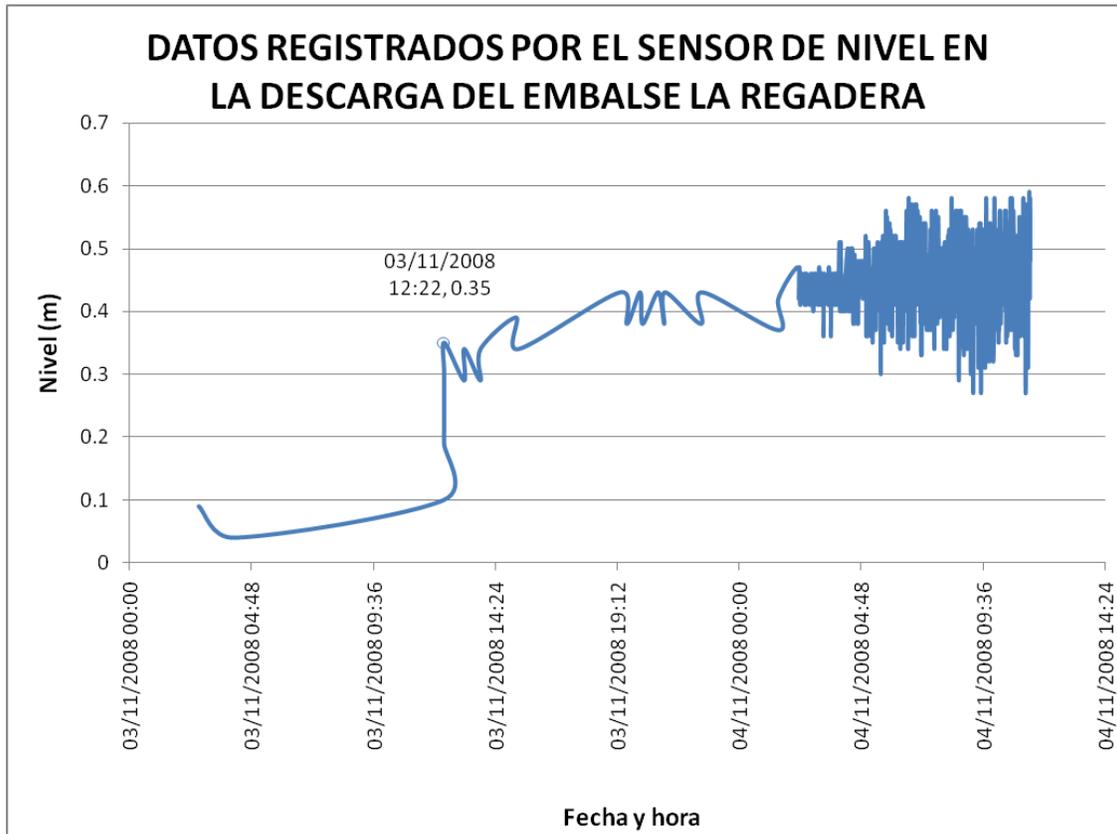


Ilustración 102. Registros del sensor de la descarga del Embalse La Regadera

El hidrograma de rebose del Morning Glory del embalse La Regadera se muestra en la Ilustración 103 junto con el hidrograma generado en la descarga de la presa al adicionar las descargas de la válvula de fondo. El pico de la descarga fue de 26 m³/s.

Al obtenerse una calibración satisfactoria para la cuenca del río Curubital se realizó el tránsito en el embalse la Regadera obteniéndose los resultados mostrados en la Ilustración 104.

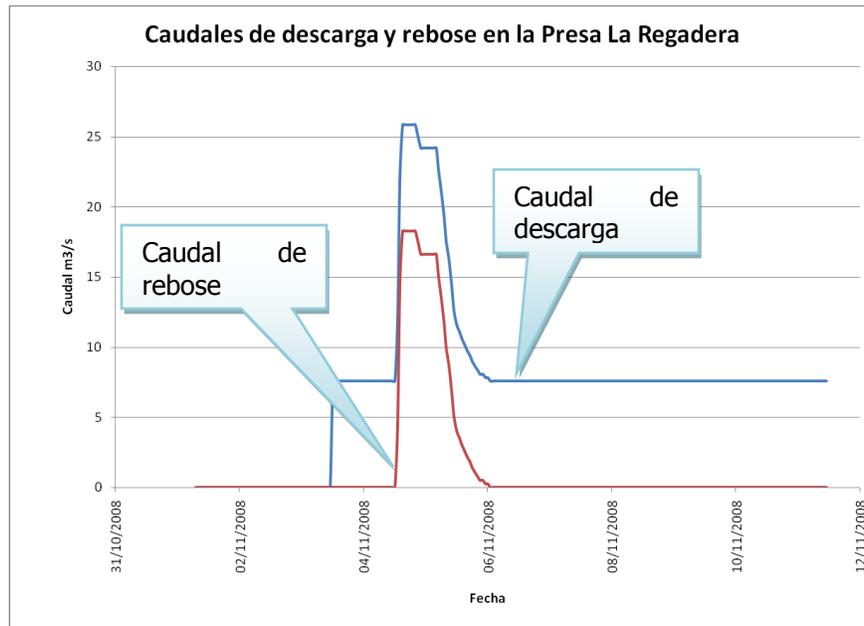


Ilustración 103. Caudales de descarga y rebose en la presa La Regadera

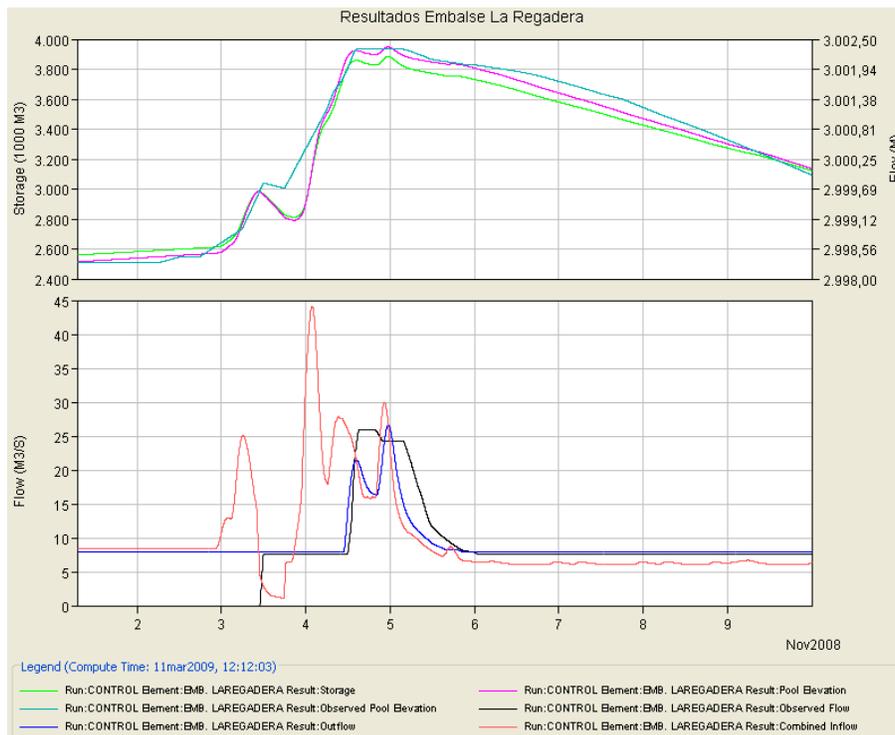


Ilustración 104. Resultado del tránsito de creciente en el Embalse La Regadera

Los registros de caudal en la zona de la rápida tomados por la estación Gravilleras y en la mira ubicada en la rápida se muestran en la Ilustración 105. Las diferencias de medición son atribuibles a los errores de precisión al realizar lecturas sobre la mira en la rápida y a la toma en intervalos de tiempo durante los cuales se produce pérdida de datos. El valor de caudal pico en la rápida fue de 36 m³/s, implicando un aporte de aproximadamente 10 m³/s de la cuenca media.

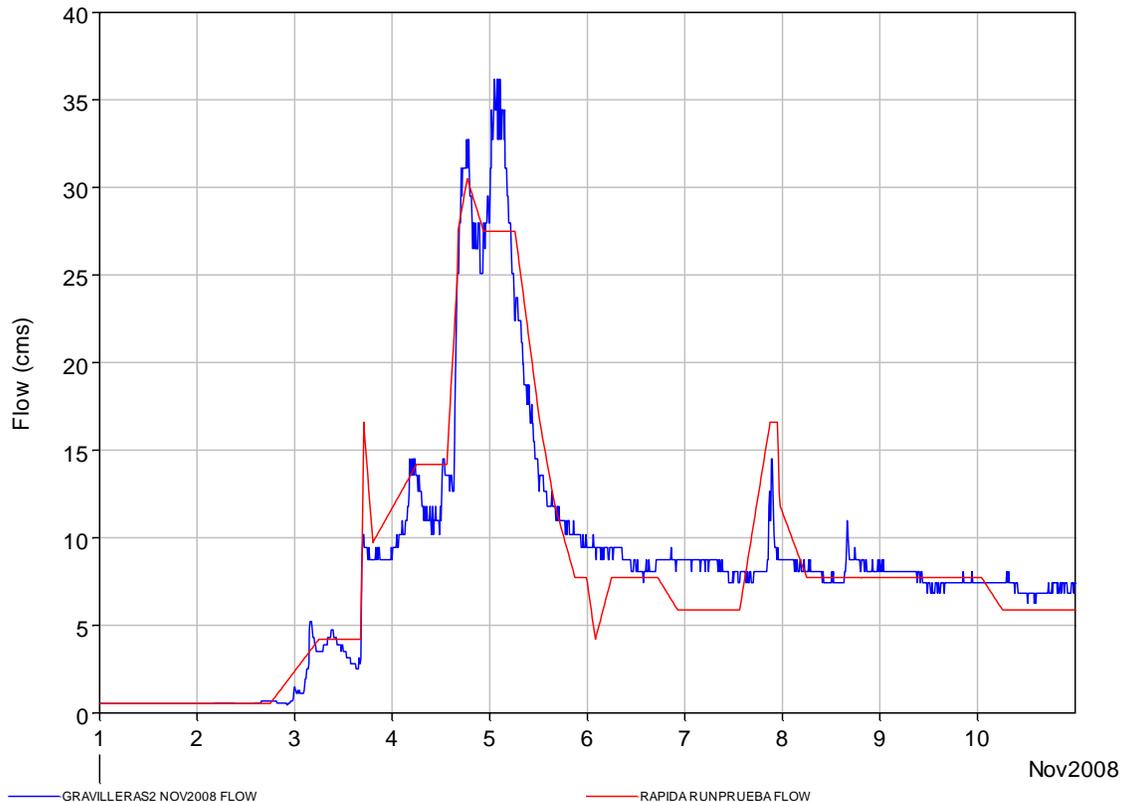


Ilustración 105. Comparación registros de caudal estación telemétrica Gravilleras y lecturas en la mira localizada en La Rápida.

El segundo punto de medición luego de la rápida corresponde al pit Sánchez y González. La comparación de valores simulados con el software HEC RAS y observados se muestra en la Ilustración 106. Las diferencias más importantes se observan en la porción descendente del hidrograma, las razones para estas discrepancias podrían radicar en:

- Errores inherentes a la esquematización y modelación utilizada.
- Errores en la curva de nivel-volumen del pit, ya que la topografía no está completa haciendo falta la zona correspondiente a el pit Manuel Rey por lo que fue necesario utilizar la curva generada por la firma HVM en su estudio de restitución del cauce del río Tunjuelo.

- La geometría del puente que se encuentra localizado en el meandro cortado del río Tunjuelo aguas abajo del pit Sanchez y González no tiene topografía por lo que la geometría utilizada es aproximada. Adicionalmente, vale la pena resaltar que dicho puente es una zona de acumulación de basura y buchón que puede modificar el comportamiento hidráulico de esta zona.
- Errores en la toma de datos de nivel
- Errores en la medición de caudal

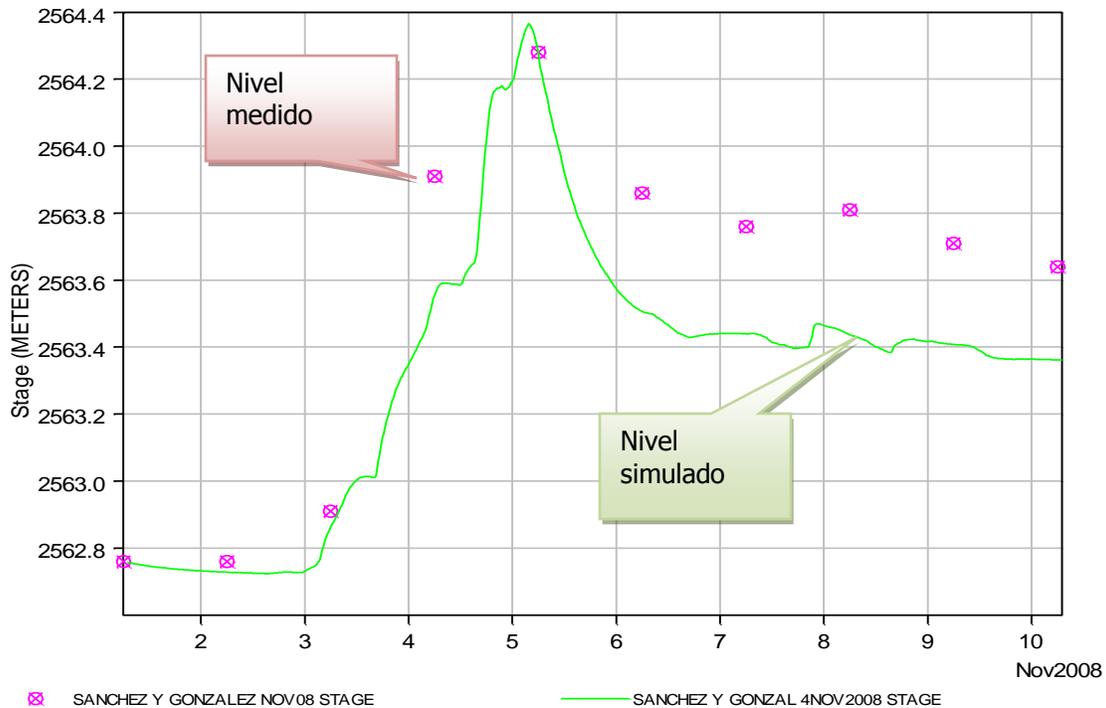


Ilustración 106. Comparación de niveles simulados y medidos en el pit Sanchez y González.

En la Ilustración 107 se muestran los resultados de la simulación con el software HEC RAS y los niveles observados en el pit Pozo Azul, con una buena correspondencia entre los dos.

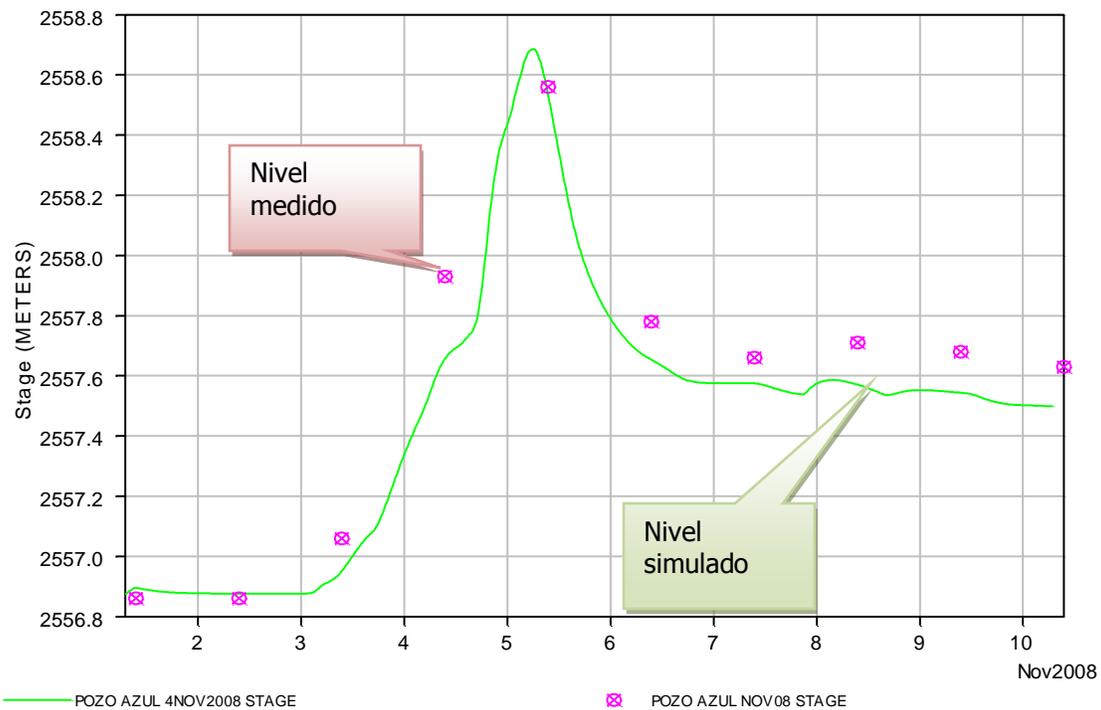


Ilustración 107. Comparación de niveles simulados y medidos en el pit Pozo Azul.

Aguas abajo de la zona de gravilleras la cuenca con el aporte más importante es la de la quebrada Chiguaza cuya calibración se realiza a medida que se cuenta con los datos de las estaciones de precipitación Moralba y Juan Rey y los datos del sensor de nivel Molinos. Para mayor información sobre el procedimiento y los resultados de la calibración de la cuenca de la quebrada Chiguaza consultar el informe sistema de alerta temprana de la quebrada Chiguaza.

El siguiente punto de medición aguas abajo corresponde al sensor San Benito, cuyos resultados al utilizar un coeficiente de Manning constante de 0.04 se observan en la Ilustración 108, siendo la correspondencia entre picos significativamente buena lo mismo que en los tiempos de ocurrencia. Cabe resaltar que se presentan discrepancias que pueden ser debidas a:

- Errores inherentes a la esquematización y modelación utilizada.
- Errores en la estimación de los caudales aportados por los tributarios (Q. Trompeta y Q. Chiguaza). Cabe aclarar que la Quebrada Chiguaza cuenta con un sensor de nivel en la parte media de la cuenca que permitió estimar el caudal en este punto. Los caudales restantes fueron estimados con el modelo lluvia-escorrentía de la cuenca sin proceso de calibración.

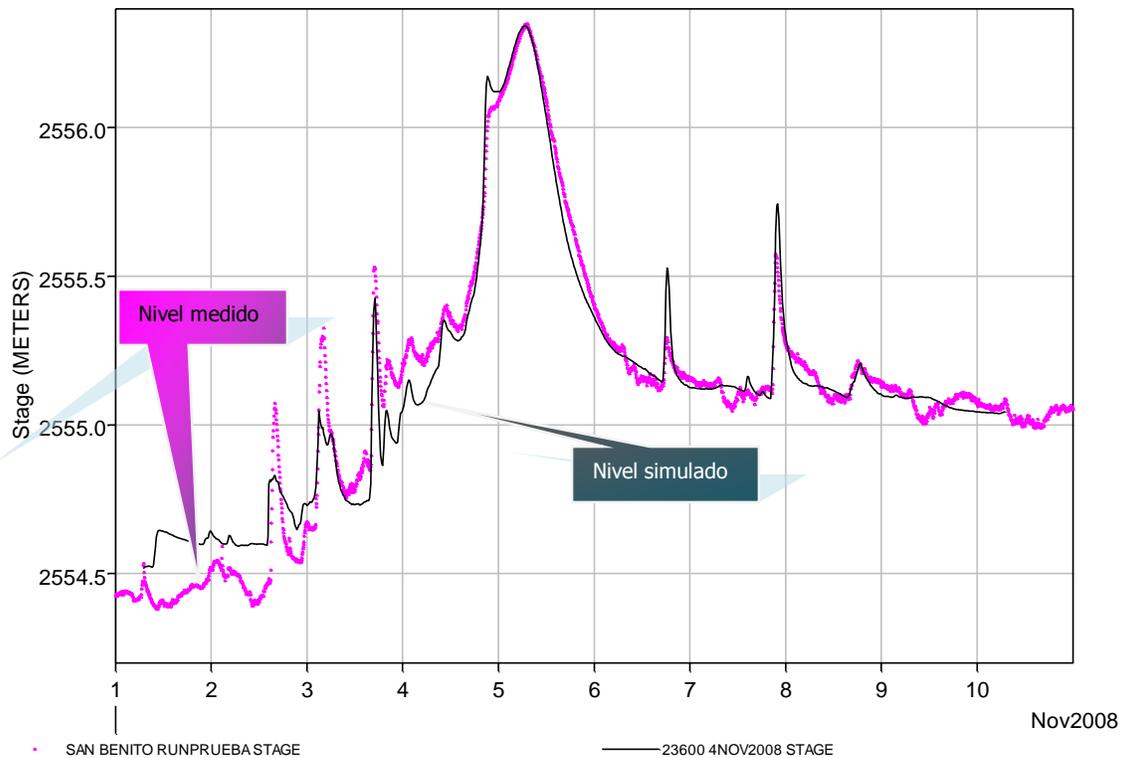


Ilustración 108. Comparación de niveles simulados y medidos en el sensor San Benito para la creciente del 1 al 11 de noviembre de 2008

Al realizar el tránsito de la creciente con el modelo desarrollado en el software HEC RAS y utilizando un coeficiente de manning de 0.04 para todo el río se obtuvieron las gráficas mostradas en la Ilustración 109 y la Ilustración 110, lográndose una buena representación de la creciente registrada. En la entrega del río Tunjuelo al río Bogotá se estima un caudal pico de 32.3 m³/s. Los resultados se resumen en la Tabla 37.

Punto de Calibración	Valor Pico Observado	Valor pico simulado	Δ	Tiempo pico obs.	Tiempo pico simul	Δ
San Benito	2556.349	2556.343	0.006	05NOV2008, 07:05	05NOV2008, 06:45	00:20
Kennedy	2545.438	2545.436	0.002	05NOV2008, 11:35	05NOV2008, 10:00	01:35
Independencia	2543.442	2543.428	0.014	05NOV2008, 11:35	05NOV2008, 10:45	00:50

Tabla 37. Resultados de la calibración del modelo hidrodinámico creciente 1-11 noviembre de 2008

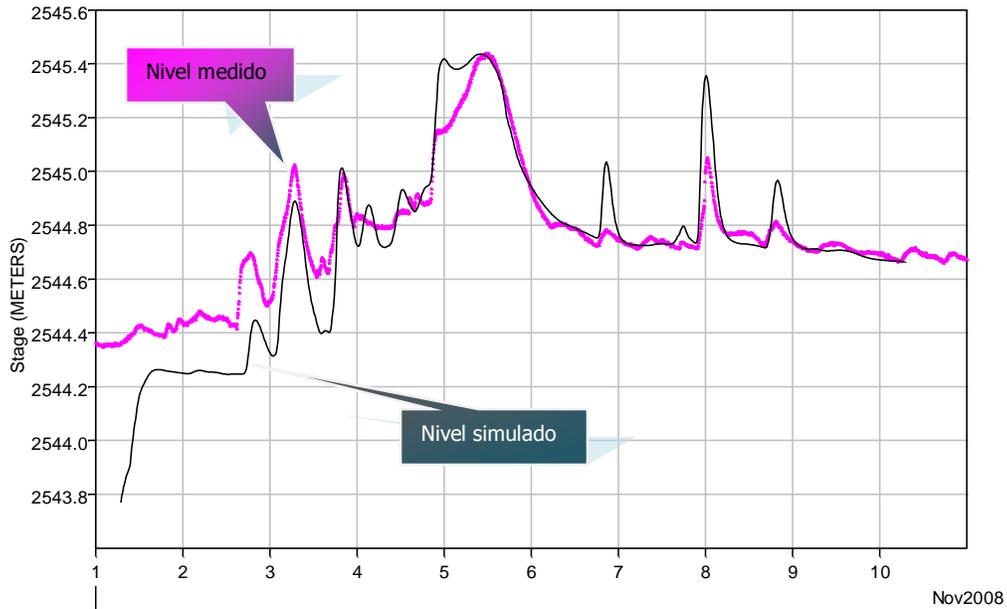


Ilustración 109. Comparación de niveles simulados y medidos en el sensor Kennedy para la creciente del 1 al 11 de noviembre de 2008

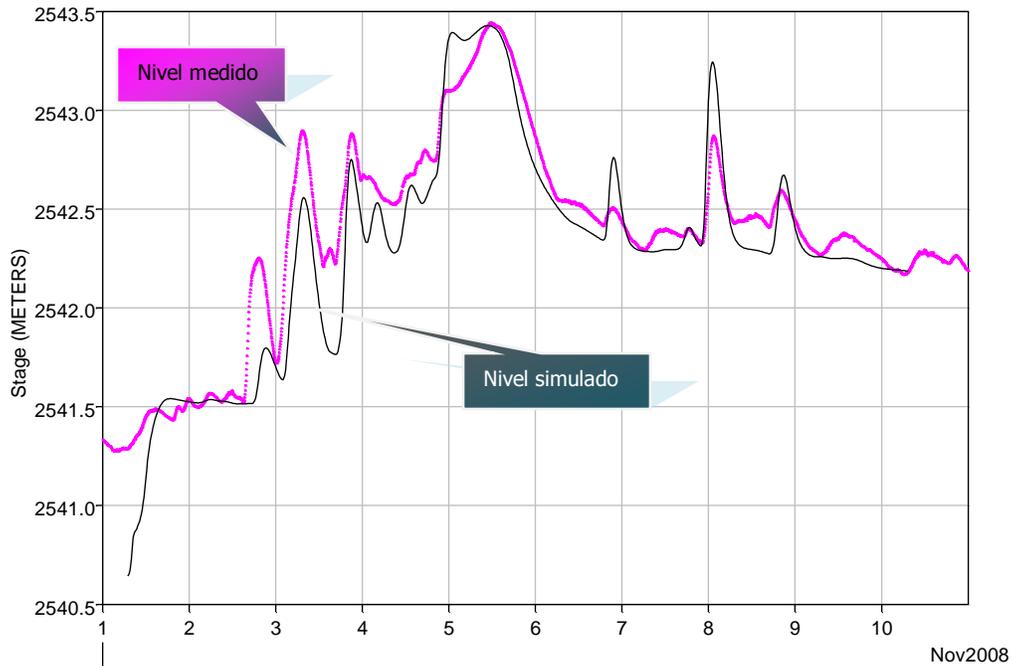


Ilustración 110. Comparación de niveles simulados y medidos en el sensor Independencia para la creciente del 1 al 11 de noviembre de 2008

10 PROTOCOLO DE EMISIÓN DE ALERTAS

Como resultado del análisis de toda la información disponible y de las simulaciones realizadas se desarrolló el protocolo de emisión de alertas de inundación del río Tunjuelo. Este protocolo determina las actividades a realizar y las entidades responsables por las mismas durante la emisión de alertas. Éste documento constituye la carta de navegación durante el seguimiento de las crecientes en el río Tunjuelo y la emisión de alertas. De acuerdo con los estándares de calidad de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias se desarrollo un documento principal en el que se describe de manera resumida el funcionamiento del sistema y como parte integral del protocolo se encuentran sus anexos correspondientes al diagrama de flujo, a la matriz de alertas en donde se indican las actividades de cada zona del río para cada nivel de alerta, el sistema de comunicaciones que soporta el protocolo y el plano base del sistema.

El documento corresponde al Anexo L.

11 INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES

La información del sistema de alerta se difunde a través de canales previamente establecidos. La consolidación de dichos canales se encuentra representada en el protocolo de comunicaciones que hace parte del protocolo de emisión de alertas (ver Anexo L).

Cabe aclarar que las comunicaciones se llevan a cabo durante la ejecución del sistema en 3 instancias internas:

1. Centro de monitoreo, pronóstico, evaluación y emisión de alertas técnicas: en esta instancia se maneja toda la información de monitoreo. Dicha información es consolidada por el Grupo de Estudios de la DPAAE. Los mecanismos de comunicación en esta instancia son variados y dependen de la tecnología con la cual se cuente para la transmisión de datos. La información que emite esta parte del sistema corresponde a un boletín del sistema de alerta que es enviado a una lista de destinatarios previamente determinada por la DPAAE.
2. Operación del río Tunjuelo: esta instancia está conformada por personas que dentro de la correspondiente entidad participan en la toma de decisiones inmediatas sobre la operación del río, por ejemplo la decisión de solicitar la operación de las compuertas de Alicachín. Se aclara que la DPAAE es exclusivamente receptora de la información y no participa directamente en la toma de decisiones de la operación del río.
3. Instancia de toma de decisiones: esta instancia está conformada por la autoridad máxima de cada entidad que toma decisiones y que indica los lineamientos necesarios al PMU o COE (en caso de estar conformado) a través del COMITÉ DE ALERTAS DEL RÍO TUNJUELO, el cual tiene la función de recomendar las alertas y acciones pertinentes tomando como base los protocolos preestablecidos y utilizando la información generada por el Centro de monitoreo, pronóstico, evaluación y emisión de alertas técnicas y la información disponible en el módulo del SAT del río Tunjuelo.



Ilustración 111. Instancias de comunicación del sistema de alerta temprana del río Tunjuelo

Cabe mencionar que todo el sistema de comunicaciones se soporta en el SIRE, el cual cuenta con las herramientas para la emisión de la información, de la siguiente manera:

1. Visualización de todos los datos de monitoreo
2. Evaluación automática de datos y emisión de mensajes de alerta vía SMS (Short Message Service – Servicio de mensajes cortos) a una lista de teléfonos celular previamente determinada.
3. Herramientas para la emisión de boletines (requerimiento en construcción)
4. Envío de boletines a la lista de correos electrónicos previamente determinada.

12 LIMITACIONES DEL SISTEMA DE ALERTA

Es muy importante tener en cuenta a nivel general que el sistema de alerta está basado en la información disponible por la DPAE a marzo de 2009 y que el río como sistema dinámico está sometido a cambios constantemente por lo cual el sistema de alerta debe actualizarse periódicamente. El buen funcionamiento del sistema de alerta depende de que los datos en los que está basado correspondan adecuadamente al estado real del río, por lo cual cada vez que el río sufra cambios el sistema debe ser actualizado.

12.1 Sistema de monitoreo

- Aunque la red hidrometeorológica de Bogotá – RHB operada por la DPAE tuvo una expansión, los datos obtenidos son puntuales y dada la complejidad de la distribución espacio temporal de las precipitaciones en la cuenca del río Tunjuelo el cubrimiento de la red es limitado y pueden ocurrir tormentas que no sean registradas o adecuadamente registradas por la red. Con respecto a la medición de caudales, en la actualidad no se cuenta con curvas de calibración basadas en mediciones de campo en el río. La medición de caudal en la rápida se realiza con la curva de calibración teórica de esta estructura.
- Los datos obtenidos en la rápida son tomados por observadores lo cual hace que se tomen en intervalos de tiempo que en algunas ocasiones generan pérdida de información importante de la creciente que se está presentando.
- Actualmente no se ha implementado en el sistema de monitoreo la medición de caudales de los tributarios del río Tunjuelo con excepción de un punto en la cuenca media de la quebrada Chiguaza, lo cual ha impedido la calibración de un modelo lluvia escorrentía para las subcuencas que conforman la cuenca del río Tunjuelo. Este hecho, genera que los datos obtenidos del modelo generado en el HEC HMS constituyen una estimación que puede estar sujeta a errores considerables en los caudales de aporte al río.

12.2 Sistema de pronóstico hidrológico

- Debido a las limitaciones del monitoreo el sistema de pronóstico hidrológico funciona solo para las cuencas de la quebrada Trompeta, Chiguaza, Limas, San Vicente, Ismael Perdomo y las cuencas que aportan sin cauce definido entre las estaciones San Benito e Independencia.
- La calibración a la que fue sometida el modelo hidrológico del río Tunjuelo mostró inconsistencias y por lo tanto no es de alta confiabilidad. Adicionalmente, la serie de datos disponible para la calibración es corta en especial en lo que se refiere a algunas estaciones de medición de precipitación recientemente instaladas.
- El método del SCS fue utilizado para la modelación de las cuencas, los coeficientes de escorrentía fueron estimados de acuerdo con el tipo de suelo y la cobertura de la cuenca, el tiempo de concentración fue estimado siguiendo el método descrito en el TR-55, por lo tanto la modelación está sujeta a las limitaciones inherentes a las fórmulas y esquematizaciones utilizadas.

- No es posible realizar un pronóstico de lluvia por lo que los caudales aportados se estiman de acuerdo con la lluvia caída hasta el tiempo en el cual se realiza el pronóstico.

12.3 Sistema de pronóstico hidrodinámico

- **TOPOGRAFÍA:** Existe falta de información topográfica para algunos sectores del río. El de mayor relevancia corresponde a la confluencia de la quebrada Chiguaza con el río Tunjuelo que determina los umbrales de alerta del barrio San Benito.
- **MEDICIONES DE CONDICIONES DE FRONTERA:** La condición de frontera aguas arriba del modelo corresponde a las lecturas realizadas por CEMEX en la rápida de Sánchez y Gonzalez, estas lecturas son tomadas con una precisión de 5 centímetros por lo cual el caudal calculado incluye un error proveniente de ésta medición. La condición de frontera aguas abajo corresponde al nivel del río Bogotá. Esta condición de frontera tiene un efecto importante en aproximadamente los últimos 4 kilómetros del río Tunjuelo, desafortunadamente la DPAE no cuenta con sensores localizados en esta zona, la EAAB cuenta con el sensor La Isla, localizado en el río Bogotá aguas arriba de la desembocadura del río Tunjuelo. Este sensor ha sido utilizado para las simulaciones que se han realizado hasta ahora y su localización permite tener una buena medición del control del río Bogotá sobre el río Tunjuelo.
- **DATOS DISPONIBLES PARA CALIBRACIÓN:** Debido a que el río Tunjuelo fue sujeto a una adecuación que cambió radicalmente su comportamiento hidráulico, los únicos datos de calibración disponible corresponden a dos crecientes de baja magnitud que se presentaron en el año 2008, por lo tanto el proceso de calibración no permite obtener un modelo de alta confiabilidad debido a que los datos disponibles son pocos y a que además no corresponden a crecientes de caudales mayores que permitan conocer el comportamiento del río bajo estas condiciones que son las generadoras de inundaciones.
- **MODIFICACIONES DEL RÍO:** El río Tunjuelo es un sistema muy dinámico, no solo como respuesta a los procesos morfológicos naturales sino a la intervención antrópica. La modificación traumática ocurrida en el año 2002 fue solo el comienzo de una serie de intervenciones en la dinámica fluvial. Ante la pérdida de cauce, se hicieron modificaciones en la zona de gravilleras que incluyeron la construcción de una rápida, el aislamiento del pit Santa María y su posterior drenaje con una incertidumbre alta del comportamiento de esta zona del río bajo condiciones de crecientes de gran magnitud del río Tunjuelo. A la salida de la zona de gravilleras se construyó la estructura de control de crecientes que modificó la hidráulica de la zona todo lo anterior es adicional al proyecto Cantarrana que implicó la construcción de la presa Cantarrana y el dragado y realce de jarillones del río desde la estructura de control hasta la desembocadura del río. Todos estos cambios en la hidráulica y la morfología del río implican incluir estas modificaciones en el modelo de pronóstico sin suficientes datos previos que permitan una calibración confiable y por lo tanto los resultados obtenidos de la aplicación de fórmulas con coeficientes estimados reducen la precisión de los resultados obtenidos.

- **LIMITACIONES DE LA FORMULACIÓN MATEMÁTICA:** El modelo del río Tunjuelo está desarrollado en el software HEC RAS, el cual, aplicando diferencias finitas soluciona las ecuaciones de St Venant de forma unidimensional. Esta esquematización matemática constituye una simplificación del comportamiento del río. Adicionalmente, la solución de las ecuaciones requiere la aproximación por intervalos de tiempo y espacio y la determinación de parámetros para la solución de las ecuaciones de tal forma que se garantice la estabilidad del modelo, siendo la regla que a mayor estabilidad menor precisión de la solución matemática.
- **ESTADO DE LAS ESTRUCTURAS:** Uno de los factores que ha mostrado tener alta influencia en el pronóstico es el estado de las estructuras en el momento de una creciente. Cuando las estructuras construidas en el cauce se encuentran con algún grado de obstrucción debido a la basura o material de arrastre durante una creciente, este hecho modifica considerablemente el comportamiento hidráulico de la estructura incluyendo errores en el pronóstico.
- **EMISIÓN AUTOMÁTICA DE ALERTAS:** La emisión automática de alertas está sujeta a la suscripción de un contrato con el proveedor del servicio de mensajes SMS (Servicio de mensajes cortos a celular) lo que implica que existen periodos del año en el cual no se cuenta con este servicio debido a que el mismo se encuentra en proceso de contratación, lo cual reduce notablemente la robustez del sistema debido a que la detección depende de la observación directa de los datos en el módulo del sistema de alerta del río Tunjuelo en el SIRE lo cual no puede ser garantizado el 100% del tiempo.
- **LIMITACIONES EN EL INGRESO AUTOMÁTICO DE LOS DATOS:** Actualmente, existen datos que son ingresados manualmente al sistema de pronóstico, lo que involucra la posibilidad de un error humano en el ingreso como es el caso del monitoreo de la cuenca alta del río Tunjuelo.
- **TIEMPO DE AVANCE PARA EMITIR EL PRONÓSTICO Y PRECISIÓN DEL MISMO:** Dada la estructuración del modelo, los pronósticos pueden ser emitidos con aproximadamente 4 horas de antelación en la zona de San Benito (ya que este es el tiempo aproximado de tránsito en la zona de canteras), la precisión de este pronóstico se ve influenciada por los siguientes factores (además de los ya explicados):
 - Si se incrementa el tiempo de avance del pronóstico involucrando una estimación del caudal basándose en los datos de descarga del embalse La Regadera, la precisión del pronóstico disminuye.
 - Si se presentan crecientes en las quebradas tributarias, el pronóstico puede alejarse de los datos medidos dado que se involucra el error de la estimación de los caudales de estas cuencas.

Para el caso de la zona monitoreada por los sensores de Kennedy e Independencia, el tiempo de avance para el pronóstico es mayor, de alrededor de 14 horas dependiendo de las condiciones pero la precisión se ve influenciada por los siguientes factores:

- El ingreso de caudal a partir de la zona de gravilleras es considerable si se presentan lluvias en la cuenca media y las estimaciones de caudal involucran un error que puede ser considerable en la estimación de los niveles esperados.

- Los problemas de topografía en la zona de los embalses generan un error geométrico en el pronóstico de niveles aguas abajo disminuyendo la precisión.

12.4 Limitaciones en la operación del sistema de alerta

Existen limitaciones inherentes a la estructura del protocolo tales como:

- **PROBLEMAS DE TRANSMISIÓN DE LOS DATOS DE MONITOREO:** dado que la información de monitoreo proviene de diferentes fuentes, en algunos casos se pierde comunicación con las entidades que lo están ejecutando. El caso más recurrente corresponde a la información proveniente de la EAAB que presenta dificultades para ser recibida a tiempo.
- **LIMITACIONES PARA REALIZAR EL MONITOREO VISUAL EN EL RIO:** Dada la longitud del río a cubrir (25 Km), la inspección de jarillones está limitada a las áreas que han sido identificadas con anterioridad como problemáticas pero esto no implica que no se presenten rompimientos en otras zonas que no han sido identificadas, lo mismo ocurre con los problemas de obstrucciones en el río y reflujos.

13 CONCLUSIONES

- El sistema de alerta desarrollado para el río Tunjuelo ha probado ser una herramienta invaluable para la protección de la vida y propiedad de los habitantes de las zonas de amenaza del río, pero también ha constituido un objetivo común para las entidades del Distrito que participan en el manejo del río, para la empresa privada (CEMEX) y la comunidad. El sistema de alerta tiene un enorme valor agregado reflejado en el acercamiento de las entidades del distrito para trabajar por un bien común permitiendo la participación de la comunidad. Aunque, se han presentado obstáculos principalmente en lo referente a la consecución de información, la DPAE ha buscado ser el coordinador del sistema de alerta logrando acuerdos y conciliando con los actores que intervienen en el manejo del río, constituyendo estas actividades en un paso adelante en el manejo de los recursos hídricos de la ciudad. Dada la dificultad y retrasos que en algunas ocasiones se presentan en la consecución de la información, es necesario que siempre se propenda por acuerdos interinstitucionales y por fortalecer el marco legal para que la DPAE pueda obtener con mayor eficiencia la información que requiere.
- De los datos de monitoreo disponibles se infiere que desde el año 2007 a la fecha, se ha producido una disminución en el volumen de almacenamiento de una creciente de gran magnitud en la zona de gravilleras debido a que el pit Santa María fue aislado y drenado.
- A pesar de la adecuación a la que ha sido sujeto el río Tunjuelo, todavía existen puntos en donde la capacidad hidráulica es reducida. En el primer tramo del río (Zona de Gravilleras – Embalse No 1) el punto crítico lo constituye la confluencia de la quebrada Chiguaza cuya adecuación todavía no ha finalizado y el Puente de Meissen en donde todavía hace falta la reconfiguración de los jarillones. En el segundo tramo del río (Embalse No 3- confluencia) las condiciones hidráulicas son mejores, pero la zona desde el barrio Islandia hasta el barrio El Jardín requiere especial atención debido a que las menores capacidades hidráulicas del tramo se concentran en esta zona hacia la margen izquierda del río.
- Los umbrales de alerta fueron obtenidos mediante suposición de flujo permanente en el río y bajo condiciones de unidimensionalidad lo cual no permite conocer con certeza las áreas inundadas durante los desbordes especialmente en el tramo comprendido entre el Embalse No 3 y la desembocadura.
- De acuerdo con el comportamiento histórico del río y con la calibración realizada se espera que la rugosidad del cauce presente un límite superior de coeficiente de Manning de 0.04 y uno inferior de 0.03 durante crecientes de gran magnitud. La sensibilidad de los umbrales a la variación del coeficiente de Manning puede ser considerada baja permitiendo confiabilidad de los umbrales especialmente para los definidos en los sensores de San Benito e Independencia. No obstante, debe tenerse precaución con los resultados obtenidos para el sensor de Kennedy debido a que la curva de calibración de la sección del puente en el que está instalado el sensor presenta variaciones importantes al modificar el coeficiente de Manning. Con el fin de contar con umbrales seguros para la emisión de alertas se tomaron los umbrales correspondientes al coeficiente de Manning de 0.04 para el sensor de Kennedy por ser inferiores a los obtenidos con el coeficiente de Manning de 0.03.

- Los adelantos tecnológicos y la automatización llevados a cabo para el manejo de datos y emisión de alertas han resultado en el aumento de la eficiencia y confiabilidad del sistema de alerta.
- El proceso de calibración del modelo hidrológico con los datos registrados durante el año 2008 mostraron inconvenientes debido a que se presentó falta de datos en algunos periodos de tiempo e incertidumbres en los resultados obtenidos.
- La calibración del modelo hidrodinámico fue satisfactoria lo mismo que su verificación, sin embargo los resultados obtenidos deben ser utilizados con precaución debido a que los datos base de calibración corresponden a dos crecientes de baja magnitud en el río.
- Cuando se presentan crecientes de baja magnitud en el río, se espera que los errores del modelo de pronóstico sean mayores debido a que la influencia de las crecientes de los tributarios en los niveles del río es mayor y estos valores de caudal tienen una incertidumbre alta.
- Aunque la red hidrometeorológica de Bogotá operada por la DPAE fue sujeta a una expansión, la toma de datos de manera puntual tiene limitaciones y pueden existir tormentas que no sean registradas o adecuadamente registradas dada la complejidad de los patrones espacio temporales de la precipitación en la ciudad.
- Además de los errores inherentes al modelo matemático se encontró que los errores de medición en la rápida son considerables debido a los intervalos en los cuales se toman los datos y a que existe una incertidumbre importante en la curva de calibración de esta estructura.

14 RECOMENDACIONES

- Los sistemas de alerta constituyen una medida de manejo de inundaciones no estructural que debe funcionar integralmente con las otras medidas no estructurales y con las medidas estructurales. Actualmente, el río se encuentra en el proceso de finalización de su adecuación con obras de control de inundaciones diseñadas para el periodo de retorno de 100 años. Este hecho no constituye la solución permanente a la amenaza de inundación del río, debido a que la amenaza es un concepto probabilístico y el contar con obras de protección para el periodo de retorno de 100 años para el escenario de diseño de Cantarrana y obras anexas mitiga de manera importante la amenaza pero no la elimina. Siempre existirá la probabilidad de una creciente mayor a la utilizada para el diseño de las obras, la ocurrencia de un escenario diferente al considerado para las obras o la posibilidad de un rompimiento de los diques de protección, más aun teniendo en cuenta que las condiciones hidrológicas son probabilísticas y cambiantes. Dado lo anterior, la continuidad y sostenibilidad del sistema de alerta es vital para contar con un sistema integral de manejo de inundaciones en la cuenca del río Tunjuelo, que considera medidas estructurales (Cantarrana, diques, embalses de amortiguación, dragados) y medidas no estructurales (zonificación y sistemas de alerta) para garantizar la protección de la vida y los bienes de los habitantes de las riberas del río Tunjuelo.
- Dado el carácter dinámico del río es de gran importancia que el sistema de alerta sea actualizado a medida que se introduzcan cambios en el río para que pueda continuar siendo un sistema de soporte de decisiones adecuado.
- A medida que se realice el seguimiento de las crecientes en la cuenca y se cuente con una base de datos más larga, se recomienda la realización de calibración y verificación del sistema de pronóstico con el fin de incrementar su confiabilidad.
- Establecer las condiciones de funcionamiento de la zona de gravilleras bajo las condiciones actuales, es decir, que tipo de protección existe entre los diques Pozo Azul y Santa María, como se piensa operar esa zona durante una creciente de gran magnitud y cuál sería el escenario esperado.
- Debido a que la estructura de control todavía se encuentra en el cauce del río y a que ésta fue diseñada originalmente para optimizar el volumen de almacenamiento disponible en los pits Santa María y Pozo Azul, es importante determinar el futuro de esta estructura y el escenario esperado en la zona de pits con almacenamiento reducido.
- Con el objetivo de garantizar el buen funcionamiento del sistema de pronóstico, la movilización del personal que compone el centro de pronóstico debe realizarse de manera planificada con el fin de contar con todos los equipos y conexiones necesarios así como con un servicio de internet lo suficientemente eficiente para no comprometer una ágil obtención de información.
- Ante la disminución de la capacidad de amortiguación de la zona de pits en Gravilleras debido a que aparentemente ya no se cuenta con el pit Santa María para un eventual almacenamiento, se recomienda verificar con los operadores de las minas los planes de contingencia ante una creciente de gran magnitud en la zona.
- Realizar la simulación bi dimensional del río para determinar la afectación de los barrios especialmente en la zona baja.

- Al realizar la evaluación de umbrales en el tramo comprendido entre el embalse No 3 y la confluencia, se encontró que la capacidad hidráulica del puente en el cual se encuentra localizado el sensor Kennedy es baja en comparación con las capacidades hidráulicas en el resto del tramo, lo cual podría implicar su salida de operación (sensor sumergido) con los caudales que estarían causando el primer desborde en el tramo. Por esta razón, se recomienda evaluar la posibilidad de reubicar este sensor de tal forma que no sea afectado por caudales altos para asegurar su operación en caso de desborde del río.
- Aunque la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB informó que realizó la instalación de válvulas antirreflujo en el río Tunjuelo, se recomienda vigilar las zonas que históricamente han presentado problemas por este fenómeno debido a que la falla de alguna de las válvulas podría generar nuevamente el escenario previo a la adecuación del río.
- Se recomienda realizar un levantamiento topográfico complementario al de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá debido a que falta información que es de gran importancia para el modelo de pronóstico del río. Dentro de esta información topográfica, la topografía de la zona de confluencia de la quebrada Chiguaza con el río Tunjuelo es prioritaria debido a que un desborde en este punto puede afectar el barrio San Benito.
- Se recomienda terminar lo más pronto posible la adecuación integral del río Tunjuelo, completando la adecuación de la quebrada Chiguaza y haciendo el cierre con los jarillones faltantes en esta zona y en el puente Meissen. Adicionalmente, se recomienda la verificación de la capacidad hidráulica de los puentes que se encuentran actualmente localizados sobre el río Tunjuelo por parte de la entidad responsable por estas obras, con el fin de que se garantice el gálibo necesario para el escenario de adecuación del río (periodo de retorno de 100 años).
- Se recomienda continuar con el proceso de incorporación y adaptación tecnológica para la automatización del manejo de datos del sistema de alerta con el fin de aumentar progresivamente su eficiencia.
- Se recomienda que se propenda por que las series de datos hidrometeorológicos sean lo más completas posible incluyendo la información que proporcionan las entidades del SDPAE, esto debido a que la pérdida de datos compromete los procesos de calibración y finalmente redundan en una confiabilidad reducida de los modelos.
- Se recomienda la verificación del funcionamiento de la estación la Unión ya que los datos obtenidos de esta estación para las crecientes del año 2008 muestran valores muy bajos comparados con los datos de las demás estaciones localizadas en la cuenca alta del río Tunjuelo.
- Es crucial que las subcuencas se monitoreen no solo en cuanto a lluvia sino también en cuanto a caudal con el fin de llevar a cabo una calibración, que permita una estimación adecuada de los caudales de aporte de los tributarios del río.
- Se recomienda evaluar la posibilidad de adquirir un radar para la ciudad de Bogotá que tenga cubrimiento en la cuenca del río Tunjuelo, con el fin de tener datos de precipitación de manera distribuida sobre la cuenca.
- Se requiere mantener continuamente un proceso de concertación entre todos los actores involucrados en el sistema de alerta para que las actividades que éste involucra se lleven a cabo de manera coordinada y de acuerdo con las posibilidades de cada entidad. Se recomienda que todos los procesos propuestos en este sistema que involucran a otras entidades, empresas y comunidad sean discutidos y aprobados por ellos para que el sistema pueda ejecutarse de la manera más adecuada posible.

- Se recomienda ubicar un sensor o punto de mira en la zona cercana a la desembocadura del río Tunjuelo con el fin de monitorear el remanso ocasionado por el río Bogotá.
- La confiabilidad de un modelo depende en gran medida de los datos con los que ha sido calibrado y la base de datos que lo respalda, por lo cual se recomienda realizar procedimientos constantes de verificación y recalibración con el fin de garantizar que realmente está simulando las condiciones reales del río Tunjuelo.
- Con el fin de tener control sobre el comportamiento hidráulico de las estructuras del río Tunjuelo, se recomienda gestionar constantemente un mantenimiento adecuado de las mismas.
- Se recomienda explorar los mecanismos para garantizar el funcionamiento del sistema de emisión de alertas automáticas vía SMS el 100% del tiempo con el fin de proveer robustez y confiabilidad al sistema de alerta.
- Teniendo en cuenta que uno de los problemas más graves durante una creciente del río Tunjuelo podría ser ocasionado por el rompimiento de los jarillones y que cubrir una longitud de 25 Km de jarillón presenta dificultades para las entidades del Distrito, se recomienda considerar la posibilidad de un sistema de monitoreo llevado a cabo por las comunidades que viven en las zonas protegidas por los jarillones.
- Para la retroalimentación del sistema de alerta es de crucial importancia tomar la información adecuada cada vez que se presente un evento de inundación en la cuenca. Dicha información es la herramienta para verificar la veracidad de los datos que se están obteniendo con el sistema de alerta, por lo tanto se recomienda que cada vez que ocurra una inundación se recopile la mayor cantidad de información posible siguiendo los lineamientos proporcionados por este documento.

GLOSARIO:

ALERTA: Advierte sobre la amenaza que puede ocasionar un fenómeno con efectos adversos para la población, el cual requiere de atención INMEDIATA. Esta se emite solamente cuando el evento es una amenaza inminente y cuando implique la movilización de personas y equipos (www.ideam.gov.co). Es un aviso urgente de un peligro inminente (Dirección Nacional de Protección Civi –Argentina Ministerio del Interior República Argentina).

MORNING GLORY: o vertedero de pozo es un tipo de vertedero en el cual el agua entra por un vertedero con forma de embudo, cae a través de un pozo vertical o inclinado y posteriormente es entregada al río aguas abajo a través de un conducto o túnel (Reclamation, 1987)

JICA: Agencia de Cooperación Internacional Japonesa

IDEAM: Instituto de Meteorología y Estudios Ambientales

EAAB: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

SIRE: sistema de información para la gestión del riesgo y atención de emergencias de Bogotá

NIVEL DE MONITOREO: Nivel en el cual se realiza patrulla de los jarillones obligatoriamente.

NIVEL DE DISEÑO DEL PROYECTO: Nivel al cual el flujo en el proyecto de control de inundaciones se encuentra a su máxima capacidad.

NIVEL PELIGROSO: Nivel en el cual el flujo en el proyecto de control de inundaciones es mayor a la capacidad máxima diseñada y donde se produce peligro extremo hacia la vida y propiedad en el evento de un rompimiento de los diques.

RÁPIDA: es un vertedero cuya descarga es conducida a través de un canal abierto. (Reclamation, 1987)

REFERENCIAS:

- Chanson, H., Ed. (2004). The hydraulics of open channel flow: and introduction, Elsevier.**
- Division, C. E. (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds. TR-55. U. S. D. o. Agriculture.**
- DPAE (2002). Evaluación de Riesgos para los barrios Mexico y Vila Jacqui por inestabilidad en los taludes aledaños a las gravilleras e inundación para los barrios Tunjuelito y por desbordamiento del río Tunjuelito debido al embalsamiento actual de las aguas dentro de las gravilleras. Geoingeniería.**
- EAAB (1997). SANEAMIENTO AMBIENTAL Y CONTROL DE CRECIENTES EN LA CUENCA DEL RIO TUNJUELO. CEI.**
- EAAB (2000). Diseño para construcción de las obras para el control de crecientes de la Cuenca del Río Tunjuelo.**
- EAAB (2002). Diseños para la construcción de las obras para el control de crecientes en la cuenca del río Tunjuelo. . INGETEC.**
- EAAB (2005). Estudio a nivel de factibilidad y diseño básico de las obras necesarias para la restitución del cauce del río Tunjuelo en el sector de canteras. HMV Ingenieros.**
- Engineers, U. A. C. o. (2003). "HEC-GEOHMS User´s manual."**
- Engineers, U. A. C. o. (2005). HEC-DSSvue Hec data storage system User´s Manual.**
- JICA (2006). The study on Monitoring and Early warning system for landslides and floods in selected areas in the capital district of Bogotá and Soacha municipality in the Republic of Colombia.**
- Proaño, F. (2002). Diagnóstico de Emergencias No 1479. D. d. P. y. A. d. Emergencias.**
- Reclamation, B. o., Ed. (1987). Design of small dams.**
- Sene, K., Ed. (2008). Flood Warning, Forecasting and Emergency Response, Springer.**

Anexo A. Correo de la empresa CEMEX S.A informando sobre el ajuste en el datum de las miras de monitoreo de la zona de pits

Carolina Rogelis

De: Ernesto Prieto Mejia [ernesto.prieto@cemex.com.co]
 Enviado el: Martes, 02 de Enero de 2007 03:00 p.m.
 Para: crogelis@fopae.gov.co
 CC: ERNESTO PRIETO MEJIA; JOSE LUIS GARNICA NOVA; jorge.valenzuela; MARIELA DEL PILAR ZABALA COLMENARES; agarzon; cabello@acueducto.com.co; carlosbellobla; jrosas@fopae.gov.co; rocasyminares@etb.net.co; jmtorre@yahoo.com; albgrot@yahoo.com; ogarcia@acueducto.com.co; Luis Eduardo Santamaria Montoya; NELSON PARRA PARRA; JHON JAIRO GIRALDO RAMIREZ
 Asunto: Rm: control de lagos hasta el día 02 de ENERO
 Datos adjuntos: PIEZOMETROS.xls; CONTROL 2..xls

Buenas tardes

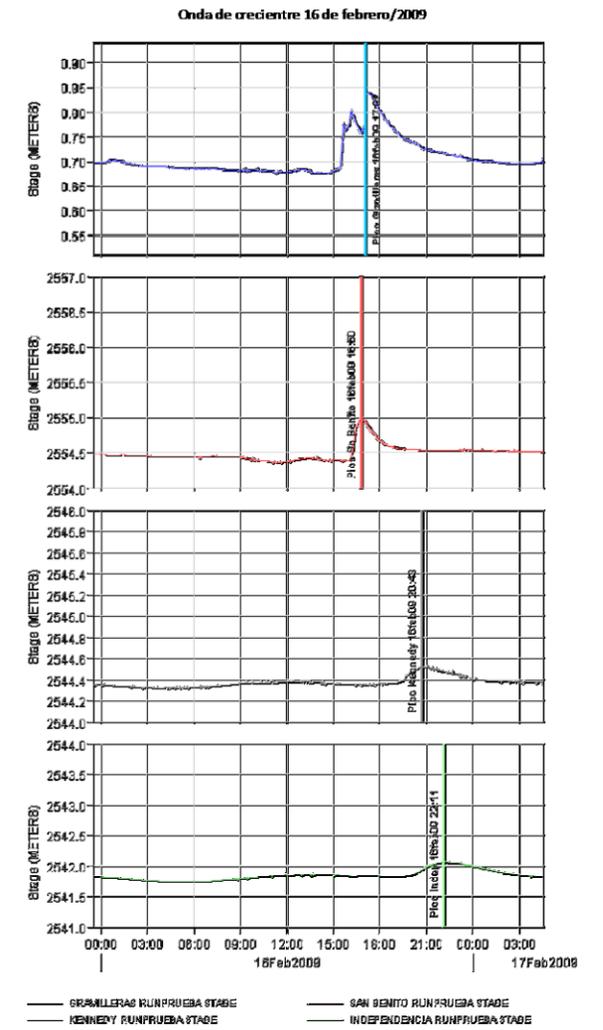
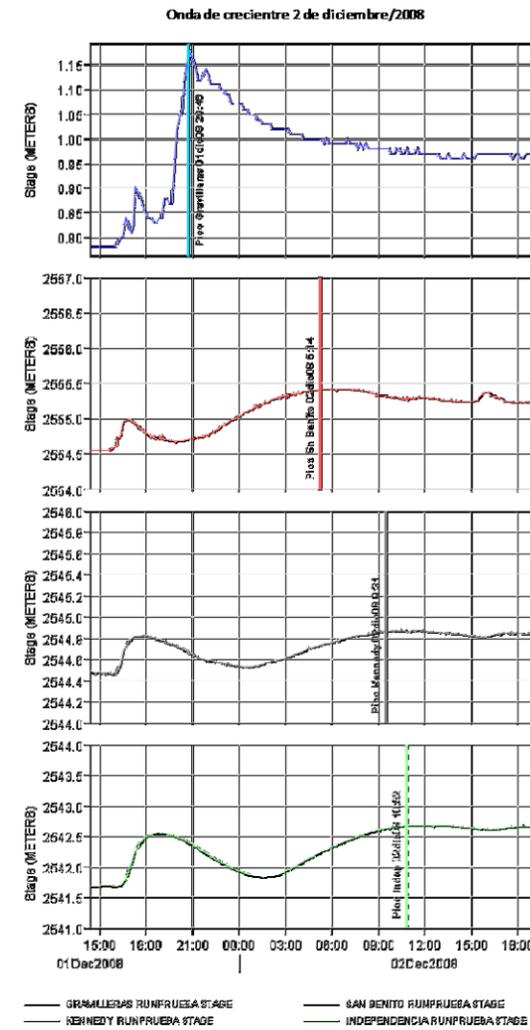
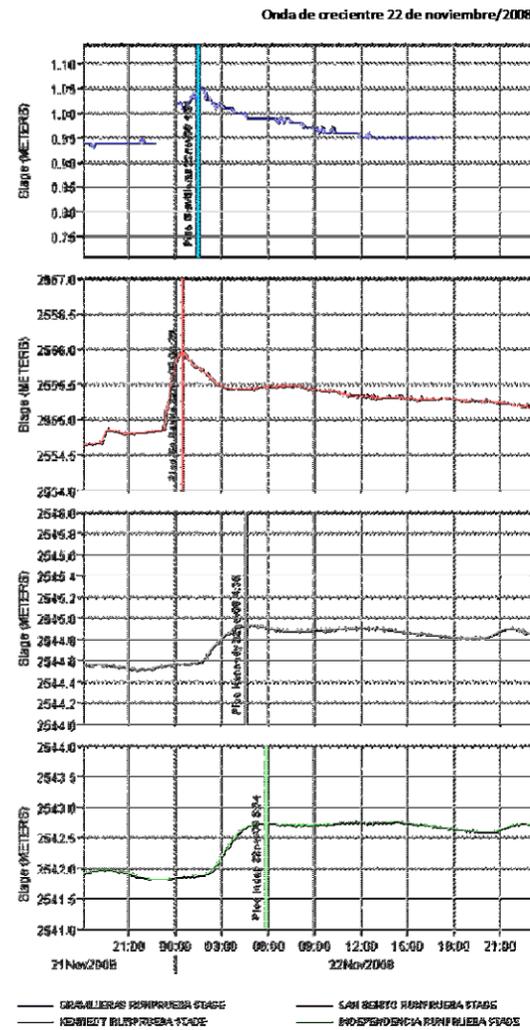
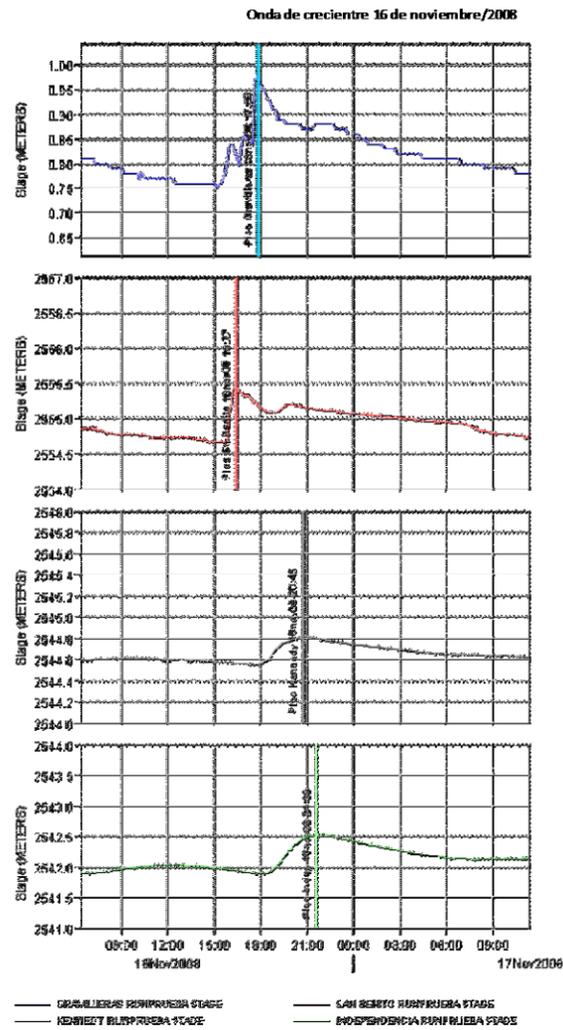
Se ajustaron las cotas de los lagos las cuales quedaron amarradas al sistema del Agustin Codazzi

Esto fue lo que aumento cada lago:

GUAQUERA	Diciembre 31,2006	10:10am	36,24	0
	Enero 1 ,2007	6:00am	37,05	0,81
INGENIESA	Diciembre 31,2006	10:35am	26,73	0
	Enero 1 ,2007	6:00am	26,16	-0,57
SANTAMARIA	Diciembre 31,2006	9:00am	57,47	0
	Enero 1 ,2007	6:00am	57,86	0,39
POZO AZUL	Diciembre 31,2006	9:40am	56,83	0
	Enero 1 ,2007	6:00am	56,98	0,15
MANUEL REY	Diciembre 31,2006	6:15am	62,52	0
	Enero 1 ,2007	6:00am	62,78	0,26

Anexo B. Medición de tiempos de tránsito entre los sensores de nivel Gravilleras, San Benito, Independencia y Kennedy para crecientes de baja magnitud

TIEMPOS DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE CRECIENTE PARA CUATRO CRECIENTES DE BAJA MAGNITUD ESCOGIDAS



CRECIENTE	PICOS MEDIDOS Y TIEMPOS DE VIAJE						
	GRAVILLERAS	Δt	Sn BENITO	Δt	KENNEDY	Δt	INDEPENDENCIA
Onda de crecientre 16 de noviembre/2008	16/11/2008 16:50	#	16/11/2008 16:27	4:18:00	16/11/2008 20:45	0:54:00	16/11/2008 21:39
Onda de crecientre 22 de noviembre/2008	22/11/2008 01:31	#	22/11/2008 00:26	4:09:00	22/11/2008 04:35	1:19:00	22/11/2008 05:54
Onda de crecientre 2 de diciembre/2008	01/12/2008 20:46	8:28:00	02/12/2008 05:14	4:17:00	02/12/2008 09:31	1:21:00	02/12/2008 10:52
Onda de crecientre 16 de febrero/2009	16/02/2008 17:07	#	16/02/2008 16:50	3:53:00	16/02/2008 20:43	1:28:00	16/02/2008 22:11
PROMEDIO				4:09:15		1:15:30	

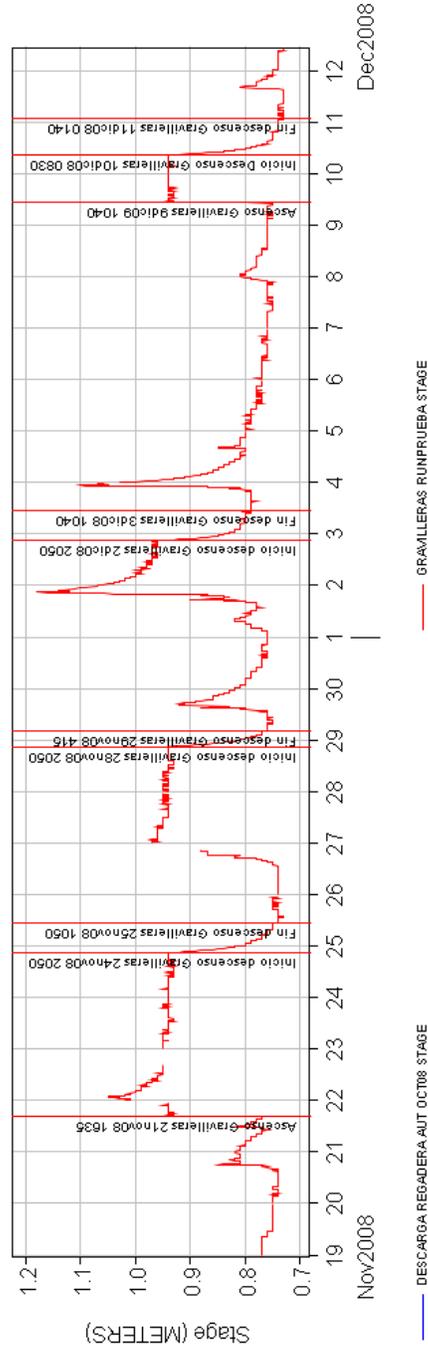
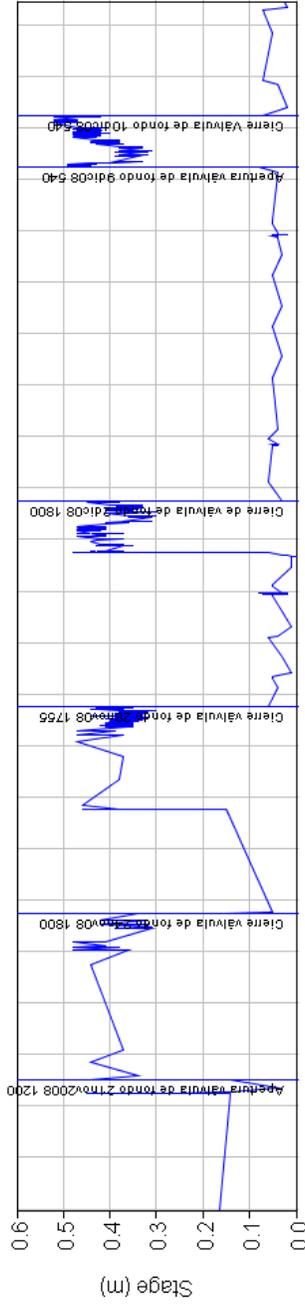
* Δt : Diferencia de tiempo entre el pico medido en la columna de la izquierda y el pico medido en la columna de la derecha representando el tiempo de viaje de la onda entre estos dos puntos.

Anexo C. Medición de tiempos de tránsito para crecientes de gran magnitud en todo el río Tunjuelo

Anexo D. Medición de tiempos de tránsito entre la presa La Regadera y la Zona de Gravilleras

MEDICIÓN DEL TIEMPO DE PROPAGACIÓN DE ONDA ANTE CIERRE Y APERTURA DE LA VÁLVULA DE FONDO DE LA PRESA LA REGADERA

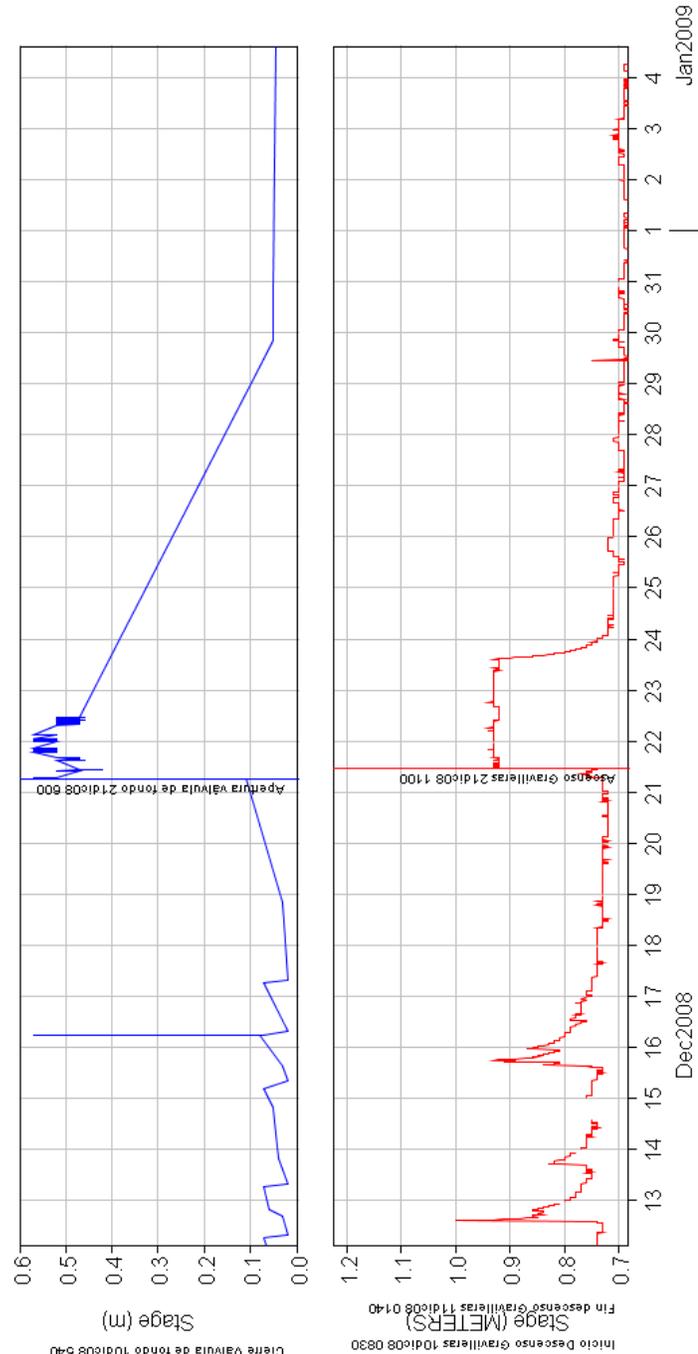
Fecha y hora apertura válvula de fondo	Fecha y hora apertura Ascenso Gravilleras	Δt	Fecha y hora cierre válvula de fondo	Inicio descenso Gravilleras	Δt	Fin descenso Gravilleras	Δt entre inicio y final	Δt entre cierre y 16:50:00
21/11/2008 12:00	21/11/2008 16:35	4:35:00	24/11/2008 18:00	24/11/2008 20:50	2:50:00	25/11/2008 10:50	14:00:00	16:50:00
			28/11/2008 17:55	28/11/2008 20:50	2:55:00	29/11/2008 04:15	7:25:00	10:20:00
			02/12/2008 18:00	02/12/2008 20:50	2:50:00	03/12/2008 10:40	13:50:00	16:40:00
09/12/2008 05:40	09/12/2008 10:40	5:00:00	10/12/2008 05:40	10/12/2008 08:30	2:50:00	11/12/2008 01:40	17:10:00	20:00:00



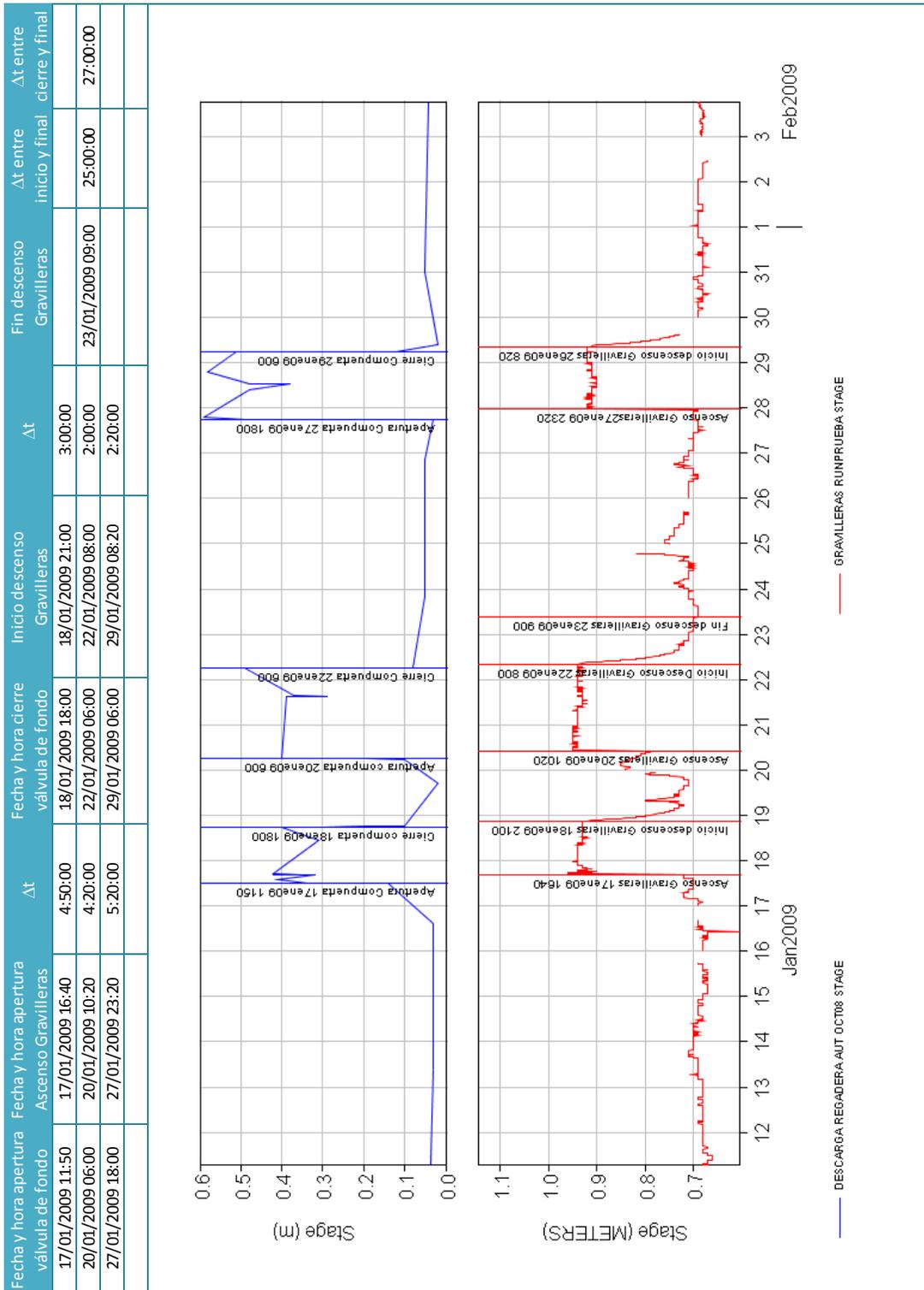
 DESCARGA REGADERA AUT OCT08 STAGE
 GRAVILLERAS RUNPRUEBA STAGE

MEDICIÓN DEL TIEMPO DE PROPAGACIÓN DE ONDA ANTE CIERRE Y APERTURA DE LA VÁLVULA DE FONDO DE LA PRESA LA REGADERA

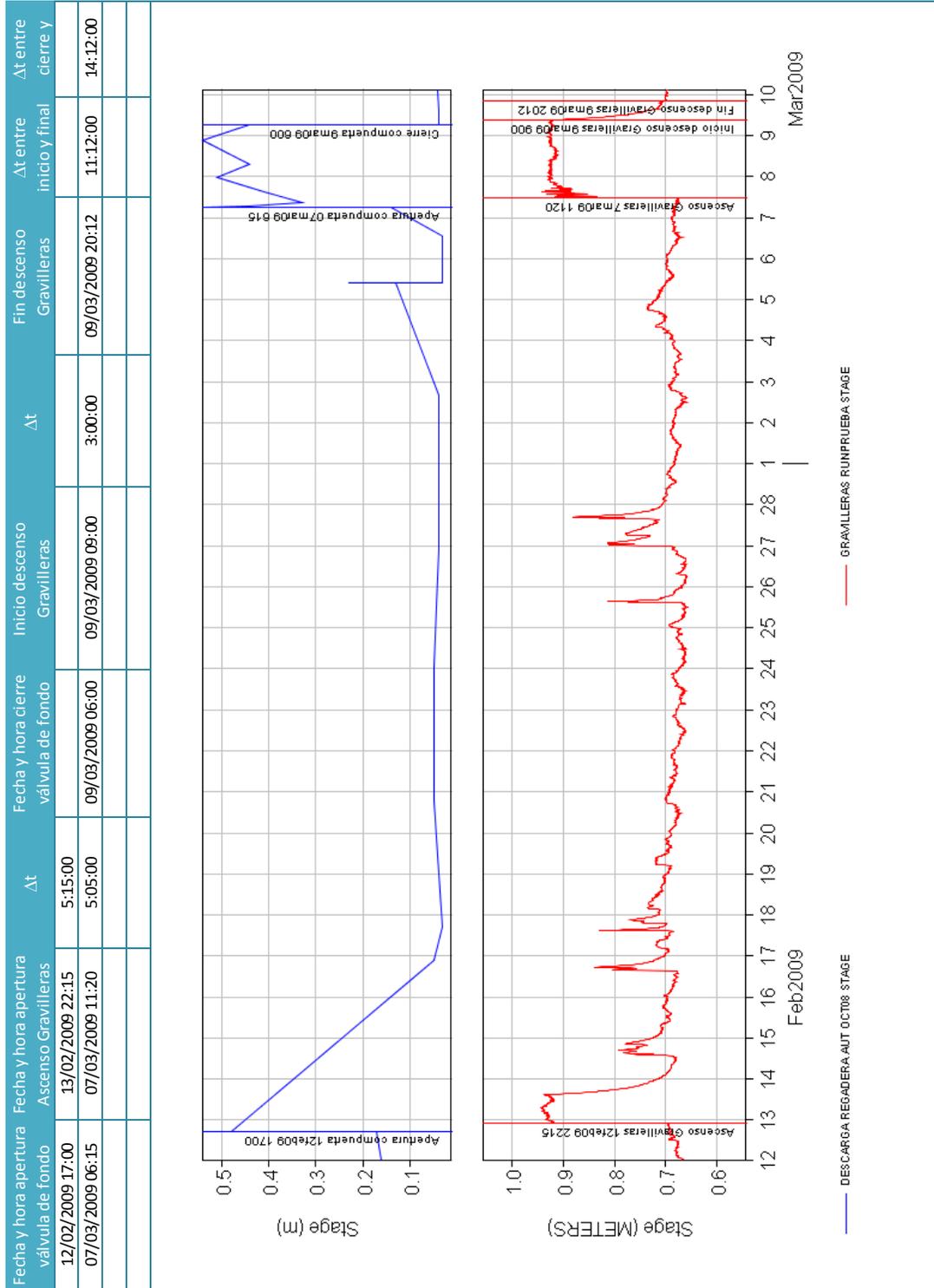
Fecha y hora apertura válvula de fondo	Fecha y hora apertura Ascenso Gravilleras	Δt	Fecha y hora cierre válvula de fondo	Inicio descenso Gravilleras	Δt	Fin descenso Gravilleras	Δt entre inicio y final	Δt entre cierre y
21/12/2008 06:00	21/12/2008 11:00	5:00:00						



MEDICIÓN DEL TIEMPO DE PROPAGACIÓN DE ONDA ANTE CIERRE Y APERTURA DE LA VÁLVULA DE FONDO DE LA PRESA LA REGADERA

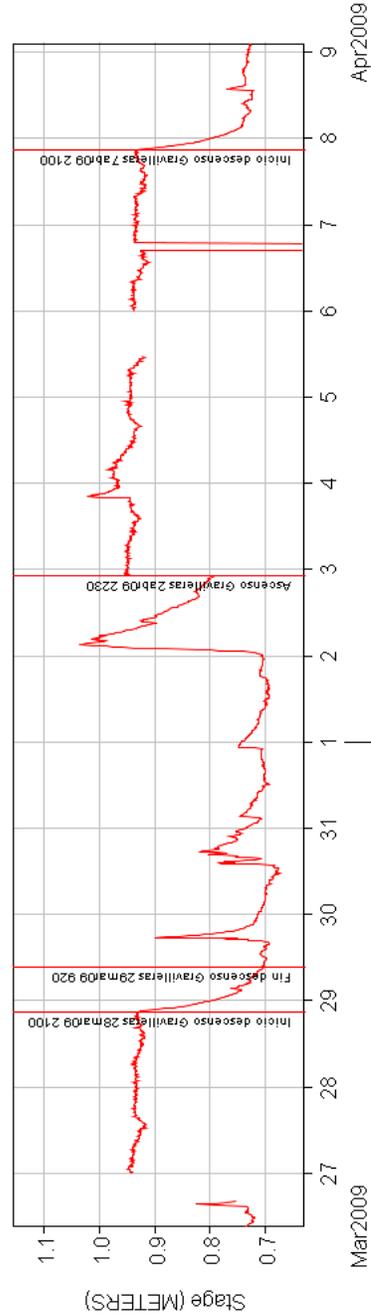


MEDICIÓN DEL TIEMPO DE PROPAGACIÓN DE ONDA ANTE CIERRE Y APERTURA DE LA VÁLVULA DE FONDO DE LA PRESA LA REGADERA



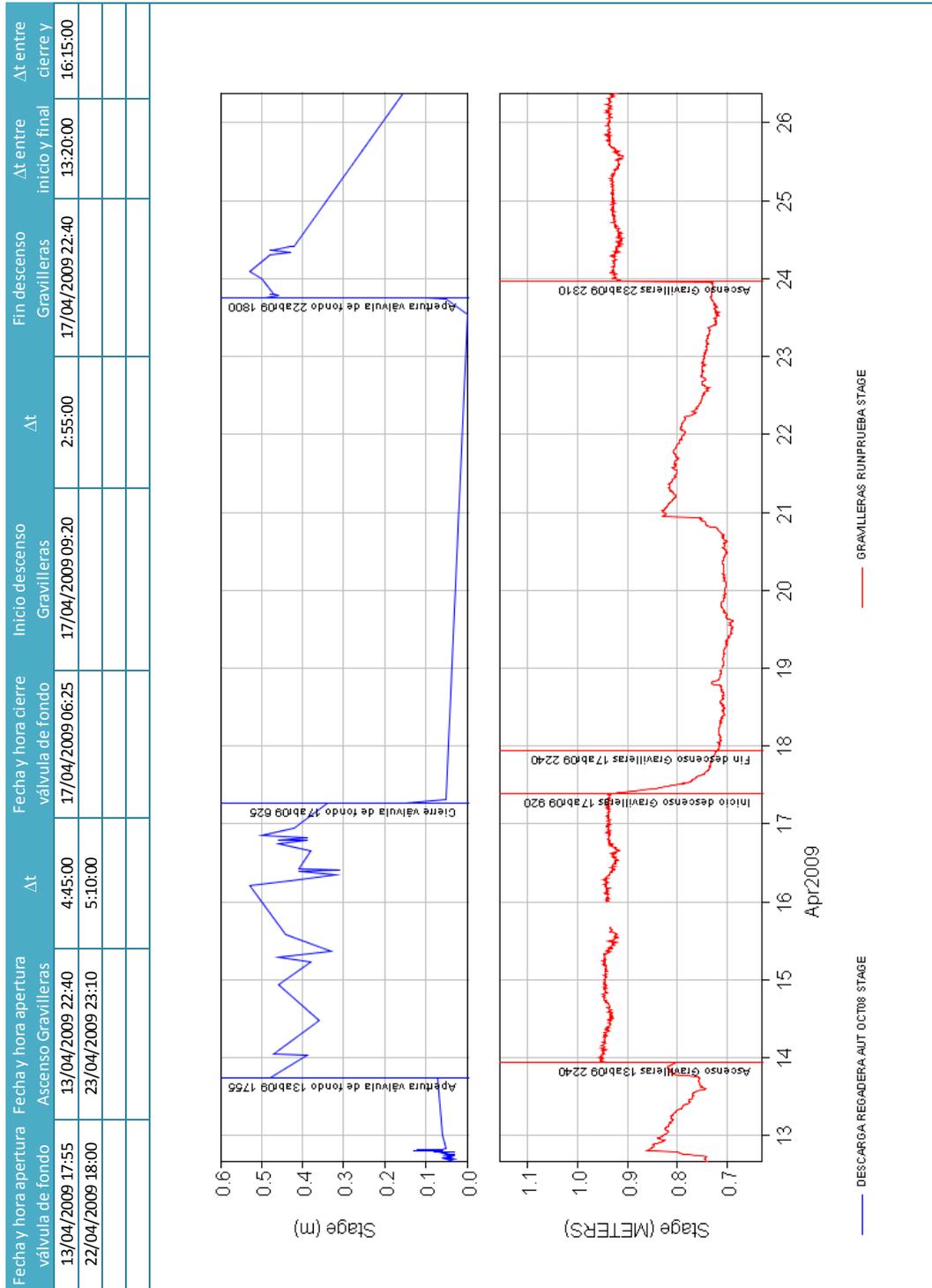
MEDICIÓN DEL TIEMPO DE PROPAGACIÓN DE ONDA ANTE CIERRE Y APERTURA DE LA VÁLVULA DE FONDO DE LA PRESA LA REGADERA

Fecha y hora apertura válvula de fondo	Fecha y hora apertura Ascenso Gravilleras	Δt	Fecha y hora cierre válvula de fondo	Inicio descenso Gravilleras	Δt	Fin descenso Gravilleras	Δt entre inicio y final	Δt entre cierre y 15:20:00
02/04/2009 17:50	02/04/2009 22:30	4:40:00	28/03/2009 18:00	28/03/2009 21:00	3:00:00	29/03/2009 09:20	12:20:00	15:20:00
			07/04/2009 17:50	07/04/2009 21:00	3:10:00			



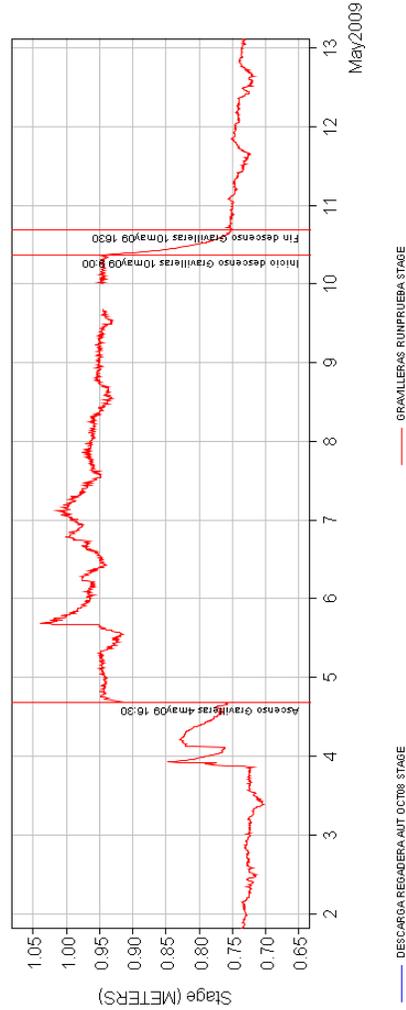
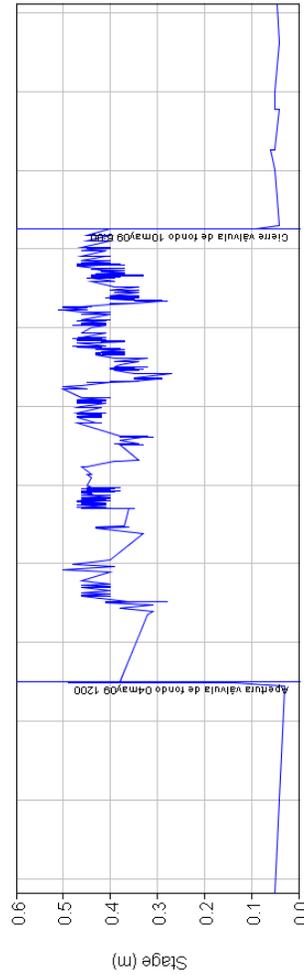
— DESCARGA REGADERA AUT OCT08 STAGE
— GRAVILLERAS FUNPRUEBA STAGE

MEDICIÓN DEL TIEMPO DE PROPAGACIÓN DE ONDA ANTE CIERRE Y APERTURA DE LA VÁLVULA DE FONDO DE LA PRESA LA REGADERA



MEDICIÓN DEL TIEMPO DE PROPAGACIÓN DE ONDA ANTE CIERRE Y APERTURA DE LA VÁLVULA DE FONDO DE LA PRESA LA REGADERA

Fecha y hora apertura válvula de fondo	Fecha y hora apertura Ascenso Gravilleras	Δt	Fecha y hora cierre válvula de fondo	Inicio descenso Gravilleras	Δt	Fin descenso Gravilleras	Δt entre inicio y final	Δt entre cierre y 10:30:00
04/05/2009 12:00	04/05/2009 16:30	4:30:00	10/05/2009 06:00	10/05/2009 09:00	3:00:00	10/05/2009 16:30	7:30:00	10:30:00



— DESCARGA REGADERA AUT OCT08 STAGE

— GRAVILLERAS RUNFRUEBA STAGE

Anexo E. Formatos de monitoreo de miras

Anexo de Excel

Anexo F. Formatos de monitoreo de jarillones

Anexo de Excel

Anexo G. Evaluación de la capacidad hidráulica del río Tunjuelo $n=0.04$

Anexo de Excel

Anexo H. Evaluación de la capacidad hidráulica del río Tunjuelo $n=0.03$

Anexo de Excel

Anexo I. Pesos asignados a las estaciones hidrometeorológicas mediante polígonos de Thiessen

Áreas polígonos de Thiessen sin incluir la Estación Moralba

<i>Nombre de la Cuenca</i>	<i>Estación</i>	<i>Área de influencia de cada estación (m²)</i>	<i>% área de influencia</i>
Bolonia	Juan Rey	354,461.2	0.17
Bolonia	Micaela	1,671,838.8	0.83
Total Bolonia		2,026,300.0	
BombeoTibanica	Sierra Morena	10,029,418.9	1.00
Total BombeoTibanica		10,029,418.9	
Botello	Quiba	8,321.9	0.00
Botello	Dona Juana	8,541,953.2	1.00
Total Botello		8,550,275.0	
CanoChuniza	Juan Rey	199,305.7	0.09
CanoChuniza	Dona Juana	979,392.0	0.43
CanoChuniza	Narino Usme	55,319.9	0.02
CanoChuniza	Micaela	1,021,632.4	0.45
Total CanoChuniza		2,255,650.0	
CcaChiguaza2	Vitelma	35,486.3	0.01
CcaChiguaza2	San Benito	5,245,594.6	0.84
CcaChiguaza2	Juan Rey	980,732.4	0.16
Total CcaChiguaza2		6,261,813.3	
CcaHoyaA	San Benito	71,925.0	1.00
Total CcaHoyaA		71,925.0	
CcaLimas1	Quiba	969,637.2	0.29
CcaLimas1	Dona Juana	2,406,687.8	0.71
Total CcaLimas1		3,376,325.0	
CcaLimas10	Quiba	543,975.0	1.00
Total CcaLimas10		543,975.0	
CcaLimas11	San Benito	20,617.3	0.03
CcaLimas11	Quiba	582,582.7	0.97
Total CcaLimas11		603,200.0	
CcaLimas13	San Benito	36,279.9	0.08
CcaLimas13	Sierra Morena	140,080.7	0.33
CcaLimas13	Quiba	252,914.4	0.59
Total CcaLimas13		429,275.0	
CcaLimas14	Sierra Morena	318,658.1	0.87
CcaLimas14	Quiba	47,816.9	0.13
Total CcaLimas14		366,475.0	
Ccalimas15	Sierra Morena	607,249.1	0.73
Ccalimas15	Quiba	222,675.9	0.27
Total Ccalimas15		829,925.0	
CcaLimas16	San Benito	2,348,566.7	0.82
CcaLimas16	Sierra Morena	415,545.7	0.15
CcaLimas16	Quiba	93,412.7	0.03
Total CcaLimas16		2,857,525.0	
CcaLimas2	Quiba	636,025.0	1.00
Total CcaLimas2		636,025.0	
CcaLimas3	Quiba	667,475.0	1.00
Total CcaLimas3		667,475.0	
CcaLimas5	Quiba	676,625.0	1.00
Total CcaLimas5		676,625.0	
CcaLimas7	Quiba	822,900.0	1.00

<i>Nombre de la Cuenca</i>	<i>Estación</i>	<i>Area de influencia de cada estación (m²)</i>	<i>% area de influencia</i>
Total CcaLimas7		822,900.0	
CcaLimas9	Quiba	495,850.0	1.00
Total CcaLimas9		495,850.0	
CcaTunj0	Regadera	6,159,800.0	1.00
Total CcaTunj0		6,159,800.0	
CcaTunj1	Pasquilla	5,104,284.1	0.28
CcaTunj1	La Esperanza	1,808,999.8	0.10
CcaTunj1	El Hato	5,767.2	0.00
CcaTunj1	Regadera	11,351,049.0	0.62
Total CcaTunj1		18,270,100.1	
CcaTunj2	Narino Usme	208,898.5	0.05
CcaTunj2	Pasquilla	4,096,076.5	0.95
Total CcaTunj2		4,304,975.0	
CcaTunj20	Dona Juana	1,114,575.0	1.00
Total CcaTunj20		1,114,575.0	
CcaTunj3	Narino Usme	5,157,856.2	0.76
CcaTunj3	Pasquilla	1,003,222.1	0.15
CcaTunj3	La Esperanza	627,921.7	0.09
Total CcaTunj3		6,789,000.0	
CcaTunj4	Dona Juana	1,352,400.0	1.00
Total CcaTunj4		1,352,400.0	
CcaTunj43	San Benito	1,315,601.8	0.99
CcaTunj43	Quiba	17,680.0	0.01
Total CcaTunj43		1,333,281.8	
CcaTunj47B	San Benito	388,548.0	0.10
CcaTunj47B	Sierra Morena	3,616,120.0	0.90
Total CcaTunj47B		4,004,668.0	
CcaTunj49	Sierra Morena	2,175,600.4	1.00
Total CcaTunj49		2,175,600.4	
CcaTunj5	San Benito	62,396.4	0.02
CcaTunj5	Juan Rey	297,934.5	0.07
CcaTunj5	Quiba	115,900.7	0.03
CcaTunj5	Dona Juana	3,625,443.4	0.88
Total CcaTunj5		4,101,675.0	
CcaTunj51	San Benito	2,529,180.6	0.27
CcaTunj51	Sierra Morena	6,681,707.9	0.73
Total CcaTunj51		9,210,888.5	
CcaTunj6	San Benito	80,218.8	0.06
CcaTunj6	Quiba	1,268,860.6	0.87
CcaTunj6	Dona Juana	105,345.6	0.07
Total CcaTunj6		1,454,425.0	
CcaTunj7	San Benito	386,504.9	0.39
CcaTunj7	Quiba	605,545.1	0.61
Total CcaTunj7		992,050.0	
Chiguacita	Narino Usme	453,688.1	0.11
Chiguacita	La Esperanza	3,605,836.9	0.89
Total Chiguacita		4,059,525.0	
Chiguaza1	Decantador	114,268.7	0.03

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

<i>Nombre de la Cuenca</i>	<i>Estación</i>	<i>Área de influencia de cada estación (m²)</i>	<i>% área de influencia</i>
Chiguaza1	Juan Rey	4,231,706.3	0.97
Total Chiguaza1		4,345,975.0	
Chisaca	Pasquilla	7,411.9	0.00
Chisaca	El Hato	21,563,296.6	0.42
Chisaca	La Union	30,043,391.5	0.58
Total Chisaca		51,614,100.0	
ChisacaA	El Hato	1,472,975.0	1.00
Total ChisacaA		1,472,975.0	
ChisacaB	El Hato	5,275,177.7	0.45
ChisacaB	Regadera	1,560,193.8	0.13
ChisacaB	Villa Teresa	4,933,253.6	0.42
Total ChisacaB		11,768,625.0	
Chuscal	Dona Juana	5,132,581.8	0.67
Chuscal	Narino Usme	2,108,766.3	0.28
Chuscal	Pasquilla	400,451.9	0.05
Total Chuscal		7,641,800.0	
Curubital	Regadera	8,967,925.9	0.16
Curubital	La Union	8,808,639.5	0.16
Curubital	Villa Teresa	37,321,434.5	0.68
Total Curubital		55,098,000.0	
Estrella	San Benito	58,807.8	0.04
Estrella	Quiba	1,389,417.2	0.96
Total Estrella		1,448,225.0	
Fucha	Narino Usme	4,037,587.9	0.22
Fucha	Micaela	4,553,609.8	0.25
Fucha	La Esperanza	9,844,865.2	0.53
Total Fucha		18,436,062.8	
Gravilleras	San Benito	3,457,128.9	0.91
Gravilleras	Juan Rey	253,935.0	0.07
Gravilleras	Quiba	73,111.1	0.02
Total Gravilleras		3,784,175.0	
Guira	Juan Rey	541,100.0	1.00
Total Guira		541,100.0	
Honda	Quiba	1,108,525.0	1.00
Total Honda		1,108,525.0	
HoyadelRamo	San Benito	140,133.2	0.05
HoyadelRamo	Juan Rey	2,701,816.8	0.95
Total HoyadelRamo		2,841,950.0	
IsmaelPerdomo	Sierra Morena	7,156,419.9	1.00
Total IsmaelPerdomo		7,156,419.9	
LasMercedes	Vitelma	403,360.2	0.42
LasMercedes	Decantador	345,296.1	0.36
LasMercedes	Juan Rey	220,993.7	0.23
Total LasMercedes		969,650.0	
LaTaza	Narino Usme	483,720.7	0.19
LaTaza	La Esperanza	2,101,654.3	0.81
Total LaTaza		2,585,375.0	
LosBobos	Pasquilla	10,284,775.0	1.00
Total LosBobos		10,284,775.0	
Mugroso	El Hato	1,923,848.9	0.06
Mugroso	La Union	30,043,163.6	0.90
Mugroso	Villa Teresa	1,484,562.4	0.04
Total Mugroso		33,451,574.9	
Nutria	Juan Rey	4,811,406.0	0.98
Nutria	Micaela	81,719.0	0.02
Total Nutria		4,893,125.0	
Pasquilla	Pasquilla	4,169,582.1	0.71
Pasquilla	El Hato	1,490,993.4	0.25
Pasquilla	Regadera	221,874.6	0.04
Total Pasquilla		5,882,450.0	
PenaClorada	San Benito	130,290.0	0.08
PenaClorada	Quiba	1,569,385.0	0.92
Total PenaClorada		1,699,675.0	
PiojoChuniza	Dona Juana	666,415.0	0.14
PiojoChuniza	Narino Usme	3,655,579.3	0.77
PiojoChuniza	Micaela	450,530.7	0.09
Total PiojoChuniza		4,772,525.0	
Q.Elmelo	Decantador	772,532.7	0.52
Q.Elmelo	Juan Rey	721,592.3	0.48
Total Q.Elmelo		1,494,125.0	

Areas poligonos de Thiessen con la Estación Moralba

Nombre de la Cuenca	Estación	Area de influencia de cada estación (m²)	% area de influencia
Bolonia	Juan Rey	354,461.2	0.17
Bolonia	Micaela	1,671,838.8	0.83
Total Bolonia		2,026,300.0	
BombeoTibanica	Sierra Morena	10,029,418.9	1.00
Total BombeoTibanica		10,029,418.9	
Botello	Quiba	8,321.9	0.00
Botello	Dona Juana	8,541,953.2	1.00
Total Botello		8,550,275.0	
CanoChuniza	Juan Rey	199,305.7	0.09
CanoChuniza	Dona Juana	979,392.0	0.43
CanoChuniza	Narino Usme	55,319.9	0.02
CanoChuniza	Micaela	1,021,632.4	0.45
Total CanoChuniza		2,255,650.0	
CcaChiguaza2	San Benito	4,171,335.8	0.79
CcaChiguaza2	Moralba	1,082,302.5	0.21
Total CcaChiguaza2		5,253,638.3	
CcaHoyaA	San Benito	71,925.0	1.00
Total CcaHoyaA		71,925.0	
CcaLimas1	Quiba	969,637.2	0.29
CcaLimas1	Dona Juana	2,406,687.8	0.71
Total CcaLimas1		3,376,325.0	
CcaLimas10	Quiba	543,975.0	1.00
Total CcaLimas10		543,975.0	
CcaLimas11	San Benito	20,617.3	0.03
CcaLimas11	Quiba	582,582.7	0.97
Total CcaLimas11		603,200.0	
CcaLimas13	San Benito	36,279.9	0.08
CcaLimas13	Sierra Morena	140,080.7	0.33
CcaLimas13	Quiba	252,914.4	0.59
Total CcaLimas13		429,275.0	
CcaLimas14	Sierra Morena	318,658.1	0.87
CcaLimas14	Quiba	47,816.9	0.13
Total CcaLimas14		366,475.0	
Ccalimas15	Sierra Morena	607,249.1	0.73
Ccalimas15	Quiba	222,676.0	0.27
Total Ccalimas15		829,925.0	
CcaLimas16	San Benito	2,348,566.7	0.82
CcaLimas16	Sierra Morena	415,545.7	0.15
CcaLimas16	Quiba	93,412.7	0.03
Total CcaLimas16		2,857,525.0	
CcaLimas2	Quiba	636,025.0	1.00
Total CcaLimas2		636,025.0	
CcaLimas3	Quiba	667,475.0	1.00
Total CcaLimas3		667,475.0	
CcaLimas5	Quiba	676,625.0	1.00
Total CcaLimas5		676,625.0	
CcaLimas7	Quiba	822,900.0	1.00
Total CcaLimas7		822,900.0	
CcaLimas9	Quiba	495,850.0	1.00
Total CcaLimas9		495,850.0	
CcaTunj0	Regadera	6,159,800.0	1.00

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

<i>Nombre de la Cuenca</i>	<i>Estación</i>	<i>Area de influencia de cada estación (m²)</i>	<i>% area de influencia</i>
Total CcaTunj0		6,159,800.0	
CcaTunj1	Pasquilla	5,104,284.1	0.28
CcaTunj1	Esperanza	1,808,999.8	0.10
CcaTunj1	El Hato	5,767.2	0.00
CcaTunj1	Regadera	11,351,049.0	0.62
Total CcaTunj1		18,270,100.0	
CcaTunj2	Narino Usme	208,898.5	0.05
CcaTunj2	Pasquilla	4,096,076.4	0.95
Total CcaTunj2		4,304,975.0	
CcaTunj20	Dona Juana	1,114,575.0	1.00
Total CcaTunj20		1,114,575.0	
CcaTunj3	Narino Usme	5,157,856.2	0.76
CcaTunj3	Pasquilla	1,003,222.1	0.15
CcaTunj3	Esperanza	627,921.7	0.09
Total CcaTunj3		6,789,000.0	
CcaTunj4	Dona Juana	1,352,400.0	1.00
Total CcaTunj4		1,352,400.0	
CcaTunj43	San Benito	1,315,601.8	0.99
CcaTunj43	Quiba	17,680.0	0.01
Total CcaTunj43		1,333,281.8	
CcaTunj47B	San Benito	388,548.0	0.10
CcaTunj47B	Sierra Morena	3,616,120.0	0.90
Total CcaTunj47B		4,004,668.1	
CcaTunj49	Sierra Morena	2,175,600.4	1.00
Total CcaTunj49		2,175,600.4	
CcaTunj5	San Benito	62,396.4	0.02
CcaTunj5	Juan Rey	297,934.5	0.07
CcaTunj5	Quiba	115,900.7	0.03
CcaTunj5	Dona Juana	3,625,443.4	0.88
Total CcaTunj5		4,101,675.0	
CcaTunj51	San Benito	2,529,180.6	0.27
CcaTunj51	Sierra Morena	6,681,707.9	0.73
Total CcaTunj51		9,210,888.5	
CcaTunj6	San Benito	80,218.8	0.06
CcaTunj6	Quiba	1,268,860.6	0.87
CcaTunj6	Dona Juana	105,345.6	0.07
Total CcaTunj6		1,454,425.0	
CcaTunj7	San Benito	386,504.9	0.39
CcaTunj7	Quiba	605,545.1	0.61
Total CcaTunj7		992,050.0	
Chiguacita	Narino Usme	453,688.1	0.11
Chiguacita	Esperanza	3,605,836.9	0.89
Total Chiguacita		4,059,525.0	
Chiguaza1	Moralba	4,027,446.5	0.93
Chiguaza1	Juan Rey	318,528.5	0.07
Total Chiguaza1		4,345,975.0	
Chisaca	Pasquilla	7,411.9	0.00
Chisaca	El Hato	21,563,296.6	0.42
Chisaca	La Union	30,043,391.5	0.58
Total Chisaca		51,614,100.0	
ChisacaA	El Hato	1,472,975.0	1.00

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

<i>Nombre de la Cuenca</i>	<i>Estación</i>	<i>Area de influencia de cada estación (m²)</i>	<i>% area de influencia</i>
Total ChisacaA		1,472,975.0	
ChisacaB	El Hato	5,275,177.7	0.45
ChisacaB	Regadera	1,560,193.7	0.13
ChisacaB	Villa Teresa	4,933,253.5	0.42
Total ChisacaB		11,768,625.0	
Chuscal	Dona Juana	5,132,581.8	0.67
Chuscal	Narino Usme	2,108,766.3	0.28
Chuscal	Pasquilla	400,451.9	0.05
Total Chuscal		7,641,800.0	
Curubital	Regadera	8,967,925.9	0.16
Curubital	La Union	8,808,639.5	0.16
Curubital	Villa Teresa	37,321,434.5	0.68
Total Curubital		55,098,000.0	
Estrella	San Benito	58,807.8	0.04
Estrella	Quiba	1,389,417.2	0.96
Total Estrella		1,448,225.0	
Fucha	Narino Usme	4,037,587.9	0.22
Fucha	Micaela	4,553,609.8	0.25
Fucha	Esperanza	9,844,865.2	0.53
Total Fucha		18,436,062.8	
Gravilleras	San Benito	3,426,901.8	0.91
Gravilleras	Moralba	158,223.3	0.04
Gravilleras	Juan Rey	125,938.9	0.03
Gravilleras	Quiba	73,111.1	0.02
Total Gravilleras		3,784,175.0	
Guira	Moralba	457,422.5	0.85
Guira	Juan Rey	83,677.4	0.15
Total Guira		541,100.0	
Honda	Quiba	1,108,525.0	1.00
Total Honda		1,108,525.0	
HoyadelRamo	San Benito	140,133.2	0.05
HoyadelRamo	Moralba	119,791.3	0.04
HoyadelRamo	Juan Rey	2,582,025.5	0.91
Total HoyadelRamo		2,841,950.0	
IsmaelPerdomo	Sierra Morena	7,156,419.9	1.00
Total IsmaelPerdomo		7,156,419.9	
LasMercedes	Moralba	969,650.0	1.00
Total LasMercedes		969,650.0	
LaTaza	Narino Usme	483,720.7	0.19
LaTaza	Esperanza	2,101,654.3	0.81
Total LaTaza		2,585,375.0	
LosBobos	Pasquilla	10,284,775.0	1.00
Total LosBobos		10,284,775.0	
Molinos	San Benito	5,458.5	0.01
Molinos	Moralba	1,002,716.5	0.99
Total Molinos		1,008,175.0	
Mugroso	El Hato	1,923,848.9	0.06
Mugroso	La Union	30,043,163.6	0.90
Mugroso	Villa Teresa	1,484,562.4	0.04
Total Mugroso		33,451,575.0	
Nutria	Moralba	1,537,332.8	0.31

<i>Nombre de la Cuenca</i>	<i>Estación</i>	<i>Area de influencia de cada estación (m²)</i>	<i>% area de influencia</i>
Nutria	Juan Rey	3,274,073.2	0.67
Nutria	Micaela	81,719.0	0.02
Total Nutria		4,893,125.0	
Pasquilla	Pasquilla	4,169,582.0	0.71
Pasquilla	El Hato	1,490,993.4	0.25
Pasquilla	Regadera	221,874.6	0.04
Total Pasquilla		5,882,450.0	
PenaClorada	San Benito	130,290.0	0.08
PenaClorada	Quiba	1,569,385.0	0.92
Total PenaClorada		1,699,675.0	
PiojoChuniza	Dona Juana	666,415.0	0.14
PiojoChuniza	Narino Usme	3,655,579.3	0.77
PiojoChuniza	Micaela	450,530.7	0.09
Total PiojoChuniza		4,772,525.0	
Q.Elmeo	Moralba	1,494,125.0	1.00
Total Q.Elmeo		1,494,125.0	
Q.Saltonal	Pasquilla	7,039,991.5	0.99
Q.Saltonal	El Hato	85,958.5	0.01
Total Q.Saltonal		7,125,950.0	
Q.Yomasa	Micaela	11,252,153.2	1.00
Total Q.Yomasa		11,252,153.2	
Quiba	Quiba	2,653,100.0	1.00
Total Quiba		2,653,100.0	
SaltonalA	Pasquilla	1,772,250.0	1.00
Total SaltonalA		1,772,250.0	
SanBenito	San Benito	1,100,238.9	1.00
Total SanBenito		1,100,238.9	
SanCarlos	San Benito	2,747,806.7	1.00
Total SanCarlos		2,747,806.7	
Santalibrada	San Benito	14,482.6	0.00
Santalibrada	Juan Rey	5,342,351.4	0.94
Santalibrada	Dona Juana	337,580.5	0.06
Santalibrada	Micaela	13,710.5	0.00
Total Santalibrada		5,708,125.0	
SanVicente	San Benito	3,491,855.5	0.99
SanVicente	Sierra Morena	18,551.7	0.01
Total SanVicente		3,510,407.2	
Tibanica1	Sierra Morena	12,155,526.9	0.81
Tibanica1	Quiba	2,907,255.2	0.19
Total Tibanica1		15,062,782.1	
Trompeta	Quiba	4,624,167.1	0.91
Trompeta	Dona Juana	448,832.9	0.09
Total Trompeta		5,073,000.0	
Tunj43A	San Benito	429,724.5	1.00
Total Tunj43A		429,724.5	
Total general		396,550,666.6	

Areas poligonos de Thiessen con las estaciones Los Tunjos y Bocagrande

Nombre de la Cuenca	Estación	Area de influencia de cada estación (m²)	% area de influencia
Bolonia	Juan Rey	354,461.22	0.17
Bolonia	Micaela	1,671,838.76	0.83
Total Bolonia		2,026,299.98	
BombeoTibar	Sierra Morena	10,029,418.90	1.00
Total Bombeo Tibanica		10,029,418.90	
Botello	Quiba	8,321.85	0.00
Botello	Doña Juana	8,541,953.14	1.00
Total Botello		8,550,274.99	
CanoChuniza	Juan Rey	199,305.74	0.09
CanoChuniza	Doña Juana	979,392.00	0.43
CanoChuniza	Nariño	55,319.86	0.02
CanoChuniza	Micaela	1,021,632.41	0.45
Total CanoChuniza		2,255,650.01	
CcaChiguaza	San Benito	4,171,335.77	0.79
CcaChiguaza	Moralba	1,082,302.52	0.21
Total CcaChiguaza2		5,253,638.29	
CcaHoyaA	San Benito	71,925.00	1.00
Total CcaHoyaA		71,925.00	
CcaLimas1	Quiba	969,637.17	0.29
CcaLimas1	Doña Juana	2,406,687.84	0.71
Total CcaLimas1		3,376,325.01	
CcaLimas10	Quiba	543,975.02	1.00
Total CcaLimas10		543,975.02	
CcaLimas11	San Benito	20,617.31	0.03
CcaLimas11	Quiba	582,582.69	0.97
Total CcaLimas11		603,200.00	
CcaLimas13	San Benito	36,279.86	0.08
CcaLimas13	Sierra Morena	140,080.69	0.33
CcaLimas13	Quiba	252,914.45	0.59
Total CcaLimas13		429,274.99	
CcaLimas14	Sierra Morena	318,658.08	0.87
CcaLimas14	Quiba	47,816.94	0.13
Total CcaLimas14		366,475.02	
CcaLimas15	Sierra Morena	607,249.10	0.73
CcaLimas15	Quiba	222,675.95	0.27
Total CcaLimas15		829,925.05	
CcaLimas16	San Benito	2,348,566.68	0.82
CcaLimas16	Sierra Morena	415,545.71	0.15
CcaLimas16	Quiba	93,412.65	0.03
Total CcaLimas16		2,857,525.04	
CcaLimas2	Quiba	636,025.00	1.00
Total CcaLimas2		636,025.00	
CcaLimas3	Quiba	667,475.00	1.00
Total CcaLimas3		667,475.00	
CcaLimas5	Quiba	676,625.01	1.00
Total CcaLimas5		676,625.01	
CcaLimas7	Quiba	822,900.01	1.00
Total CcaLimas7		822,900.01	
CcaLimas9	Quiba	495,850.01	1.00
Total CcaLimas9		495,850.01	
CcaTunj0	La Regadera	6,159,800.03	1.00
Total CcaTunj0		6,159,800.03	

Áreas polígonos de Thiessen con las estaciones Los Tunjos y
Bocagrande

Nombre de la Cuenca	Estación	Área de influencia de cada estación (m ²)	% área de influencia
CcaTunj1	Pasquilla	5,104,284.15	0.28
CcaTunj1	La Esperanza	1,808,999.75	0.10
CcaTunj1	La Regadera	11,351,049.00	0.62
CcaTunj1	El Hato	5,767.17	0.00
Total CcaTunj1		18,270,100.07	
CcaTunj2	Nariño	208,898.55	0.05
CcaTunj2	Pasquilla	4,096,076.44	0.95
Total CcaTunj2		4,304,974.99	
CcaTunj20	Doña Juana	1,114,575.00	1.00
Total CcaTunj20		1,114,575.00	
CcaTunj3	Nariño	5,157,856.21	0.76
CcaTunj3	Pasquilla	1,003,222.08	0.15
CcaTunj3	La Esperanza	627,921.72	0.09
Total CcaTunj3		6,789,000.01	
CcaTunj4	Doña Juana	1,352,400.00	1.00
Total CcaTunj4		1,352,400.00	
CcaTunj43	San Benito	1,315,601.78	0.99
CcaTunj43	Quiba	17,680.03	0.01
Total CcaTunj43		1,333,281.81	
CcaTunj47B	San Benito	388,548.04	0.10
CcaTunj47B	Sierra Morena	3,616,120.01	0.90
Total CcaTunj47B		4,004,668.05	
CcaTunj49	Sierra Morena	2,175,600.39	1.00
Total CcaTunj49		2,175,600.39	
CcaTunj5	San Benito	62,396.45	0.02
CcaTunj5	Juan Rey	297,934.47	0.07
CcaTunj5	Quiba	115,900.71	0.03
CcaTunj5	Doña Juana	3,625,443.39	0.88
Total CcaTunj5		4,101,675.01	
CcaTunj51	San Benito	2,529,180.57	0.27
CcaTunj51	Sierra Morena	6,681,707.93	0.73
Total CcaTunj51		9,210,888.50	
CcaTunj6	San Benito	80,218.80	0.06
CcaTunj6	Quiba	1,268,860.56	0.87
CcaTunj6	Doña Juana	105,345.64	0.07
Total CcaTunj6		1,454,425.00	
CcaTunj7	San Benito	386,504.92	0.39
CcaTunj7	Quiba	605,545.09	0.61
Total CcaTunj7		992,050.01	
Chiguacita	Nariño	453,688.11	0.11
Chiguacita	La Esperanza	3,605,836.90	0.89
Total Chiguacita		4,059,525.01	
Chiguaza1	Moralba	4,027,446.53	0.93
Chiguaza1	Juan Rey	318,528.46	0.07
Total Chiguaza1		4,345,974.99	
Chisaca	Pasquilla	7,411.90	0.00
Chisaca	El Hato	21,563,296.60	0.42
Chisaca	La Unión	16,174,364.60	0.31
Chisaca	Los Tunjos	13,869,026.90	0.27
Total Chisaca		51,614,100.00	
ChisacaA	El Hato	1,472,974.99	1.00
Total ChisacaA		1,472,974.99	

Áreas poligonales de Thiessen con las estaciones Los Tunjos y Bocagrande

Nombre de la Cuenca	Estación	Área de influencia de cada estación (m ²)	% área de influencia
ChisacaB	La Regadera	1,560,197.52	0.13
ChisacaB	El Hato	5,275,177.69	0.45
ChisacaB	Villa Teresa	4,933,249.77	0.42
Total ChisacaB		11,768,624.98	
Chuscal	Doña Juana	5,132,581.81	0.67
Chuscal	Nariño	2,108,766.25	0.28
Chuscal	Pasquilla	400,451.94	0.05
Total Chuscal		7,641,800.00	
Curubital	La Regadera	8,385,697.68	0.15
Curubital	Villa Teresa	12,405,442.10	0.23
Curubital	La Unión	32,534.09	0.00
Curubital	Boca Grande	34,274,326.20	0.62
Total Curubital		55,098,000.07	
Estrella	San Benito	58,807.83	0.04
Estrella	Quiba	1,389,417.17	0.96
Total Estrella		1,448,225.00	
Fucha	Nariño	4,037,587.87	0.22
Fucha	Micaela	4,553,609.81	0.25
Fucha	La Esperanza	9,844,865.15	0.53
Total Fucha		18,436,062.83	
Gravilleras	San Benito	3,426,901.76	0.91
Gravilleras	Moralba	158,223.29	0.04
Gravilleras	Juan Rey	125,938.93	0.03
Gravilleras	Quiba	73,111.06	0.02
Total Gravilleras		3,784,175.04	
Guira	Moralba	457,422.55	0.85
Guira	Juan Rey	83,677.44	0.15
Total Guira		541,099.99	
Honda	Quiba	1,108,525.01	1.00
Total Honda		1,108,525.01	
HoyadelRamo	San Benito	140,133.17	0.05
HoyadelRamo	Moralba	119,791.34	0.04
HoyadelRamo	Juan Rey	2,582,025.50	0.91
Total HoyadelRamo		2,841,950.01	
IsmaelPerdomo	Sierra Morena	7,156,419.91	1.00
Total IsmaelPerdomo		7,156,419.91	
LasMercedes	Moralba	969,650.00	1.00
Total LasMercedes		969,650.00	
LaTaza	Nariño	483,720.74	0.19
LaTaza	La Esperanza	2,101,654.28	0.81
Total LaTaza		2,585,375.02	
LosBobos	Pasquilla	10,284,775.00	1.00
Total LosBobos		10,284,775.00	
Molinos	San Benito	5,458.47	0.01
Molinos	Moralba	1,002,716.54	0.99
Total Molinos		1,008,175.01	
Mugroso	El Hato	1,923,848.91	0.06
Mugroso	Villa Teresa	1,484,562.19	0.04
Mugroso	La Unión	13,750,967.30	0.41
Mugroso	Los Tunjos	10,911,336.00	0.33
Mugroso	Boca Grande	5,380,860.56	0.16
Total Mugroso		33,451,574.96	
Nutria	Moralba	1,537,332.83	0.31
Nutria	Juan Rey	3,274,073.21	0.67
Nutria	Micaela	81,718.97	0.02
Total Nutria		4,893,125.01	

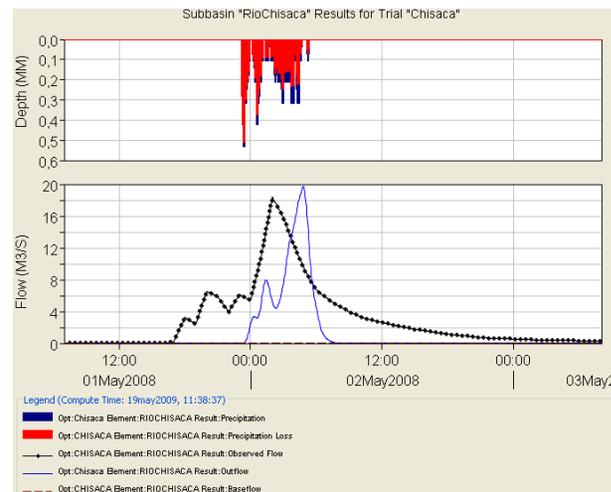
Áreas polígonos de Thiessen con las estaciones Los Tunjos y Bocagrande

Nombre de la Cuenca	Estación	Área de influencia de cada estación (m²)	% área de influencia
Pasquilla	Pasquilla	4,169,582.04	0.71
Pasquilla	La Regadera	221,874.56	0.04
Pasquilla	El Hato	1,490,993.39	0.25
Total Pasquilla		5,882,449.99	
PenaClorada	San Benito	130,290.01	0.08
PenaClorada	Quiba	1,569,385.01	0.92
Total PenaClorada		1,699,675.02	
PiojoChuniza	Doña Juana	666,415.02	0.14
PiojoChuniza	Nariño	3,655,579.28	0.77
PiojoChuniza	Micaela	450,530.68	0.09
Total PiojoChuniza		4,772,524.99	
Q.Elmelo	Moralba	1,494,124.99	1.00
Total Q.Elmelo		1,494,124.99	
Q.Saltónal	Pasquilla	7,039,991.55	0.99
Q.Saltónal	El Hato	85,958.46	0.01
Total Q.Saltónal		7,125,950.01	
Q.Yomasa	Micaela	11,252,153.20	1.00
Total Q.Yomasa		11,252,153.20	
Quiba	Quiba	2,653,100.02	1.00
Total Quiba		2,653,100.02	
SaltónalA	Pasquilla	1,772,250.01	1.00
Total SaltónalA		1,772,250.01	
SanBenito	San Benito	1,100,238.91	1.00
Total SanBenito		1,100,238.91	
SanCarlos	San Benito	2,747,806.71	1.00
Total SanCarlos		2,747,806.71	
Santalibrada	San Benito	14,482.56	0.00
Santalibrada	Juan Rey	5,342,351.39	0.94
Santalibrada	Doña Juana	337,580.53	0.06
Santalibrada	Micaela	13,710.51	0.00
Total Santalibrada		5,708,124.99	
SanVicente	San Benito	3,491,855.52	0.99
SanVicente	Sierra Morena	18,551.70	0.01
Total SanVicente		3,510,407.22	
Tibanica1	Sierra Morena	12,155,526.90	0.81
Tibanica1	Quiba	2,907,255.18	0.19
Total Tibanica1		15,062,782.08	
Trompeta	Quiba	4,624,167.11	0.91
Trompeta	Doña Juana	448,832.89	0.09
Total Trompeta		5,073,000.00	
Tunj43A	San Benito	429,724.54	1.00
Total Tunj43A		429,724.54	
Total general		396,550,666.69	

Anexo J. Resultados de la calibración de los modelos hidrológico para la creciente registrada en mayo 25-28 de 2008

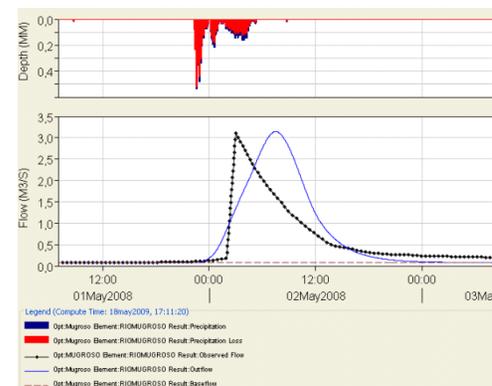
RIO CHISACÁ - 1 MAYO/2008 AL 3 MAYO/2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	4,19	10,33	-6,14	-59,44
Caudal Pico (M3/S)	19,7	18,4	1,3	7,3
Tiempo del pico	02may2008, 04:48	02may2008, 02:00		
Tiempo centro de masa	02may2008, 03:51	02may2008, 04:28		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
RioChisaca	Curve Number		96.52	70.318
RioChisaca	SCS Lag	MIN	100	40.797
RioChisaca	Initial Abstraction	MM	0	0

OBSERVACIONES: Pérdida esporádica de datos de la estación Villa Teresa, se considera una pérdida mínima correspondiente a 3 datos de 10 minutos espaciados. El hidrograma medido muestra el aumento de niveles sin que se haya registrado precipitación en la estación La Unión.



RIO MUGROSO - 1 MAYO/2008 AL 3 MAYO/2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	3,17	2,69	0,48	17,73
Caudal Pico (M3/S)	3,1	3,1	0,0	1,5
Tiempo del pico	02may2008, 07:30	02may2008, 03:00		
Tiempo centro de masa	02may2008, 07:57	02may2008, 08:35		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
Rio Mugroso	Curve Number		83.162	71.946
Rio Mugroso	SCS Lag	MIN	297.71	278.68
Rio Mugroso	Initial Abstraction	MM	0	0

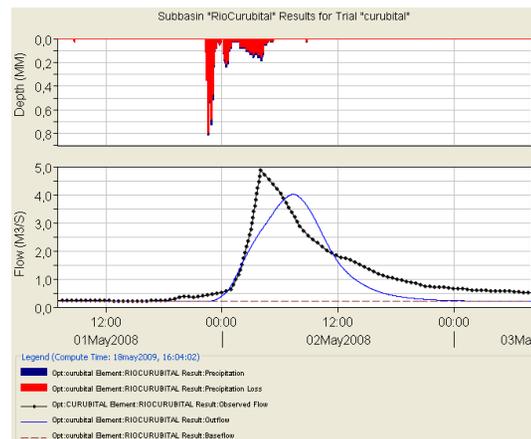
OBSERVACIONES: Pérdida esporádica de datos de la estación Villa Teresa, se considera una pérdida mínima correspondiente a 3 datos de 10 minutos espaciados.



SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

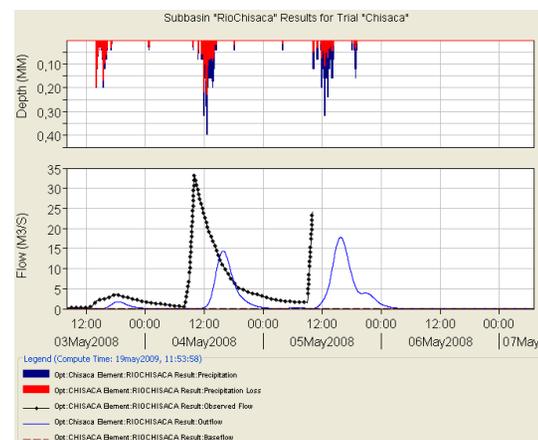
RIO CURUBITAL - 1 MAYO/2008 AL 3 MAYO/2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	2,83	3,59	-0,75	-20,95
Caudal Pico (M3/S)	4,0	4,9	-0,9	-17,6
Tiempo del pico	02may2008, 07:21	02may2008, 04:00		
Tiempo centro de masa	02may2008, 07:42	02may2008, 09:27		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
Rio Curubital	Curve Number		40	57.759
Rio Curubital	SCS Lag	MM	0	0.0010519
Rio Curubital	Initial Abstraction	MIN	163.11	279.47

OBSERVACIONES: Pérdida esporádica de datos de la estación Villa Teresa, se considera una pérdida mínima correspondiente a 3 datos de 10 minutos espaciados.



RIO CHISACÁ - 3 MAYO/2008 AL 7 MAYO/2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	8,03	17,95	-9,93	-55,29
Caudal Pico (M3/S)	29,6	33,2	-3,6	-10,9
Tiempo del pico	04may2008, 14:21	04may2008, 10:00		
Tiempo centro de masa	04may2008, 17:05	28abr2076, 05:52		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
RioChisaca	Curve Number		96.52	80.473
RioChisaca	SCS Lag	MIN	100	41.524
RioChisaca	Initial Abstraction	MM	0	0

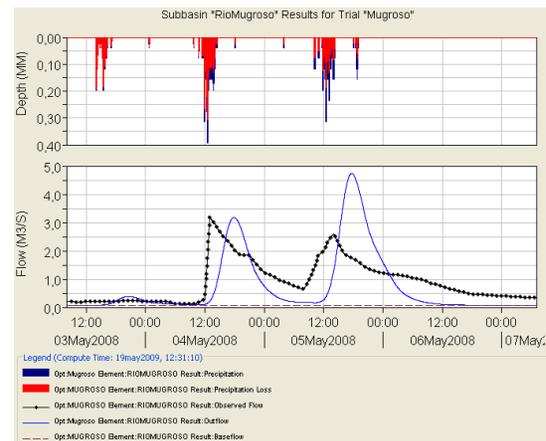
OBSERVACIONES: El pico de creciente se alcanza antes de que la estación La Unión registrara el inicio de la precipitación el día 4 de mayo/2008. Lo mismo ocurre en la porción del hidrograma del 5 de mayo.



SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

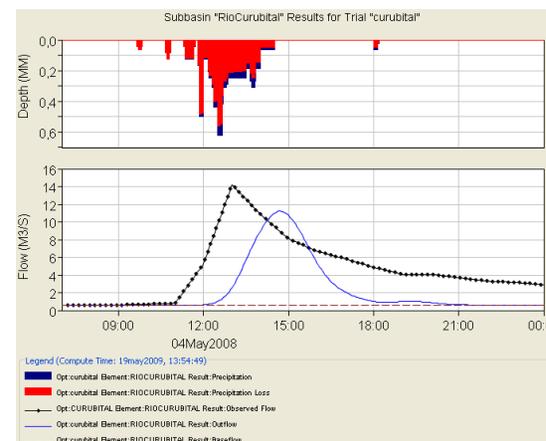
RIO MUGROSO - 3 MAYO/2008 AL 4 MAYO/2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	7,43	9,19	-1,76	-19,18
Caudal Pico (M3/S)	4,7	3,2	1,5	48,7
Tiempo del pico	05may2008, 17:45	04may2008, 13:00		
Tiempo centro de masa	05may2008, 09:11	05may2008, 10:23		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
Rio Mugroso	Curve Number		83.162	81.499
Rio Mugroso	SCS Lag	MIN	297.71	294.18
Rio Mugroso	Initial Abstraction	MM	0	0

OBSERVACIONES: Falta de datos en la estación Villa Teresa por 9 periodos de 60 minutos y el 5 de mayo a las 9:40 hasta el 6 de mayo a las 7:30, lo que indica que prácticamente todo el registro de esta crecida en la estación Villa Teresa no está disponible. Por esta razón, se utilizó el patrón temporal de tormenta de la estación La Unión.

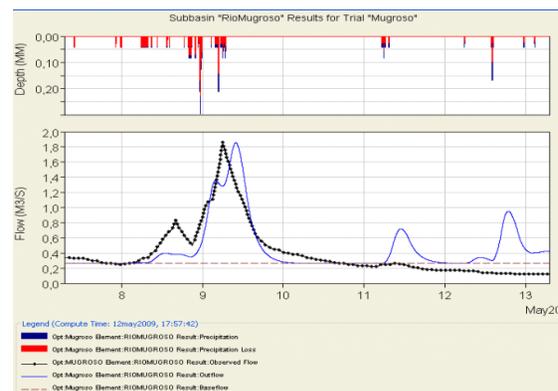


RIO CURUBITAL - 3 MAYO/2008 AL 4 MAYO/2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	6,02	12,21	-6,20	-50,74
Caudal Pico (M3/S)	8,2	14,2	-6,0	-42,1
Tiempo del pico	04may2008, 16:03	04may2008, 13:00		
Tiempo centro de masa	05may2008, 01:15	05may2008, 05:43		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
Rio Curubital	Curve Number		80	64.413
Rio Curubital	SCS Lag	MIN	12.7	1.6376
Rio Curubital	Initial Abstraction	MM	163.11	165.15

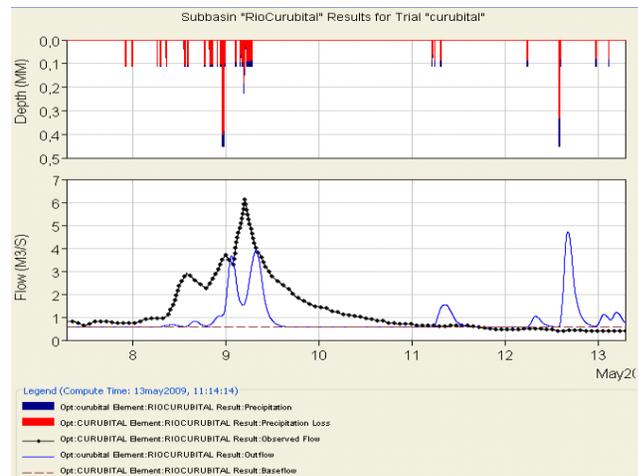
OBSERVACIONES: Falta de datos en la estación Villa Teresa por 9 periodos de 60 minutos y el 5 de mayo a las 9:40 hasta el 6 de mayo a las 7:30, lo que indica que prácticamente todo el registro de esta crecida en la estación Villa Teresa no está disponible. Por esta razón, se utilizó el patrón temporal de tormenta de la estación La Unión.



RIO MUGROSO 7 MAYO AL 13 MAYO 2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	7,01	6,19	0,82	13,30
Caudal Pico (M3/S)	1,9	1,9	-0,0	-0,0
Tiempo del pico	09may2008, 09:57	09may2008, 06:00		
Tiempo centro de masa	10may2008, 06:35	09may2008, 15:15		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
Rio Mugroso	Curve Number		60	87.913
Rio Mugroso	SCS Lag	MIN	14.117	290.75
Rio Mugroso	Initial Abstraction	MM	0	0



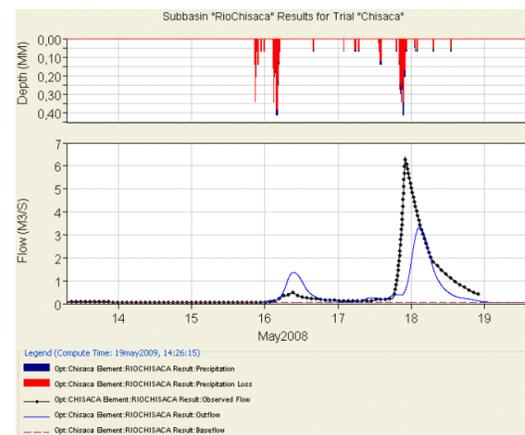
RIO CURUBITAL 7 MAYO AL 13 MAYO 2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	8,35	11,97	-3,61	-30,18
Caudal Pico (M3/S)	4,7	6,1	-1,4	-22,7
Tiempo del pico	12may2008, 16:15	09may2008, 05:00		
Tiempo centro de masa	10may2008, 10:13	09may2008, 14:36		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
Rio Curubital	Curve Number		40	71.948
Rio Curubital	SCS Lag	MIN	0	0.0010318
Rio Curubital	Initial Abstraction	MM	163.11	131.9



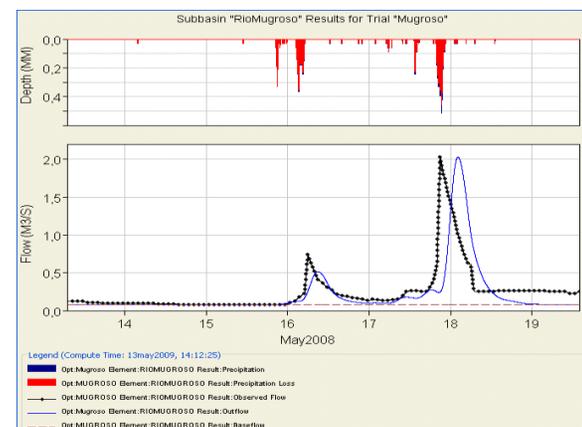
OBSERVACIONES: Durante este periodo de tiempo hay falta de datos de la estación Villa Teresa del IDEAM, la cual no solo cubre un area importante de la Cuenca sino que define el patron de precipitación de todas las estaciones.

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

RIO CHISACA 13 MAYO AL 19 MAYO 2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	3,37	4,93	-1,56	-31,69
Caudal Pico (M3/S)	3,3	6,4	-3,1	-48,1
Tiempo del pico	18may2008, 02:48	17may2008, 22:00		
Tiempo centro de masa	17may2008, 13:14	08may2076, 04:52		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
RioChisaca	Curve Number		96.52	52.531
RioChisaca	SCS Lag	MIN	100	333.7
RioChisaca	Initial Abstraction	MM	0	0

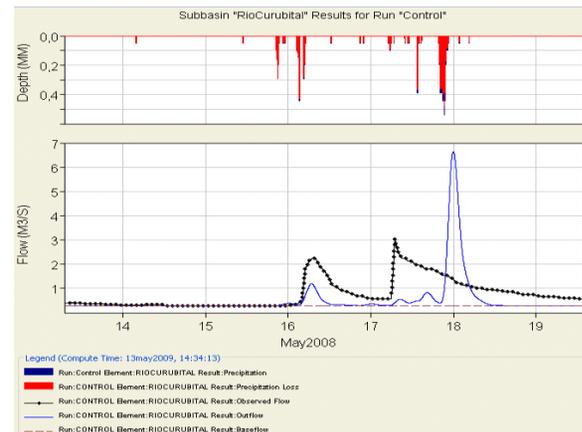


RIO MUGROSO 13 MAYO AL 19 MAYO 2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	3,42	3,97	-0,55	-13,86
Caudal Pico (M3/S)	2,0	2,0	-0,0	-0,1
Tiempo del pico	18may2008, 02:12	17may2008, 21:00		
Tiempo centro de masa	17may2008, 07:04	17may2008, 07:46		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
RioChisaca	Curve Number		83.162	37.443
RioChisaca	SCS Lag	MIN	297.71	302.45
RioChisaca	Initial Abstraction	MM	0	0

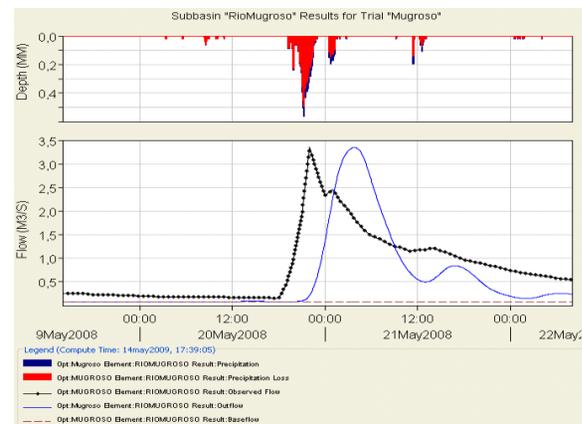


SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

RIO CURUBITAL 13 MAYO AL 19 MAYO 2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	3,42	3,97	-0,55	-13,86
Caudal Pico (M3/S)	2,0	2,0	-0,0	-0,1
Tiempo del pico	18may2008, 02:12	17may2008, 21:00		
Tiempo centro de masa	17may2008, 07:04	17may2008, 07:46		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
Rio Curubital	Curve Number		83.162	37.443
Rio Curubital	SCS Lag	MIN	297.71	302.45
Rio Curubital	Initial Abstraction	MM	0	0



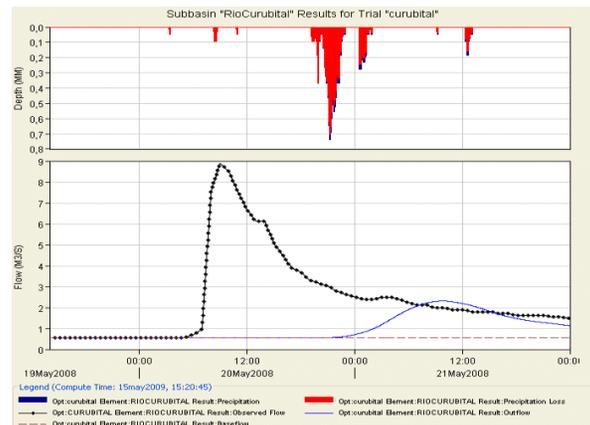
RIO MUGROSO 13 MAYO AL 19 MAYO 2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	4,06	5,71	-1,65	-28,82
Caudal Pico (M3/S)	3,3	3,3	-0,0	-0,0
Tiempo del pico	21may2008, 03:48	20may2008, 22:00		
Tiempo centro de masa	21may2008, 06:17	21may2008, 05:52		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
RioChisaca	Curve Number		83.162	70.751
RioChisaca	SCS Lag	MIN	297.71	301.68
RioChisaca	Initial Abstraction	MM	0	0



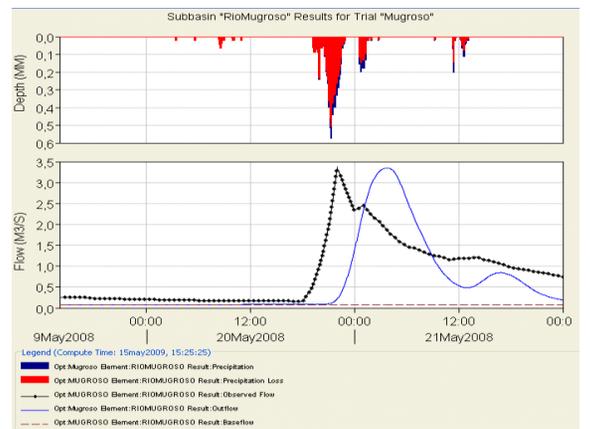
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

RÍO CURUBITAL DEL 19 AL 21 DE MAYO				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	3,82	9,26	-5,44	-58,73
Caudal Pico (M3/S)	2,3	8,9	-6,6	-74,1
Tiempo del pico	21may2008, 09:48	20may2008, 09:00		
Tiempo centro de masa	21may2008, 02:29	20may2008, 19:44		
CORRIENTE	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
RioChisaca	Curve Number		40	44.126
RioChisaca	Initial Abstraction	MM	0	0.85789
RioChisaca	SCS Lag	MIN	163.11	659.16

OBSERVACIONES: El pico de la creciente en el río Curubital se presenta antes del registro de tormenta que tiene la estación Villa Teresa.



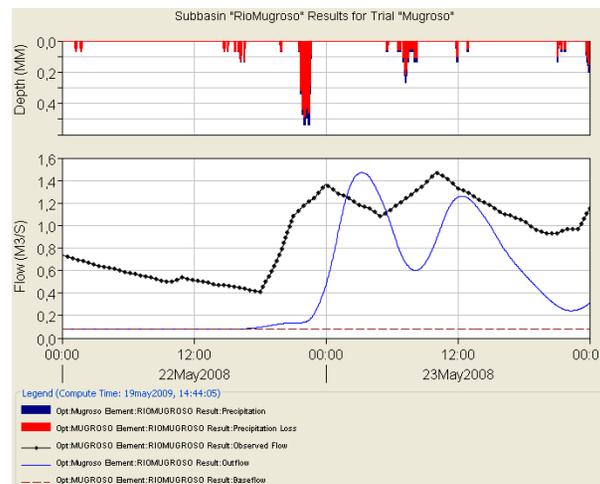
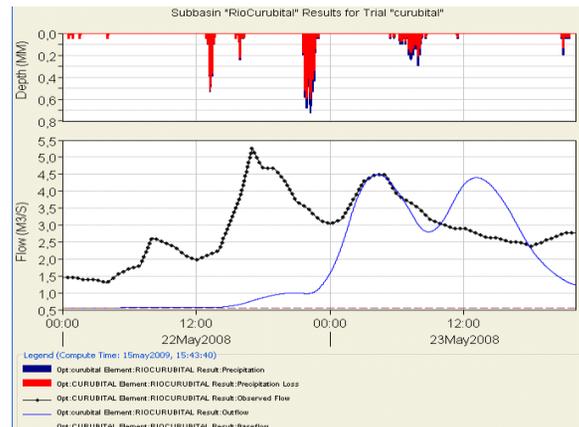
RÍO MUGROSO DEL 19 AL 21 DE MAYO				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	3,86	5,16	-1,30	-25,23
Caudal Pico (M3/S)	3,3	3,3	-0,0	-0,0
Tiempo del pico	21may2008, 03:45	20may2008, 22:00		
Tiempo centro de masa	21may2008, 05:12	21may2008, 03:33		
CORRIENTE	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
RioChisaca	Curve Number		83.162	69.809
RioChisaca	SCS Lag	MIN	297.71	297.51
RioChisaca	Initial Abstraction	MM	0	0



SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

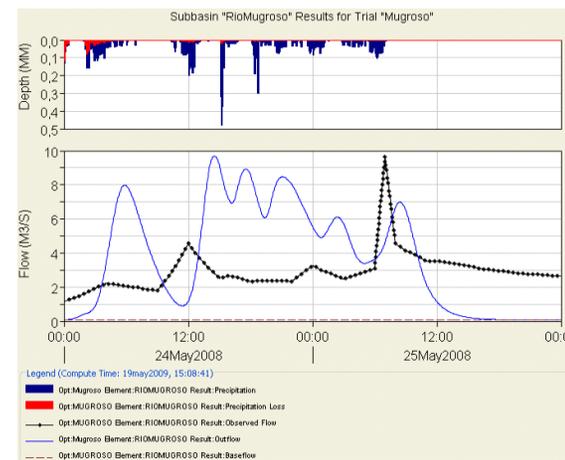
RIO CURUBITAL DEL 22 AL 23 DE MAYO				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	5,71	8,77	-3,06	-34,91
Caudal Pico (M3/S)	4,5	5,3	-0,8	-14,8
Tiempo del pico	23may2008, 04:15	22may2008, 17:00		
Tiempo centro de masa	23may2008, 06:10	23may2008, 00:31		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
RioChisaca	Curve Number		40	66.905
RioChisaca	SCS Lag	MIN	0	0.0010711
RioChisaca	Initial Abstraction	MM	163.11	367.31

RIO MUGROSO DEL 22 AL 23 DE MAYO				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	5,71	8,77	-3,06	-34,91
Caudal Pico (M3/S)	4,5	5,3	-0,8	-14,8
Tiempo del pico	23may2008, 04:15	22may2008, 17:00		
Tiempo centro de masa	23may2008, 06:10	23may2008, 00:31		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
RioChisaca	Curve Number		40	66.905
RioChisaca	Initial Abstraction	MM	0	0.0010711
RioChisaca	SCS Lag	MIN	163.11	367.31

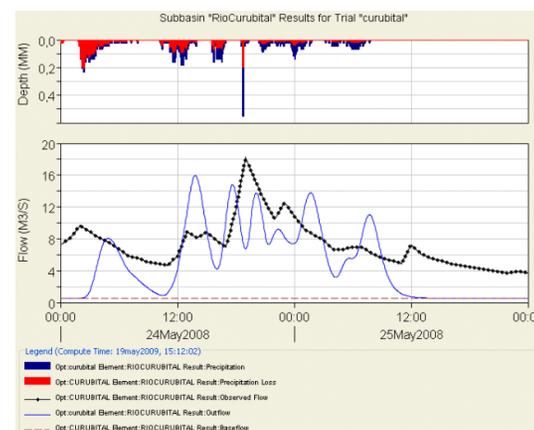


SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

RÍO MUGROSO 24 AL 25 DE MAYO				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	19,44	15,16	4,28	28,26
Caudal Pico (M3/S)	9,7	9,7	0,0	0,5
Tiempo del pico	24may2008, 14:30	25may2008, 07:00		
Tiempo centro de masa	24may2008, 19:36	26may2008, 04:28		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
RíoChisaca	Curve Number		83.162	99
RíoChisaca	SCS Lag	MIN	297.71	143.75
RíoChisaca	Initial Abstraction	MM	0	0

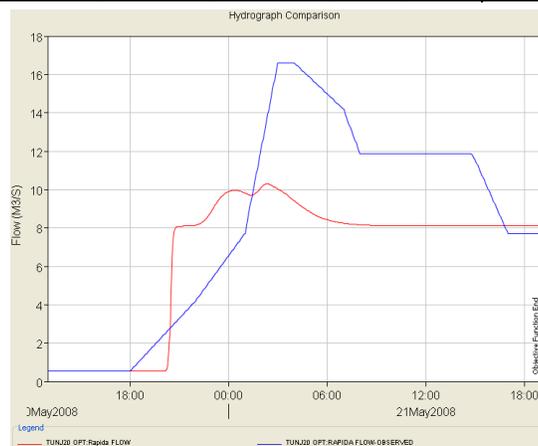


RÍO CURUBITAL 24 AL 25 DE MAYO				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	15,54	22,95	-7,41	-32,28
Caudal Pico (M3/S)	16,0	18,2	-2,2	-12,2
Tiempo del pico	24may2008, 13:51	24may2008, 19:00		
Tiempo centro de masa	24may2008, 20:19	24may2008, 21:43		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
RíoChisaca	Curve Number		40	90.559
RíoChisaca	Initial Abstraction	MM	0	0.0010602
RíoChisaca	SCS Lag	MIN	100	83.418



SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

LA RÁPIDA - 20-22 MAYO/2008					
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %	
Volumen (MM)					
Caudal Pico (M3/S)	14,8	16,6	-1,8	-10,6	
Tiempo del pico	23may2008, 00:00	21may2008, 03:00			
Tiempo centro de masa	21may2008, 21:02	21may2008, 21:02			
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT	SENSIBILIDAD FUNCIÓN OBJETIVO
CanoChuniza	Curve Number		92	83.161	0.05
CanoChuniza	SCS Lag	MIN	27.194	40.669	0
CcaHoyaA	Curve Number		94	90.847	0
CcaHoyaA	SCS Lag	MIN	50.267	114.22	0
CcaTun1	Curve Number		76	76	0
CcaTun1	SCS Lag	MIN	73.204	73.204	0
CcaTunj2	Curve Number		78	52	0
CcaTunj2	SCS Lag	MIN	29.993	29.993	0
CcaTunj20	Curve Number		84	82.411	-0.01
CcaTunj20	SCS Lag	MIN	27.871	94.28	0
CcaTunj3	Curve Number		77	71.022	0
CcaTunj3	SCS Lag	MIN	44.246	66.681	0
CCaTunj4	Curve Number		75	49	0
CCaTunj4	SCS Lag	MIN	16.818	25.227	0
CcaTunj5	SCS Lag	MIN	44.264	100.56	-0.02
Q.Bolonia	Curve Number		80	84.098	0.07
Q.Bolonia	SCS Lag	MIN	20.52	30.681	0
Q.Chiguacita	Curve Number		77	53.122	0
Q.Chiguacita	SCS Lag	MIN	47.829	47.829	0
Q.Elbotello	Curve Number		81	79.727	-0.01
Q.Elbotello	SCS Lag	MIN	28.032	11.726	0
Q.ElChuscal	Curve Number		78	52	0
Q.ElChuscal	SCS Lag	MIN	44.246	44.246	0
Q.Fucha	Curve Number		77	72.472	0
Q.Fucha	SCS Lag	MIN	41.379	41.422	0
Q.HoyadelRamo	Curve Number		73	51.4	0
Q.HoyadelRamo	SCS Lag	MIN	23.416	23.416	0
Q.LaTaza	Curve Number		74	74	0
Q.LaTaza	SCS Lag	MIN	38.923	38.923	0
Q.LosBobos	Curve Number		67	67	0
Q.LosBobos	SCS Lag	MIN	28.945	28.945	0
Q. Pasquilla	Curve Number		73	85.663	0.25
Q. Pasquilla	SCS Lag	MIN	32.226	49.019	-0.02
Q.PiojoChuniza	Curve Number		87	85.246	0.02
Q.PiojoChuniza	SCS Lag	MIN	37.848	86.366	-0.02
Q.Saltonal	Curve Number		63	63	0
Q.Saltonal	SCS Lag	MIN	32.518	32.518	0
Q.SaltonalA	Curve Number		83	98.135	0.3
Q.SaltonalA	SCS Lag	MIN	41.753	141.55	-0.12
Q.SantaLibrada	Curve Number		83	82.704	-0.01
Q.SantaLibrada	SCS Lag	MIN	41.099	62.867	-0.01
Q.Yomasa	Curve Number		74	87.539	-0.27
Q.Yomasa	SCS Lag	MIN	35.578	121.22	-0.13



SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

LA RÁPIDA - 23-26 MAYO/2008					
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %	
Volumen (MM)					0,00
Caudal Pico (M3/S)	37,8	40,1	-2,3	-5,6	
Tiempo del pico	25may2008, 18:15	25may2008, 15:45			
Tiempo centro de masa	25may2008, 05:00	25may2008, 05:22			
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT	SENSIBILIDAD FUNCIÓN OBJETIVO
CanoChuniza	Curve Number		92	91.242	0.18
CanoChuniza	SCS Lag	MIN	27.194	26.737	0
CcaHoyaA	Curve Number		94	99	0.02
CcaHoyaA	SCS Lag	MIN	50.267	170.5	0
CcaTun1	Curve Number		76	76	0
CcaTun1	SCS Lag	MIN	73.204	73.204	0
CcaTun2	Curve Number		78	99	0.9
CcaTun2	SCS Lag	MIN	29.993	101.73	-0.08
CcaTun20	Curve Number		84	37.333	0
CcaTun20	SCS Lag	MIN	27.871	41.806	0
CcaTun3	Curve Number		77	83.875	0.04
CcaTun3	SCS Lag	MIN	44.246	29.785	-0.05
CcaTun4	Curve Number		75	48.02	0
CcaTun4	SCS Lag	MIN	16.818	37.841	0
CcaTun5	SCS Lag	MIN	44.264	225.19	-0.1
Q.Bolonia	Curve Number		80	82.561	0.12
Q.Bolonia	SCS Lag	MIN	20.52	45.445	0.01
Q.Chiguacita	Curve Number		77	97.129	0.03
Q.Chiguacita	SCS Lag	MIN	47.829	163.81	-0.06
Q.Elbotello	Curve Number		81	81.935	-0.84
Q.Elbotello	SCS Lag	MIN	28.032	213.92	-0.16
Q.ElChuscal	Curve Number		78	99	1.5
Q.ElChuscal	SCS Lag	MIN	44.246	226.13	-0.45
Q.Fucha	Curve Number		77	91.173	-2.41
Q.Fucha	SCS Lag	MIN	41.379	308.18	-0.21
Q.HoyadelRamo	Curve Number		73	74.253	-0.13
Q.HoyadelRamo	SCS Lag	MIN	23.416	23.524	-0.02
Q.LaTaza	Curve Number		74	99	0.86
Q.LaTaza	SCS Lag	MIN	38.923	132.66	-0.08
Q.LosBobos	Curve Number		67	44.667	0
Q.LosBobos	SCS Lag	MIN	28.945	28.945	0
Q.Pasquilla	Curve Number		73	87.298	-0.33
Q.Pasquilla	SCS Lag	MIN	32.226	14.066	0.01
Q.PiojoChuniza	Curve Number		87	99	0
Q.PiojoChuniza	SCS Lag	MIN	37.848	381.23	-0.14
Q.Saltonal	Curve Number		63	52.734	0
Q.Saltonal	SCS Lag	MIN	32.518	48.777	0
Q.SaltonalA	Curve Number		83	99	0.25
Q.SaltonalA	SCS Lag	MIN	41.753	141.61	-0.03
Q.SantaLibrada	Curve Number		83	82.577	-0.34
Q.SantaLibrada	SCS Lag	MIN	41.099	209.07	-0.18
Q.Yomasa	Curve Number		74	91.043	-1.16
Q.Yomasa	SCS Lag	MIN	35.578	272.7	-0.32

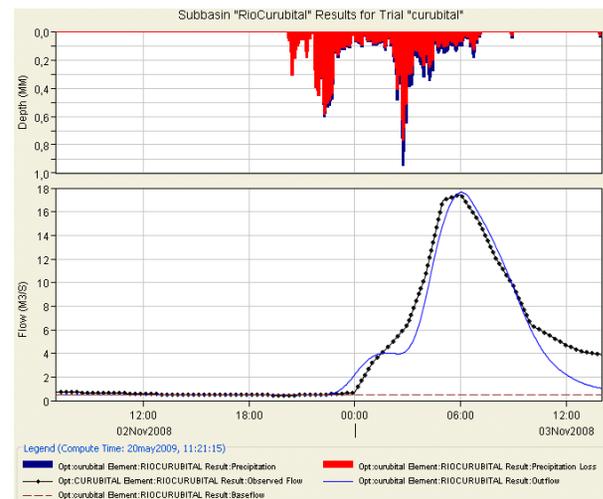
Hydrograph Comparison



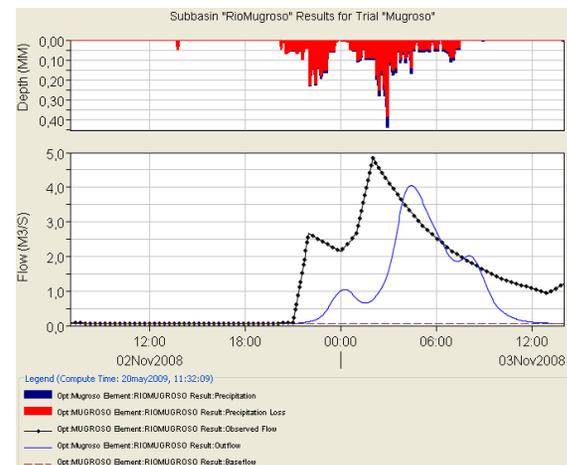
Anexo K. Resultados de la calibración de los modelos hidrológico e hidrodinámico para la creciente registrada en noviembre 1-11 de 2008

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

RIO CURUBITAL - 1 NOV/2008 AL 3 NOV/2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	7,57	8,38	-0,81	-9,65
Caudal Pico (M3/S)	17,6	17,5	0,2	1,0
Tiempo del pico	03nov2008, 06:03	03nov2008, 06:00		
Tiempo centro de masa	03nov2008, 05:20	03nov2008, 05:42		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
RioCurubital	Curve Number		40	56.912
RioCurubital	Initial Abstraction	MM	0	5.3579
RioCurubital	SCS Lag	MIN	100	143.63

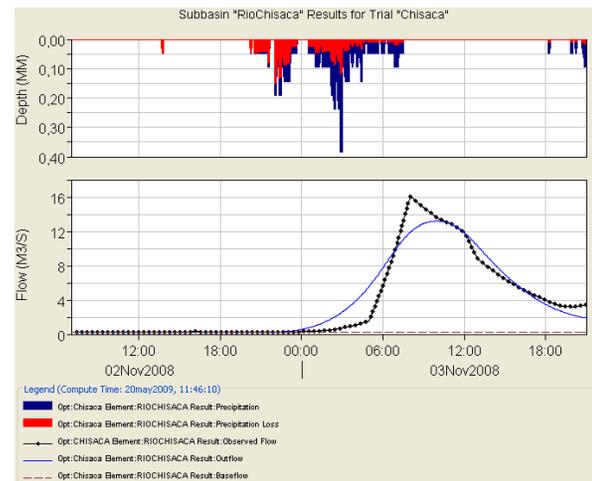


RIO MUGROSO- 1 NOV/2008 AL 3 NOV/2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	2,35	4,27	-1,92	-44,99
Caudal Pico (M3/S)	4,0	4,8	-0,8	-16,5
Tiempo del pico	03nov2008, 04:24	03nov2008, 02:00		
Tiempo centro de masa	03nov2008, 04:30	03nov2008, 03:57		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
Rio Mugroso	Curve Number		83.162	57.764
Rio Mugroso	SCS Lag	MIN	297.71	83.023
Rio Mugroso	Initial Abstraction	MM	0	0

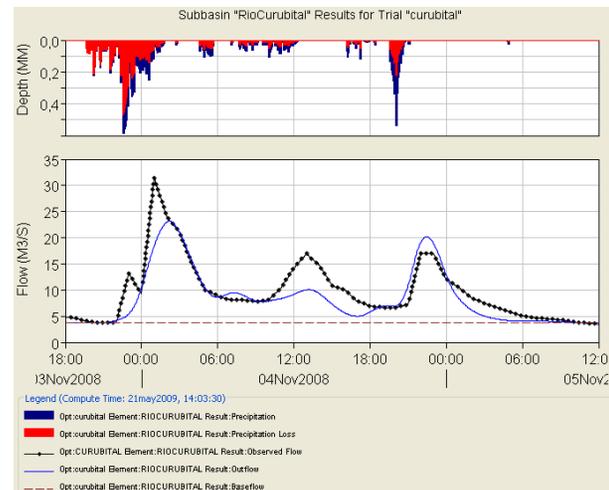


SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL RÍO TUNJUELO – 2009

RIO CHISACÁ- 1 NOV/2008 AL 3 NOV/2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	10,14	9,70	0,44	4,58
Caudal Pico (M3/S)	13,2	16,1	-2,9	-17,8
Tiempo del pico	03nov2008, 09:57	03nov2008, 08:00		
Tiempo centro de masa	03nov2008, 10:05	03nov2008, 10:41		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
Rio Chisaca	Curve Number		96.52	94.918
Rio Chisaca	SCS Lag	MM	100	388.72
Rio Chisaca	Initial Abstraction	MIN	0	0



RIO CURUBITAL - 3 NOV/2008 AL 5NOV/2008				
PARÁMETRO	SIMULADO	OBSERVADO	DIFERENCIA	DIFERENCIA %
Volumen (MM)	23,15	26,68	-3,52	-13,21
Caudal Pico (M3/S)	23,2	31,4	-8,2	-26,1
Tiempo del pico	04nov2008, 02:12	04nov2008, 01:00		
Tiempo centro de masa	04nov2008, 13:02	04nov2008, 12:44		
CORRIENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR INI	VALOR OPT
RioCurubital	Curve Number		40	82.069
RioCurubital	SCS Lag	MIN	100	144.49
RioCurubital	Initial Abstraction	MM	0	0.0010433



Anexo L. Protocolo de emisión de alerta

Anexo de Word

Anexo M. Correspondencia de envío de información de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá



Página 1 de 1

2551001-2007-01182

Bogotá D.C., octubre 8 de 2007

Señores:
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
Att: María Carolina Rogelio Prada
Profesional Grupo de Investigación y Desarrollo
Telefono 4297414 Ext 2902
Bogotá, D.C.

Asunto: Información técnica registros obra ejecutada "Construcción de la Primera Etapa de las Obras para el Control de Crecientes en la Cuenca Baja del Río Tunjuelo – Realce de Jarillones, Dragados y Obras de Protección de Orillas", contrato de obra 1-01-25500-504-206.

De acuerdo con las reuniones sostenidas, adjunto a la presente nos permitimos hacer entrega de un C.D. con la información técnica de los registros de secciones y datos de topografía correspondientes a la ejecución de obras de la construcción de la Primera Etapa de las Obras del Río Tunjuelo correspondientes a realce de Jarillones, dragados y obras de protección de Orillas.

La información entregada corresponde a la actualización de datos de la ejecución de obras con corte al mes de agosto de 2007.

Cordialmente,

JUAN CARLOS ESCANDÓN GONZÁLEZ
Lider Proyecto Obras Río Tunjuelo
Dirección Red Troncal Alcantarillado
Gerencia Corporativa del Sistema Maestro

Elaboró: Juan Carlos Escandón G. ____

Copias: Folder jarillones río Tunjuelo 0700-48-527 – B-01-2006
Consortio Río Tunjuelo
Consortio Pance de León MAS / Consecutivo /

Bogotá sin indiferencia

acueducto Calle 22 C # 40 - 99 PBX: (571) 344 7000 - Bogotá, D.C - Colombia. www.acueductodebogota.com.co e-mail: info@acueducto.com.co

203

Documento tomado de la carpeta de seguimiento del cambio de zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento del río Tunjuelo que reposa en la Coordinación de Investigación y Desarrollo - DPAE



270


AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS 10-07-2008 04:44:39
08ERB295 O 1 Fol:1 Anex:1
Origen : Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá OSCAR GARCIA POVEDA
Destino : SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN TERRITORIAL PINO BENAVIDES ANDREA JULIANA
Asunto: REMITE CONCEPTO TECNICO DE LAS OBRAS DE CRECIENTES Y MITIGACION DE INUN
Observ.: 1 CD

2551001-2008-0771

Bogotá, 9 de julio de 2008

Doctor
GUILLERMO ESCOBAR CASTRO
Dirección Prevención y Atención de Emergencias
Diagonal 47 No. 77 A – 09 Interior 11
Tl 4-292801
Bogotá D. C.

Asunto: Concepto técnico con ocasión a las obras de control de crecientes y mitigación de inundaciones del río Tunjuelo. Su oficio CR4211 referencia 2008EE5796, radicado Acueducto E-2008-043690.

Marcela Sordobea

Respetado doctor Escobar:

Teniendo en cuenta la comunicación relacionada en el asunto, con la cual solicita el concepto técnico de la Empresa de Acueducto con ocasión a la terminación de las obras de control de crecientes y mitigación de inundaciones del río Tunjuelo correspondientes a la presa Cantarrana y a las obras de adecuación consistentes en el dragado, realce de jarillones y obras de protección, nos permitimos informar lo siguiente:

En la primera semana del mes de junio de 2008, la Empresa de Acueducto terminó la construcción de las obras del río Tunjuelo desde el barrio Meissen en la localidad de Tunjuelito hasta el sector denominado Bosatama, en el municipio de Soacha confluencia del río Tunjuelo con el río Bogotá, incluyendo la construcción del nuevo rebosadero del Embalse 3, ubicado en cercanías del barrio El Socorro en la localidad de Kennedy.

El contrato por el cual se ejecutaron las obras descritas se encuentra en la fase de recibo final de obras y liquidación correspondiente.

Con los documentos de liquidación, la Empresa de Acueducto recibirá, aprobada por la Interventoría, la información técnica necesaria para efectuar el concepto e informe técnico que le compete a la Empresa de Acueducto referente a la Zona de Manejo Hidráulico y a la Zona de Preservación Ambiental del río Tunjuelo, evaluadas de acuerdo con las obras implementadas.


BOGOTÁ POSITIVA
GOBIERNO DE LA CIUDAD

Cond

Av. Calle 24 # 37 - 15 PBX: (571) 344 7000 Bogotá, D.C. - Colombia
www.acueducto.com.co

Documento tomado de la carpeta de seguimiento del cambio de zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento del río Tunjuelo que reposa en la Coordinación de Investigación y Desarrollo - DPAE



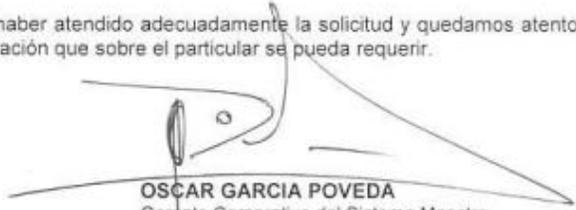
Como soporte del informe y concepto se entregará al DPAE toda la información técnica recopilada en desarrollo de las obras como topografía del estado real del río Tunjuelo con ocasión a la construcción de las obras y de sus zonas adyacentes integradas a la zona de majeo hidráulico y zona de preservación ambiental, así como planos record con la localización georeferenciada de las obras construidas, para que el DPAE analice de forma soportada, los conceptos de riesgo actuales de los diferentes sectores a lo largo del río Tunjuelo.

La Empresa de Acueducto está ejecutando las actividades necesarias para que la información técnica soporte y el informe de ejecución de las obras estructurales de mitigación, incluyendo el informe de la zona de manejo hidráulico y zona de preservación ambiental, sea remitida al DPAE antes de finalizar el mes de septiembre del presente año.

No obstante lo anterior, como complemento a la información que se ha venido entregando, adjunto a la presente se entrega C.D. con la nube de puntos de la información topográfica del estado actual del río Tunjuelo y con la cual el DPAE puede alimentar el modelo hidráulico que posee para generar las modelaciones hidráulicas que serán la base soporte de los conceptos de riesgo hacia los diferentes desarrollos localizados a lo largo del corredor del río.

Con lo anterior esperamos haber atendido adecuadamente la solicitud y quedamos atentos a suministrar cualquier aclaración que sobre el particular se pueda requerir.

Cordialmente,


OSCAR GARCIA POVEDA
Gerente Corporativo del Sistema Maestro

John
Preparó: Juan Carlos Escandón G. / Líder proyecto obras río Tunjuelo
Revisó: Carlos Alberto Acero Arango / Dirección Red Troncal Alcantarillado (di)

Copias: Folder 0700-48-527-B-2006
Asistencia de Gerencia
Consecutivo



Nueva implementación Av. Calle 24 # 37 - 15 PBX: (571) 344 7000 Bogotá, D.C. - Colombia
www.acueducto.com.co

2

Documento tomado de la carpeta de seguimiento del cambio de zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento del río Tunjuelo que reposa en la Coordinación de Investigación y Desarrollo - DPAE