



DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS
Y MEDIO AMBIENTE
FACULTAD DE MINAS
2013



**ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR INUNDACIONES A
ESCALA 1:2.000 y 1:5.000 EN ÁREAS URBANAS PARA
DIEZ MUNICIPIOS DEL TERRITORIO COLOMBIANO**



Contrato No. 408-2013

EQUIPO TÉCNICO

Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas:

Docentes:

Verónica Botero Fernández, MSc., PhD	Directora del Proyecto
Jaime Ignacio Vélez Upegui, MSc., PhD.	Profesor Investigador
Humberto Caballero Acosta, MSc.	Profesor Investigador

Profesionales y Estudiantes:

Claudia Patricia Múnera Mesa	I.C. M.Sc.
Gabriel Jaime Pérez Mesa	I.C.Est. M.Sc.
Natalia Bustamante Penagos	I.C.Est. M.Sc.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Nelson Omar Vargas Martínez, M.Sc.	Subdirector de Hidrología
Oscar Martínez Sarmiento, M.Sc.	Coordinador Modelación Hidrológica
Nelsy Verdugo Rodríguez, I.C.	Profesional Grupo Modelación Hidrológica
José Ville Triana García, M.Sc.	Profesional SIG

TABLA DE CONTENIDO

EQUIPO TÉCNICO	I
TABLA DE CONTENIDO	II
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE FOTOS.....	XI
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
2 OBJETIVOS.....	6
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3 SITIOS SELECCIONADOS.....	7
3.1 SITIOS – INUNDACIONES LENTAS	7
3.2 SITIOS – INUNDACIONES SÚBITAS.....	7
4 METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LA INUNDACIÓN.9	
4.1 INTRODUCCIÓN	9
4.2 INFORMACIÓN.....	10
4.2.1 Topografía LIDAR	10
4.2.2 Imágenes Satelitales de alta resolución	15
4.2.3 Cartografía base	15
4.2.4 Información hidrometeorológica.....	15
4.2.5 Modelos digitales de terreno, DEM.....	15
4.3 METODOLOGÍA INUNDACIONES LENTAS.....	16
4.3.1 Determinación de niveles máximos de lámina de agua	16
4.3.2 Generación de las zonas inundadas asociadas a los eventos máximos e información de niveles 20	
4.3.3 Análisis de series de nivel	22
4.4 METODOLOGÍA INUNDACIONES SÚBITAS	29
4.4.1 Análisis hidrológico: estimación de caudales máximos	29
4.4.2 Determinación de la manchas de inundación a partir del modelo hidráulico – HEC-RAS.....	41
5 TRABAJO DE CAMPO	64
5.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO IMÁGENES LIDAR	64

5.1.1	<i>Toma de datos</i>	64
5.1.2	<i>Apoyos geodésicos</i>	64
5.2	RECONOCIMIENTO EN CAMPO PUNTOS DE INUNDACIÓN	87
5.2.1	<i>Generalidades municipio la Victoria – Valle del Cauca</i>	87
5.2.2	<i>Generalidades municipio Plato – Magdalena</i>	88
5.2.3	<i>Generalidades municipio de Momil – Córdoba</i>	89
5.2.4	<i>Generalidades municipio La Virginia – Risaralda</i>	90
5.2.5	<i>Generalidades municipio de Puerto Boyacá – Boyacá</i>	91
5.2.6	<i>Generalidades municipio de Paipa – Boyacá</i>	92
5.2.7	<i>Generalidades municipio de Fundación – Magdalena</i>	93
5.2.1	<i>Generalidades municipio San Juan Girón – Santander</i>	94
5.2.1	<i>Generalidades municipio Tuluá – Valle Del Cauca</i>	95
5.2.1	<i>Generalidades municipio de Pitalito – Huila</i>	96
6	GENERACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN Y AMENAZA	108
6.1	RESULTADOS MAPAS DE INUNDACIÓN – ZONAS DE INUNDACIONES LENTAS	108
6.2	RESULTADOS MAPAS DE INUNDACIÓN – ZONAS DE INUNDACIONES SÚBITAS	108
6.3	RESULTADOS MAPAS DE AMENAZA	108
7	CONCLUSIONES	110
8	BIBLIOGRAFÍA	112
9	ANEXOS	113
9.1	ANEXO A RESULTADOS NUMÉRICOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES EXISTENTES	113
9.2	ANEXO B RESULTADOS MAPAS DE INUNDACIÓN. ZONAS DE INUNDACIONES LENTAS	133
9.2.1	<i>Mapas de Inundación en la zona urbana del Municipio de la Victoria – Valle del Cauca</i>	133
9.2.2	<i>Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Plato – Magdalena</i>	136
9.2.3	<i>Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Momil – Córdoba</i>	137
9.2.4	<i>Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de La Virginia – Risaralda</i>	139
9.2.5	<i>Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Puerto Boyacá – Boyacá</i>	142
9.3	ANEXO C RESULTADOS MAPAS DE INUNDACIÓN. ZONAS DE INUNDACIONES SÚBITAS	144
9.3.1	<i>Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Paipa – Boyacá</i>	144
9.3.2	<i>Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Fundación – Magdalena</i>	145
9.3.3	<i>Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Girón – Santander</i>	147
9.3.4	<i>Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Tuluá – Valle del Cauca</i>	150
9.3.5	<i>Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Pitalito – Huila</i>	153
9.4	ANEXO D RESULTADOS MAPAS DE AMENAZA	155
9.4.1	<i>Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de la Victoria – Valle del Cauca</i>	155
9.4.2	<i>Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Plato – Magdalena</i>	158
9.4.3	<i>Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Momil – Córdoba</i>	159
9.4.4	<i>Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de La Virginia – Risaralda</i>	161
9.4.5	<i>Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Puerto Boyacá – Boyacá</i>	164
9.4.6	<i>Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Paipa – Boyacá</i>	165



9.4.7	<i>Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Fundación – Magdalena.....</i>	<i>167</i>
9.4.8	<i>Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Girón – Santander.....</i>	<i>168</i>
9.4.9	<i>Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Tuluá – Valle del Cauca</i>	<i>171</i>
9.4.10	<i>Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Pitalito – Huila</i>	<i>174</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1. Localización municipios de estudio.....	8
Figura 4-1. Principio funcionamiento LIDAR (Tomado de BLOM imaging the world).....	11
Figura 4-2. Proceso obtención de la estimación de la extensión de la inundación - Línea de Energía y HAND.....	16
Figura 4-3. DEM esquemático con red de drenaje en azul y estaciones en rojo.....	18
Figura 4-4. Línea de energía definida hasta la salida del DEM.....	18
Figura 4-5. Línea de energía definida desde la estación con nivel más alto hasta la siguiente estación que encuentra a lo largo de la red de drenaje.....	19
Figura 4-6. Línea de energía definida para todos los puntos de la red de drenaje dentro de las estaciones de nivel.....	19
Figura 4-7. Línea de energía generada en todos los puntos pertenecientes a la red de drenaje.....	20
Figura 4-8. Metodología para la obtención de las matrices i_s y j_s	21
Figura 4-9. Mapa asociado a inundación en el DEM esquemático.....	21
Figura 4-10 Comportamiento de la media mensual multi anual.....	24
Figura 4-11 Valores atípicos de niveles.....	24
Figura 4-12. Análisis de frecuencias de niveles.....	25
Figura 4-13. Prueba gráfica de niveles.....	26
Figura 4-14. Ubicación estación Puerto Perales.....	27
Figura 4-15. Ubicación estación Plato.....	27
Figura 4-16. Ubicación estación Momil.....	28
Figura 4-17. Ubicación estación La Virginia.....	28
Figura 4-18. MDT y divisoria de las cuencas.....	31
Figura 4-19 Pendientes de las cuencas.....	32
Figura 4-20 Outliers Serie de caudales estación La Siberia – Río Chicamocha.....	35
Figura 4-21 Outliers Serie de caudales estación Fundación – Río Fundación.....	36
Figura 4-22 Outliers Serie de caudales estación Pto. Rico Hda – Río Fundación.....	36
Figura 4-23 Outliers Serie de caudales estación El Conquistador – Río de Oro.....	37
Figura 4-24 Outliers Serie de caudales estación Mateguadua – Río Tuluá.....	37
Figura 4-25 Outliers Serie de caudales estación Pitalito 2 – Río Guarapas.....	38
Figura 4-26 Curvas de caudales máximos obtenidos por análisis de frecuencia.....	40
Figura 4-27 Geometría en planta del alineamiento del río y secciones transversales. Río Chicamocha – Municipio de Paipa.....	43
Figura 4-28 Geometría en planta del alineamiento del río y secciones transversales. Río Fundación – Municipio de Fundación.....	43
Figura 4-29 Geometría en planta del alineamiento del río y secciones transversales. Río de Oro – Municipio de Girón.....	44

Figura 4-30 Geometría en planta del alineamiento del río y secciones transversales. Río Tuluá – Municipio de Tuluá.....	44
Figura 4-31 Geometría en planta del alineamiento del río y secciones transversales. Río Guarapas – Municipio de Pitalito.....	45
Figura 4-32. Lámina de agua para las secciones de calibración, para la modelación del periodo de retorno de 2.33 años en los cauces evaluados.....	49
Figura 4-33. Perfil del flujo para periodo de retorno de 2.33, 20 y 100 años. Río Chicamocha	50
Figura 4-34. Perfil del flujo para periodo de retorno de 2.33, 20 y 100 años. Río Fundación...	51
Figura 4-35. Perfil del flujo para periodo de retorno de 2.33, 20 y 100 años. Río de Oro.....	51
Figura 4-36. Perfil del flujo para periodo de retorno de 2.33, 20 y 100 años. Río Tuluá.....	52
Figura 4-37. Perfil del flujo para periodo de retorno de 2.33, 20 y 100 años. Río Guarapas.....	52
Figura 4-38. Niveles de flujo secciones transversales. Río Chicamocha.....	53
Figura 4-39. Niveles de flujo secciones transversales. Río Fundación.....	54
Figura 4-40. Niveles de flujo secciones transversales. Río de Oro.....	55
Figura 4-41. Niveles de flujo secciones transversales. Río Tuluá.....	56
Figura 4-42. Niveles de flujo secciones transversales. Río Guarapas.....	57
Figura 4-43. Esquema de pozos y cruces.....	59
Figura 4-44. Perfil de velocidades en el tramo de análisis. Río Chicamocha.....	61
Figura 4-45. Perfil de velocidades en el tramo de análisis. Río Fundación.....	61
Figura 4-46. Perfil de velocidades en el tramo de análisis. Río de Oro.....	62
Figura 4-47. Perfil de velocidades en el tramo de análisis. Río Tuluá.....	62
Figura 4-48. Perfil de velocidades en el tramo de análisis. Río Guarapas.....	63
Figura 5-1. Localización del Municipio de La Victoria.....	88
Figura 5-2. Localización del Municipio de Plato.....	89
Figura 5-3. Localización del Municipio de Momil.....	90
Figura 5-4. Localización del Municipio de la Virginia.....	91
Figura 5-5. Localización del Municipio de Puerto Boyacá.....	92
Figura 5-6. Localización del Municipio de Paipa.....	93
Figura 5-7. Localización del Municipio de Fundación.....	94
Figura 5-15. Localización del Municipio de San Juan Girón.....	95
Figura 5-17. Localización del Municipio de Tuluá.....	96
Figura 5-19. Localización Municipio de Pitalito.....	97
Figura 5-2. Ubicación puntos levantados en campo – Municipio de La Victoria.....	98
Figura 5-4. Ubicación puntos levantados en campo – Municipio de Plato.....	99
Figura 5-6. Ubicación de puntos levantados en campo – Municipio de Momil.....	100
Figura 5-8. Ubicación de puntos levantados en campo – Municipio de La Virginia.....	101
Figura 5-10. Ubicación de los puntos levantados en campo – Municipio de Puerto Boyacá....	102
Figura 5-12. Ubicación de los puntos levantados en campo – Municipio de Paipa.....	103
Figura 5-14. Ubicación de los puntos levantados en campo – Municipio de Fundación.....	104
Figura 5-16. Ubicación puntos levantados en campo – Municipio de Girón.....	105

Figura 5-18. Ubicación de puntos levantados en campo – Municipio de Tuluá.....	106
Figura 5-20. Ubicación de puntos levantados en campo – Municipio de Pitalito.....	107
Figura 6-1. Tipos de daños por inundación y condiciones de flujo.....	109
Figura 9-1. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de La Victoria – Tr=2.33 años	133
Figura 9-2. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de La Victoria – Tr=20 años	134
Figura 9-3. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de La Victoria – Tr=100 años	135
Figura 9-4. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Plato – Tr=2.33 años	136
Figura 9-5. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Plato – Tr=20 años.....	136
Figura 9-6. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Plato – Tr=100 años.....	137
Figura 9-7. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Momil – Tr=2.33 años	137
Figura 9-8. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Momil – Tr=20 años	138
Figura 9-9. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Momil – Tr=100 años	138
Figura 9-10. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de La Virginia – Tr=2.33 años.....	139
Figura 9-11. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de La Virginia – Tr=20 años	140
Figura 9-12. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de La Virginia – Tr=100 años.....	141
Figura 9-13. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Puerto Boyacá – Tr=2.33 años	142
Figura 9-14. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Puerto Boyacá – Tr=20 años...	142
Figura 9-15. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Puerto Boyacá – Tr=100 años	143
Figura 9-16. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Paipa – Tr=2.33 años	144
Figura 9-17. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Paipa – Tr=20 años	144
Figura 9-18. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Paipa – Tr=100 años	145
Figura 9-19. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Fundación – Tr=2.33 años	145
Figura 9-20. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Fundación – Tr=20 años.....	146
Figura 9-21. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Fundación – Tr=100 años	146
Figura 9-22. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Girón – Tr=2.33 años	147
Figura 9-23. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Girón – Tr=20 años	148
Figura 9-24. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Girón – Tr=100 años	149
Figura 9-25. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Tuluá – Tr=2.33 años	150
Figura 9-26. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Tuluá – Tr=20 años.....	151
Figura 9-27. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Tuluá – Tr=100 años	152
Figura 9-28. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Pitalito – Tr=2.33 años	153
Figura 9-29. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Pitalito – Tr=20 años.....	153
Figura 9-30. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Pitalito – Tr=100 años	154
Figura 9-31. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de la Victoria – Tr=2.33 años	155
Figura 9-32. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de la Victoria – Tr=20 años.....	156
Figura 9-33. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de la Victoria – Tr=100 años.....	157
Figura 9-34. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Plato – Tr=2.33 años	158
Figura 9-35. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Plato – Tr=20 años.....	158
Figura 9-36. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Plato – Tr=100 años	159
Figura 9-37. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Momil – Tr=2.33 años.....	159

Figura 9-38. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Momil – Tr=20 años	160
Figura 9-39. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Momil – Tr=100 años.....	160
Figura 9-40. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de la Virginia – Tr=2.33 años.....	161
Figura 9-41. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de la Virginia – Tr=20 años.....	162
Figura 9-42. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de la Virginia – Tr=100 años.....	163
Figura 9-43. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Puerto Boyacá – Tr=2.33 años	164
Figura 9-44. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Puerto Boyacá – Tr=20 años.....	164
Figura 9-45. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Puerto Boyacá – Tr=100 años	165
Figura 9-46. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Paipa – Tr=2.33 años.....	165
Figura 9-47. Mapa amenaza zona urbana Municipio de Paipa – Tr=20 años	166
Figura 9-48. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Paipa – Tr=100 años.....	166
Figura 9-49. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Fundación – Tr=2.33 años	167
Figura 9-50. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Fundación – Tr=20 años	167
Figura 9-51. Mapa amenaza zona urbana Municipio de Fundación – Tr=100 años	168
Figura 9-52. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Girón – Tr=2.33 años	168
Figura 9-53. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Girón – Tr=20 años	169
Figura 9-54. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Girón – Tr=100 años	170
Figura 9-55. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Tuluá – Tr=2.33 años	171
Figura 9-56. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Tuluá – Tr=20 años.....	172
Figura 9-57. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Tuluá – Tr=100 años	173
Figura 9-58. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Pitalito – Tr=2.33 años.....	174
Figura 9-59. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Pitalito – Tr=20 años.....	174
Figura 9-60. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Pitalito – Tr=100 años.....	175

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1. Municipios seleccionados – Inundaciones Lentas	7
Tabla 3-2. Municipios seleccionados – Inundaciones Súbitas.....	7
Tabla 4-1. Años de registro estaciones de caudal.....	23
Tabla 4-2 Análisis de homogeneidad series de niveles de las estaciones de estudio.....	25
Tabla 4-3. Prueba de ajuste, estaciones de nivel	25
Tabla 4-4 Parámetros morfométricos.....	32
Tabla 4-5 Outliers encontrados en las series de caudales	35
Tabla 4-6. Caudales máximos (m ³ /s) asociados a distintos periodos de retorno usando diferentes f.d.p para la Estación La Siberia – Río Chicamocha.....	39
Tabla 4-7. Caudales máximos (m ³ /s) asociados a distintos periodos de retorno usando diferentes f.d.p para la Estación Fundación – Río Fundación.....	39
Tabla 4-8. Caudales máximos (m ³ /s) asociados a distintos periodos de retorno usando diferentes f.d.p para la Estación Pto. Rico Hda – Río Fundación.....	39
Tabla 4-9. Caudales máximos (m ³ /s) asociados a distintos periodos de retorno usando diferentes f.d.p para la Estación El Conquistador – Río de Oro	39
Tabla 4-10. Caudales máximos (m ³ /s) asociados a distintos periodos de retorno usando diferentes f.d.p para la Estación Mateguadua – Río Tuluá.....	39
Tabla 4-11. Caudales máximos (m ³ /s) asociados a distintos periodos de retorno usando diferentes f.d.p para la Estación Pitalito 2 – Río Guarapas.....	40
Tabla 4-12. Caudales máximos de diseño estimados para las estaciones evaluadas.	41
Tabla 4-13. Caudales seleccionados para cada uno de las corrientes súbitas.....	41
Tabla 4-14. Longitud cauces principales.....	45
Tabla 4-15. Valores de coeficiente de rugosidad – Cowan	46
Tabla 4-16. Valores de rugosidad de Manning.....	47
Tabla 4-17. Caudales de diseño.....	48
Tabla 4-18. Clasificación de los cauces, según la pendiente.....	58
Tabla 4-19. Rango de velocidades resultados de la modelación (Tr=100 años).....	60
Tabla 5-1. Fechas de toma de datos LIDAR.....	65
Tabla 5-2. Puntos de amarre – La Victoria	65
Tabla 5-3. Puntos de amarre – Plato.....	67
Tabla 5-4. Puntos de amarre – Momil	69
Tabla 5-5. Puntos de amarre – La Virginia	72
Tabla 5-6. Puntos de amarre – Puerto Boyacá.....	74
Tabla 5-7. Puntos de amarre – Paipa.....	76
Tabla 5-8. Puntos de amarre – Fundación.....	78
Tabla 5-9. Puntos de amarre – Girón.....	80
Tabla 5-10. Puntos de amarre – Tuluá.....	83

Tabla 5-11. Puntos de amarre – Pitalito.....	85
Tabla 9-1. Resultados numéricos de la modelación hidráulica en condiciones existentes. Río Chicamocha	113
Tabla 9-2. Resultados numéricos de la modelación hidráulica en condiciones existentes. Río Fundación.....	117
Tabla 9-3. Resultados numéricos de la modelación hidráulica en condiciones existentes. Río de Oro.....	122
Tabla 9-4. Resultados numéricos de la modelación hidráulica en condiciones existentes. Río Tuluá	124
Tabla 9-5. Resultados numéricos de la modelación hidráulica en condiciones existentes. Río Guarapas.....	130

LISTA DE FOTOS

Foto 5-1. Punto IGAC SAZ-GPS-D-V2. La Victoria.....	66
Foto 5-2. GPS Base. La Victoria.....	66
Foto 5-3. GPS-D-V2. La Victoria.....	67
Foto 5-4. Punto IGAC "IGAC GPS-M-T-57. Plato.....	68
Foto 5-5. GPS Base. Plato.....	68
Foto 5-6. GPS 01. Plato.....	69
Foto 5-7. Punto IGAC "IGAC GPS-CR-T-4. Momil.....	70
Foto 5-8. GPS 01. Momil.....	70
Foto 5-9. GPS 02. Momil.....	71
Foto 5-10. GPS Base. Momil.....	71
Foto 5-11. Punto IGAC SAZ-ISA. La Virginia.....	72
Foto 5-12. GPS 01. La Virginia.....	73
Foto 5-13. GPS 02. La Virginia.....	73
Foto 5-14. Punto IGAC GPS-BY-T-7. Puerto Boyacá.....	74
Foto 5-15. GPS Base. Puerto Boyacá.....	75
Foto 5-16. GPS 01. Puerto Boyacá.....	75
Foto 5-17. GPS 02. Puerto Boyacá.....	76
Foto 5-18. PUNTO I.G.A.C A 38-BO6. Paipa.....	77
Foto 5-19. GPS 01. Paipa.....	77
Foto 5-20. GPS 02. Paipa.....	78
Foto 5-21. GPS Base. Fundación.....	79
Foto 5-22. GPS 01. Fundación.....	79
Foto 5-23. GPS 02. Fundación.....	80
Foto 5-24. Punto IGAC "IGAC GPS-S-T-64. Girón.....	81
Foto 5-25. GPS Base. Girón.....	81
Foto 5-26. GPS 01. Girón.....	82
Foto 5-27. GPS 02. Girón.....	82
Foto 5-28. Punto I.G.A.C " C38-CW-4. Tuluá.....	83
Foto 5-29. GPS 01. Tuluá.....	84
Foto 5-30. GPS 02. Tuluá.....	84
Foto 5-31. Punto IGAC GPS BY - T - 7. Pitalito.....	85
Foto 5-32. GPS Base. Pitalito.....	86
Foto 5-33. GPS 02. Pitalito.....	86
Foto 5-34. GPS 01. Pitalito.....	87



ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR INUNDACIÓN A ESCALA
1:2000 Y 1:5000 EN ÁREAS URBANAS PARA 10 MUNICIPIOS DEL
TERRITORIO COLOMBIANO
CONTRATO NO. 408-2013



1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al informe final del proyecto: “ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR INUNDACIONES A ESCALA 1:2.000 y 1:5.000 EN ÁREAS URBANAS PARA DIEZ MUNICIPIOS DEL TERRITORIO COLOMBIANO IDEAM-Universidad Nacional de Colombia”, y describe la información, procesamiento, análisis y aplicación de metodologías empleadas para la estimación de la extensión de las inundaciones. Estas zonas de inundación expresadas en mapas de amenaza, así como la caracterización de la dinámica de las inundaciones en términos de profundidad y velocidad asociadas a la misma. Para la estimación se realizó una tipificación preliminar de las condiciones de susceptibilidad del territorio frente a la ocurrencia de estos eventos mediante la asimilación de datos LIDAR de alta resolución que permiten una aproximación suficiente a las condiciones del entorno cercano a los núcleos urbanos seleccionados .

Mediante un trabajo conjunto con el equipo de profesionales de la subdirección de hidrología del IDEAM y del Departamento de Geociencias y Medio Ambiente de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional sede Medellín, se seleccionaron 10 municipios, los cuales fueron priorizados como zonas críticas, para la elaboración de los mapas de amenaza por inundación en sus zonas urbanas. Cinco de estos sitios seleccionados corresponden a inundaciones debidas a crecientes súbitas y los otros cinco sitios, a inundaciones ocasionadas por el desbordamiento de grandes ríos.

La metodología aplicada para la elaboración de los mapas de amenaza por inundación, consistió en la estimación de la extensión de las inundaciones y el cálculo de la profundidad y velocidad asociadas, así como su representación en mapas a escala 1:2.000 y 1:5.000, para diferentes períodos de retorno. Estos períodos de retorno se evaluaron a partir de las series de datos hidrológicos disponibles en los registros históricos de IDEAM y/o con la implementación del algoritmo HAND en aquellas zonas sin información hidrometeorológica soportada en mediciones de estación. Finalmente se caracteriza la amenaza de inundación en tres categorías baja, media y alta, las cuales están dadas por una función que relaciona velocidad y la profundidad del agua para el evento de inundación bajo análisis.

Los resultados obtenidos para los diez municipios seleccionados fueron socializados en el marco de la celebración del ‘Día Mundial del Agua, realizada en Bogotá el 21 de marzo.

1.1 ANTECEDENTES

El Programa APL fue concebido en el 2005 por el Gobierno Nacional y el Banco Mundial como un programa de inversión en fases, al ser financiado por el Banco, con el objeto de reducir la vulnerabilidad fiscal del estado colombiano ante desastres naturales. La primera fase de este Programa (APL-1), fue financiada a través del Crédito BIRF 7293-CO, suscrito en octubre de

2005. Con la última recategorización del préstamo aprobada en diciembre de 2011, el presupuesto final de la Categoría 1 alcanzó los US \$ 37.634.384 y para la Categoría 2 los US \$ 72.365.615. La fecha de cierre correspondiente finalizó en agosto de 2013.

La categoría 1 fue ejecutada por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT) e involucró un conjunto de siete (7) entidades subejecutoras (Servicio Geológico Colombiano SGC, antes INGEOMINAS, IDEAM, INVIAS, Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD, antes DGR, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS y Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio escindidos del anterior Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y el Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP). En este contexto el IDEAM ejecutó el proyecto de inversión “Mejoramiento, identificación, seguimiento y monitoreo de amenazas hidrometeorológicas para alertas tempranas (inundaciones, deslizamientos e incendios de la cobertura vegetal) en Colombia – IDEAM” correspondiente al subcomponente A2. Profundización del conocimiento sobre riesgos del Componente A. Identificación y monitoreo del riesgo.

En el mes de abril de 2012, Colombia promulgó la ley 1523, por la cual se adoptó la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se estableció el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

El Sistema Nacional cuenta con las siguientes instancias de orientación y coordinación, cuyo propósito es optimizar el desempeño de las diferentes entidades públicas, privadas y comunitarias en la ejecución de acciones de gestión del riesgo:

- Consejo Nacional para la Gestión del Riesgo.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.
- Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo.
- Comité Nacional para la Reducción del Riesgo.
- Comité Nacional para el Manejo de Desastres.
- Consejos departamentales, distritales y municipales para la gestión del riesgo.

Mediante la ley 1523 de 2012, se estableció que el IDEAM, es parte del Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo, el cual es una instancia interinstitucional del sistema nacional que asesora y planifica la implementación permanente del proceso de conocimiento del riesgo.

El Conocimiento del riesgo, es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor

conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre.

De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, Capítulo VI, la ocurrencia de los eventos extremos ocurridos en los últimos años “ha cambiado el rumbo de la política ambiental y del riesgo del país, ha transformado la visión de los colombianos sobre las posibles consecuencias del cambio climático, e inevitablemente ha alterado el plan de gobierno de este cuatrienio, y en consecuencia el Plan Nacional de Desarrollo como su principal instrumento. Los esfuerzos en ayuda humanitaria, rehabilitación y reconstrucción, la redistribución de los recursos, y la necesidad de replantear las estrategias de prevención en algunos sectores para evitar consecuencias adversas ante futuros eventos de origen natural, son algunos ejemplos de ello.

Durante los años 2010-2011-2012 Colombia experimentó unas condiciones de inundación asociadas con la ocurrencia del evento La Niña. Esta situación que en principio representó una catástrofe nacional, se constituyó en una generosa oportunidad para tomar acciones en principio orientadas a atender la situación de calamidad en que quedaron “sumergidos” miles de colombianos pero también en planificar y orientar otras acciones para corregir errores durante la atención misma de la emergencia o los relacionados con eventos recientes y también para actuar con un espíritu de prevención y planificación de mediano y largo plazo que en últimas es la única manera en que se pueden prevenir futuros desastres y/o minimizar los efectos de estos eventos extremos sobre la población humana en principio pero no menos importante sobre las poblaciones animales y vegetales que se asocian con las amplias planicies inundables que se presentan en la extensa geografía nacional.

Para que una adversidad se convierta en una oportunidad, es necesario realizar un diagnóstico exhaustivo de la situación y del entorno de la misma, de las causas asociadas y los factores detonantes, de las consecuencias inmediatas, de los efectos directos e indirectos, de la raíz del problema y de sus ramificaciones, pero en esencia de la razón por la cual se presenta esta adversidad. Sin duda alguna las adversidades se presentan para enseñarnos de una manera radical “algo” que es importante entender mejor para vivir mejor. En el caso particular de la crítica situación que se presentó por las inundaciones en gran parte de las regiones Andina, Caribe y Pacífica plenamente documentada con los registros de precipitaciones y niveles en las estaciones de la Red Hidrometeorológica Nacional, la gestión ambiental y del riesgo del país, e identificar las modificaciones necesarias para atender las consecuencias recientes y prevenir o disminuir las futuras. En otras palabras, entender mejor nuestra geografía, conocer mejor nuestros riesgos e intervenirlos.”

A partir de lo anterior, el gobierno Colombiano a través del Departamento Nacional de Planeación (DNP) define una serie de lineamientos y acciones estratégicas a fin de garantizar una adecuada Gestión del riesgo de desastres en el marco de una política de “buen gobierno para comunidades seguras” (Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, Cap. VI, Título B, numeral 2). Dentro de estos lineamientos se considera “fundamental identificar los escenarios

de riesgo para la previsión, control y reducción del riesgo de desastres, por tanto, se requiere mejorar el conocimiento del riesgo en el país.” Para ello, el IDEAM debe hacer parte de las siguientes acciones:

“Ampliar, por parte del IDEAM y el Ingeominas, las redes de monitoreo y alerta temprana y actualizar los mapas de amenaza a escalas regionales y locales” y “Diseñar e implementar instrumentos metodológicos para la zonificación de las amenazas, la vulnerabilidad y el riesgo en el ámbito municipal, con el fin de generar técnicas idóneas de evaluación y análisis del riesgo, a cargo de la DGR-MIJ y en coordinación con MAVDT, IDEAM e Ingeominas.”

Dichas acciones se dan por el cumplimiento de la meta de resultados referente a la “Ampliar las redes de monitoreo y alerta temprana y actualización de mapas de amenaza”, cuyos productos asociados al tema de agua y de pertinencia de la Subdirección de Hidrología del IDEAM son: elaboración de 34 Mapas de amenaza por inundación y 20 Mapas por posible presencia de corrientes súbitas en época de lluvias en zonas priorizadas, a escala 1:25.000.

Dentro de las áreas priorizadas para la elaboración de los mapas de amenaza por inundación están: la Depresión Momposina, el río Sinú y el río Atrato y para áreas urbanas ribereñas de mayor población y grado de vulnerabilidad de los ríos Magdalena y Cauca. Los sitios específicos se determinarán de acuerdo con el nivel de información que se disponga (datos hidrológicos, cartografía a escala detallada 1:5.000 1:25.000, imágenes ópticas de alta y media con resolución submétrica).

En este sentido, y en cumplimiento a las obligaciones designadas al IDEAM en el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, Cap. VI, Título B, numeral 2 y que han sido integradas al Plan Operativo Anual (POA) programado para la vigencia 2013, en la actividad No. 24: “Modelación de grandes ríos, crecientes súbitas y zonas priorizadas, en el renglón 103, se requiere la contratación de una firma u Universidad

Para el periodo 2012 - 2013 se ha programado la elaboración de mapas de amenaza por inundación a escalas municipales que incorporen el procesamiento y análisis de imágenes de sensores remotos así como la aplicación de modelación hidrológica en algunas zonas críticas, como aporte institucional para el ordenamiento ambiental y la gestión del riesgo. Para cumplir con este objetivo, a finales de 2012 se realizaron algunos análisis en zonas piloto con recursos del crédito BIRF 7293-CO.

Para el logro de estas actividades se debe contar con expertos en el componente hidrológico y el componente espacial. El hidrólogo debe realizar las actividades técnicas (caracterización hidrológica de la cuenca, estudio hidrológico de los máximos eventos por crecientes) para la modelación hidrológica y/o hidráulica que arroje resultados para los diferentes escenarios extremos de inundación y con diferentes periodos de retorno, para finalmente determinar áreas con los diferentes grados de amenaza por inundación (Alta, media y baja). El experto en información espacial debe abordar lo relacionado con interpretación de imágenes satelitales

y/o radar, elaboración de cartografía y estructuración de los productos geográficos a la Base de Datos geográfica institucionales

Estas acciones, que si bien están y deben ser coordinadas por el IDEAM como autoridad nacional en hidrología y meteorología, su ejecución a la escala regional y local conllevan a un esfuerzo adicional, que con los recursos humanos disponibles actualmente en el personal de planta con que cuenta el IDEAM y las múltiples actividades llevadas a cabo por la subdirección de hidrología, no es suficiente para dar respuesta a este requerimiento del gobierno nacional, por lo que se requiere de personal idóneo externo, siempre bajo los lineamientos técnicos establecidos por el IDEAM.

Mediante la ejecución del presente contrato el IDEAM podrá dar cumplimiento a la elaboración de diez (10) de los veinte (20) mapas de amenaza por inundación a escalas urbanas 1:5.000, con el fin de avanzar en la meta del 2014 fijada por el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. La definición de los 10 sitios hizo parte de las actividades del contrato y estuvo sujeta al análisis de la información disponible para la realización de este estudio, bajo los lineamientos de la subdirección de hidrología.

Para el desarrollo de esta fase del proyecto se prevé continuar con la elaboración de mapas de amenaza por inundación en zonas críticas priorizadas y es por esto que en el marco del Plan Operativo Anual y el Plan de Contrataciones y Adquisiciones – 2013, entregado al Banco Mundial, se considera la contratación de un consultor en Sistemas de Información Geográfica para la Zonificación de Amenazas por Inundación en coherencia con los objetivos misionales del IDEAM y las políticas nacionales, para la obtención de los productos derivados del subcomponente A2 del Programa de Reducción de la Vulnerabilidad Fiscal del Estado ante Desastres Naturales, Crédito BIRF 7293-CO.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar los mapas de zonificación de amenazas por inundaciones a escala detallada 1:2.000 y 1:5.000 para 10 áreas urbanas priorizadas en el territorio nacional

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los 10 sitios a estudiar considerando como mínimo: La susceptibilidad a inundación, la recurrencia de los eventos, la disponibilidad de información, tales como: cartografía detallada, imágenes de alta resolución, y series hidrometeorológicas.
- Delimitar las zonas de inundación a escala 1:2.000 y 1:5.000 para los 10 sitios definidos en el territorio colombiano, utilizando la metodología descrita en el presente documento.
- Definir las áreas urbanas de alta, media y baja amenaza por inundaciones, para cada uno de los sitios seleccionados de acuerdo a la metodología establecida de manera conjunta con el IDEAM.
- Realizar los trabajos de campo topográficos detallados y delimitar las áreas urbanas afectadas por el evento 2010-2011, para los 10 sitios seleccionados, con base en la información disponible (cartografía detallada, Imágenes de alta resolución, huellas dejadas por los máximos eventos).
- Entregar la cartografía de zonas de inundación resultante e implementarla en Sistema de Información Geográfica, cuya estructura se enmarque en lo estipulado por el IDEAM para el efecto, la cual debe ser concertada con la oficina de informática y articulada con los desarrollos propios de la subdirección de hidrología.
- Entregar informes de avance y realizar talleres de socialización presenciales o no amarradas, al menos una vez al mes con los funcionarios de la subdirección de hidrología.
- Elaborar un documento que contenga la metodología de trabajo realizado.
- Realizar una presentación ejecutiva, donde queden descritas las metodologías, resultados de las áreas cartografiadas y conclusiones de la consultoría realizada.

3 SITIOS SELECCIONADOS

Se seleccionaron 10 municipios priorizados como zonas críticas, para la elaboración de los mapas de amenaza por inundación en sus zonas urbanas. Cinco de los sitios seleccionados corresponden a inundaciones debidas a crecientes súbitas y los otros 5 sitios, a inundaciones ocasionadas por el desbordamiento de grandes ríos.

La selección de los sitios estuvo en función de la susceptibilidad a inundación, la recurrencia de los eventos y la disponibilidad de información: cartografía detallada, imágenes de alta resolución y series hidrometeorológicas.

3.1 SITIOS – INUNDACIONES LENTAS

Se definieron los 5 sitios en conjunto con funcionarios del IDEAM para determinar los mapas de amenaza por inundaciones lentas en zonas urbanas, estos se presentan en la Tabla 3-1 y en la Figura 3-1 se puede ver la localización de estos municipios seleccionados.

Tabla 3-1. Municipios seleccionados – Inundaciones Lentas

Municipio	Departamento
Puerto Boyacá	Boyacá
Plato	Magdalena
Momil	Córdoba
La Victoria	Valle del Cauca
La Virginia	Risaralda

3.2 SITIOS – INUNDACIONES SÚBITAS

Se definen los 5 sitios en conjunto con funcionarios del IDEAM para determinar los mapas de amenaza por inundaciones súbitas en zonas urbanas, estos se presentan en la Tabla 3-2 y en la Figura 3-1 se puede ver la localización de estos municipios seleccionados.

Tabla 3-2. Municipios seleccionados – Inundaciones Súbitas

Municipio	Departamento
Paipa	Boyacá
Pitalito	Huila
Girón	Santander
Fundación	Magdalena
Tuluá	Valle del Cauca

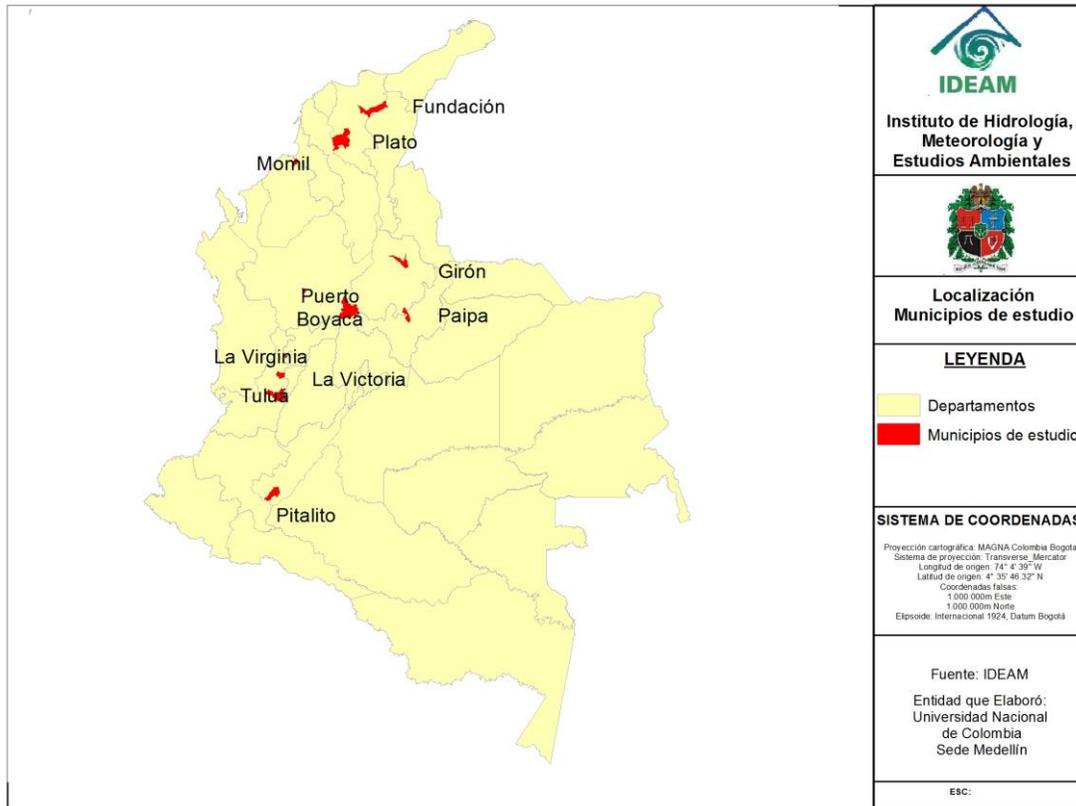


Figura 3-1. Localización municipios de estudio

4 METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LA INUNDACIÓN.

4.1 INTRODUCCIÓN

En función del tipo de inundación se definió una metodología para la estimación de los mapas de amenaza por inundación lenta o súbita. Como estrategia general se definieron sobre el terreno los niveles máximos del agua y la dirección de flujo durante eventos de inundación asociados a cada período de recurrencia.

Una vez se obtenidos los niveles de flujo durante el evento, se superpusieron con la topografía del terreno y se obtuvo la estimación de la extensión de la inundación para el período de retorno considerado.

Para la estimación de los niveles máximos de flujo y para la definición de la mancha de inundación se requiere una topografía muy detallada del cauce y de las zonas aledañas susceptibles de ser inundadas.

Dentro de la zona inundada y en cualquier sitio de interés (a partir de la información de niveles de inundación, la topografía local) se puede obtener la profundidad del flujo, la pendiente de la línea de energía, la velocidad del flujo y su capacidad de arrastre, que son elementos claves para la definición del nivel de amenaza para el respectivo período de retorno y para considerar posibilidades de reducir el nivel de exposición o la vulnerabilidad a la misma.

En las zonas planas sujetas a inundaciones lentas, dentro de la zona definida como la extensión de inundación para los períodos de retorno más alto, hay zonas en las que es posible su ocupación (sostenible en el tiempo) sin que las inundaciones sean una amenaza efectiva que afecte la calidad de vida de las personas.

En los flujos rápidos toda la extensión de la inundación estimada es una zona de amenaza alta con muy pocas posibilidades de ser mitigada de una manera efectiva y sostenible.

Algunas poblaciones pueden estar amenazadas por los dos tipos y por tanto se puede requerir la superposición de los dos procedimientos. Las inundaciones no necesariamente constituyen una amenaza.

Según se mencionó, en función del tipo de inundación se definió una metodología para la estimación de los mapas de amenaza por inundación lenta o súbita. La información necesaria para la realización del proyecto se describe a continuación.

4.2 INFORMACIÓN

A continuación se presenta una descripción de la información necesaria para la realización del presente proyecto:

4.2.1 Topografía LIDAR

Debido a la precisión del trabajo en escala 1:2.000 y 1:5.000 de los mapas de amenaza por inundación, se optó por la realización de levantamientos topográficos con Tecnología LIDAR que ofrecen una precisión altimétrica de orden submétrica.

El sistema LIDAR combina un escaneo Light Detection And Ranging (LIDAR) aerotransportado sobre el terreno con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y la Unidad de Medida Inercial (IMU) de una aeronave, mapeando la superficie del terreno. Este sistema constituye una herramienta tecnológica eficiente para la adquisición de Modelos Digitales del Terreno y Modelos Digitales de Superficie (MDT y MDS) de grandes áreas (Figura 4-1).

El principio de operación consiste en los siguientes aspectos:

- El pulso láser es enviado y el reloj comienza a cronometrar el tiempo de medición.
- La luz se refleja en los diferentes objetos
- El sensor captura la cantidad de luz reflejada cada nanosegundo (10^{-9} seg)
- El valor de intensidad se almacena junto con el tiempo de lectura
- Los impactos (ecos) son extraídos de la señal recibida y las posiciones calculadas.

4.2.1.1 Procedimiento para el levantamiento Topográfico LIDAR

1. Toma de fotografías aéreas sobre el bloque de interés especificado para obtener un tamaño de píxel de 15 cm mediante sensor fotogramétrico digital.
2. Procesamiento de fotografía aérea a color (RGB).
3. Captura de información por medio de LIDAR sobre el área de interés especificada garantizando en promedio un punto a piso por metro cuadrado.
4. Posicionamiento de bases en tierra al momento del vuelo fotogramétrico para incrementar la precisión de los datos cinemáticos obtenidos en vuelo.
5. Generación Ortofotomosaico a color del área de estudio, con resolución promedio GSD de 15 cm.

6. Extracción de curvas de nivel con intervalo de 0.25 metros.

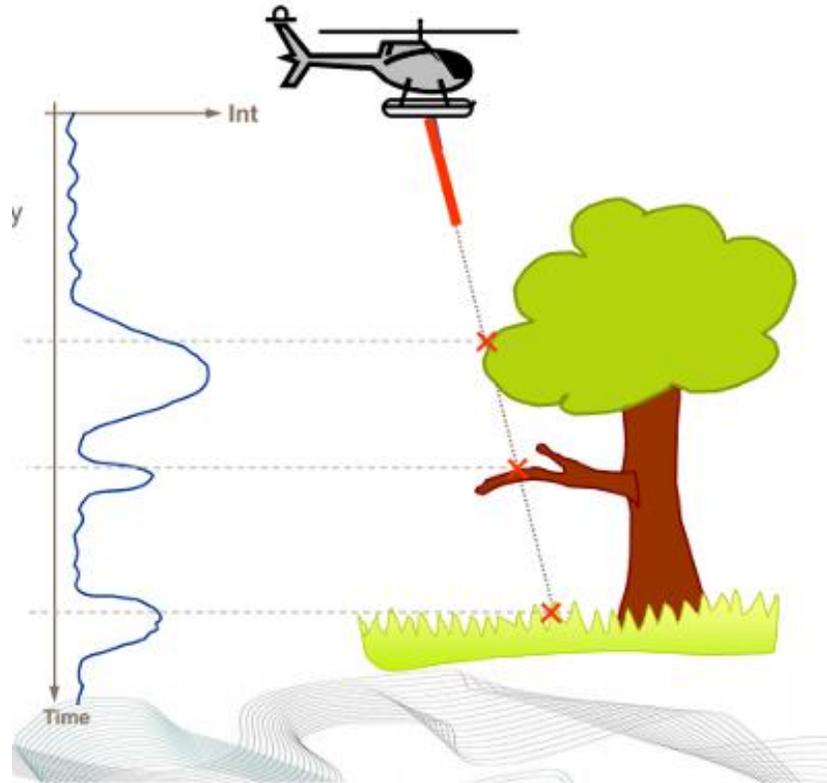


Figura 4-1. Principio funcionamiento LIDAR (Tomado de BLOM imaging the world)

4.2.1.2 Sistema de referencia LIDAR

El sistema de referencia de la cámara digital es el WGS 84, Coordenadas UTM Z-18N, de forma opcional, pueden ser tomados como base los puntos bases GPS de apoyo a los vuelos amarrados a la red MAGNA ECO del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Cabe indicar que, de forma opcional, durante la ejecución de los vuelos fotogramétricos, se mantuvieron encendidas las estaciones GPS de apoyo en tierra.

El sistema de proyección final de todos los productos cartográficos es el MAGNA-SIRGAS (Proyección Gauss Kruger).

➤ *Posicionamiento con estaciones base*

La precisión posicional de los productos geográficos finales se incrementó enormemente al emplear una o varias estaciones GNSS base ligadas a un marco geodésico como la red Magna ECO del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el empleo de bases geodésicas al momento del

vuelo fotogramétrico permitió realizar las correcciones necesarias para obtener las precisiones requeridas para generar productos a escalas de detalle.

➤ **Posicionamiento por punto preciso (PPP)**

El ajuste geodésico del vuelo fotogramétrico y de los datos obtenidos por medio de este posicionamiento, se realizó empleando la metodología Precise Point Positioning (PPP) que permitió calcular las posiciones de la aeronave, llegando a precisiones de pocos centímetros, empleando un solo receptor (GNSS) dentro de un marco dinámico y de referencia mundial como el International Terrestrial Frame (ITRF).

La metodología PPP combina relojes precisos y órbitas GNSS calculadas a partir de una red global de información satelital y de estaciones permanentes, para calcular la posición exacta con un único receptor que puede ser de frecuencia doble o individual. En el caso de este proyecto dicho receptor fue de doble frecuencia, el cual se ubicó directamente en la aeronave que realizó el vuelo fotogramétrico.

Empleando PPP no se hace necesaria la materialización de puntos base GNSS que sirve de apoyo al vuelo fotogramétrico, llegando a obtener de esta manera precisiones óptimas para los requerimientos del proyecto.

4.2.1.3 Equipos e infraestructura de software

Los equipos utilizados para el presente proyecto fueron:

- Una (1) aeronave CESSNA T182 matricula HK4870 con puerto de cámara.
- Un (1) sensor digital Trimble AC P65+ para la toma de fotografía a color.
- Un (1) sensor Láser Trimble Harrier 68i de 400 kHz
- Dos (2) estaciones de Edición LIDAR (doble turno).
- Dos (2) estaciones de Fotogrametría (doble turno).
- Dos (2) estaciones de Control de Calidad.

4.2.1.4 Toma de imágenes satelitales

Se realizó el planeamiento del vuelo para programar la adquisición de imágenes digitales a colores con tamaño de píxel de 15 cm., para esto se utilizó el software planeamiento de vuelo de Trimble Track Air, que permite ingresar parámetros que satisfacen los requerimientos del Proyecto.

Así mismo se confirmaron los permisos de operación aeronáutica exigidos por las autoridades colombianas, a saber:

- Registro de operaciones otorgado por la Aeronáutica Civil, para trabajos de toma de fotografía para la aeronave HK4870.
- Permiso de la Fuerza Aérea Colombiana
- Diseño geométrico del vuelo, conformado por tramos rectos, que tuvieron las siguientes características: superficie de trabajo y zona a cubrir (el 100% del área de interés requerida por el proyecto), proyección cartográfica, la ejecución del vuelo digital asistido con el sistema Airborne GPS, basado en el Sistema WGS-84, tamaño de Píxel (15 cm aproximadamente), condiciones meteorológicas (la altitud solar deberá situarse en un rango cuyo mínimo sea de 30° y su máximo sea de 60°, no estará oscurecido por nubes, niebla, brumas, humo o polvo, ni zonas inundadas (de modo que se pueda capturar la información detallada del terreno), las imágenes no presentarán nubosidad o sombras pronunciadas), deriva y desviaciones de la trayectoria del Avión (la deriva y desviación del avión, será siempre inferior a 50 metros de la trayectoria planificada), desviaciones de la vertical de la cámara (la inclinación promedio del eje vertical de la cámara no será mayor de 3 grados sexagesimales por faja, ni más de 2 grados en todo el proyecto), deriva no compensada (el máximo de la deriva no compensada será de 3° sexagesimales) y cambios de rumbo en la trayectoria del avión (el cambio de rumbo menor de la trayectoria del avión será de 3° sexagesimales, los inicios y finales de las fajas, quedarán más allá de los límites del área de Estudio).
- La ortofotografía y modelos de elevación se obtuvieron con base en el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), materializado en el Marco Internacional de Referencia Terrestre 1994 (ITRF94) de acuerdo con las normas IGAC.
- Se realizó la toma de información (fotografías y LIDAR) documentando los vuelos y tomando siempre estos datos: fecha, hora, altura de vuelo, velocidad en el aire, ángulo de barrido y rata de adquisición de datos.

4.2.1.5 Toma de datos LIDAR

El trazado de las líneas Láser a tomar se definió en función de la configuración del vuelo y la malla de puntos a obtener, para esto se realizó un estudio preliminar al plan de vuelo definitivo, sin embargo, los barridos láser cumplieron con las siguientes características básicas:

- Rata de pulsos: 400kHz

- Número de ecos grabables: hasta 4 ecos
- Divergencia de cada haz láser: hasta 3 mrad
- Altura sobre el terreno: 3.000 pies aproximadamente
- Exactitud vertical RMSE: aproximadamente 25 cm para un intervalo de confianza del 95%
- Exactitud horizontal RMSE: aproximadamente 10 cm para un intervalo de confianza del 95%
- Campo de vista: 15° - 40°
- Recubrimiento entre pasadas: 20% (cuando sea necesario)
- Frecuencia del pulso láser: Entre 50 y 70 Hz.
- Puntos / m² (promedio): mayor o igual a 8 ptos/m²

4.2.1.6 Procesamiento de datos LIDAR

Todo el procesamiento de los datos adquiridos con la metodología Precise Point Positioning (PPP), se realizó en el sistema WGS-84. Las coordenadas finales, serán reproyectadas al Sistema Magna – Sirgas.

En esta fase se obtuvo información altimétrica del área del proyecto a partir de los datos LIDAR obtenidos sobre el bloque de imágenes Aero triangulado usando los software: DTMaster y DTMTToolkit, con el propósito de generar el DTM final del proyecto, que se usó en la generación de las ortofotos.

4.2.1.7 Productos LIDAR

Los productos obtenidos, fueron:

- Modelo Digital de Superficie DSM. (malla mínima de 1m x 1m o superior)
- Modelo Digital de Terreno DTM.(malla mínima de 1m x1m o superior)
- Orto fotografías a color en formato digital con tamaño de píxel de 15 cm, formato Tiff con su respectivo TFW.
- Archivos LIDAR crudos en formato LAS con densidad mínima promedio de 8 puntos por metro cuadrado.

- Curvas de nivel cada 0.25 metros.
- Digitalización sobre la ortofoto de los elementos cartográficos identificables dentro de un catálogo de objetos para escala 1:2.000
- Clasificación de los datos LIDAR incluidos en archivos formato LAS con densidad mínima de 4 puntos por metro cuadrado.

4.2.2 Imágenes Satelitales de alta resolución

Aunque se dispuso de todas las imágenes de sensores remotos de distintas fechas adquiridas por el IDEAM para los sitios de estudio, las cuales incluyen los sensores IKONOS, RAPIDEYE, ADS80, y se consideró como información de contexto la proveniente de sensores de libre acceso como: GOOGLE EARTH y LANDSAT., se privilegió la obtenida con los levantamientos LIDAR por la precisión que se ha mencionado reiterativamente ofrece esta herramienta tecnológica.

4.2.3 Cartografía base

La cartografía básica corresponde a la disponible en IGAC, suministrada por el IDEAM en escala 1:25.000 o mayor según el caso de cada uno de los sitios de estudio. Dicha cartografía contiene: catastro, vías, zonas construidas, mapa vectorial en formato “shape” de cuerpos de agua (embalses, lagunas, ciénagas), red de drenaje y geología de cada zona. Durante las visitas de campo a los sitios seleccionados, se obtuvo la información sobre toponimia disponible en las oficinas de cada municipio.

4.2.4 Información hidrometeorológica

Se dispuso de información hidrometeorológica entregada por el IDEAM, la cual comprende:

- Series de nivel y caudal de estaciones con cotas amarradas
- Estaciones de nivel sin cotas amarradas
- Estaciones de caudal sin cotas amarradas
- Secciones transversales

4.2.5 Modelos digitales de terreno, DEM

Se dispuso de DEM de acceso libre como información complementaria.

- ASTER DEM (30x30).

- DEM SRTM (90x90).

4.3 METODOLOGÍA INUNDACIONES LENTAS

La estimación de la extensión de la inundación se obtuvo a partir de un algoritmo con los siguientes parámetros de entrada: mapa de modelo digital de elevación, mapa de direcciones de drenaje, mapa de red de drenaje, mapa de estaciones de nivel amarradas o estaciones de nivel no amarradas.

El aplicativo, que permite calcular un mapa de amenaza por inundación asociado a niveles de lámina de agua, genera dos productos espaciales: el primero es el de línea de energía que es una interpolación de los valores de niveles de las estaciones a través de la red de drenaje (el nivel varía de acuerdo con el período de retorno), y el segundo, que se obtiene por medio de la aplicación del algoritmo HAND (Height Above Nearest Drainage) (Daleles Rennó, 2008), es el mapa de amenaza por inundación que indica dónde el terreno es susceptible a inundaciones de acuerdo con los valores de los niveles de las estaciones (ver Figura 4-2).

La idea fundamental de este algoritmo HAND es la representación de un mapa de alturas con una pequeña variación con respecto al mapa de elevación original (DEM). El HAND tiene todos sus valores de elevación normalizados con respecto a la magnitud de la línea de energía en la red de drenaje existente, conformando así un mapa de elevaciones relativo a las corrientes existentes en las diferentes cuencas de la zona representada.

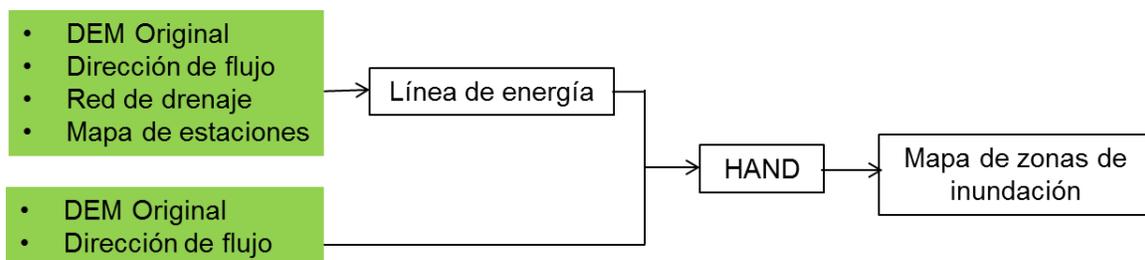


Figura 4-2. Proceso obtención de la estimación de la extensión de la inundación - Línea de Energía y HAND

Se estimó la extensión de la inundación para los distintos niveles de amenaza (bajo, medio y alto) asociados a algún periodo de retorno.

4.3.1 Determinación de niveles máximos de lámina de agua

A continuación se describe cómo se obtuvieron los niveles máximos para los diferentes periodos de retorno, además se explica cómo se amarraron estos niveles a la cota de lámina de agua de la topografía o al valor medio si no se posee el valor exacto del nivel en el día del levantamiento topográfico (imágenes LIDAR).

4.3.1.1 Generación de líneas de energía

La metodología se basa en la presentada en el informe entregado en la fase II del proyecto “Zonificación de Amenazas por inundación para el territorio Colombiano” (Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2011), e incorpora los resultados obtenidos en la fase III del mismo proyecto en el cual se realizó la aplicación del algoritmo de análisis HAND para todo el territorio colombiano, empleando como referencia cartografía básica a escala 1:100.000 disponible en el IDEAM y series de datos hidrometeorológicos del banco de datos del IDEAM, con lo cual se realizó el análisis hidrológico correspondiente.

El proceso de generación de líneas de energía comienza con una superposición de capas de información, todas en formato ráster, con el mismo número de filas y columnas, la misma georeferenciación y el mismo tamaño de píxeles, como se muestra en la Figura 4-3.

Para generar la línea de energía a lo largo de la red de drenaje se empieza en el píxel más bajo de esta, así se garantiza que los píxeles de aguas arriba siempre encuentren un valor de nivel al bajar por la red de drenaje. Partiendo de la estación con nivel más bajo se recorre la red de drenaje hasta encontrar la salida del DEM asignando valores de niveles piezométricos a la red, que dependen de la pendiente del terreno (ver Figura 4-4).

Luego se hace un proceso desde las estaciones de aguas arriba hacia las estaciones de aguas abajo. El proceso consiste en empezar desde los niveles máximos y moverse a lo largo de la red de drenaje calculando pendientes. En el momento en el que el proceso encuentra otra estación calcula la pendiente del tramo a partir de la diferencia entre los niveles y la longitud calculada (ver Figura 4-5).

Luego el proceso regresa desde la estación de aguas arriba asignando niveles piezométricos a toda la red por medio de la pendiente encontrada. El proceso se repite hasta pasar por todas las estaciones (ver Figura 4-6).

Después de tener línea de energía a lo largo del tramo de la red de drenaje con información de estaciones, se procede a llevar niveles piezométricos al resto de la red. Para esto se parte de todos los puntos de la red para los cuales no se tiene información partiendo de un nivel piezométrico conocido y asociando una altura piezométrica a cada píxel de la red de acuerdo con una pendiente calculada para los ríos en la zona de estudio. Para el caso de estudio se trabaja a partir de la pendiente calculada del terreno. Así, se viaja hacia aguas arriba hasta que el valor del DEM queda por encima del nivel piezométrico, en este caso el valor que se le asigna a la red de drenaje es el valor del DEM. Así se considerarán todos los píxeles que queden a la misma altura de la red de drenaje en las zonas encañonadas pero no se harán sobre estimaciones considerando niveles piezométricos que en realidad no tienen por qué ser los verdaderos (ver Figura 4-7).

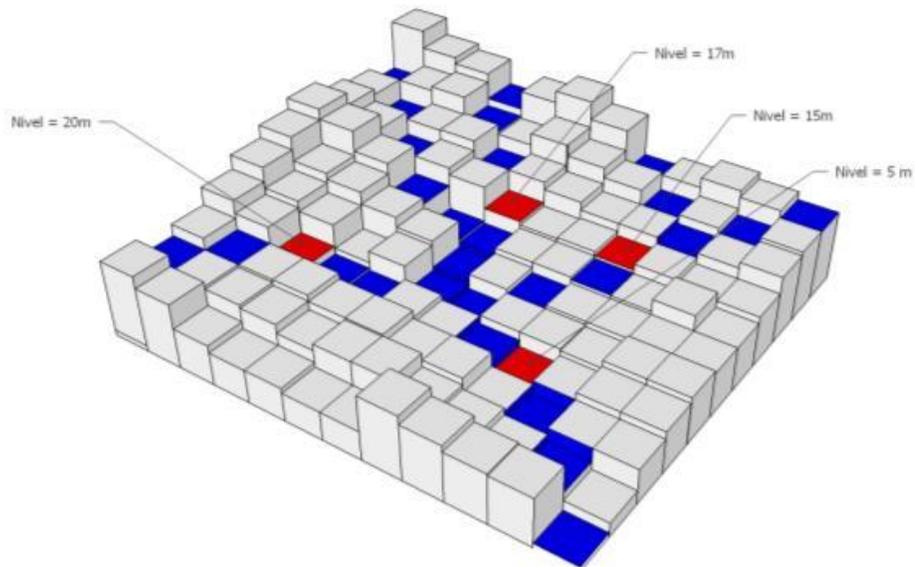


Figura 4-3. DEM esquemático con red de drenaje en azul y estaciones en rojo.

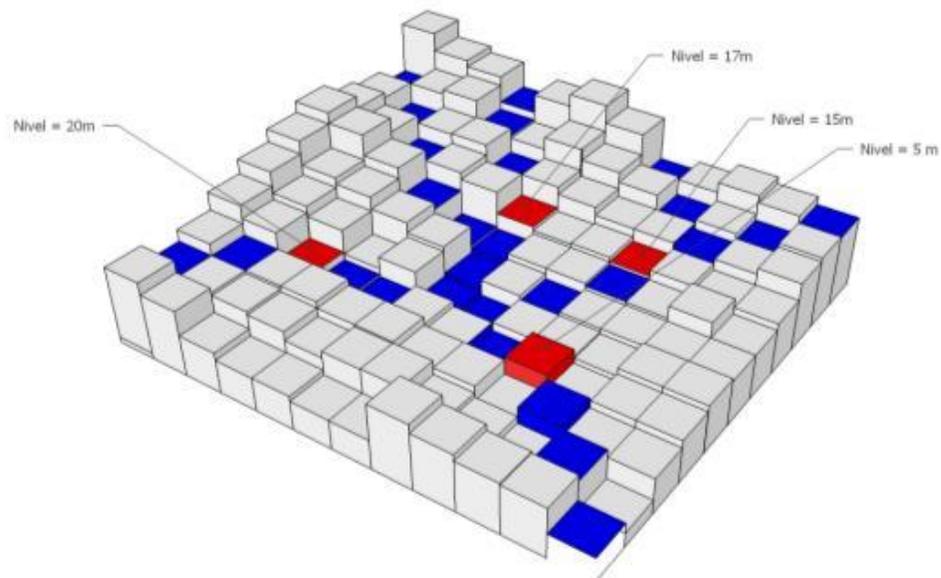


Figura 4-4. Línea de energía definida hasta la salida del DEM

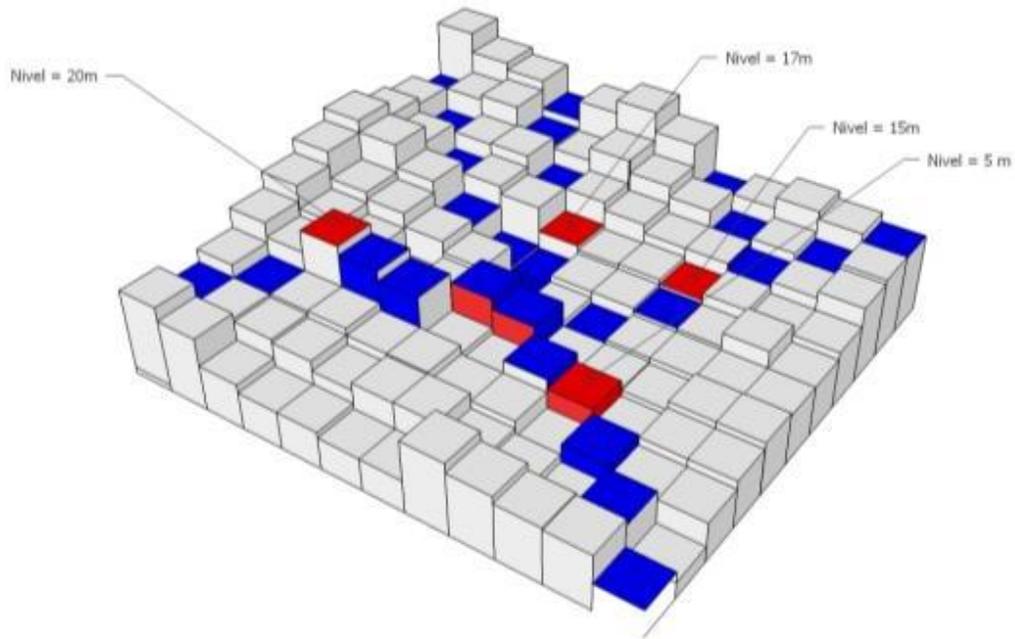


Figura 4-5. Línea de energía definida desde la estación con nivel más alto hasta la siguiente estación que encuentra a lo largo de la red de drenaje

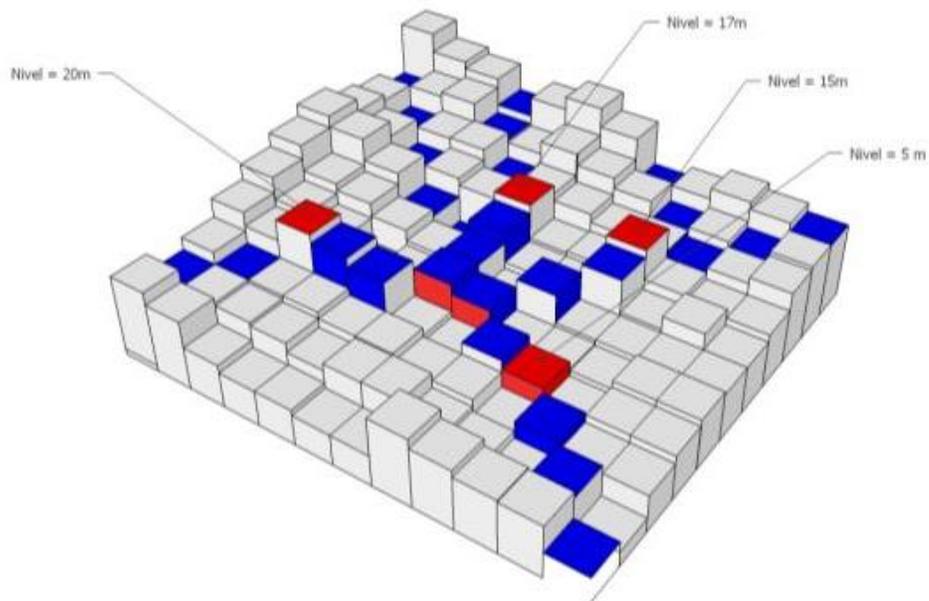


Figura 4-6. Línea de energía definida para todos los puntos de la red de drenaje dentro de las estaciones de nivel.

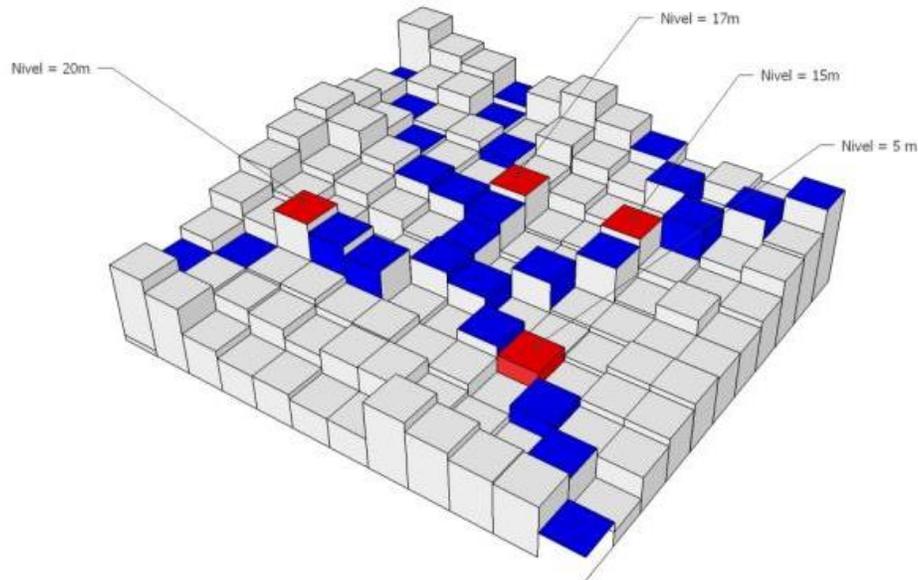


Figura 4-7. Línea de energía generada en todos los puntos pertenecientes a la red de drenaje

4.3.2 Generación de las zonas inundadas asociadas a los eventos máximos e información de niveles

El proceso de generación de zonas inundadas asociadas a los eventos máximos y a la información de niveles comienza con una superposición de capas de información, todas en formato raster, con el mismo número de filas y columnas, la misma georeferenciación y el mismo tamaño de píxeles.

Las matrices de i_s y j_s son calculadas según lo expuesto en la metodología del HAND (Renno et al, 2008). Las matrices tienen valores de la columna (j_s) y la fila (i_s) del píxel, en la red de drenaje, hacia el cual drena cada punto del terreno. La explicación se ve mejor en la Figura 4-8, donde el píxel para el cual se están calculando las matrices de i_s y de j_s es el píxel pintado de rojo. Se viaja a través del mapa de direcciones hasta llegar a un píxel de la red de drenaje. El valor de la fila del píxel de la red de drenaje es el valor para la matriz i_s en la celda roja y el valor de la columna del píxel de la red de drenaje es el valor para la matriz j_s en la celda roja.

El procedimiento se repite hasta que todos los píxeles dentro de la cuenca queden con valor de i_s y de j_s .

Teniendo las matrices de i_s y de j_s se hace un barrido por todo el DEM comparando el valor del píxel con el valor de la línea de energía del píxel asociado a las matrices i_s y j_s . Tal y como se muestra a continuación:

Si $DEM(i,j) < Línea\ Energía(i_s(i,j), j_s(i,j))$ se considera que el pixel se inunda. Si no, se considera que el pixel no se inunda. Esto teniendo en cuenta que $i=1, 2, 3 \dots$ No. Filas y $j=1, 2, 3 \dots$ No. de columnas. Así se hace para todos los pixeles hasta determinar todas las celdas dentro del DEM. Se obtiene así un raster de 1 y 0 donde el valor para las zonas inundadas es uno y el valor para las zonas no inundadas es cero, como se muestra en la Figura 4-9.

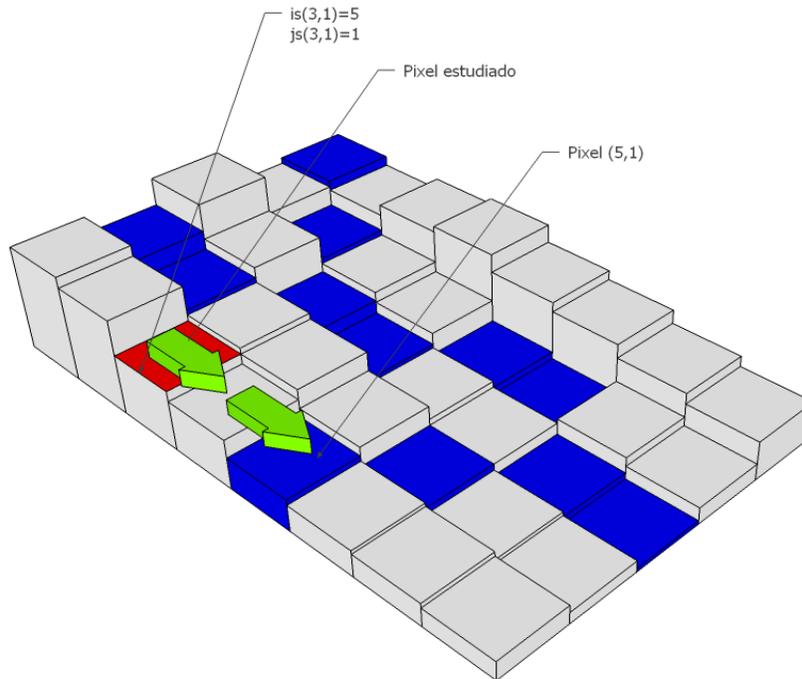


Figura 4-8. Metodología para la obtención de las matrices i_s y j_s

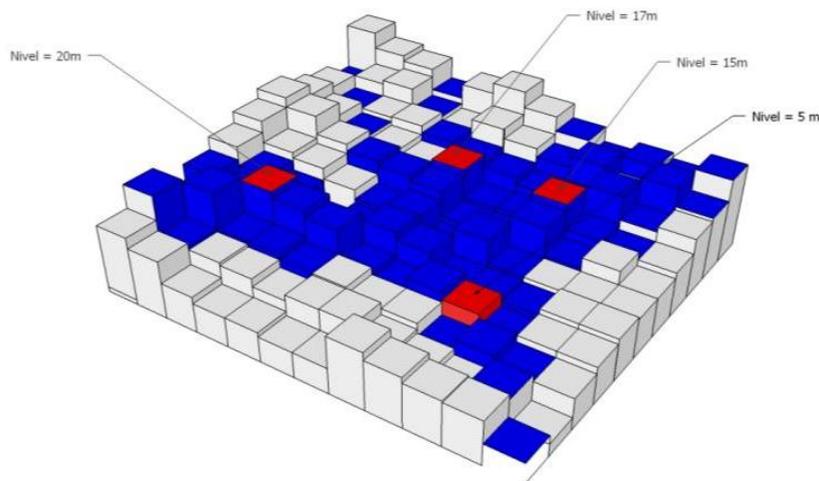


Figura 4-9. Mapa asociado a inundación en el DEM esquemático

4.3.3 Análisis de series de nivel

Se realizó el procesamiento de las series de niveles para estimar y asociar los niveles máximos para diferentes periodos de retorno y grados de amenaza. Se seleccionaron las estaciones que se encuentran encima de las corrientes hídricas de afectación a las zonas urbanas de estudio. El análisis y la localización de las estaciones para las zonas urbanas con inundaciones lentas se presentan a continuación.

El análisis de cada serie consta de: comportamiento de la media mensual multi-anual, determinación de valores atípicos, análisis de homogeneidad, pruebas de bondad de ajuste conjunto a un análisis de frecuencia de valores máximos y finalmente presentación de las curvas obtenidas al comparar niveles observados vs caudales observados.

Para la determinación de valores atípicos se utilizaron las metodologías de punto fuera de rango y de rango normalizado (siendo la primera más confiable que la segunda ya que tiene un mayor rigor estadístico) para la cual se ha asumido que un valor de la serie es atípico si se encuentra 3.5 desviaciones estándar por encima de la media de los datos.

Para determinar si hay cambio en la media se emplea la prueba de Mann-Whitney ya que es una prueba no paramétrica confiable, en la cual se estima el parámetro estadístico U para conjuntos contiguos de 12 datos en la serie y finalmente se evalúa si todos los valores estimados del parámetro U son menores a 1.96, si esto se cumple se asume que no hay cambio en la media, de lo contrario sí lo hay.

La tendencia en la media se determina a partir de la prueba T , en la cual se realiza una regresión lineal de la serie de tiempo asumiendo que esta es una nube de puntos, a partir de la cual se estima el parámetro T de los datos analizados, finalmente este parámetro T se compara con un T crítico (T_c) el cual es obtenido a partir de la distribución T inversa con una probabilidad del 97.5% y con $N-2$ grados de libertad, siendo N igual a la cantidad de datos de la muestra.

Para estimar si hay o no cambio en la varianza se emplea la prueba F , la prueba exige contar con una serie de al menos 25 registros. Esta es una prueba iterativa en la cual la serie se divide en dos conjuntos que varían en cada iteración, se comienza con un conjunto N_1 igual a los diez primeros valores de la serie y un conjunto N_2 igual a los $N-10$ últimos valores de la serie, en la siguiente iteración N_1 es el mismo conjunto del paso anterior más un dato y N_2 es igual al conjunto del paso anterior menos el dato que pasa a ser del conjunto de N_1 , lo anterior se repite hasta que el tamaño de N_2 sea igual a 10 valores. En cada iteración se determina la varianza de cada conjunto (V_1 y V_2) y a partir de la ecuación (1) se determina el parámetro F del paso actual, conjunto a esto se determina la F_{cr} para cada paso a partir de la distribución inversa acumulada de F con una probabilidad del 97.5% y tomando como grados de libertad el tamaño de ambas muestras. Al final de cada iteración se compara el parámetro F con el

parámetro F_{cr} , si el valor de F es mayor al valor de F_{cr} se asume que hay un cambio en la varianza.

$$F = \begin{cases} V1/V2 & \text{si } V1 > V2 \\ V2/V1 & \text{si } V2 > V1 \end{cases}$$

Las pruebas de bondad de ajuste se realizaron sobre los valores máximos anuales de cada serie con respecto a las funciones de probabilidad *Normal*, *Log-Normal* y *Gumbel*. Se emplearon dos pruebas de ajuste: la prueba de *Smirnov Kolmogorov* por ser una prueba no paramétrica y la prueba *Gráfica* por ser una representación simple del comportamiento de la serie considerada.

En la prueba de *Smirnov Kolmogorov* se compara la curva de probabilidad acumulada de los valores máximos, contra la curva de probabilidad acumulada obtenida mediante alguna de las tres funciones de probabilidad a evaluar, empleando los parámetros provenientes del comportamiento estadístico de la serie de máximos. La prueba consiste en encontrar la distancia máxima entre ambas curvas y compararla con el estadístico K obtenido a partir de los grados de libertad dados por la cantidad de datos y la confiabilidad establecida para la prueba (95% para este caso), se determina que la función de distribución pasa la prueba si la distancia máxima medida es menor que el estadístico K estimado.

Como su nombre lo dice, la prueba *Gráfica* consiste en comparar de manera visual las curvas de probabilidad acumulada de los máximos anuales de la serie contra las curvas de probabilidad acumuladas obtenidas para cada una de las funciones de probabilidad a evaluar. En este caso se determina de manera subjetiva si el comportamiento de ambas curvas es similar o no, y por ende si la función de distribución seleccionada hace una buena representación del comportamiento de los valores máximos analizados. A pesar de que el resultado de la prueba depende en gran parte del analista, se hace una representación abierta y de fácil entendimiento del comportamiento estadístico de la serie analizada.

El análisis de frecuencias de los valores máximos se realiza para las funciones de distribución *Normal*, *Log-Normal* y *Gumbel*, con periodos de retorno de 2.33, 20 y 100 años

4.3.3.1 Resultados del análisis hidrológico

En la Tabla 4-1 se muestran los años de registro de cada una de las estaciones de caudal analizadas.

Tabla 4-1. Años de registro estaciones de caudal

Estación	Años de registro
Puerto Perales	35
Plato	20

Estación	Años de registro
Momil	20
La Virginia	20

A continuación se presentan las gráficas de comportamiento mensual multianual de cada una de las estaciones (Figura 4-10) y los valores atípicos de niveles (Figura 4-11).

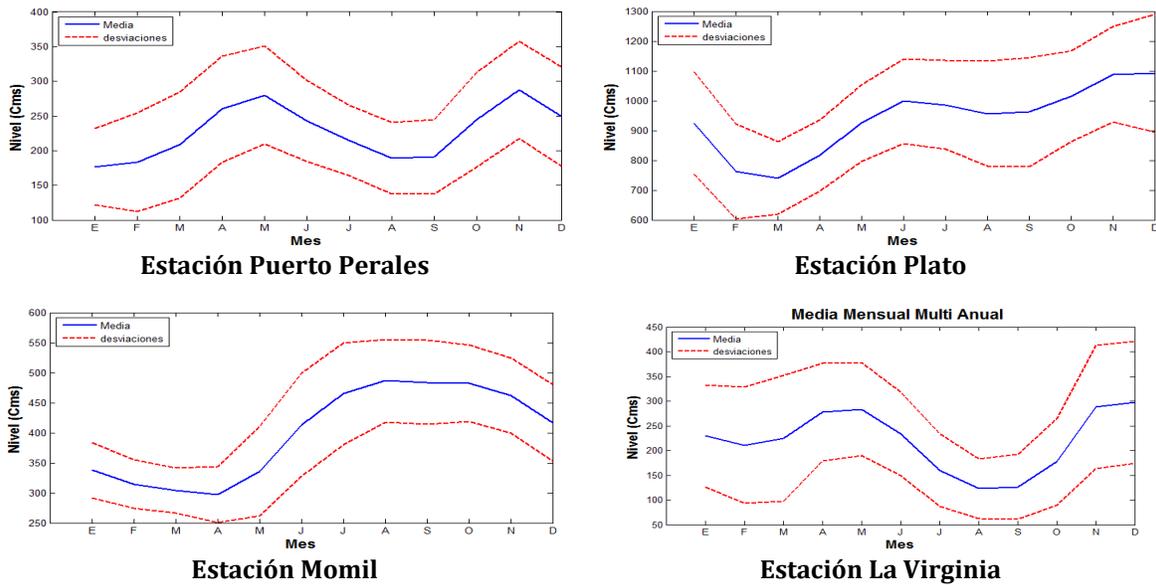


Figura 4-10 Comportamiento de la media mensual multi anual.

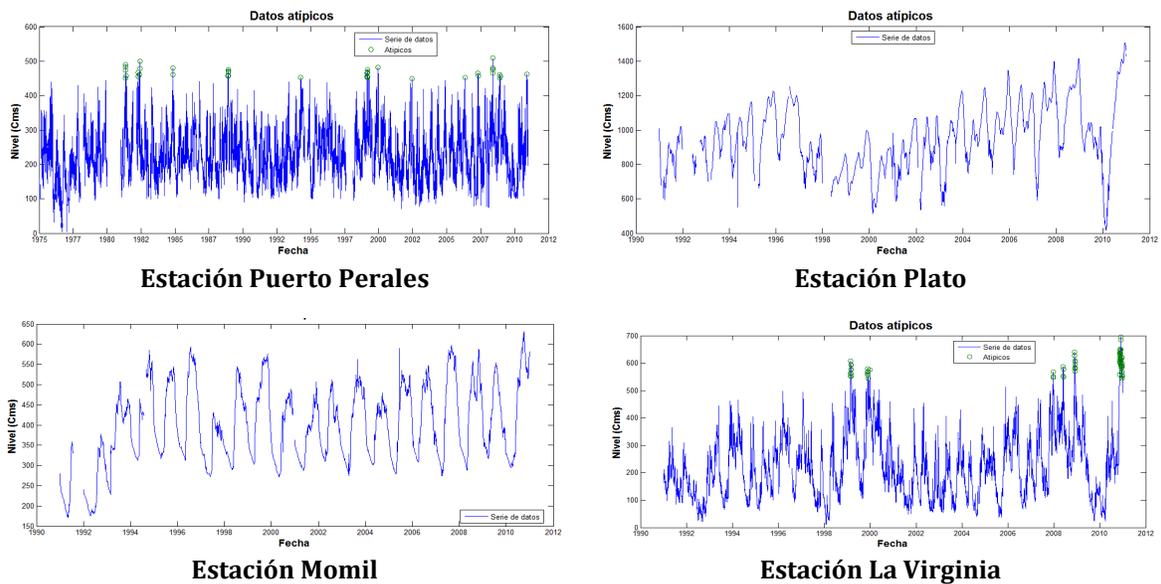


Figura 4-11 Valores atípicos de niveles.

En la Tabla 4-2 se muestran los resultados de las pruebas correspondientes al análisis de homogeneidad realizado a cada una de las series de nivel de las estaciones de estudio y en la Tabla 4-3 los resultados de la prueba de ajuste.

Tabla 4-2 Análisis de homogeneidad series de niveles de las estaciones de estudio

Prueba	Puerto Perales	Plato	Momil	La Virginia
Cambio en la media	No	Si	No	Si
Cambio en la varianza	No	No	No	No
Tendencia en la media	Si	Si	Si	Si

Tabla 4-3. Prueba de ajuste, estaciones de nivel

Prueba de Ajuste	Puerto Perales	Plato	Momil	La Virginia
Normal	No	No	No	No
Log-Normal	No	No	No	No
Gumbel	Si	Si	Si	Si

En la Figura 4-12 se muestran las gráficas obtenidas del análisis de frecuencia realizado mediante la prueba de *Smirnov-Kolmogorov* y en la Figura 4-13 los resultados de la prueba grafica ajustada.

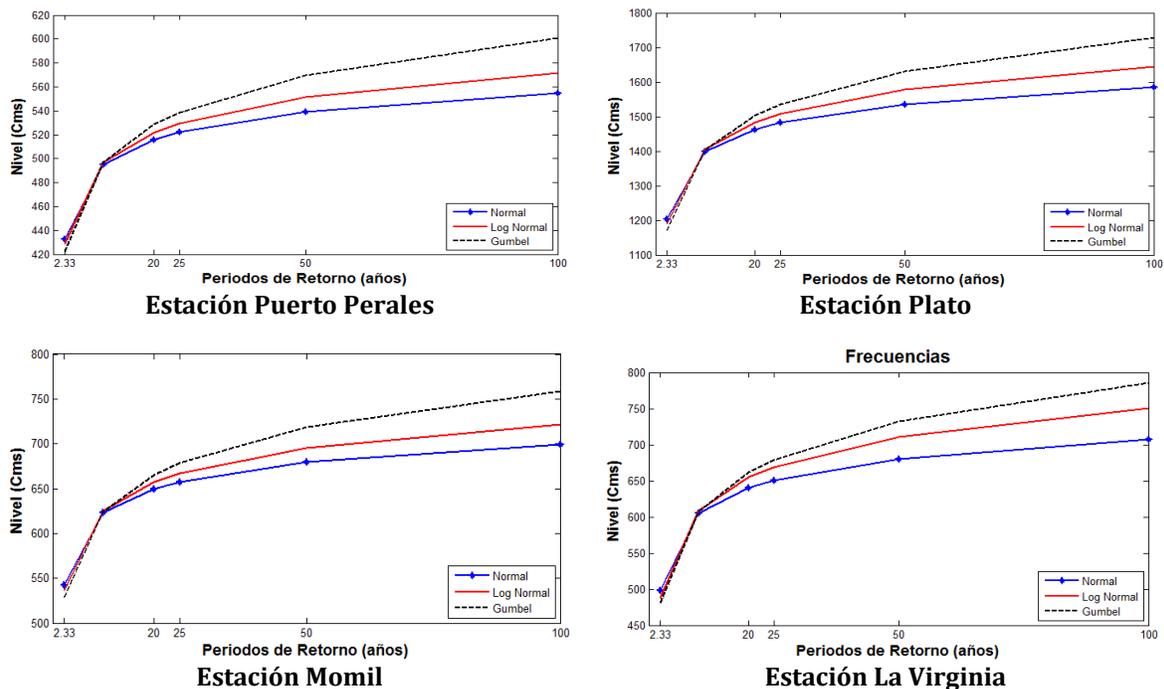
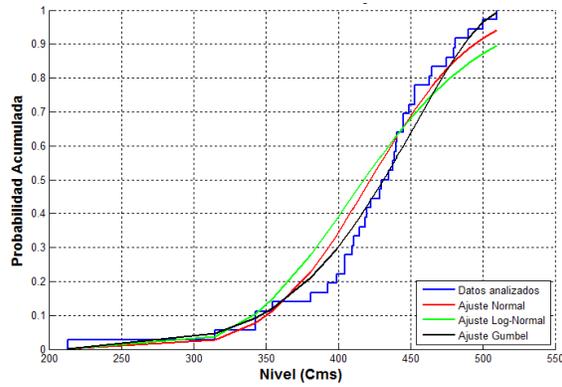
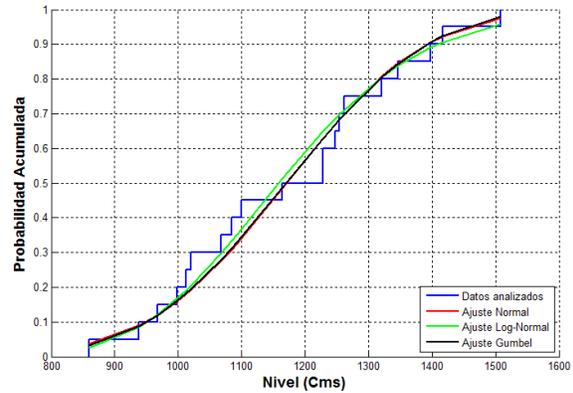


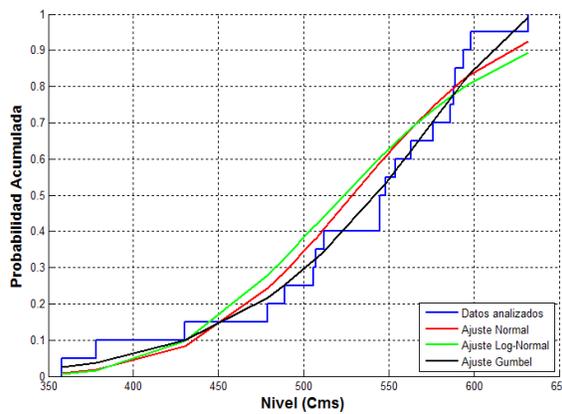
Figura 4-12. Análisis de frecuencias de niveles.



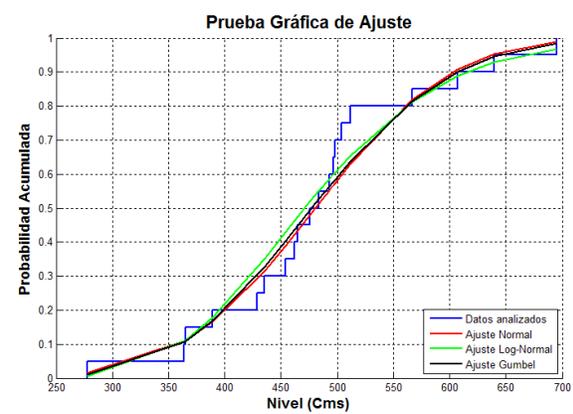
Estación Puerto Perales



Estación Plato



Estación Momil



Estación La Virginia

Figura 4-13. Prueba gráfica de niveles.

En la Figura 4-14 a Figura 4-17 se muestra la localización de las estaciones procesadas dentro del cauce de estudio.

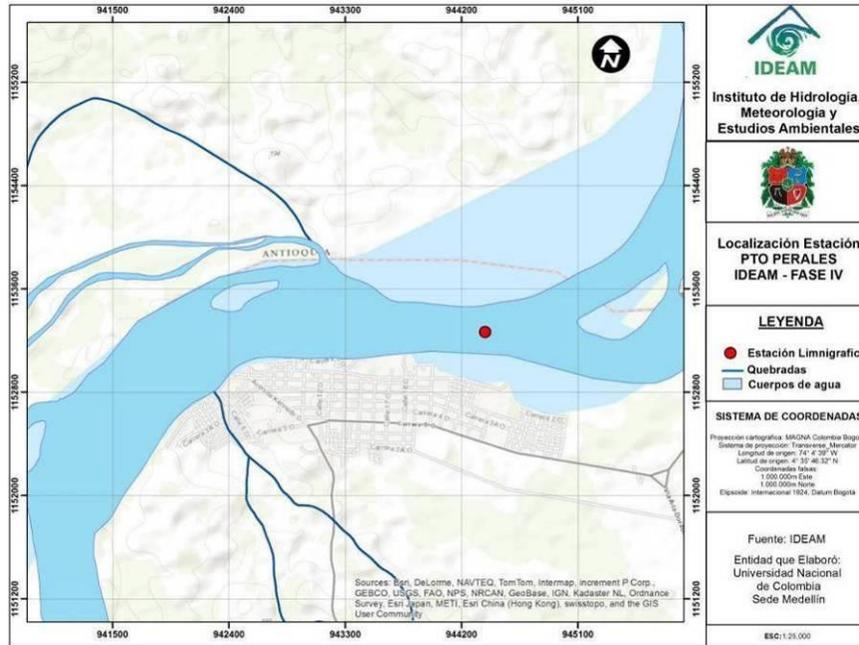


Figura 4-14. Ubicación estación Puerto Perales

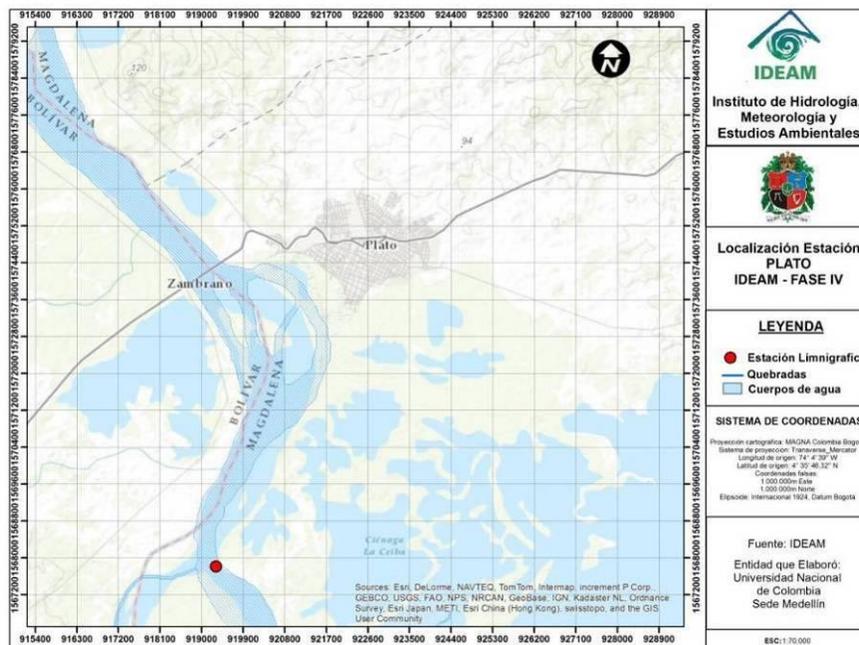


Figura 4-15. Ubicación estación Plato

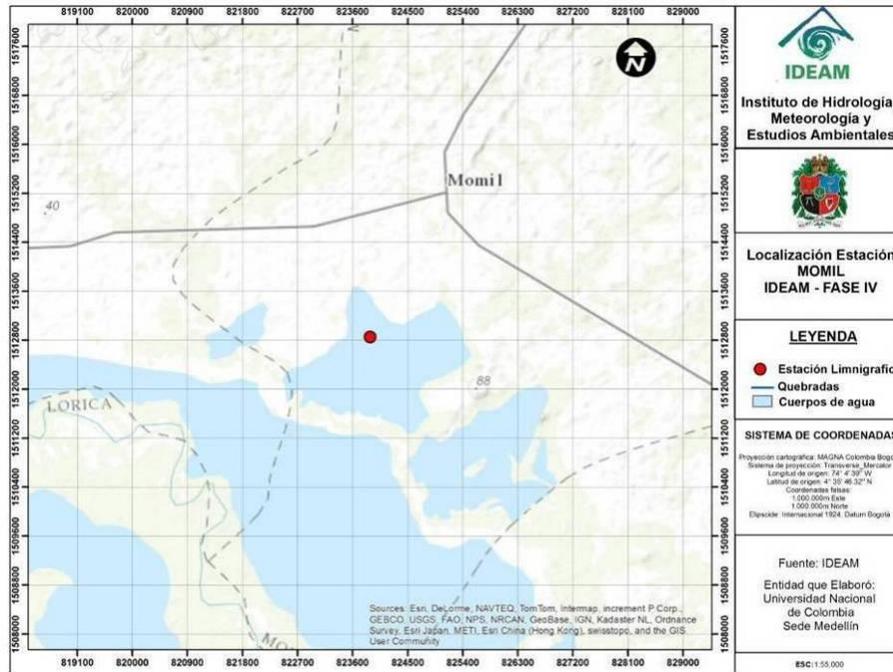


Figura 4-16.Ubicación estación Momil

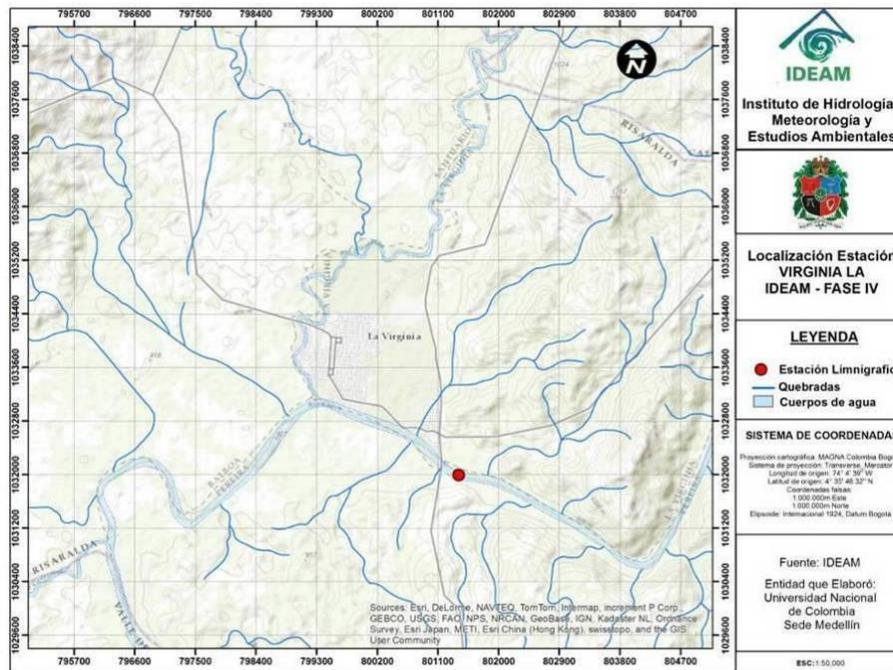


Figura 4-17.Ubicación estación La Virginia

4.4 METODOLOGÍA INUNDACIONES SÚBITAS

Para la estimación de la extensión de la inundación en corrientes de montaña en el área de influencia perteneciente a las zonas urbanas, se siguieron dos pasos fundamentales:

1. Se aplicó la misma metodología utilizada en las corrientes lentas.
2. Se aplicó un modelo hidráulico de simulación con el software HEC-RAS.

4.4.1 Análisis hidrológico: estimación de caudales máximos

Se calcularon los caudales máximos para las corrientes asociadas a los cinco municipios definidos previamente: Tuluá, Fundación, Girón, Paipa y Pitalito, con el objeto de estimar los eventos máximos asociados a los caudales con período de recurrencia de 2.33, 20 y 100 años.

A continuación se describe paso a paso el análisis hidrológico desarrollado para la estimación de los caudales máximos, como se sabe, los municipios seleccionados presentan actualmente una amenaza alta de ser inundados, dados los eventos ocurridos en estas regiones durante la última década, los cuales están asociados a crecientes súbitas.

4.4.1.1 Metodología

Para obtener los caudales de diseño en los sitios de interés seleccionados para el estudio hidrológico, en primer lugar se hizo la recopilación de información cartográfica e hidrometeorológica, para obtener los parámetros morfométricos de las subcuencas y conformar una base de datos de los registros hidrométricos de las estaciones limnimétricas y limnigráficas, con miras a reconstruir los eventos históricos más importantes de caudales máximos dentro de los cauces analizados y estimar los caudales máximos de diseño para los diferentes periodos de retorno. La metodología empleada para la estimación de los caudales máximos corresponde al análisis de frecuencia, cuyo procedimiento y resultados se muestran más adelante.

Para el cálculo de caudales máximos para diferentes periodos de retorno en los puntos de interés, se utilizó la siguiente metodología:

- Construcción de un Modelo Digital de Elevación (MDE) a partir de la cartografía existente.
- Cálculo de los parámetros morfométricos de la cuenca del río hasta los puntos de interés.

- Clasificación de las series de caudales obtenidas, para su posterior análisis de homogeneidad y tendencia, con el objeto de garantizar calidad en la serie histórica y por tanto resultados adecuados en la determinación de los caudales máximos.
- Determinación de los caudales máximos de diseño a partir del análisis de frecuencia.

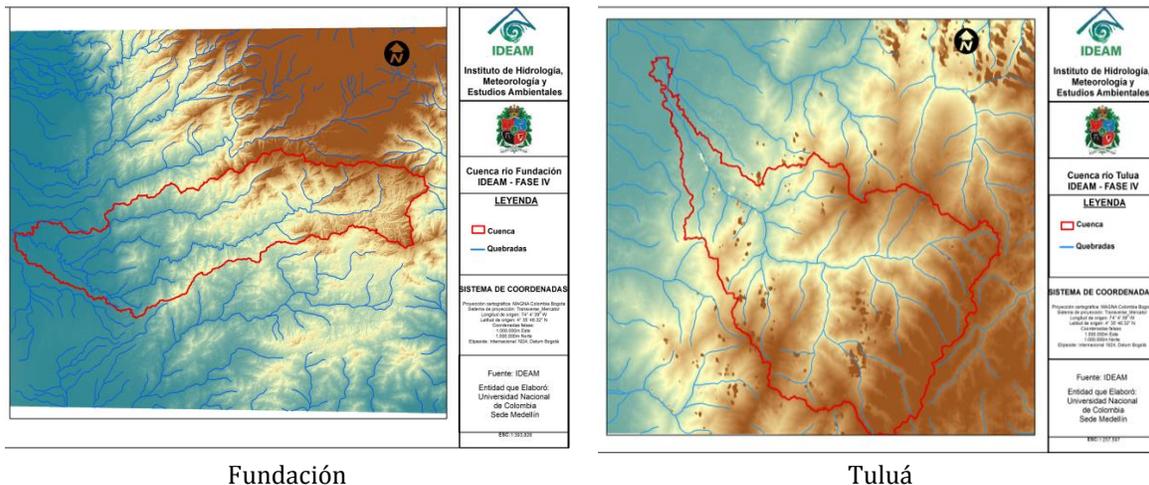
4.4.1.2 Objetivo del estudio hidrológico

El objetivo básico de todo estudio hidrológico es lograr un entendimiento adecuado del comportamiento de la variable hidrológica de interés. Para el caso de la estimación de la extensión de la inundación, lo que en general se quiere es analizar el comportamiento de la actual geometría y alineamiento del cauce para condiciones hidrológicas extremas. En general, para lograr este objetivo, un estudio hidrológico usa información existente, tratando de inferir el comportamiento general de la variable hidrológica de interés.

4.4.1.3 Modelo digital de TERRENO (MDT) y parámetros morfométricos

La estimación de los parámetros morfométricos de las cuencas de interés se realizó mediante un MDT con una resolución espacial de 30 x 30 obtenidas del satélite ASTER GDEM v2. Se utilizó HydroSIG v4.0 para extraer automáticamente las divisorias y los parámetros morfométricos asociados a la cuenca, después de haber corregido el MDT eliminando zonas planas y sumideros (Ramírez, 2002), procedimiento que también es automático.

En la Figura 4-18 se presentan la cuencas aferentes a los municipios de Fundación, Tuluá, Pitalito, Paipa y Girón. En la Figura 4-19 se muestran los mapas de pendientes para las zonas de Fundación, Tuluá, Pitalito, Paipa y Girón.



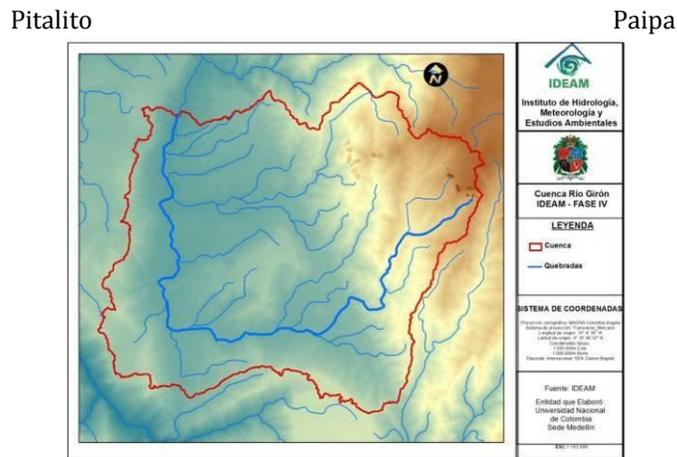
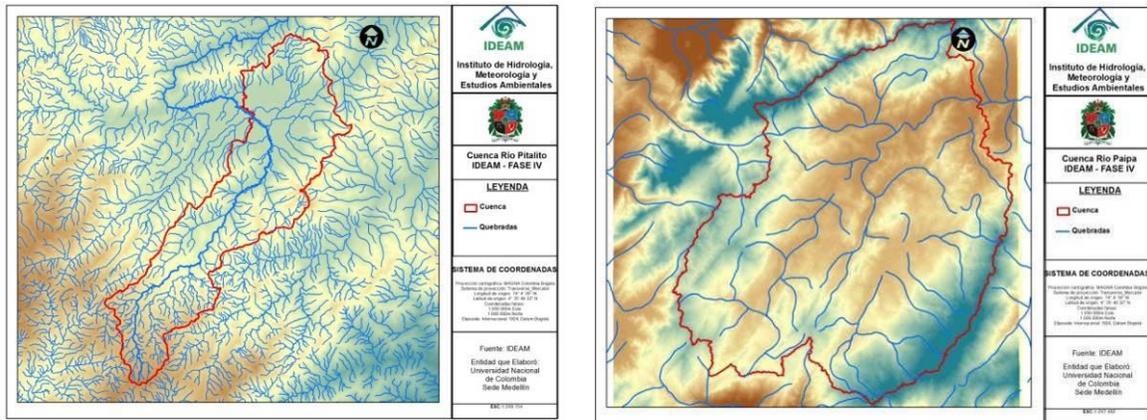
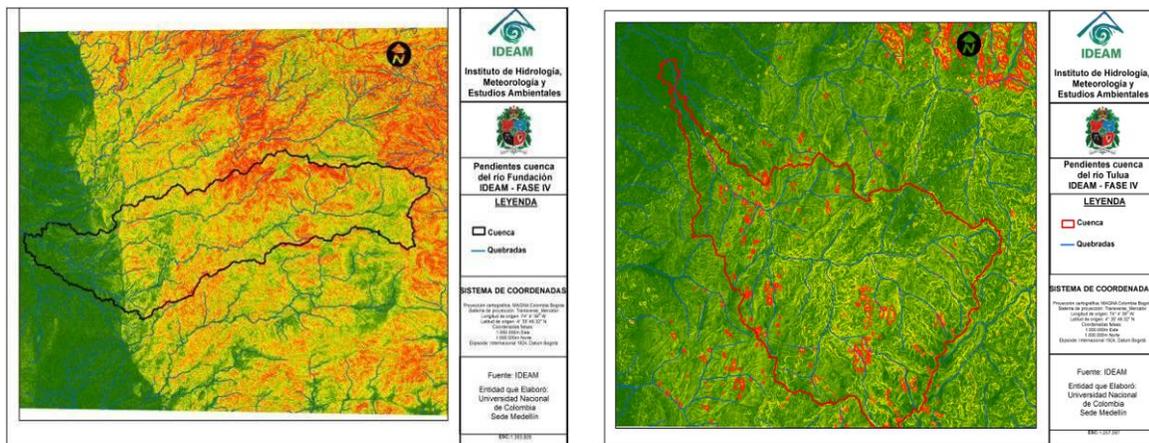


Figura 4-18. MDT y divisoria de las cuencas



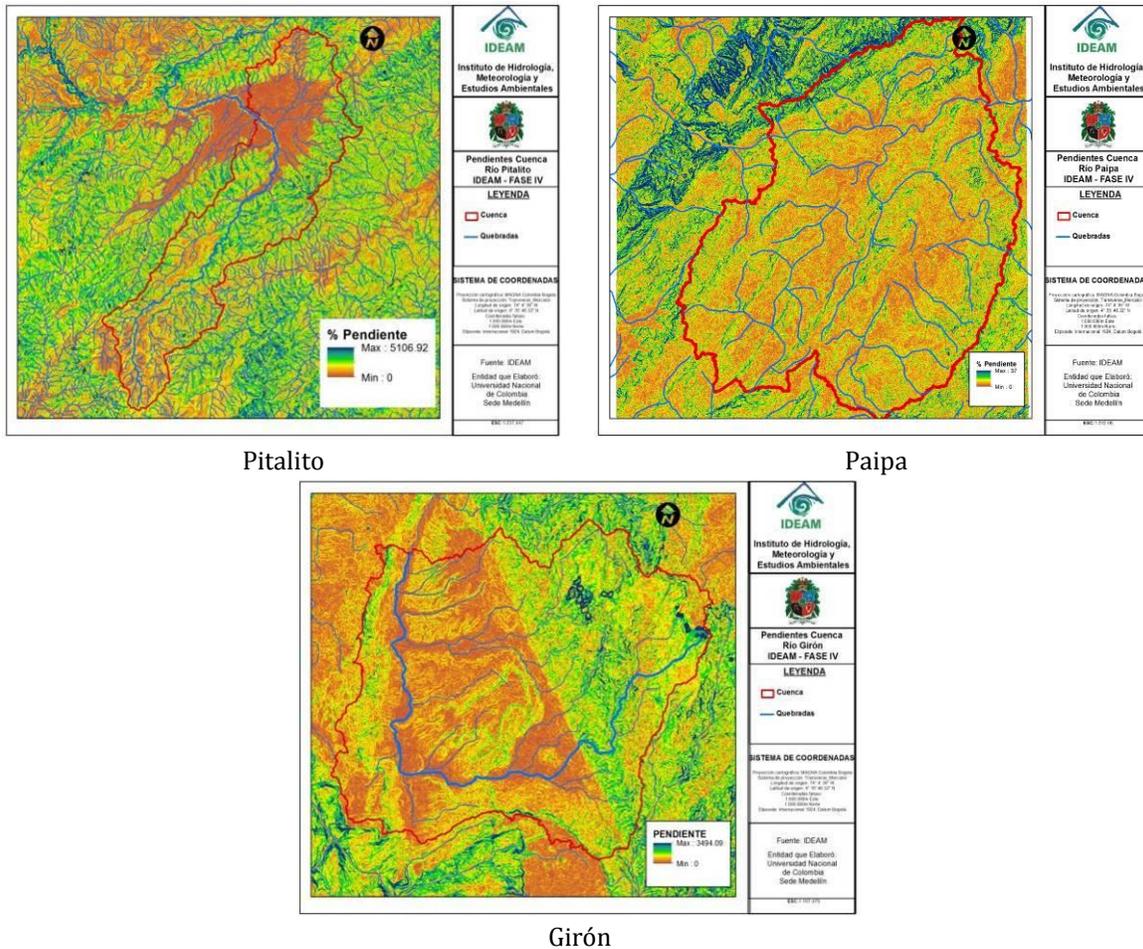


Figura 4-19 Pendientes de las cuencas

4.4.1.4 Parámetros morfométricos

Con los parámetros morfométricos se intenta dar una idea de cómo es la cuenca en estudio, mediante el área, las diferencias de cotas y las pendientes. Estos valores ayudan a dar una mejor caracterización de la cuenca y la respuesta de la misma ante un evento de lluvia extrema. A partir de los modelos de elevación digital y el trazado de cuencas, mediante el software ARCGIS 10 se obtienen los parámetros morfométricos de la cuenca, los cuales se presentan en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4 Parámetros morfométricos

Parámetro	Un	Fundación	Tuluá	Pitalito	Paipa	Girón
Área de drenaje	km ²	1038	790.3	392	1160	552.5
Perímetro de la cuenca	km	296.8	234.2	185	247	162.5
Longitud Cauce principal	km	111.4	59.6	49.8	58.3	56.9

Parámetro	Un	Fundación	Tuluá	Pitalito	Paipa	Girón
Long. río hasta divisoria	km	112.9	60.1	50.4	59.5	57.2
Pendiente cauce principal	%	2.6	4.5	2.97	1.52	3.8
Pendiente cuenca	%	38.3	80.6	28.3	21.53	33.8
Cota mayor cuenca	m	3892	4940	2873	3805	5240
Cota menor cuenca	m	33	945	1251	1674	647
Cota mayor río	m	2939	3652	2730	2560	2818
Cota menor río	m	33	945	1251	1674	647
Longitud de la cuenca	km	76.28	51.9	34.9	43.9	9.8
Relación de elongación	-	0.38	0.5	0.44	0.65	0.46
Factor de forma de Horton	-	0.08	0.2	0.16	0.34	0.17
Coefficiente de Compacidad	-	2.6	2.3	2.63	2.04	1.95

4.4.1.5 Análisis de homogeneidad

El análisis y modelamiento de datos hidrológicos supone estacionariedad en la media y en la varianza, sin embargo, esta suposición no es suficientemente válida si existen cambios o tendencias en los datos debidos a factores naturales y causas de origen antrópico como cambios en el uso del suelo.

Es esencial conocer los cambios o tendencias en la media y la varianza de las series hidrológicas, los cuales pueden ser positivos o negativos. A una serie con media y varianza constantes se le llama “homogénea”.

Con el objeto de verificar que las series de tiempo en consideración estén libres de errores y cumplan con las hipótesis de la mayoría de los métodos usualmente utilizados en hidrología (homogeneidad, estacionariedad, independencia, etc.) en estudios de este tipo, se procedió a hacer análisis de detección de outliers, consistencia y homogeneidad.

Una de las hipótesis básicas que se utiliza para la aplicación de métodos estadísticos en hidrología (análisis de series de tiempo) es la invarianza de algunas propiedades estadísticas (media, varianza, etc.) de las series. Subyacente a esta hipótesis se encuentra el hecho natural de que si no hay cambios climáticos, ni variaciones en las propiedades físicas de una cuenca, es de esperar que la media de largo plazo y la varianza de un proceso hidrológico en dicha cuenca, permanezcan constantes en el tiempo. Por lo tanto, los cambios en algunas propiedades estadísticas de una serie hidrológica ponen de manifiesto la existencia de anomalías que deben explicarse (si son naturales y corresponden con la realidad) o removerse (si son errores de medición y no corresponden con la realidad). Las pruebas más usuales y útiles para los métodos estadísticos usados comúnmente en hidrología superficial,

están basadas en la detección de cambios de magnitud en la media, la varianza o la tendencia de una serie.

En resumen, las series de caudales obtenidas se sometieron entonces a pruebas de cambios en la media, la varianza y tendencia en la media, para detectar la homogeneidad o no de la misma.

Antes de aplicar las pruebas para detectar cambios y tendencias en la media y la varianza, se realiza un análisis de outliers o valores espurios sobre la serie de caudales máximos. Con los valores identificados como espurios se procede a una verificación de que correspondan a la existencia de un evento real de tal magnitud y no se trate de un problema instrumental, en este último caso los valores deben ser retirados.

El problema de valores extremos anómalos u “outliers” es relevante cuando se trata de predecir eventos extremos en series hidrológicas. Estos valores anómalos en los datos registrados de las variables se pueden presentar debido a errores por mala calibración en los instrumentos de medición, posibles cambios en la ubicación del instrumento, cambios de la geometría de la estructura o sección de medición de la variable u otros factores. En el análisis de homogeneidad de las series hidrológicas a ser utilizadas para la generación de series sintéticas o para la estimación de características estadísticas y/o modelación de variables en recursos hidráulicos, los “outliers” deben ser identificados y cuando no hay correspondencia del caudal con la realidad, estos valores deben ser removidos de la serie de tal forma que no ocasionen una sobrestimación o subestimación de los resultados de interés. Para la detección de outliers de las series de caudales máximos se utilizaron las siguientes metodologías:

- Método “Rangos normales”
- Método “Prueba de rango normalizado”.
- Método “Prueba del rango” ó Dixon simplificado.

Estas pruebas de detección de outliers son aplicables para una longitud de registros a series con menos de 500 datos (algunas 150) y el supuesto de normalidad estadística en los mismos, por lo que son aplicables para la longitud de registros disponibles, de las estaciones trabajadas.

La Tabla 4-5 presenta los resultados obtenidos del análisis de outliers hecho para los registros de las estaciones. Se considera posible outlier aquel dato detectado por al menos dos de las tres pruebas realizadas.

Tabla 4-5 Outliers encontrados en las series de caudales

Estación - Código	Río	Año	Outlier detectado Q (m ³ /s)	Método
La Siberia (24037320)	Río Chicamocha	1972	243	Prueba de rangos normales
		1973	170	
Fundación (29067120)	Río Fundación	1986	616	Prueba de rangos normales
		1993	872.5	
		1999	803	
Pto. Rico Hda. (29067060))	Río Fundación	1975	516	Prueba de rangos normales y Prueba de rango normalizado
		1992	387.1	
		1998	414.6	
El Conquistador (23197430)	Río de Oro	NA	NA	NA
Mateguadua (26107130)	Río Tuluá	1949	289	Prueba de rangos normales y Prueba de rango normalizado
		1984	325	
Pitalito 2 (21017050)	Río Guarapas	1971	144	Prueba de rangos normales y Prueba de rango normalizado
		1980	126.2	

En la Figura 4-20 a la Figura 4-25, se muestran las series de caudales máximos para cada una de las estaciones utilizadas y los outliers encontrados en el análisis realizado, donde se tiene que la única serie que no reportó outliers corresponde a la de la estación El Conquistador perteneciente a río de Oro.

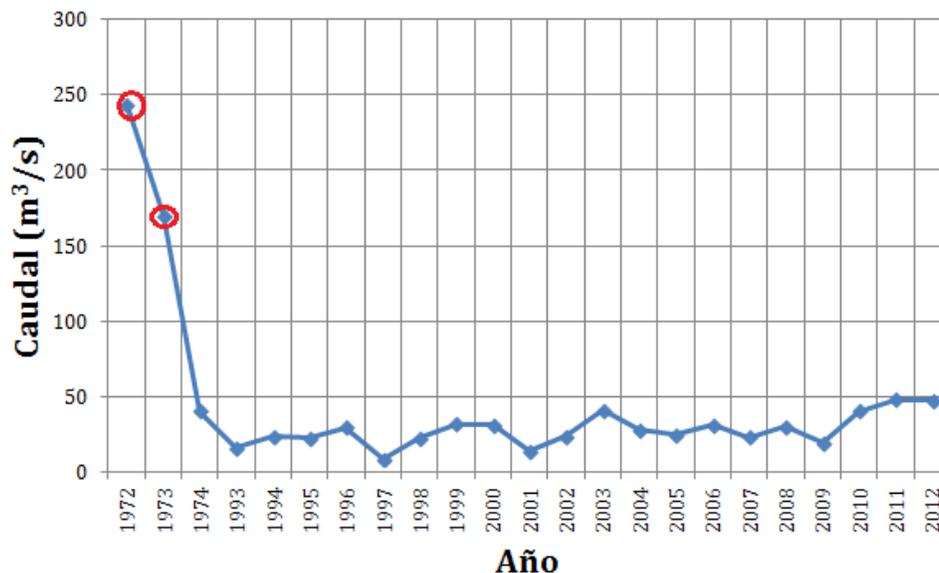


Figura 4-20 Outliers Serie de caudales estación La Siberia - Río Chicamocha

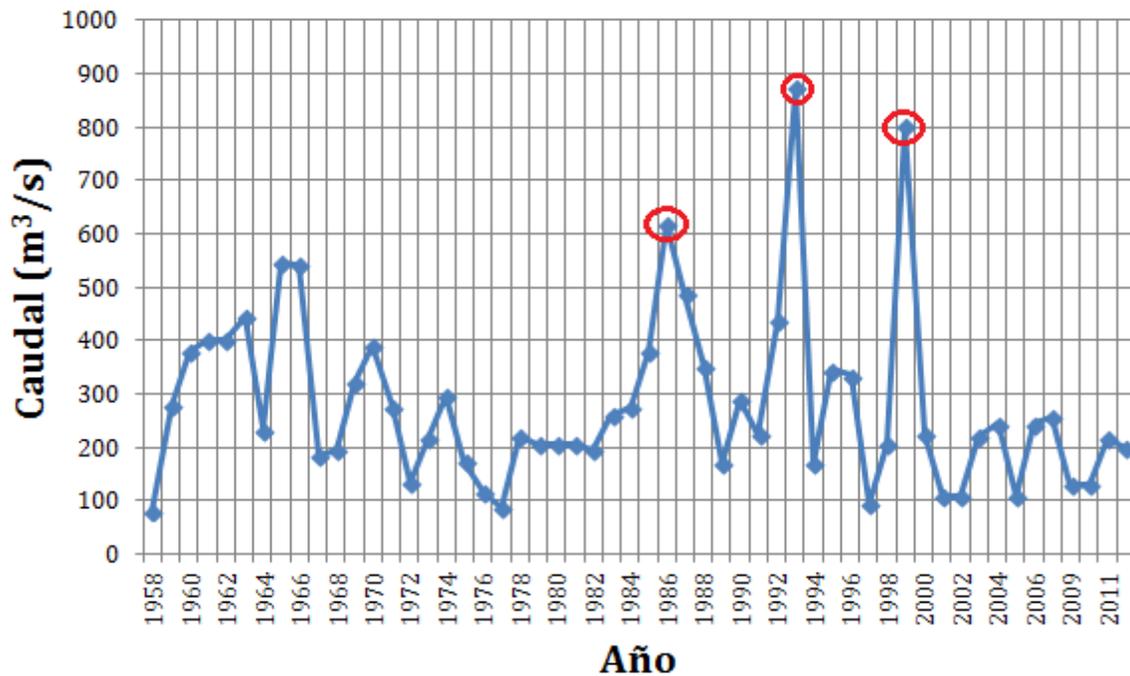


Figura 4-21 Outliers Serie de caudales estación Fundación - Río Fundación

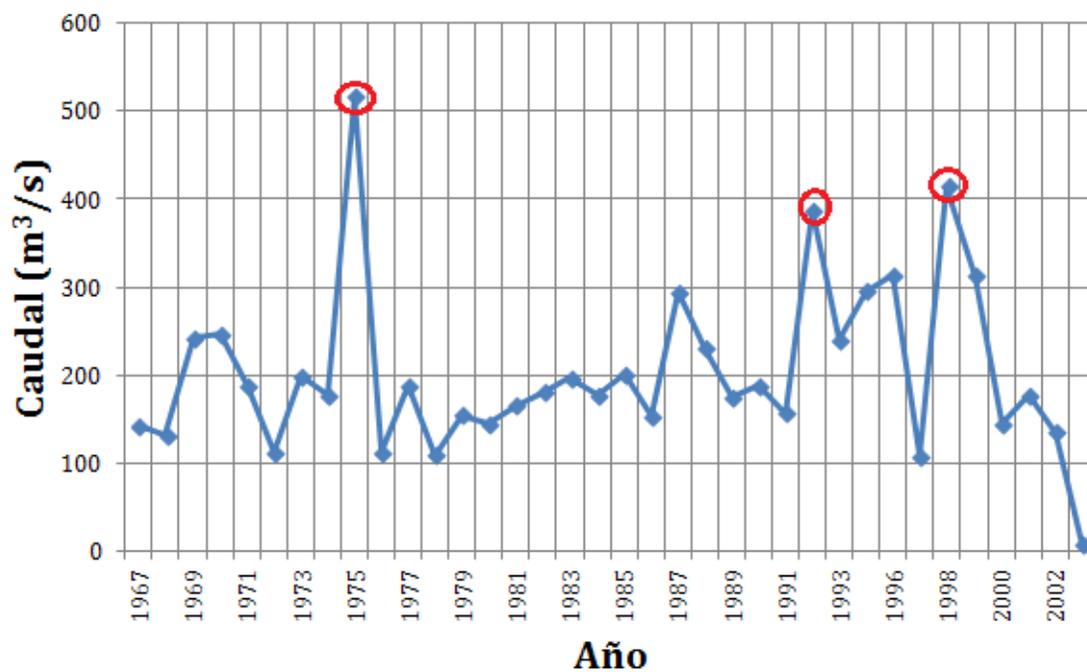


Figura 4-22 Outliers Serie de caudales estación Pto. Rico Hda - Río Fundación

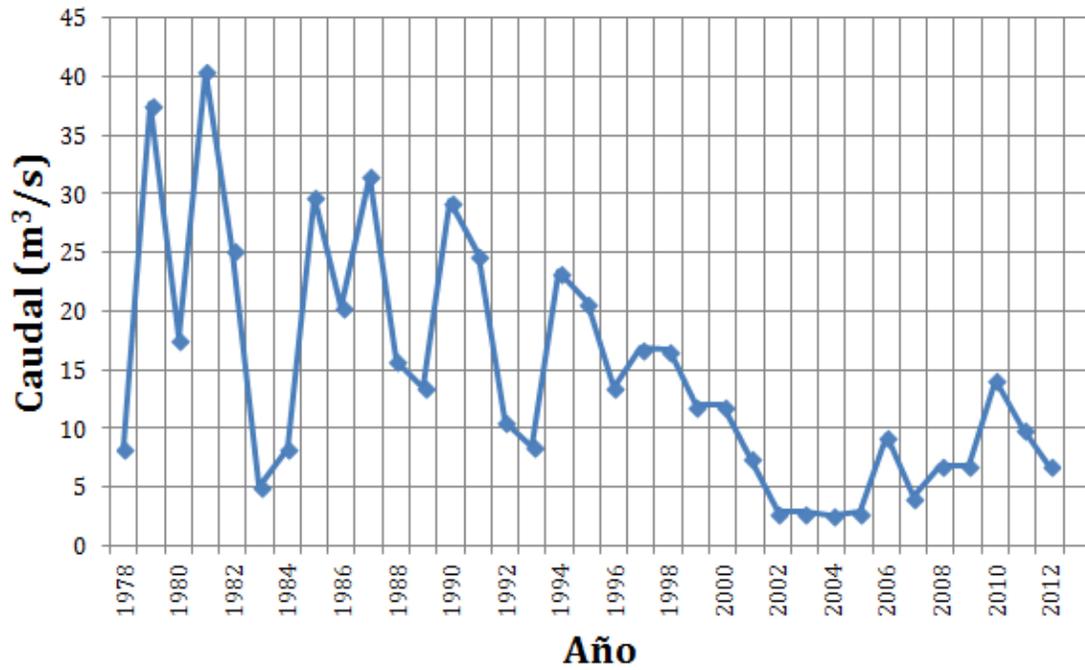


Figura 4-23 Outliers Serie de caudales estación El Conquistador – Río de Oro

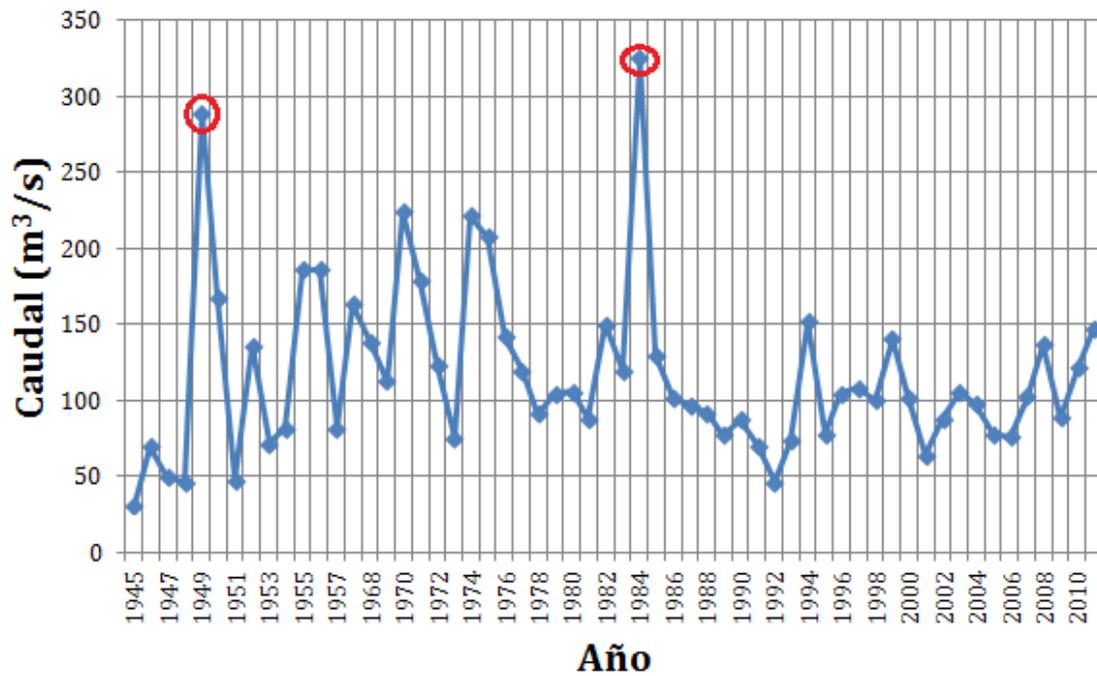


Figura 4-24 Outliers Serie de caudales estación Mateguadua – Río Tuluá

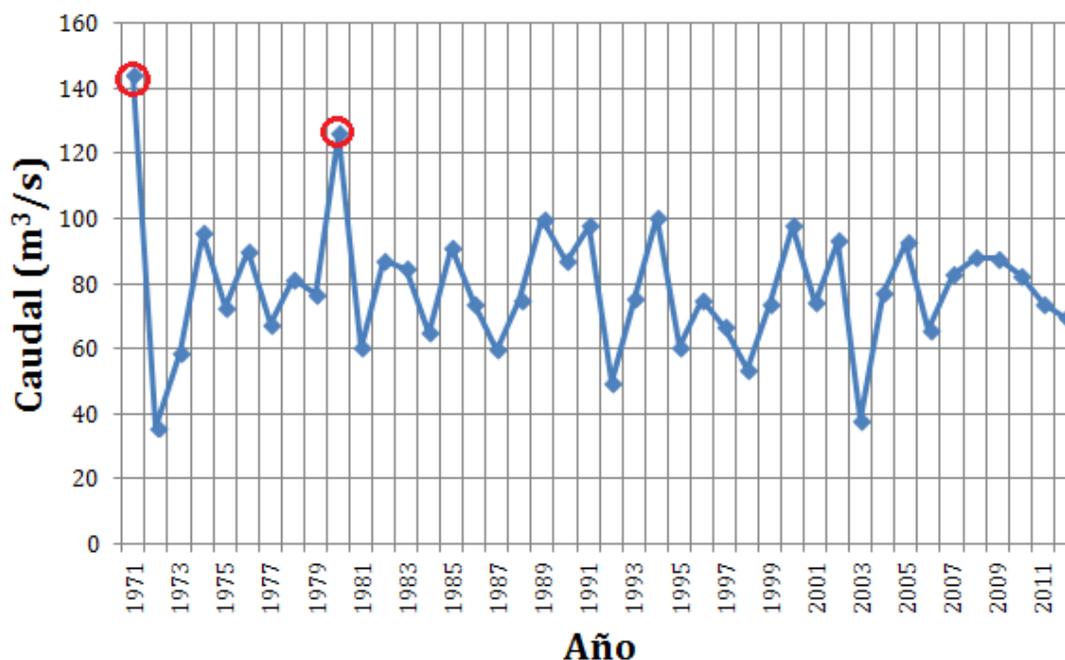


Figura 4-25 Outliers Serie de caudales estación Pitalito 2 – Río Guarapas

Posteriormente se consideró la naturaleza del registro detectado como outlier por dos de los tres métodos propuestos, es decir, se analizó si el valor considerado “outlier” es consistente con algún fenómeno que lo pudiese haber ocasionado, por ejemplo, volúmenes de precipitaciones extraordinariamente altos que pudieran asociarse a un incremento considerable del caudal en la estación de medición. Análisis de frecuencia para estimar los caudales máximos

Con el análisis de frecuencia se busca estimar los caudales máximos (crecientes máximas) de cada uno de los ríos estudiados, asociados a un periodo de retorno y a partir de éstos simular los niveles correspondientes a estas crecientes para definir la extensión de la inundación. Para el análisis de frecuencia se realizaron las pruebas de bondad de ajuste de Smirnov-Kolmogorov y Cramer Von Mises. Las series fueron ajustadas con diferentes funciones de distribución de probabilidad: Gumbel, Log Gumbel, Pearson, Log Pearson, Normal y Log Normal.

En todas las pruebas, se utilizó un nivel de significancia del 95% y los parámetros de las distribuciones se evaluaron por máxima verosimilitud. Se realizó el análisis de frecuencia para los periodos de retorno de 2.33, 20 y 100 años.

En la Tabla 4-6 a Tabla 4-11 se presentan los caudales máximos asociados a distintos periodos de retorno para las estaciones evaluadas. En la Figura 4-26 se muestran las curvas de caudales máximos obtenidos usando las distintas funciones de distribución.

Tabla 4-6. Caudales máximos (m^3/s) asociados a distintos periodos de retorno usando diferentes f.d.p para la Estación La Siberia – Río Chicamocha

T [años]	Caudal Máx. Anual [m^3/s]				
	Normal	LogNormal 1	Gumbel	Pearson Tipo III	LogPearson Tipo III
2.33	30.28	28.40	28.42	29.85	29.97
20	45.67	47.99	47.99	46.37	46.61
100	52.82	61.24	61.33	54.72	53.44

Tabla 4-7. Caudales máximos (m^3/s) asociados a distintos periodos de retorno usando diferentes f.d.p para la Estación Fundación – Río Fundación

T [años]	Caudal Máx. Anual [m^3/s]				
	Normal	LogNormal 1	Gumbel	Pearson Tipo III	LogPearson Tipo III
2.33	303.86	278.12	281.94	294.06	288.56
20	485.18	514.58	512.51	500.54	516.89
100	569.45	684.93	669.65	612.51	640.90

Tabla 4-8. Caudales máximos (m^3/s) asociados a distintos periodos de retorno usando diferentes f.d.p para la Estación Pto. Rico Hda – Río Fundación

T [años]	Caudal Máx. Anual [m^3/s]				
	Normal	LogNormal 1	Gumbel	Pearson Tipo III	LogPearson Tipo III
2.33	198.59	190.24	188.55	191.43	189.39
20	281.65	292.78	294.17	292.09	295.70
100	320.25	357.74	366.15	351.06	366.81

Tabla 4-9. Caudales máximos (m^3/s) asociados a distintos periodos de retorno usando diferentes f.d.p para la Estación El Conquistador – Río de Oro

T [años]	Caudal Máx. Anual [m^3/s]				
	Normal	LogNormal 1	Gumbel	Pearson Tipo III	LogPearson Tipo III
2.33	16.89	13.92	15.08	15.41	14.13
20	31.87	34.30	34.13	33.97	37.63
100	38.83	52.15	47.11	45.16	55.14

Tabla 4-10. Caudales máximos (m^3/s) asociados a distintos periodos de retorno usando diferentes f.d.p para la Estación Mateguadua – Río Tuluá

T [años]	Caudal Máx. Anual [m^3/s]				
	Normal	LogNormal 1	Gumbel	Pearson Tipo III	LogPearson Tipo III
2.33	129.02	118.91	120.08	125.91	124.56
20	202.94	214.74	214.08	207.94	213.36
100	237.30	282.63	278.15	251.05	256.34

Tabla 4-11. Caudales máximos (m³/s) asociados a distintos periodos de retorno usando diferentes f.d.p para la Estación Pitalito 2 - Río Guarapas

T [años]	Caudal Máx. Anual [m ³ /s]				
	Normal	LogNormal 1	Gumbel	Pearson Tipo III	LogPearson Tipo III
2.33	76.90	74.88	73.82	77.87	77.85
20	102.36	105.23	106.20	100.49	101.40
100	114.19	123.27	128.26	109.61	109.46

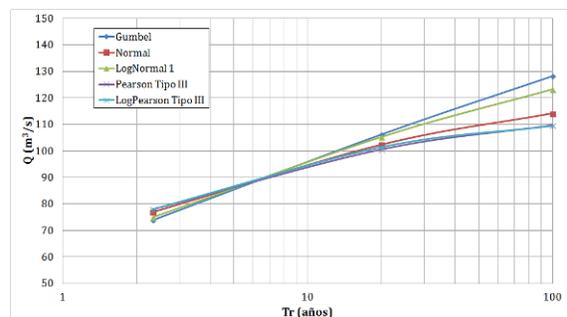
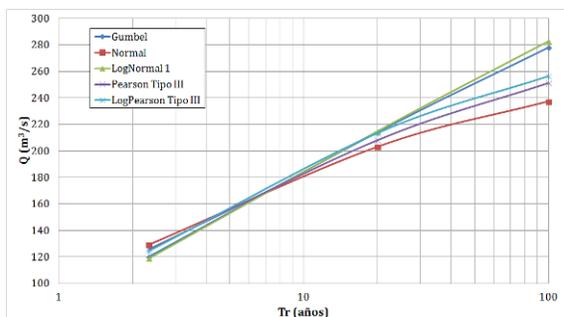
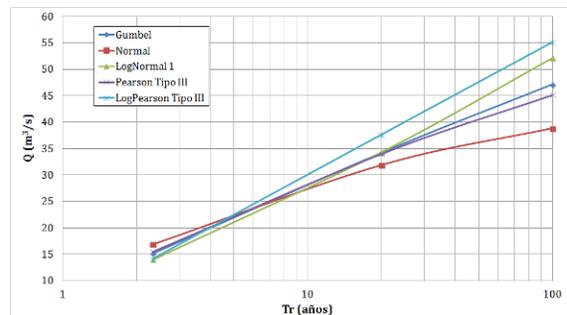
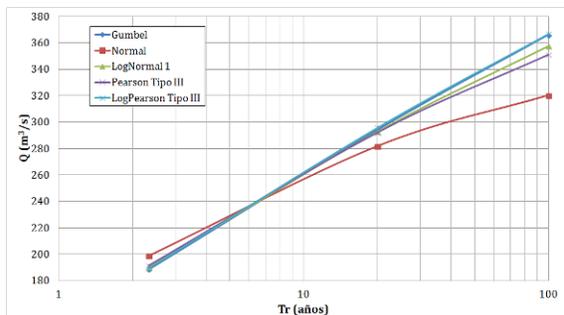
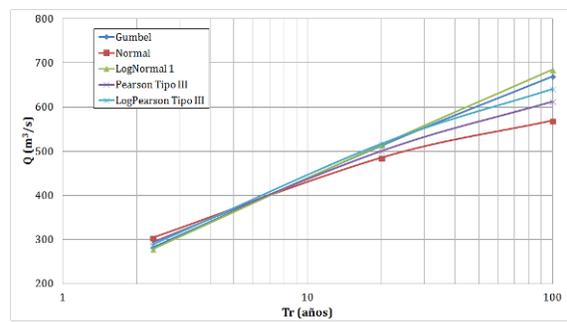
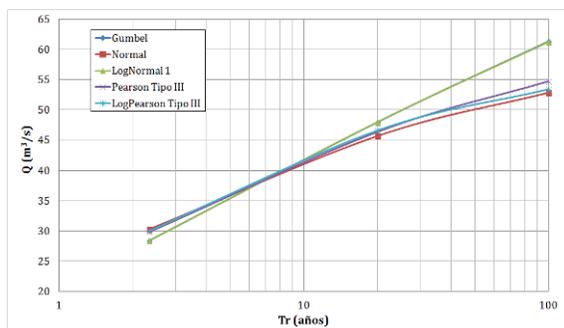


Figura 4-26 Curvas de caudales máximos obtenidos por análisis de frecuencia

Usando la prueba de bondad de ajuste de Cramer-Von Mises para evaluar cuál de todas las funciones de distribución se ajusta mejor a las series de datos de cada una de las estaciones, se encontró que el mejor ajuste se obtuvo con Gumbel. En la Tabla 4-12 se muestran los caudales de diseño obtenidos a partir de la distribución Gumbel para cada una de las estaciones.

Tabla 4-12. Caudales máximos de diseño estimados para las estaciones evaluadas.

Tr	Est. La Siberia – Río Chicamocha	Est. Fundación – Río Fundación	Est. Pto. Rico Hda – Río Fundación	Est. El Conquistador – Río de Oro	Est. Mateguadua – Río Tuluá	Est. Pitalito 2 – Río Guarapas
Q _{2.33}	28.42	281.94	188.55	15.08	120.08	73.82
Q ₂₅	47.99	512.51	294.17	34.13	214.08	106.20
Q ₁₀₀	61.33	669.65	366.15	47.11	278.15	128.26

En la Tabla 4-13 se resumen los caudales finalmente seleccionados para cada una de las corrientes súbitas y que serán insumo para la modelación hidráulica.

Tabla 4-13. Caudales seleccionados para cada uno de las corrientes súbitas

Tr	Fundación (Río Fundación)	Tuluá (Río Tuluá)	Pitalito (Río Guarapas)	Paipa (Río Chicamocha)	Girón (Río de Oro)
Q _{2.33}	281.94	120.08	73.82	28.42	15.08
Q ₂₅	512.51	214.08	106.20	47.99	34.13
Q ₁₀₀	669.65	278.15	128.26	61.33	47.11

4.4.2 Determinación de la manchas de inundación a partir del modelo hidráulico – HEC-RAS

El estudio hidráulico comprende la evaluación del comportamiento de las variables hidráulicas presentes en el tránsito del caudal de diseño. Se realizó el estudio para determinar las diferentes zonas inundables y las problemáticas existentes en las condiciones actuales, además para establecer la altura de la lámina de agua en todo el tramo de estudio.

En este numeral se analiza hidráulicamente el tramo de estudio, con el objeto de establecer cualitativa y cuantitativamente el comportamiento de la lámina de agua para caudales con diferentes periodos de retorno, y de esta forma determinar el comportamiento del flujo en el canal.

La simulación de los caudales máximos en el cauce de estudio, para los periodos de retorno de 2.33, 20 y 100 años, fue realizada mediante el uso del programa HEC-RAS 4.1 (Gary W, 2010), desarrollado por U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center. El software

requiere como datos de entrada el régimen de flujo, las condiciones de borde, los niveles de la sección a banca llena y el valor de la rugosidad de Manning, y soluciona la ecuación para flujo gradualmente variado en canales naturales y artificiales en régimen permanente. Las profundidades de flujo se calculan a partir del método estándar por pasos y como resultado del modelo se obtiene la superficie libre del agua asociada a una condición de caudal impuesta que puede variar a lo largo del cauce (Gary W, 2010).

En el programa se puede especificar qué tipo de régimen se espera tener en las condiciones reales del cauce y obtener un perfil del flujo para cada caudal dado. Es posible hacer cálculos en flujos subcríticos, supercríticos o flujo mixto, utilizando las ecuaciones de fuerza específica y de momentum para determinar cuál es el régimen que está controlando, así como la localización del cualquier resalto hidráulico (Gary W, 2010).

4.4.2.1 Metodología

Se realizó un solo escenario de modelación para determinar el comportamiento del flujo ante las actuales condiciones de cada uno de los cauces, con el fin de visualizar las zonas de desbordamiento y los controles hidráulicos del flujo y así poder identificar las principales problemáticas y las llanuras de inundación. Las variables hidráulicas para cada creciente simulada (2.33, 20 y 100 años) permiten definir los niveles de inundación y el comportamiento hidráulico del río ante las diferentes crecientes.

De acuerdo con lo anterior, se modeló hidráulicamente el río, con el programa HEC-RAS. Con la simulación hidráulica se evaluaron los parámetros hidráulicos de mayor interés como niveles de creciente, velocidades de flujo, esfuerzos cortantes y se verificó la capacidad hidráulica de las obras existentes.

La modelación se hizo considerando régimen de flujo permanente. Para el modelo se requiere disponer de información de la geometría del tramo a modelar, la resistencia al flujo y condiciones de borde.

4.4.2.2 Datos de entrada del modelo

Para la simulación de la mancha de inundación en la planicie y las condiciones hidráulicas del flujo para diferentes crecientes, el modelo requiere la geometría del cauce (secciones transversales), la rugosidad del lecho y de las bancas, los caudales de diseño y las condiciones iniciales y de frontera.

➤ Geometría

La geometría del canal permite determinar la capacidad del cauce para transportar una determinada creciente. Los tramos de modelación pertenecen a los tramos del cauce que

transcurren por toda la zona urbana de cada uno de los municipios de estudio, de los cuales se dispone de levantamiento topográfico en detalle (imágenes LIDAR) que cubre tanto el cauce, las llanuras de inundación y todas las zonas aledañas.

Los tramos considerados para la modelación hidráulica, se discretizaron trazando secciones transversales cada 20 m aproximadamente, cubriendo entre 100 a 200 m de la planicie de inundación en cada margen. Cabe mencionar que las secciones se obtuvieron a partir del modelo de elevación del terreno obtenido del levantamiento topográfico en detalle que fue registrado de las imágenes LIDAR.

En la Figura 4-27 a la Figura 4-31 se muestra la configuración del alineamiento, geometría de cada uno de los cauces y localización de las secciones transversales usadas para el modelo.

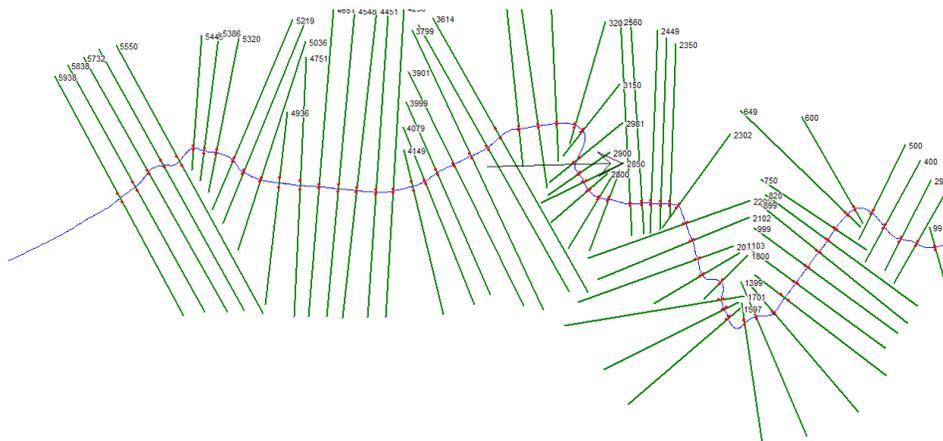


Figura 4-27 Geometría en planta del alineamiento del río y secciones transversales. Río Chicamocha – Municipio de Paipa

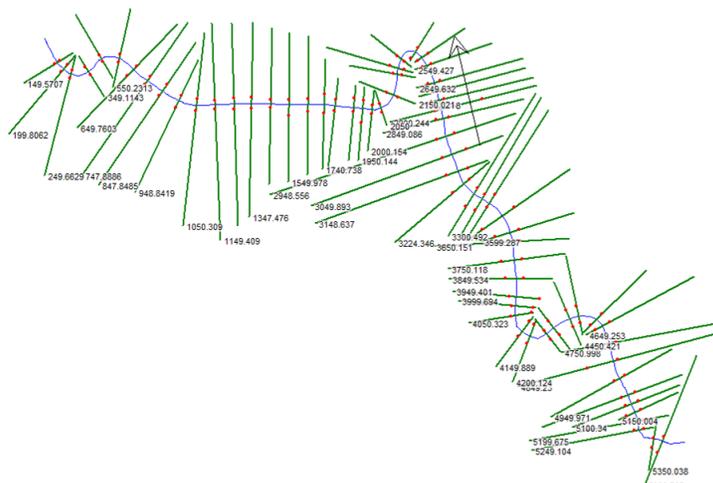
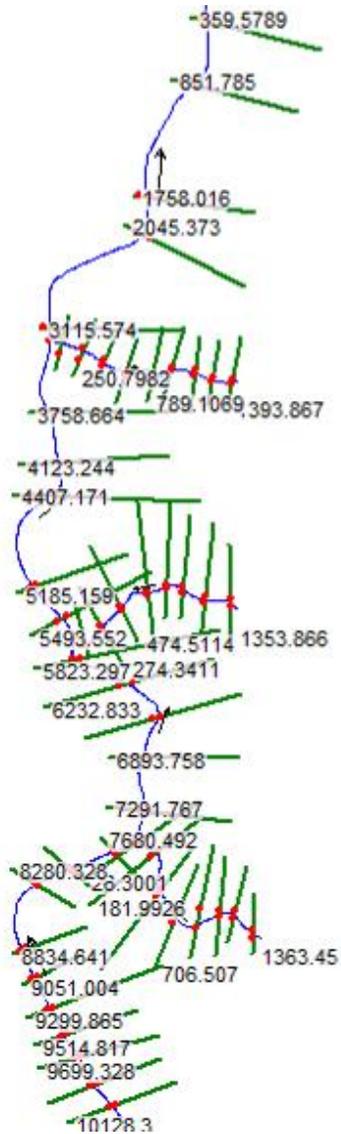
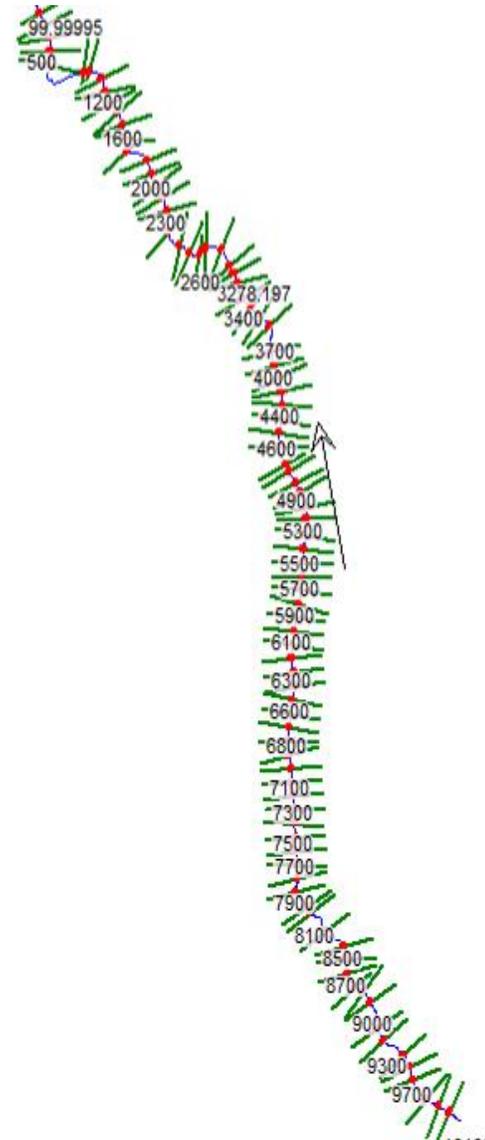


Figura 4-28 Geometría en planta del alineamiento del río y secciones transversales. Río Fundación – Municipio de Fundación



**Figura 4-29 Geometría en planta del
alineamiento del río y secciones transversales.
Río de Oro - Municipio de Girón**



**Figura 4-30 Geometría en planta del
alineamiento del río y secciones transversales.
Río Tuluá - Municipio de Tuluá**

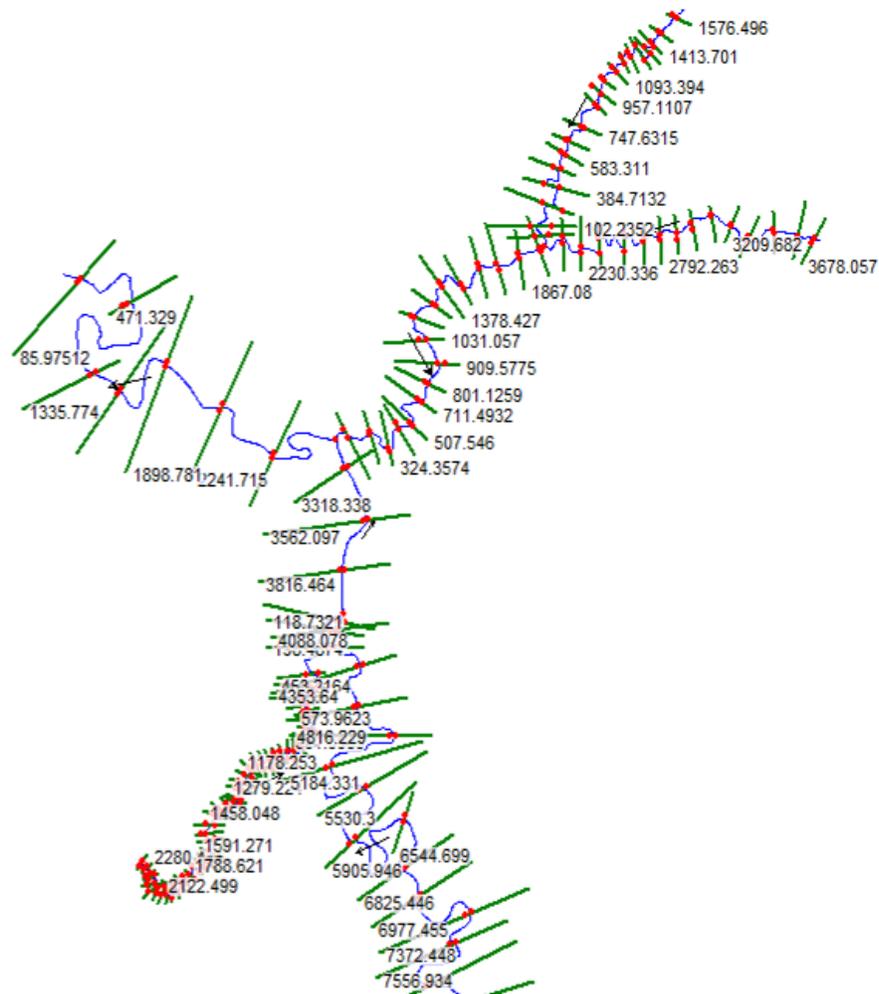


Figura 4-31 Geometría en planta del alineamiento del río y secciones transversales. Río Guarapas – Municipio de Pitalito

En la Tabla 4-14 se muestra la longitud total de modelación de cada uno de los cauces

Tabla 4-14. Longitud cauces principales

Río	Longitud cauce principal (km)
Chicamocha	5.937
Fundación	5.399
Oro	9.598
Tuluá	10.1
Guarapas	7.365

➤ **Condiciones de frontera**

Para la modelación hidráulica de los cauces se utilizaron las condiciones de borde de profundidad normal aguas abajo, considerando un régimen de flujo subcrítico. Asimismo, para determinar en campo el nivel de la sección a banca llena, se utilizaron algunos indicadores

propuestos por Posada en 1994, como son el cambio de pendiente y la vegetación presente en la sección hidráulica.

➤ **Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning**

Los coeficientes de resistencia al flujo uniforme en canales de lecho rígido se encuentran tabulados en muchos libros clásicos de hidráulica (Chow, 1994). En canales de lecho móvil, además de la rugosidad que ofrecen las paredes y el lecho, es necesario considerar la rugosidad que ofrecen las formas del lecho (rizos, dunas, etc.). El coeficiente de rugosidad es un parámetro que depende básicamente de: la profundidad de flujo (controlada por el caudal), el sedimento transportado, los escombros flotantes, el tamaño del material del lecho, el tipo, extensión y distribución de la vegetación de las bancas y la temperatura del agua. A partir del reconocimiento de varios factores primordiales que afectan el coeficiente de rugosidad, (Chow, Maidment, & Mays, 1994) desarrolló un procedimiento para estimar el valor de n . Mediante este procedimiento, el valor de n puede calcularse por la expresión de Cowan (mencionado en Chow, 1994):

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$

donde n_0 es un valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados, n_1 es un valor que debe agregarse al n_0 para corregir el efecto de las rugosidades superficiales, n_2 es un valor para considerar las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal, n_3 es un valor para considerar las obstrucciones, n_4 es un valor para considerar la vegetación y las condiciones de flujo, y m es un factor de corrección de los efectos por meandros en el canal. Los valores apropiados de n_0 a n_4 y m se pueden seleccionar de la Tabla 4-15 de acuerdo con las condiciones dadas.

- **Rugosidad del Material de Arrastre (n_0)**

Para estimar el coeficiente de rugosidad n_0 , correspondiente a las características del material de transporte, se realizaron comparaciones visuales del material evidenciado en las márgenes de la quebrada y los referenciados en la literatura (Chow, 1994). Los tramos de las corrientes en análisis se caracterizan por contar con un canal natural con buena presencia de vegetación y algunas piedras de menor tamaño dentro del lecho.

Tabla 4-15. Valores de coeficiente de rugosidad - Cowan

Condiciones del Canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n_0	0.02
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de	Suave	n_1	0

Condiciones del Canal		Valores	
irregularidad	Menor		0.005
	Moderado		0.01
	Severo		0.02
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n ₂	0
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.01 - 0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n ₃	0
	Menor		0.01 - 0.015
	Apreciable		0.02 - 0.03
	Severo		0.04 - 0.06
Vegetación	Baja	n ₄	0.005 - 0.01
	Media		0.01 - 0.025
	Alta		0.025 - 0.05
	Muy alta		0.05 - 0.1
Grado de los efectos por meandros	Menor	m	1
	Apreciable		1.15
	Severo		1.3

- **Factores n₁, n₂, n₃, n₄ y m**

En los cauces analizados se presentan afectaciones menores al flujo por cambios importantes en el ancho de la sección del tramo natural, en los tramos de interés se observaron algunas obstrucciones menores por vegetación. Por lo cual solo se cuenta con el valor de 0.005, correspondiente a las geoformas que se puedan presentar en el cauce (Posada, 1994).

Debido a que los cauces analizados cuentan con muy poca vegetación en el lecho, lo que refleja aumento en la resistencia al flujo, se escoge un valor para n₃ y n₄ de 0.005 y 0.01. En general, los alineamientos de los cauces son relativamente rectos, sin que el flujo sea afectado por cambios de dirección y por lo tanto el valor del factor m es de 1.

Podemos observar que en general, por las condiciones tan homogéneas de los cauces, de sus formas del lecho y del material característico del fondo y taludes se proponen valores de rugosidad muy similares. En la Tabla 4-16 se resumen los coeficientes de rugosidad obtenidos para cada uno de los cauces evaluados.

Tabla 4-16. Valores de rugosidad de Manning

Río	Coefficiente de rugosidad en el lecho	Coefficiente de rugosidad en las márgenes
Río Chicamocha	0.025	0.030

Río	Coefficiente de rugosidad en el lecho	Coefficiente de rugosidad en las márgenes
Río Fundación	0.025	0.030
Río de Oro	0.035	0.020
Río Tuluá	0.025	0.030
Río Guarapas	0.035	0.035

➤ **Caudales de diseño**

De acuerdo al estudio hidrológico, se tiene que los caudales de diseño fueron obtenidos realizando análisis de frecuencia, donde las series fueron ajustadas usando la distribución de probabilidad Gumbel. En la Tabla 4-17 se resumen los caudales de diseño obtenidos para hacer la simulación hidráulica.

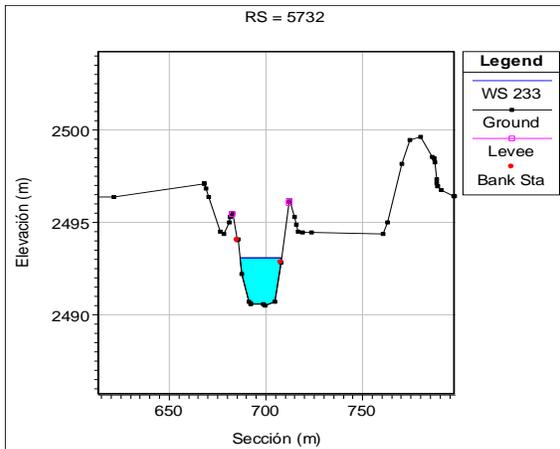
Tabla 4-17. Caudales de diseño

Tr	Fundación (Río Fundación)	Tuluá (Río Tuluá)	Pitalito (Río Guarapas)	Paipa (Río Chicamocha)	Girón (Río de Oro)
Q _{2.33}	281.94	120.08	73.82	28.42	15.08
Q ₂₅	512.51	214.08	106.20	47.99	34.13
Q ₁₀₀	669.65	278.15	128.26	61.33	47.11

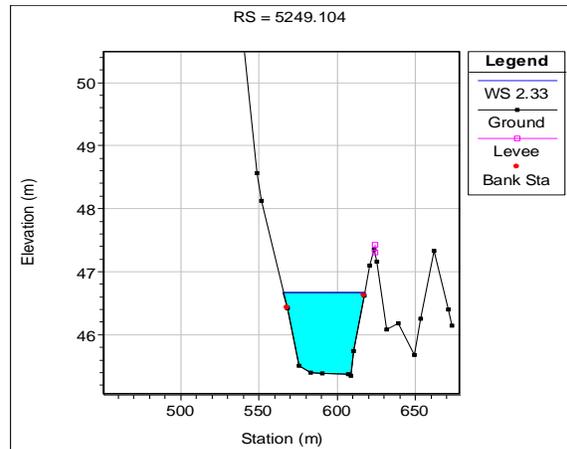
4.4.2.3 Calibración del Modelo Hidráulico

Finalmente, al momento de realizar una modelación hidráulica de un río en particular, es importante calibrar el modelo implementado y así evaluar la capacidad del modelo de representar las condiciones reales de la corriente analizada. Para ello, bajo las condiciones de caudal de diseño, de rugosidad del canal y de condiciones de entrada al modelo hidráulico, se verificaron las alturas alcanzadas por la lámina de agua, para así poder evaluar el nivel de banca llena (Posada, 1994).

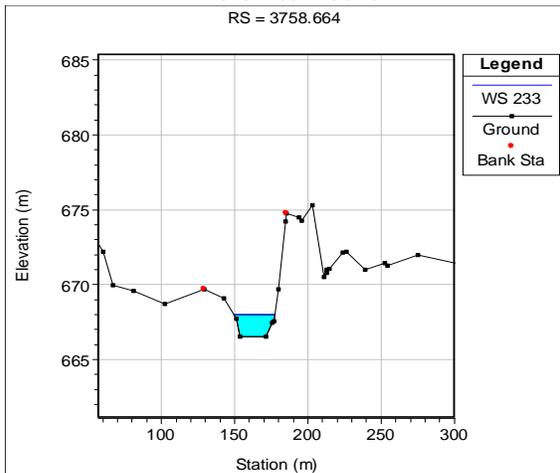
Posada (1994), indica que el caudal que representa la banca llena, es decir, aquel que ocupa el canal principal de la corriente, corresponde a un caudal con periodo de retorno que oscila entre 1.5 años y 2.33 años, por lo cual se evaluaron las alturas de la lámina de agua alcanzadas para el caudal con periodo de retorno de 2.33 años a través del canal de la quebrada. En la Figura 4-32 se presenta la lámina de agua para los caudales con periodo de retorno de 2.33 años para cada uno de los cauces, donde se aprecia que el nivel alcanzado se acerca a la banca llena.



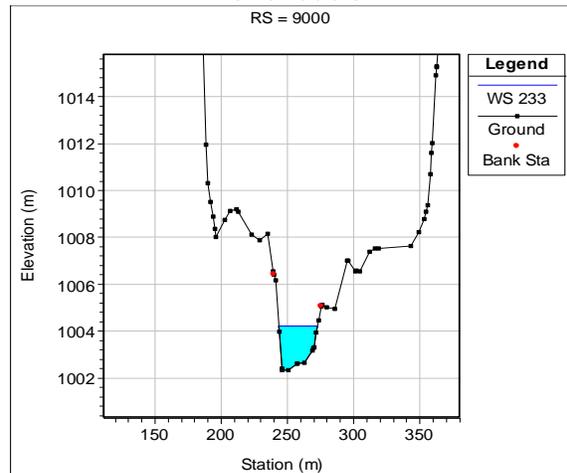
Río Chicamocha



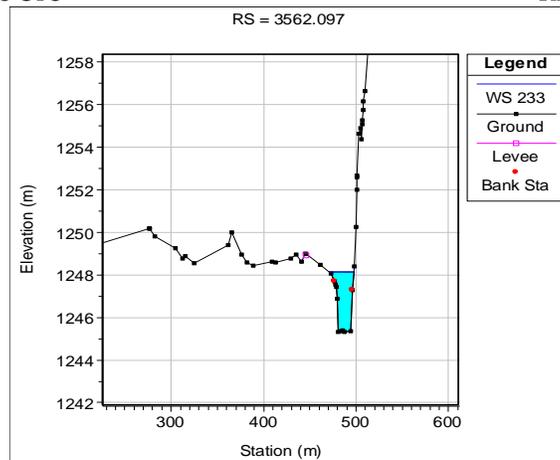
Río Fundación



Río de Oro



Río Tuluá



Río Guarapas

Figura 4-32. Lámina de agua para las secciones de calibración, para la modelación del periodo de retorno de 2.33 años en los cauces evaluados.

Una vez obtenidos los primeros resultados del modelo hidráulico, se considera que los niveles alcanzados por la lámina de agua para el sitio de interés son coherentes con las características geomorfológicas de los cauces y márgenes, y que además, representan de manera adecuada los caudales de diseño obtenidos del estudio hidrológico. Por ello se considera que el modelo para las condiciones de caudal de diseño, rugosidades escogidas y condiciones de frontera representa las características reales de los ríos de estudio.

4.4.2.4 Resultados generales

Luego de tener los datos e información relacionada para la simulación hidráulica en el HEC-RAS (rugosidad, caudal de diseño, condiciones de frontera y geometría), se analizó el comportamiento hidráulico de cada sistema fluvial para así determinar los principales cambios entre las variables hidráulicas para los periodos de retorno de 2.33, 20 y 100 años.

En la Figura 4-33 a Figura 4-37, se presentan los perfiles de flujo para los caudales con periodo de retorno de 2.33, 20 y 100 años para cada uno de los ríos.

En la Figura 4-38 a la Figura 4-42 se presentan los niveles de flujo para las secciones representativas de los cauces y para cada uno de los caudales evaluados en el estudio hidrológico.

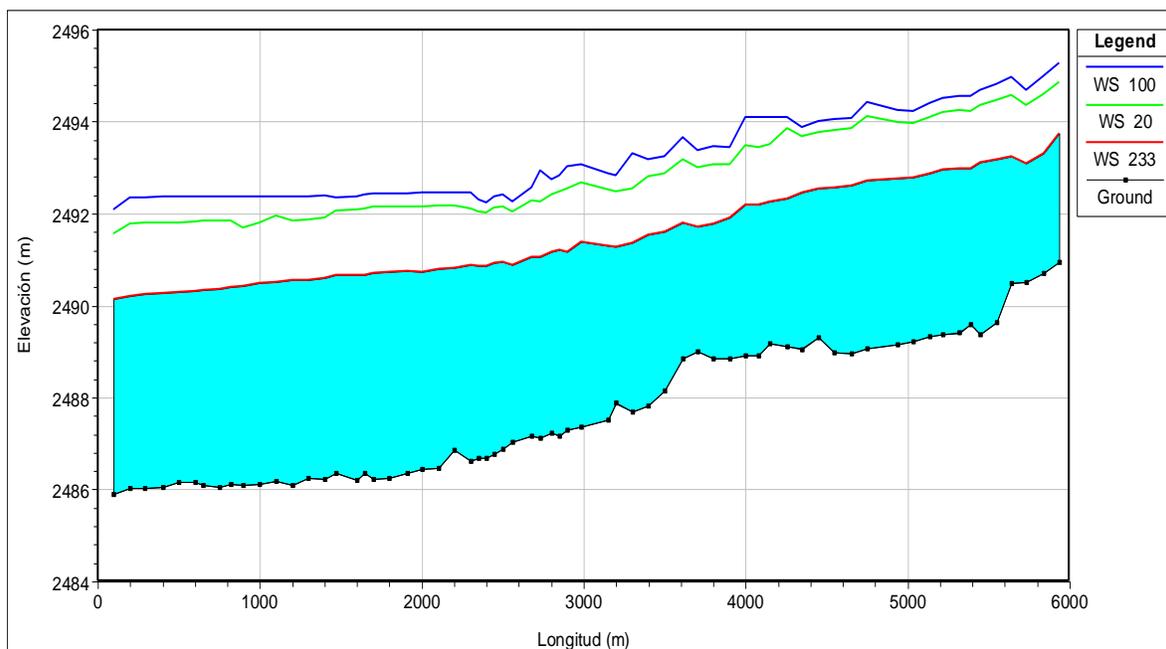


Figura 4-33. Perfil del flujo para periodo de retorno de 2.33, 20 y 100 años. Río Chicamocha

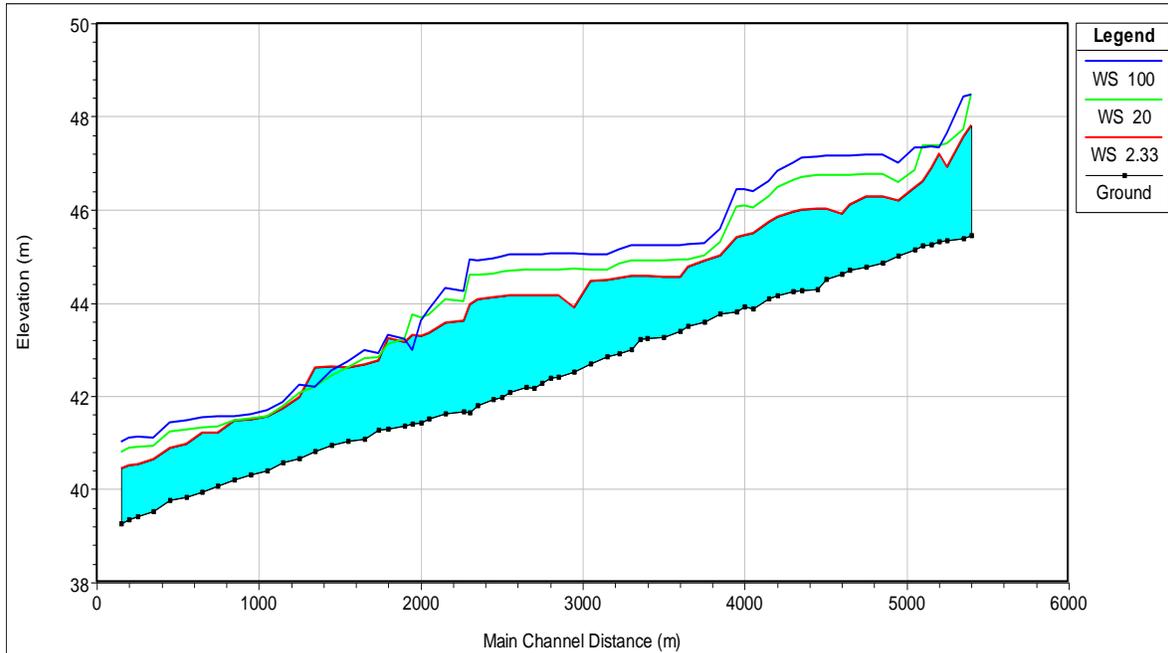


Figura 4-34. Perfil del flujo para periodo de retorno de 2.33, 20 y 100 años. Río Fundación

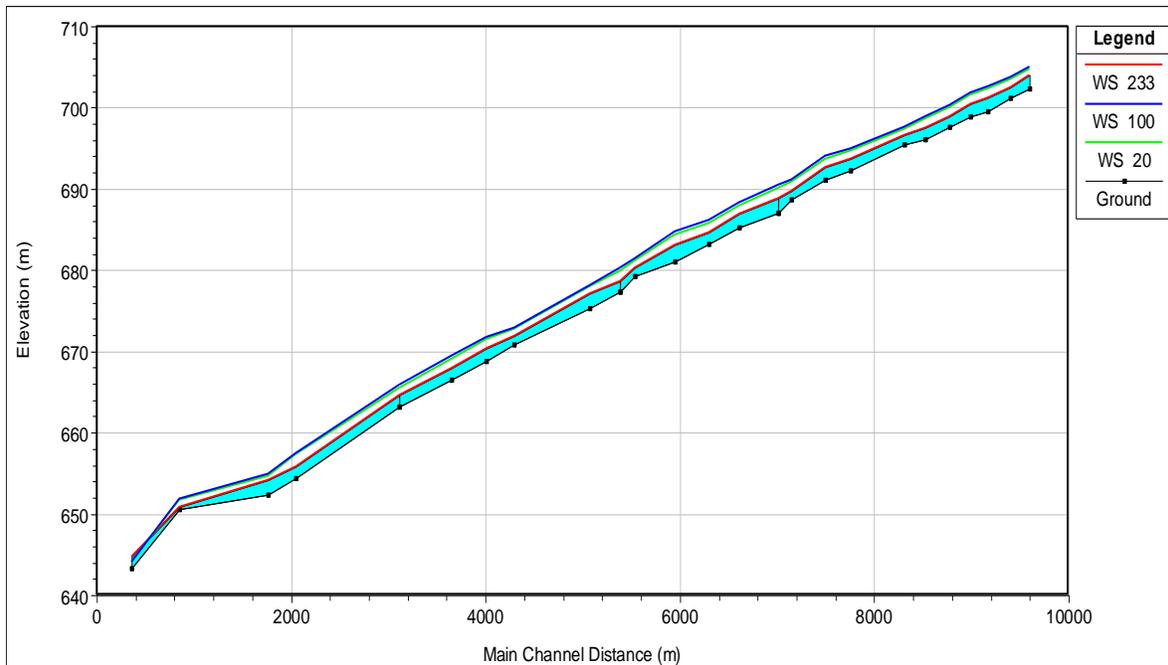


Figura 4-35. Perfil del flujo para periodo de retorno de 2.33, 20 y 100 años. Río de Oro

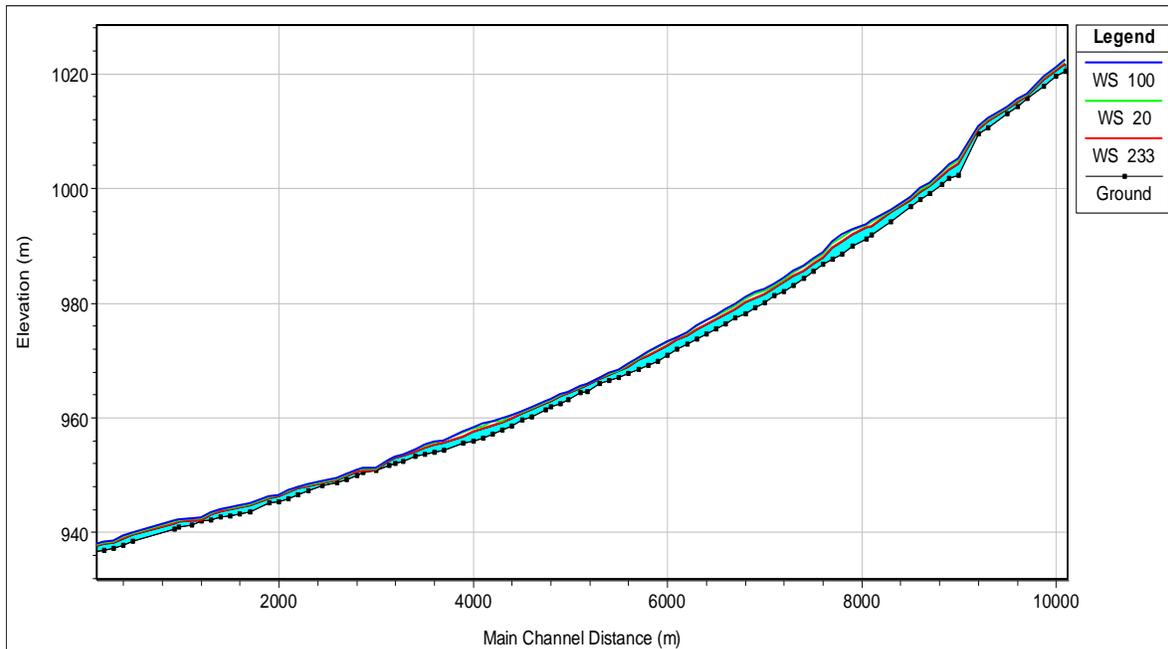


Figura 4-36. Perfil del flujo para periodo de retorno de 2.33, 20 y 100 años. Río Tuluá

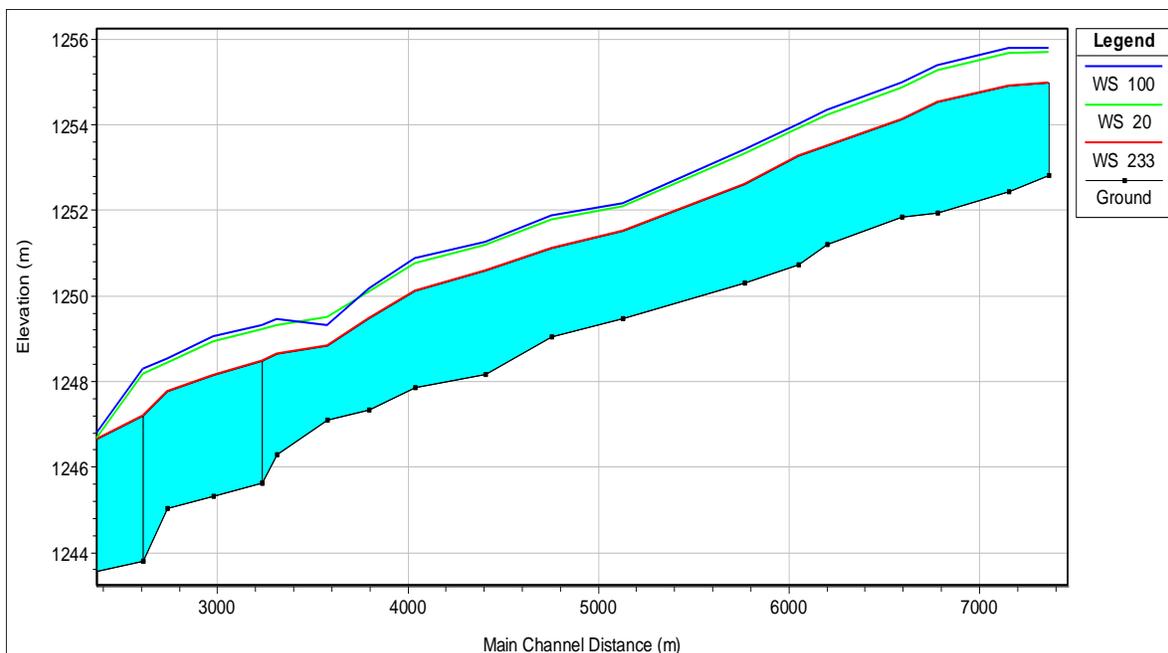
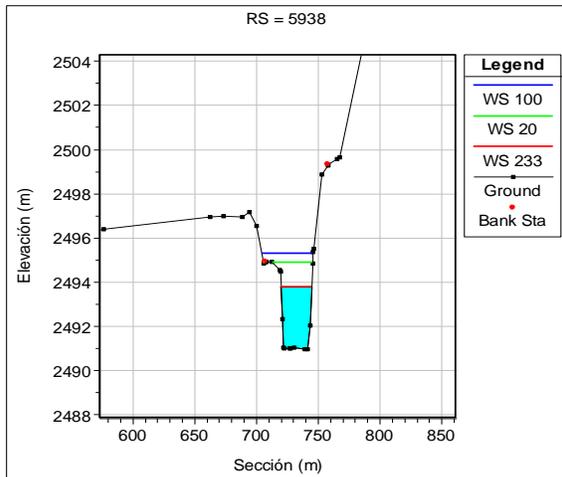
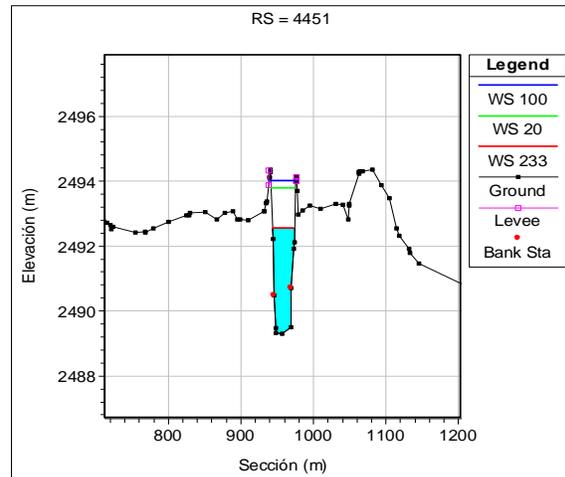


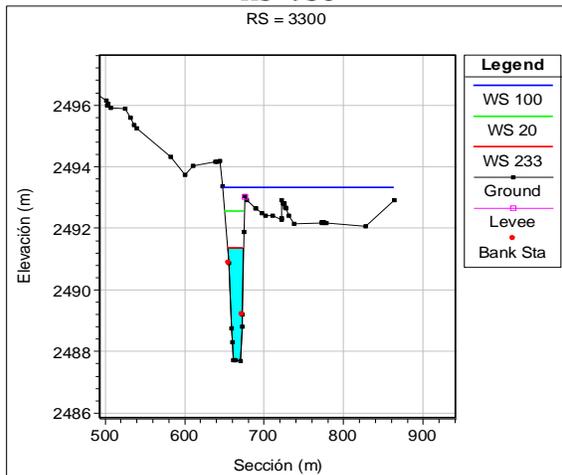
Figura 4-37. Perfil del flujo para periodo de retorno de 2.33, 20 y 100 años. Río Guarapas



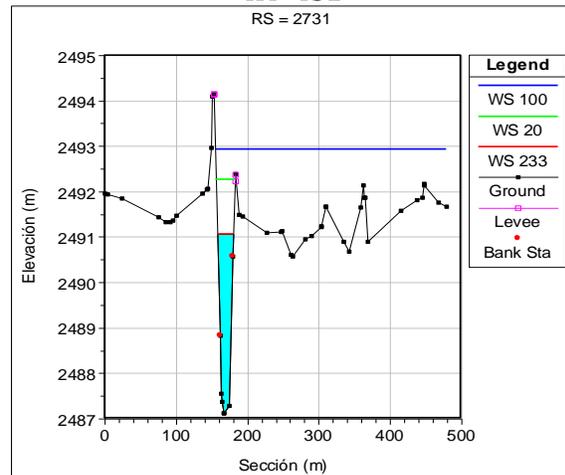
K5+938



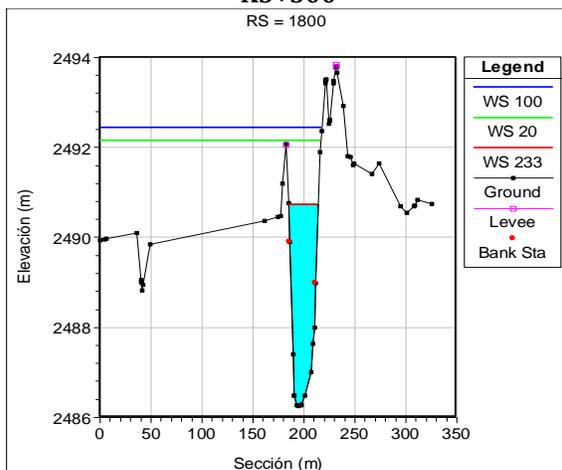
K4+451



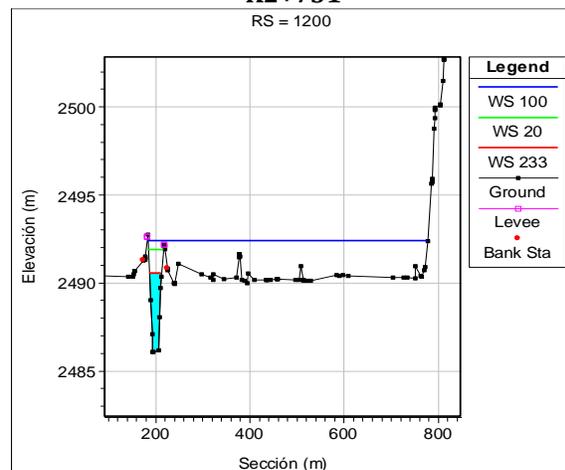
K3+300



K2+731

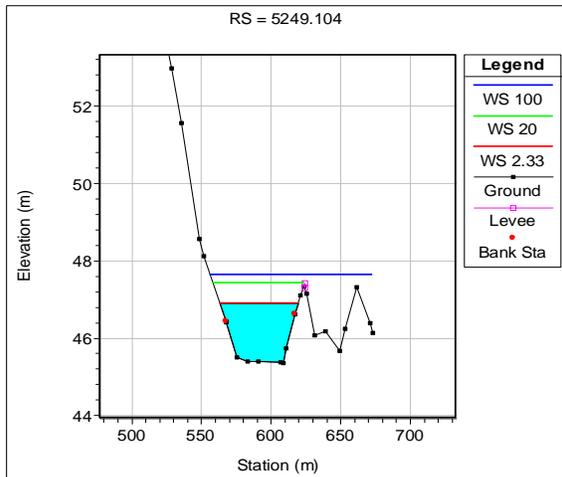


K1+800

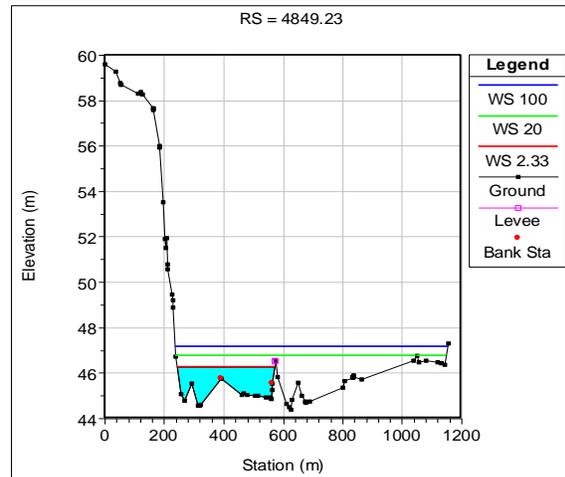


K1+200

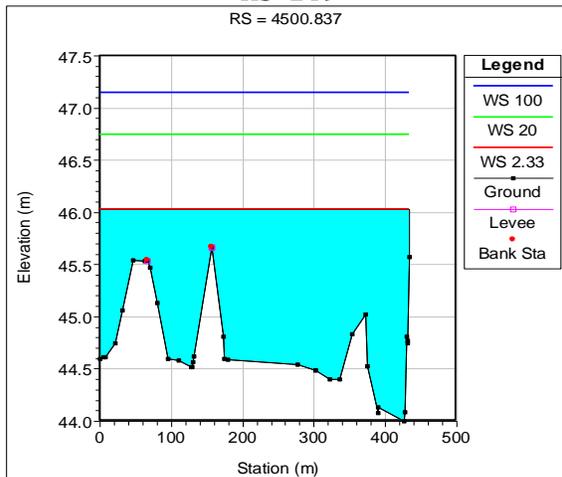
Figura 4-38. Niveles de flujo secciones transversales. Río Chicamocha



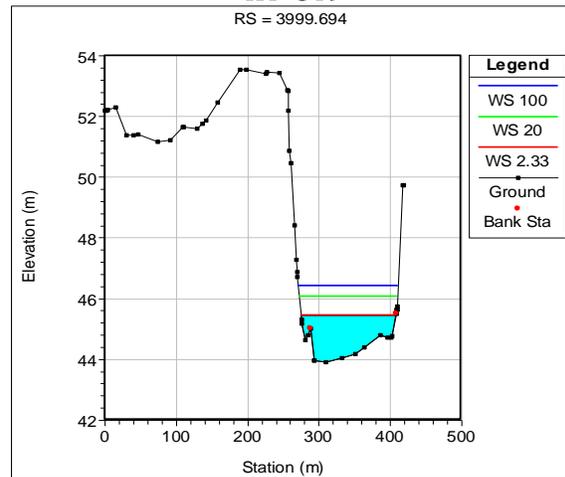
K5+249



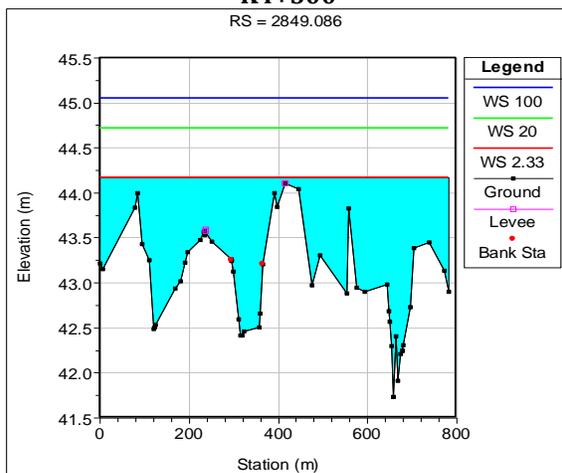
K4+849



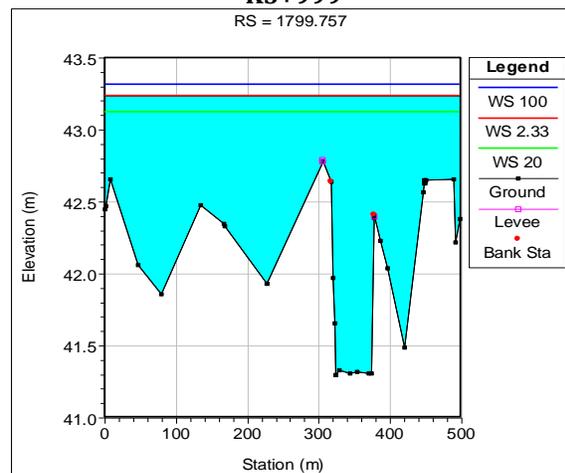
K4+500



K3+999

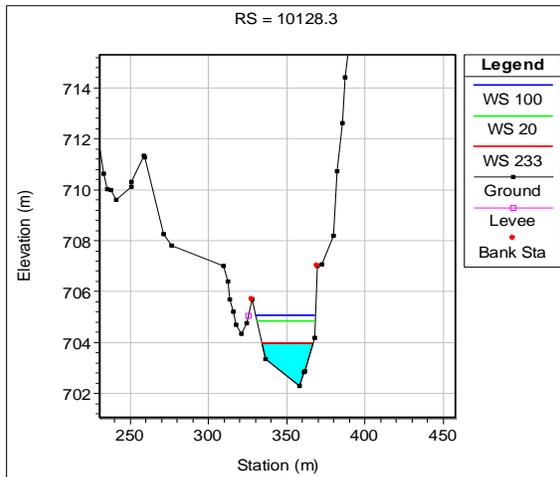


K2+849

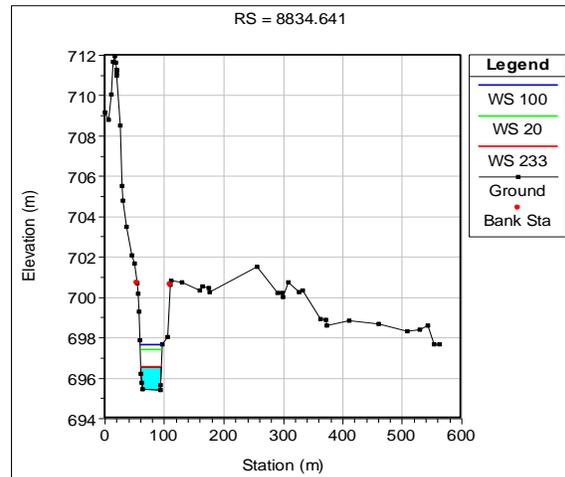


K1+799

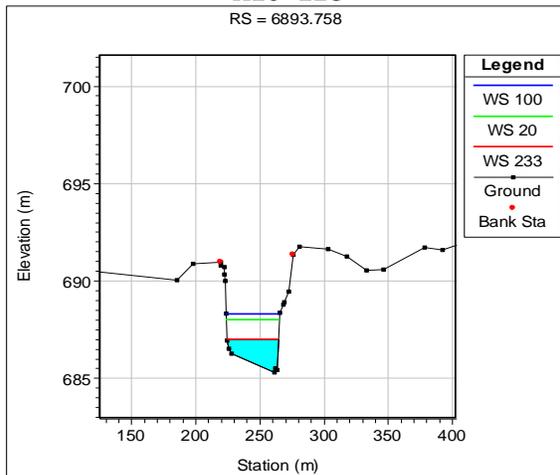
Figura 4-39. Niveles de flujo secciones transversales. Río Fundación



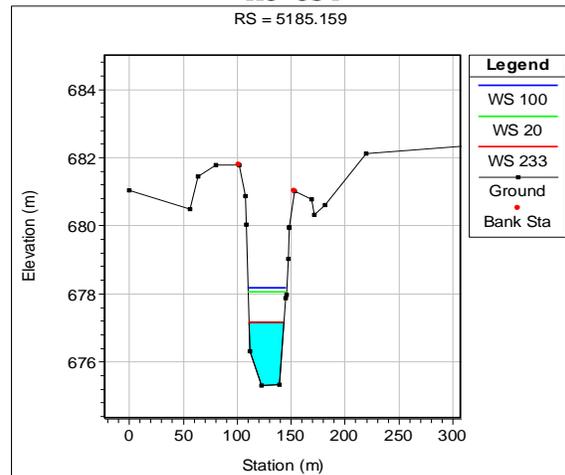
K10+128



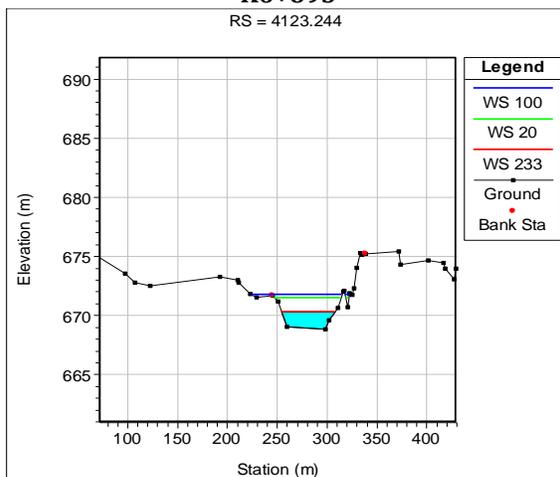
K8+834



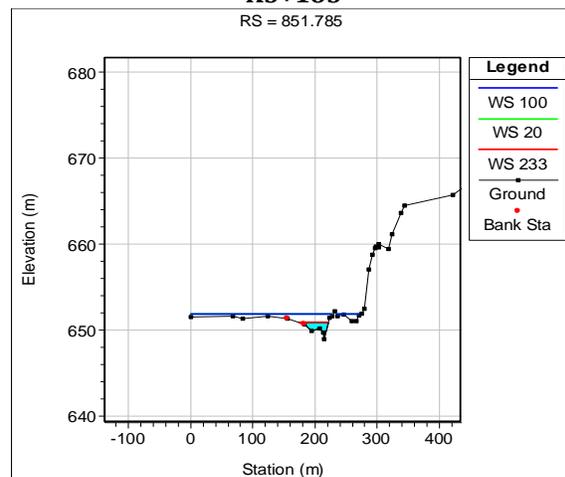
K6+893



K5+185



K4+123



K0+851

Figura 4-40. Niveles de flujo secciones transversales. Río de Oro

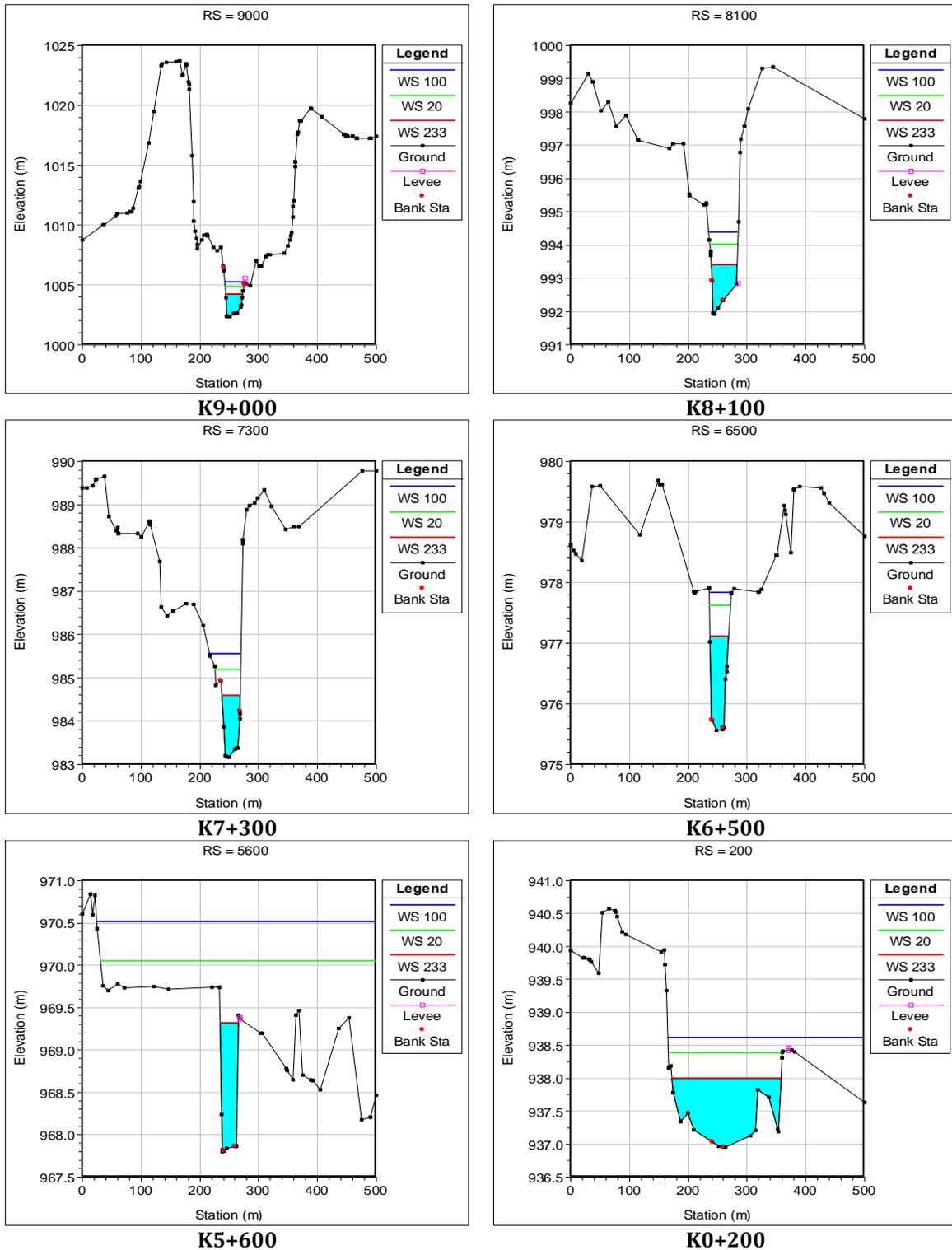


Figura 4-41. Niveles de flujo secciones transversales. Río Tuluá

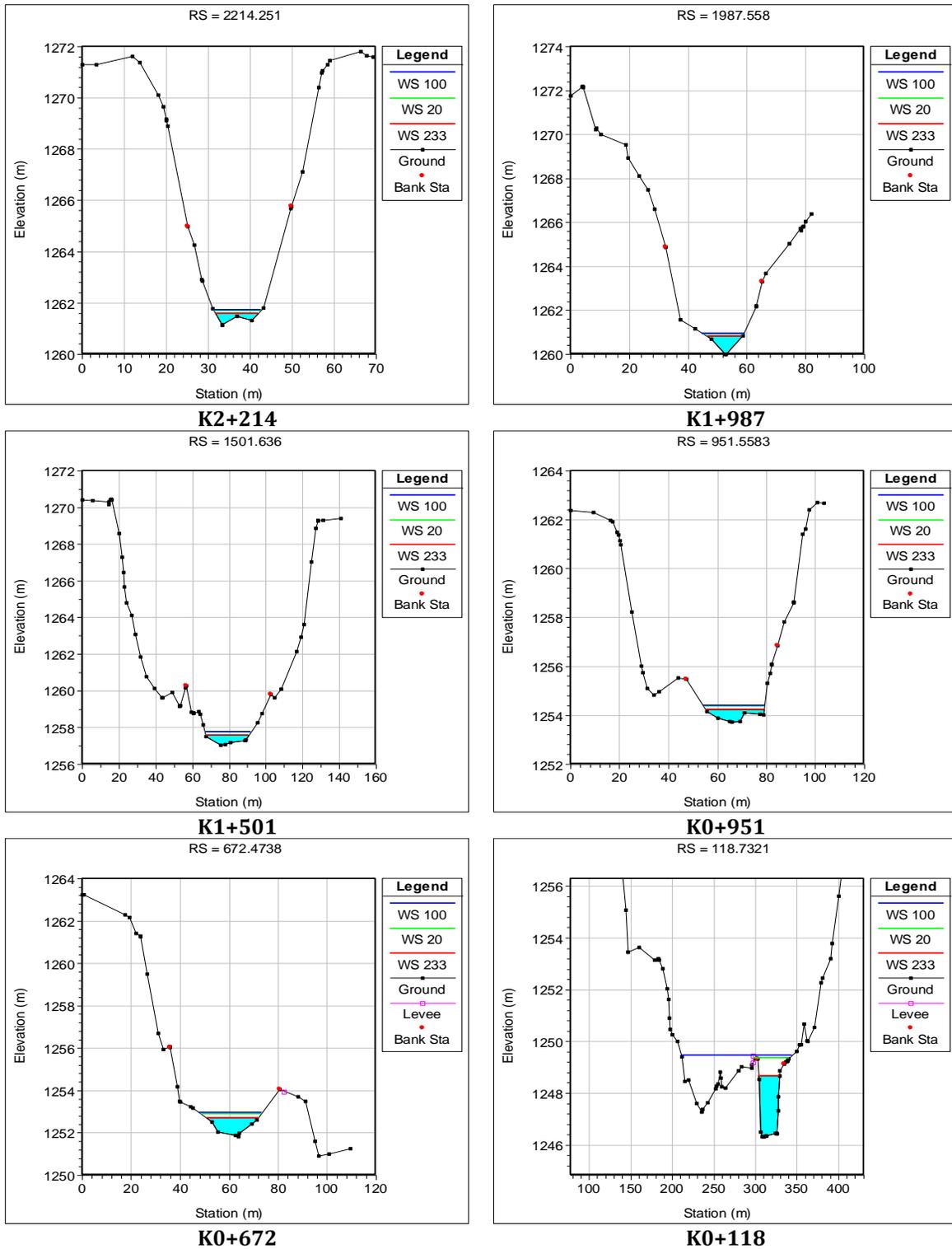


Figura 4-42. Niveles de flujo secciones transversales. Río Guarapas

De acuerdo con lo observado tanto en los perfiles hidráulicos como en las secciones transversales, se concluye lo siguiente:

- ✓ Los perfiles hidráulicos en las cinco corrientes analizadas, en general presentan una pendiente uniforme, con muy pocos cambios a pesar de ser cauces con pendientes medio altas, y que dadas sus características geométricas, como alineamientos rectos y secciones encajonadas (tipo “u” y “v”), no presentan una geomorfología de cauce de montaña, sino de cauces de planicie, debido a la ausencia de geoformas como saltos y pozos.
- ✓ De acuerdo al tipo de pendiente longitudinal de cada uno de los cauces, se pudo hacer una clasificación geomorfológica general de cada uno, con el objeto de caracterizar e identificar la dinámica de cada uno de los cauces de estudio. En la Tabla 4-18 se tiene la clasificación de cada una de las corrientes súbitas de acuerdo al tipo de pendiente.

Tabla 4-18. Clasificación de los cauces, según la pendiente

Río	Pendiente (%)	Tipo de cauce (Rosgen, 1996)	Tipo de geomorfología	Tipo de cauce (Bathurst, 1993)
Chicamocha	0.08	F	Pozos y cruces	Río de arena
Fundación	0.12	F	Pozos y cruces	Río de gravas y cantos
Oro	0.7	F	Pozos y cruces	Río de gravas y cantos
Tuluá	0.5	F	Pozos y cruces	Río de gravas y cantos
Guarapas	0.16	F	Pozos y cruces	Río de gravas y cantos

- ✓ De acuerdo a la clasificación obtenida para cada uno de los cauces (Tabla 4-18), se tiene que, en general, todos los cauces son tipo “F” según la clasificación de Rosgen, que corresponde a un cauce con alineamiento recto, pendientes moderadas con tendencias a gradientes bajos, sin formas del lecho definidas, pero con presencia de pozos y cruces (Figura 4-43), que corresponde a una secuencia longitudinal ondulante entre rápidos constituidos por material más grueso y pozos de material más fino, donde en las márgenes se aprecian barras laterales. Adicionalmente, son cauces que presentan una relación alta entre el ancho y la profundidad, es decir, el ancho es en promedio dos o tres veces la profundidad del agua. Cabe mencionar que este tipo de cauces presenta una alta susceptibilidad a los procesos erosivos sobre las márgenes, situación que coincide con lo registrado en campo en cada una de estas corrientes. El material de arrastre que predomina en general en estos cauces corresponde a material granular, que va desde gravas de pequeño a mediano tamaño, hasta arenas, hecho que

se evidencia en el material que se observó en algunas de las barras de sedimentos encontradas en los cauces evaluados.

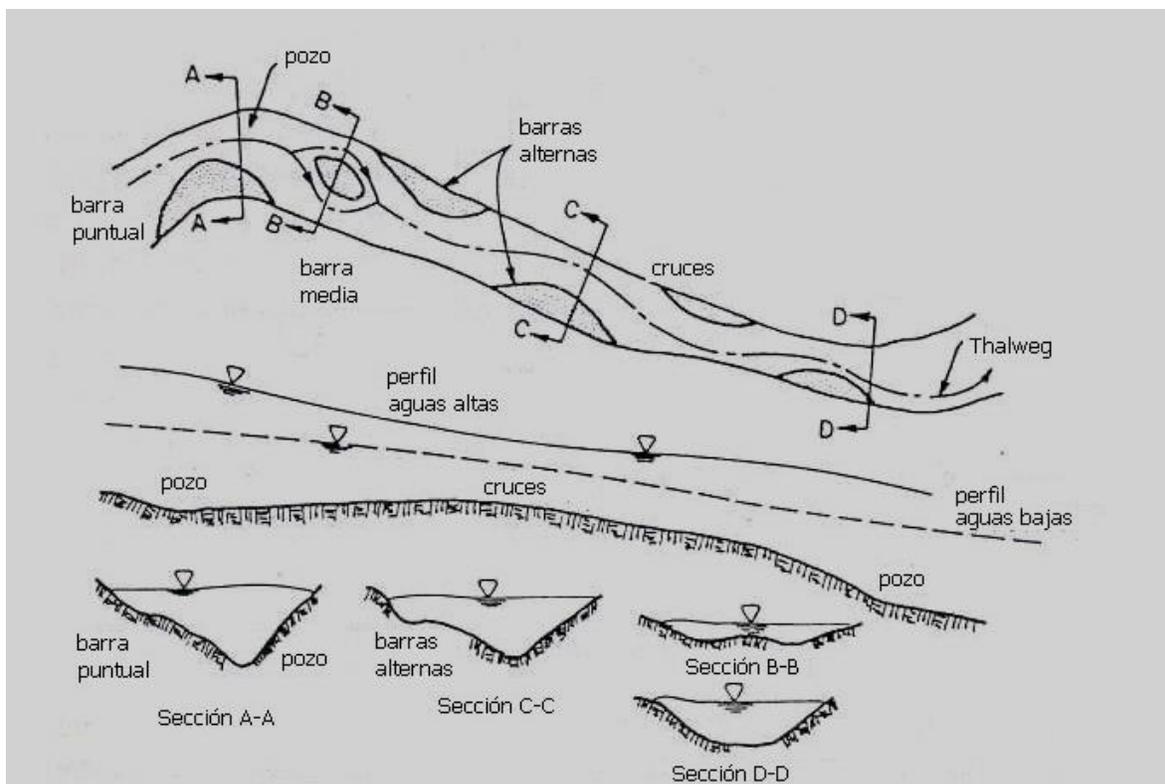
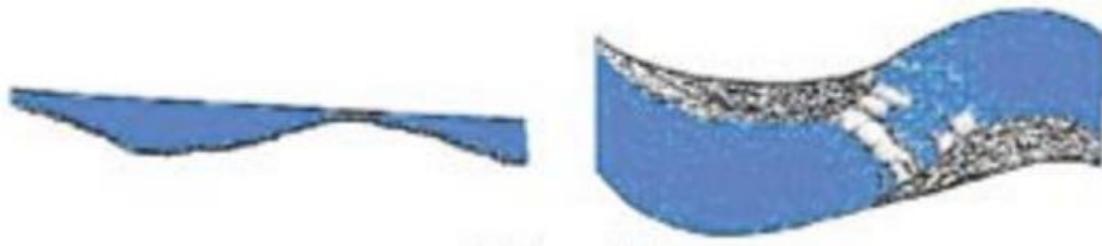


Figura 4-43. Esquema de pozos y cruces

- ✓ Con respecto a las secciones transversales, se llegó a que, en aproximadamente el 60% de los casos, presentan capacidad hidráulica para evacuar los caudales máximos y el 40% restante son insuficientes hidráulicamente, que corresponde a las zonas donde se genera desbordamientos de los cauces.

Los resultados numéricos de la modelación se muestran en el Anexo A, desde la Tabla 9-1 a la Tabla 9-5.

De los resultados de la modelación se concluye que para una creciente de 100 años de período de retorno:

- En términos generales se obtuvieron velocidades altas, que superan los valores máximos permisibles de los materiales que constituyen las márgenes de los cauces evaluados, los cuales presentan materiales que van de cohesivos a arenas, razón por la cual los cauces actualmente presentan procesos erosivos en algunos sitios específicos dentro de lo que se observó en el recorrido de campo.
- Los tramos donde se generaron las mayores velocidades corresponden a los tramos donde el cauce cambia de manera abrupta el ancho de la sección, que corresponden a los sitios donde se encontraron obstrucciones como obras hidráulicas (muros, puentes), barras de sedimentos y zonas con curvatura (Tabla 4-19).
- Los tramos donde se generaron las menores velocidades corresponden a los tramos donde hay presencia de sobreanchos y pendientes (Tabla 4-19).

Tabla 4-19. Rango de velocidades resultados de la modelación (Tr=100 años)

Río	Rango de velocidades (m/s)	Causas de las velocidades máximas	Causas de las velocidades mínimas
Chicamocha	0.25 - 3.54	Tramos contraídos por obras hidráulicas como muros en concreto	Tramos con presencia de sobreanchos
Fundación	0.19 - 4.44	Presencia de curvas y obstrucciones como zonas de depositación	Tramos con presencia de sobreanchos
Oro	0.9 - 7.61	Tramos con pendientes altas y zonas contraídas por presencia de obras hidráulicas	Tramos con presencia de sobreanchos
Tuluá	0.34 - 4.78	Zonas contraídas y obstrucciones por presencia de zonas de depositación	Tramos con presencia de sobreanchos
Guarapas	0.61 - 4.35	Presencia de curvas y obstrucciones como zonas de depositación	Tramos con presencia de sobreanchos

En la Figura 4-44 a la Figura 4-48 se muestra la variación de velocidades en cada uno de los cauces estudiados.

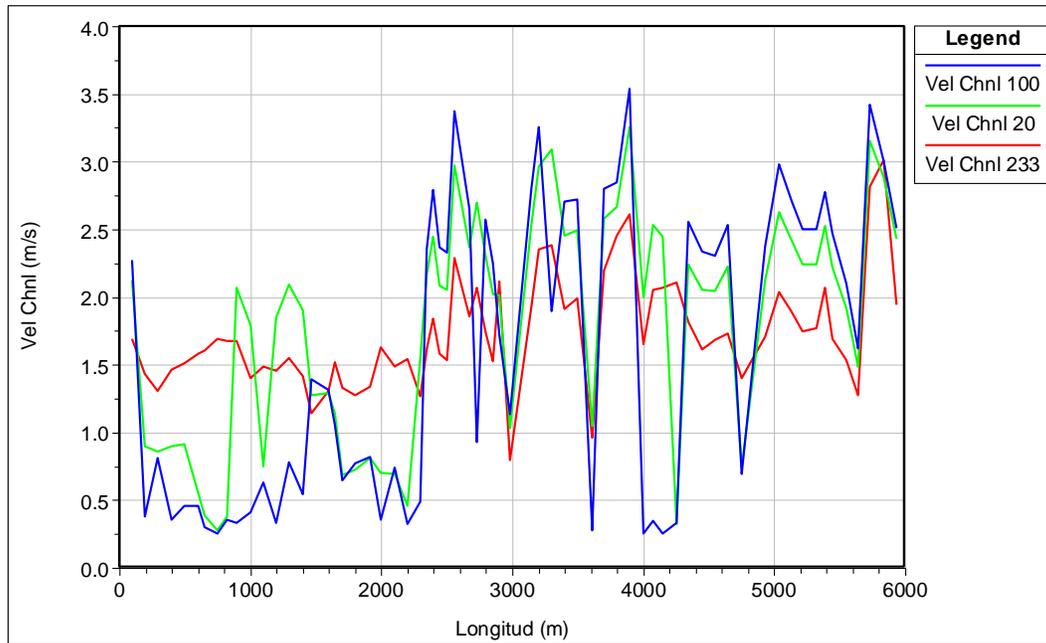


Figura 4-44. Perfil de velocidades en el tramo de análisis. Río Chicamocho

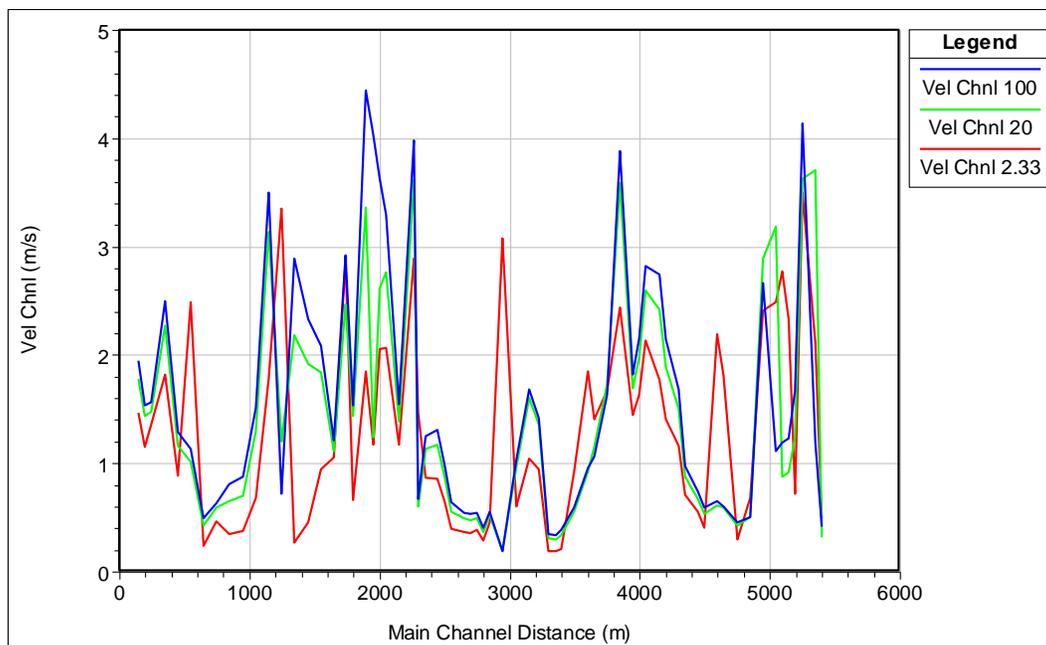


Figura 4-45. Perfil de velocidades en el tramo de análisis. Río Fundación

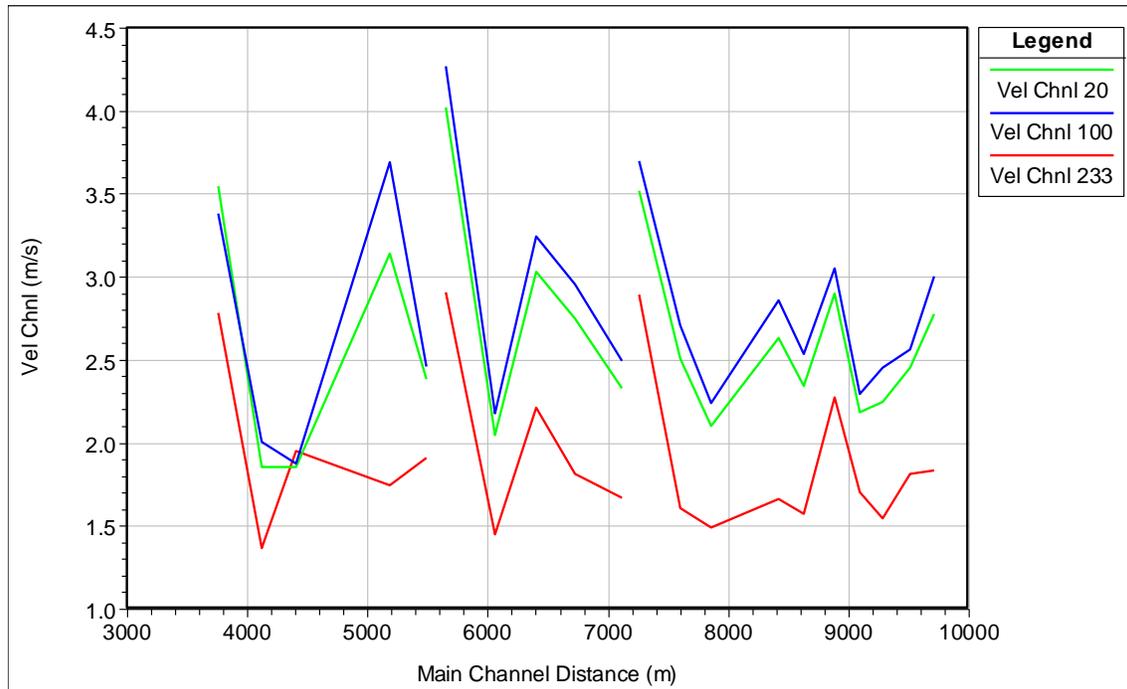


Figura 4-46. Perfil de velocidades en el tramo de análisis. Río de Oro

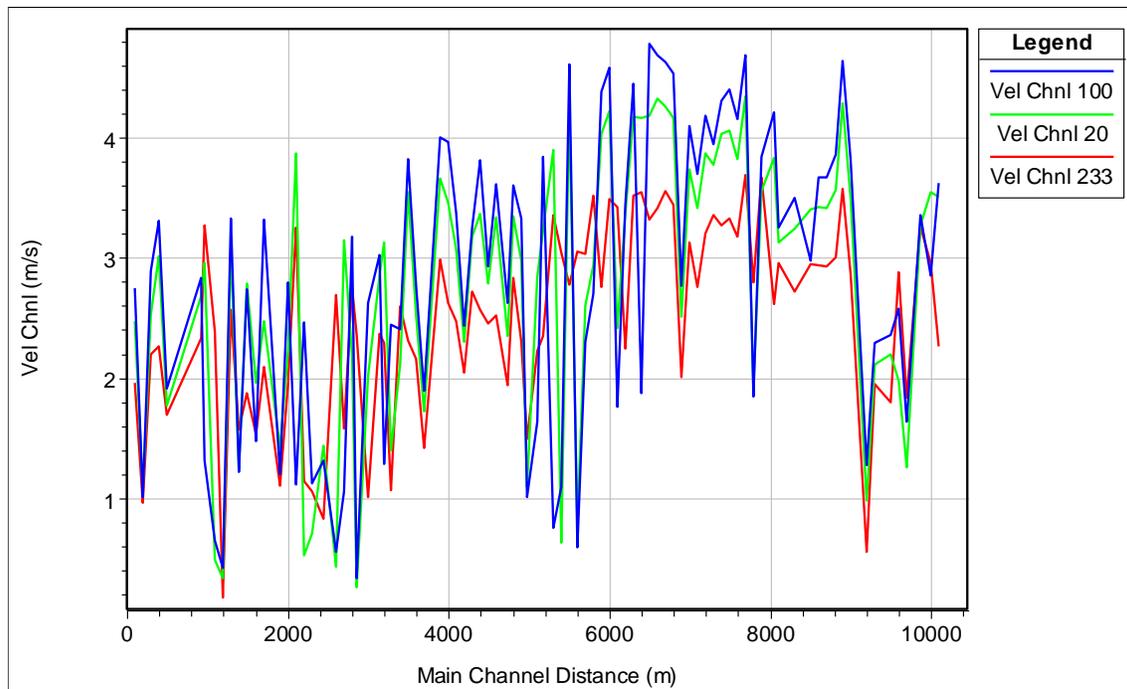


Figura 4-47. Perfil de velocidades en el tramo de análisis. Río Tuluá

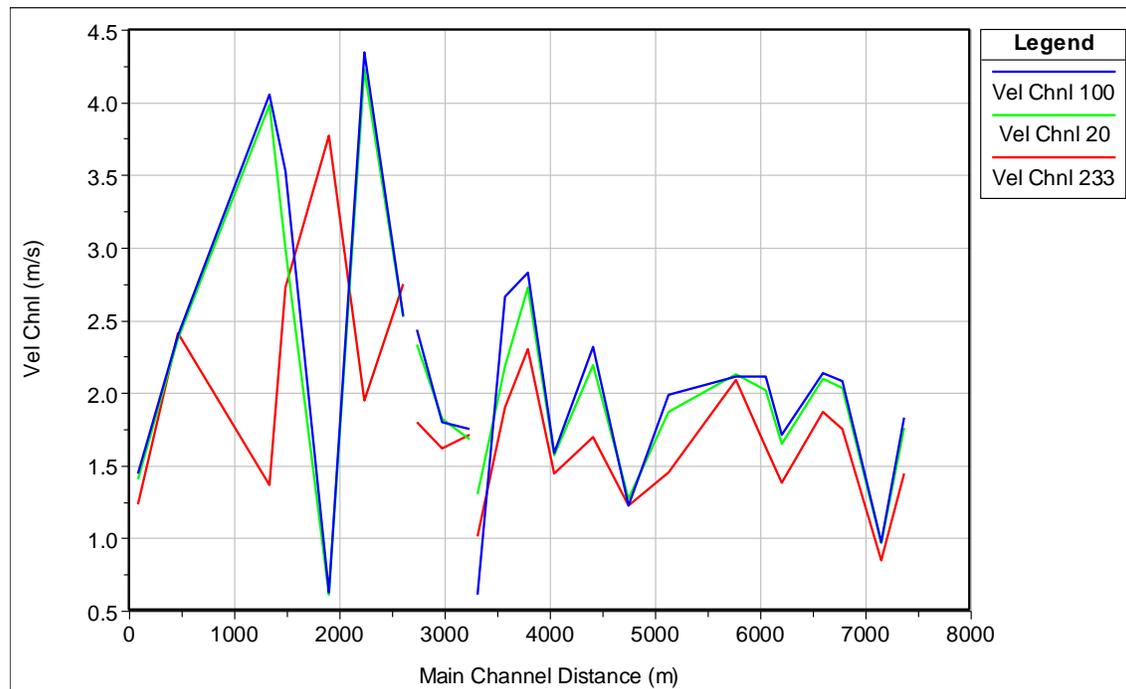


Figura 4-48. Perfil de velocidades en el tramo de análisis. Río Guarapas

En las gráficas anteriores se observan los perfiles de velocidad de cada uno de los cauces evaluados, que corresponden a valores de velocidad que están dentro de un rango aceptable de acuerdo con las características geomorfológicas de los ríos y los tipos de materiales que los conforman. Estos valores de velocidad obtenidos muestran la capacidad de arrastre de la corriente y por tanto representan la susceptibilidad que tiene el cauce ante los procesos de erosión y transporte de sedimentos, de lo cual se podría concluir que para el rango de velocidades obtenidas los cauces tienden a presentar estos procesos.

5 TRABAJO DE CAMPO

5.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO IMÁGENES LIDAR

5.1.1 Toma de datos

La topografía LIDAR sirvió como insumo para la generación de la extensión de la inundación, puesto que se pudo obtener en detalle tanto la geometría y configuración de cada una de las corrientes como de las zonas colindantes (llanuras de inundación, vías, construcciones, entre otros).

La toma de datos se realizó durante el mes de diciembre de 2013, donde se realizaron vuelos a una altura de 500 m para la toma de las imágenes LIDAR, usando un avión Cessna 182 y un sistema LIDAR REIGL Q-560, el cual es apropiado entre varios modelos, para bosques tupidos y relieves ondulados.

Los equipos que se utilizaron para las lecturas en tierra de los vuelos con el sistema LIDAR, son 3 equipos TOP CON de doble frecuencia tipo HIPER GD, GNSS RECEIVER Y HIPER GGD, GNSS RECIEVER. Se trabajó con una precisión de 2mm y con un alcance de 500Km.

Durante las misiones de vuelo se obtuvieron los archivos crudos del sistema LIDAR (formato LAS: nube de puntos con coordenadas X, Y, Z). A partir de la clasificación de la nube de puntos por su altura y el filtrado de los diversos elementos presentes en la superficie del terreno, se procedió al procesamiento de los datos con los cuales se elaboró un Modelo Digital de Terreno (DTM) con una resolución de 50 centímetros y un Modelo Digital de Superficie (DSM) con igual resolución. A partir del DTM se generaron las curvas de nivel con el intervalo requerido. El resultado final de los productos es submétrico, alcanzando una precisión entre 6 y 4 cm y a partir del DSM se obtiene la información de superficie como: cobertura vegetal, infraestructura vial y eléctrica, aéreas construidas y demás elementos presentes en la superficie del terreno.

El levantamiento se encuentra amarrado a la red geodésica WGS 84 en Colombia a través de los puntos certificados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

5.1.2 Apoyos geodésicos

Los sitios donde se ubicaron los puntos de control y las bases, son determinados teniendo en cuenta: la posición, los accesos, la inexistencia de obstáculos, que de una u otra forma, interrumpen la calidad de la señal y la exacta ubicación de estos pensando en la posibilidad de chequear estos puntos en la información LIDAR.

La exploración y posicionamiento de las bases se llevó a cabo durante el mes de diciembre de 2013. Con base en los resultados de planteamiento GPS, se estableció la duración de las sesiones de grabación iguales o superiores a los tiempos de duración de los vuelos. Los puntos denominados “De Control” fueron amarrados a la red geodésica nacional a través del vértice geodésico materializado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Tabla 5-1. Fechas de toma de datos LIDAR

Municipio	Fecha de posicionamiento base
La Victoria	18/12/2013
Plato	14/12/2013
Momil	17/12/2013
La Virginia	10/12/2013
Puerto Boyacá	11/12/2013
Paipa	13/12/2013
Fundación	18/12/2013
Girón	11/12/2013
Tuluá	12/12/2013
Pitalito	07/12/2013

5.1.2.1 Municipio La Victoria – Valle del Cauca

En la Tabla 5-2 se listan los puntos de amarre utilizados para el levantamiento.

Tabla 5-2. Puntos de amarre – La Victoria

Punto	Lugar - Dirección	Descripción
IGAC SAZ-GPS-D-V2 991349,941N 782150,569E 921,9 m.s.n.m. (Foto 5-1)	N-E de la planta de oxígeno	A unos 550 m se encuentra el acueducto municipal en cuyos predios se ubicó el punto
GPS Base (Foto 5-2)	Por la vía Panamericana a 5 minutos de la Victoria.	Atrás del parqueadero cubierto de la zona alta del hotel
GPS-D-V2 (Foto 5-3)	Intersección de la carrera 7 por la calle 8 se avanzan 900m en dirección a Cali. Finca la Castellana	Finca la Castellana en una zona verde localizada al costado W de la casa principal



Foto 5-1. Punto IGAC SAZ-GPS-D-V2. La Victoria.



Foto 5-2. GPS Base. La Victoria



Foto 5-3. GPS-D-V2. La Victoria

5.1.2.2 Municipio Plato – Magdalena

En la Tabla 5-3 se listan los puntos de amarre utilizados para el levantamiento.

Tabla 5-3. Puntos de amarre – Plato

Punto	Lugar - Dirección	Descripción
IGAC GPS-M-T-57 1574860,096N 920904,918E 23,6 m.s.n.m. (Foto 5-4)	Ruinas del colegio, actualmente zona de entrenamiento de la Policía Nacional.	Planta los gases el Caribe encontrando el punto dentro de las ruinas del colegio
GPS Base (Foto 5-5)	Hotel Da Vinci con dirección carrera 15 N 11-03	Terraza del hotel
GPS 01 (Foto 5-6)	Polideportivo Conaljeba.	Plazoleta que se encuentra en la parte posterior del teatro del polideportivo



Foto 5-4. Punto IGAC "IGAC GPS-M-T-57. Plato"



Foto 5-5. GPS Base. Plato



Foto 5-6. GPS 01. Plato

5.1.2.3 Municipio Momil – Córdoba

En la Tabla 5-4 se listan los puntos de amarre utilizados para el levantamiento.

Tabla 5-4. Puntos de amarre – Momil

Punto	Lugar - Dirección	Descripción
IGAC GPS-CR-T-4 1514348,297N 809281,094E 16,7m.s.n.m. (Foto 5-7)	Estación de servicios denominada Servicentro Lorica Esso	Andén de concreto al costado de un jardín, frente a los expendios.
GPS 01 (Foto 5-8)	Vía Lorica – Sincelejo	Andén del parque principal diagonal al puesto de policía e iglesia católica.
GPS 02 (Foto 5-9)	Colegio Francisco José de Caldas	Andén de la casa rosada, a mano derecha saliendo del colegio San Francisco José de Caldas
GPS Base (Foto 5-10)	Hotel Casa Blanca	Andén de concreto de la casa de puertas de madera y de frente de una casa de vidrios azules



Foto 5-7. Punto IGAC "IGAC GPS-CR-T-4. Momil



Foto 5-8. GPS 01. Momil



Foto 5-9. GPS 02. Momil



Foto 5-10. GPS Base. Momil

5.1.2.4 Municipio La Virginia – Risaralda

En la Tabla 5-5 se listan los puntos de amarre utilizados para el levantamiento.

Tabla 5-5. Puntos de amarre – La Virginia

Punto	Lugar - Dirección	Descripción
IGAC GPS-CR-T-4 1032657,93N 801291,538E 935.215m.s.n.m. (Foto 5-11)	Vereda el aguacate entrando por la variante subiendo la colina	Partiendo del parque principal de la Virginia tomamos hacia la variante por la vereda el aguacate ubicamos el GPS en la cima de la primera colina a mano izquierda encontrando el GPS al costado de un árbol.
GPS 01 (Foto 5-12)	Estación de servicios Cody que se encuentra al lado del cementerio principal calle 12 transversal 11	Andén que contiene un jardín que se encuentra al lado del cementerio
GPS 02 (Foto 5-13)	Iglesia adventista 7mo Día Evanecer	Esquina de la iglesia 7mo día evanecer



Foto 5-11. Punto IGAC SAZ-ISA. La Virginia



Foto 5-12. GPS 01. La Virginia



Foto 5-13. GPS 02. La Virginia

5.1.2.5 Municipio Puerto Boyacá – Boyacá

En la Tabla 5-6 se listan los puntos de amarre utilizados para el levantamiento.

Tabla 5-6. Puntos de amarre – Puerto Boyacá

Punto	Lugar - Dirección	Descripción
IGAC GPS-BY-T-7 1152018,922N 945718,015E 142,7 m.s.n.m. (Foto 5-14)	Partiendo de la esquina sur oriental del parque principal y por la entrada a puerto Boyacá	Cerca de la valla de concreto y la vía que sale a Bogotá en el costado sur
GPS Base (Foto 5-15)	Hotel la Gran Esquina	Terraza
GPS 01 (Foto 5-16)	Carrera 5ta con la calle 24	Esquina, vértice de la grama verde
GPS 02 (Foto 5-17)	Esquina carrera 3A	Vértice de la grama verde junto a un poste de luz



Foto 5-14. Punto IGAC GPS-BY-T-7. Puerto Boyacá



Foto 5-15. GPS Base. Puerto Boyacá

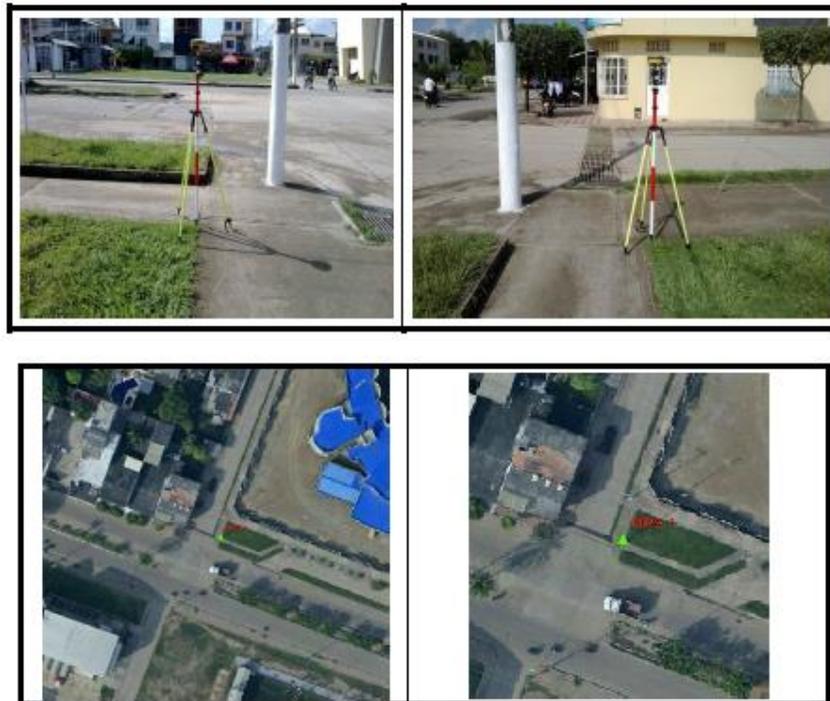


Foto 5-16. GPS 01. Puerto Boyacá



Foto 5-17. GPS 02. Puerto Boyacá

5.1.2.6 Municipio Paipa – Boyacá

En la Tabla 5-7 se listan los puntos de amarre utilizados para el levantamiento.

Tabla 5-7. Puntos de amarre – Paipa

Punto	Lugar - Dirección	Descripción
IGAC A38-B0-6 1130987,138N 1105466,941E 2500,549m.s.n.m. (Foto 5-18)	Cementerio municipal	Entrada al cementerio
GPS 01 (Foto 5-19)	Hotel Casa Grande	Patio interior
GPS 02 (Foto 5-20)	Lago Sochagota	



Foto 5-18. PUNTO I.G.A.C A 38-BO6. Paipa

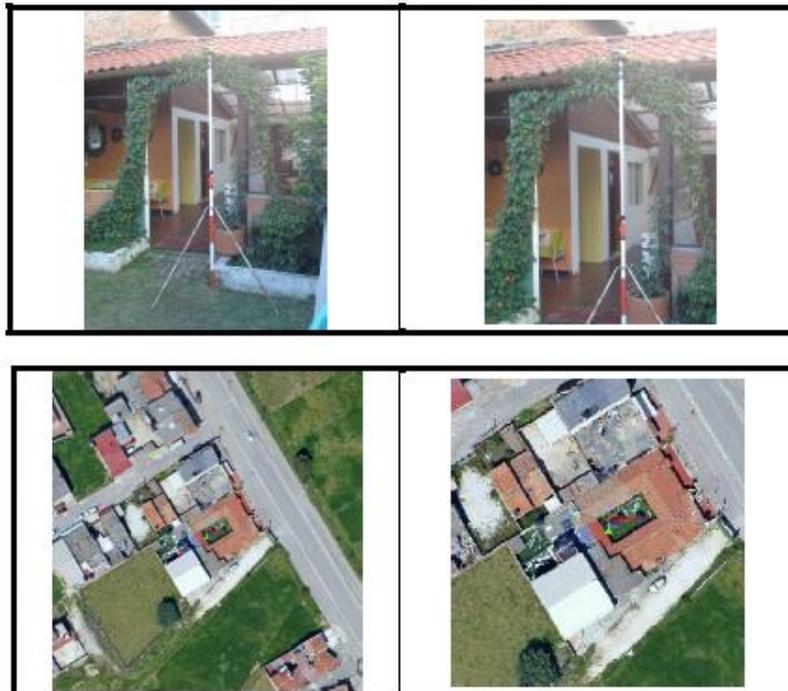


Foto 5-19. GPS 01. Paipa



Foto 5-20. GPS 02. Paipa

5.1.2.7 Municipio Fundación – Magdalena

En la Tabla 5-8 se listan los puntos de amarre utilizados para el levantamiento.

Tabla 5-8. Puntos de amarre – Fundación

Punto	Lugar - Dirección	Descripción
IGAC NP-A 11 T N 6 1240891,151N 591911,667E 36,33 m.s.n.m.		
GPS Base (Foto 5-21)	Hotel y salón de eventos Casa Blanca Calle 6 N 9-25	Terraza del 2do piso del hotel
GPS 01 (Foto 5-22)	Carrera 15 A con calle 3A	Lado izquierdo de la casa ubicándose sobre la carrera 15A
GPS 02 (Foto 5-23)	Calle 6 con carrera 1A – 17	Lado izquierdo de la casa ubicada al frente de la misma sobre la carrera 1A



Foto 5-21. GPS Base. Fundación



Foto 5-22. GPS 01. Fundación



Foto 5-23. GPS 02. Fundación

5.1.2.8 Municipio Girón – Santander

En la Tabla 5-9 se listan los puntos de amarre utilizados para el levantamiento.

Tabla 5-9. Puntos de amarre – Girón

Punto	Lugar - Dirección	Descripción
IGAC GPS-S-T-64 1273167,416N 1100945,226E 701 m.s.n.m. (Foto 5-24)	Estación de servicios Caneyes - Carrera 26 con la avenida los Caneys	Zona verde al lado de la estación de servicios Esso
GPS Base (Foto 5-25)	Hotel las Nieves - calle 30 N 25 – 71	Terraza del Hotel las Nieves donde se encuentra la lavandería del hotel.
GPS 01 (Foto 5-26)	Cancha de arenilla estadio 1ro de Mayo - Carrera 26 hasta la calle 15	Entrada de la cancha de arenilla que está al lado de la cancha cubierta
GPS 02 (Foto 5-27)	Supermercado Metro Cenco Sud - carrera 26 hasta la avenida los Caneys	Parqueadero del supermercado Metro Cenco Sud en el parqueadero de las motos



Foto 5-24. Punto IGAC "IGAC GPS-S-T-64. Girón.



Foto 5-25. GPS Base. Girón



Foto 5-26. GPS 01. Girón



Foto 5-27. GPS 02. Girón

5.1.2.9 Municipio Tuluá – Valle del Cauca

En la Tabla 5-10 se listan los puntos de amarre utilizados para el levantamiento.

Tabla 5-10. Puntos de amarre – Tuluá

Punto	Lugar - Dirección	Descripción
IGAC GPS-C38-CW-4 940525,000N 764046,220E 991.501m.s.n.m. (Foto 5-28)	Salida Tuluá Buga	Entrada principal a la hacienda Tapias sobre el muro del caño que se encuentra a mano derecha entrando
GPS 01 (Foto 5-29)	Barrio Victoria. Calle 33 con Carrera 36	Entrada al parqueadero de la casa con dirección calle 33 # 36-05
GPS 02 (Foto 5-30)	Cancha del popular	Carrera 28 B # 16-15



Foto 5-28. Punto I.G.A.C “ C38-CW-4. Tuluá



Foto 5-29. GPS 01. Tuluá



Foto 5-30. GPS 02. Tuluá

5.1.2.10 Municipio Pitalito – Huila

En la Tabla 5-11 se listan los puntos de amarre utilizados para el levantamiento.

Tabla 5-11. Puntos de amarre – Pitalito

Punto	Lugar - Dirección	Descripción
IGAC 41551001 696473,178N 778905,552E 1276,879m.s.n.m. (Foto 5-31)	Almacén Éxito o San Antonio Plaza	Gramaje de frente de San Antonio Plaza y Hamburguesa el Corral
GPS Base (Foto 5-32)	Hotel Escorial con dirección carrera 4ta N 7-39 centro Pitalito	Terraza
GPS 02 (Foto 5-33)	Carrera 3ra con calle 19 A sur hacia el centro comercial san Antonio plaza	
GPS 01 (Foto 5-34)	Carrera 3ra con calle 19 A sur hacia el centro comercial san Antonio plaza	



Foto 5-31. Punto IGAC GPS BY - T - 7. Pitalito



Foto 5-32. GPS Base. Pitalito



Foto 5-33. GPS 02. Pitalito



Foto 5-34. GPS 01. Pitalito

5.2 RECONOCIMIENTO EN CAMPO PUNTOS DE INUNDACIÓN

Con el objeto de validar y verificar las zonas de inundación en cada uno de los municipios estudiados, se realizó entre el 13 y 23 de febrero de 2014 una campaña de campo, donde se visitó cada uno de los municipios en la zona urbana, para hacer un levantamiento de las zonas que han sido inundadas durante las épocas de creciente en los últimos años. A continuación se hace una descripción de cada uno de los municipios visitados y las observaciones sobre los cauces visitados en campo.

5.2.1 Generalidades municipio la Victoria – Valle del Cauca

El municipio de La Victoria se encuentra localizado entre el piedemonte oriental de la cordillera Central y el valle interandino del río Magdalena. Limita al oriente con el municipio de La Dorada; al occidente con los municipios de Marquetalia y Samaná, al norte con los municipios Norcasia y Samaná y al sur con los municipios de Honda y Mariquita. Tiene una

extensión total de 507 km² de los cuales 5 km² pertenecen a la zona urbana. El municipio se ubica a 750 msnm, con una temperatura media de 26°C y una precipitación media anual de 2.414 mm (Figura 5-1).

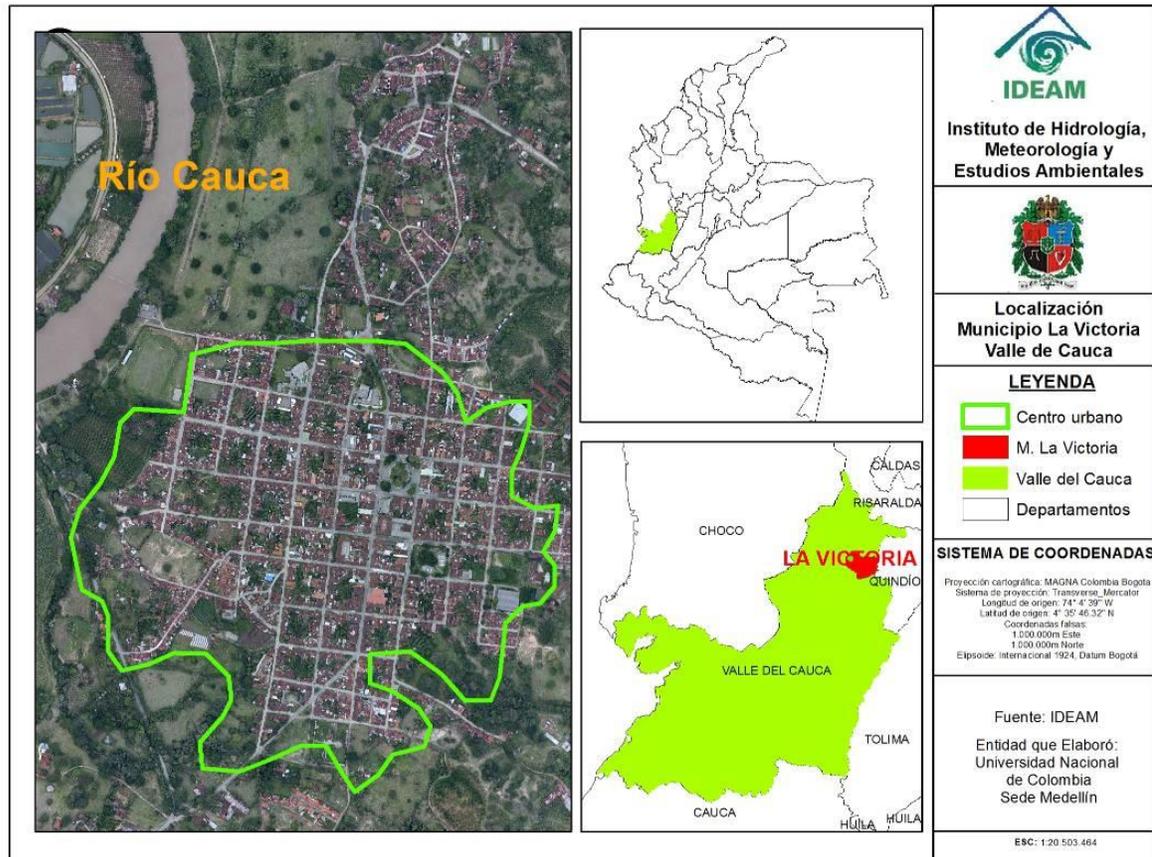


Figura 5-1. Localización del Municipio de La Victoria

5.2.2 Generalidades municipio Plato – Magdalena

El municipio de Plato está localizado al sur del departamento de Magdalena, tiene una extensión de 1500.4 km², de los cuales 3.51 km² corresponden al área urbana y los 1496.53 km² restantes son el área rural (Figura 5-2). La influencia directa del río Magdalena se presenta al occidente del municipio de Plato, donde el río es el límite entre los departamentos de Magdalena y Bolívar. Se ubica a 20 m.s.n.m., tiene una precipitación media anual la cual varía desde los 1000 mm hasta los 2000 mm y una temperatura media de 28°C.

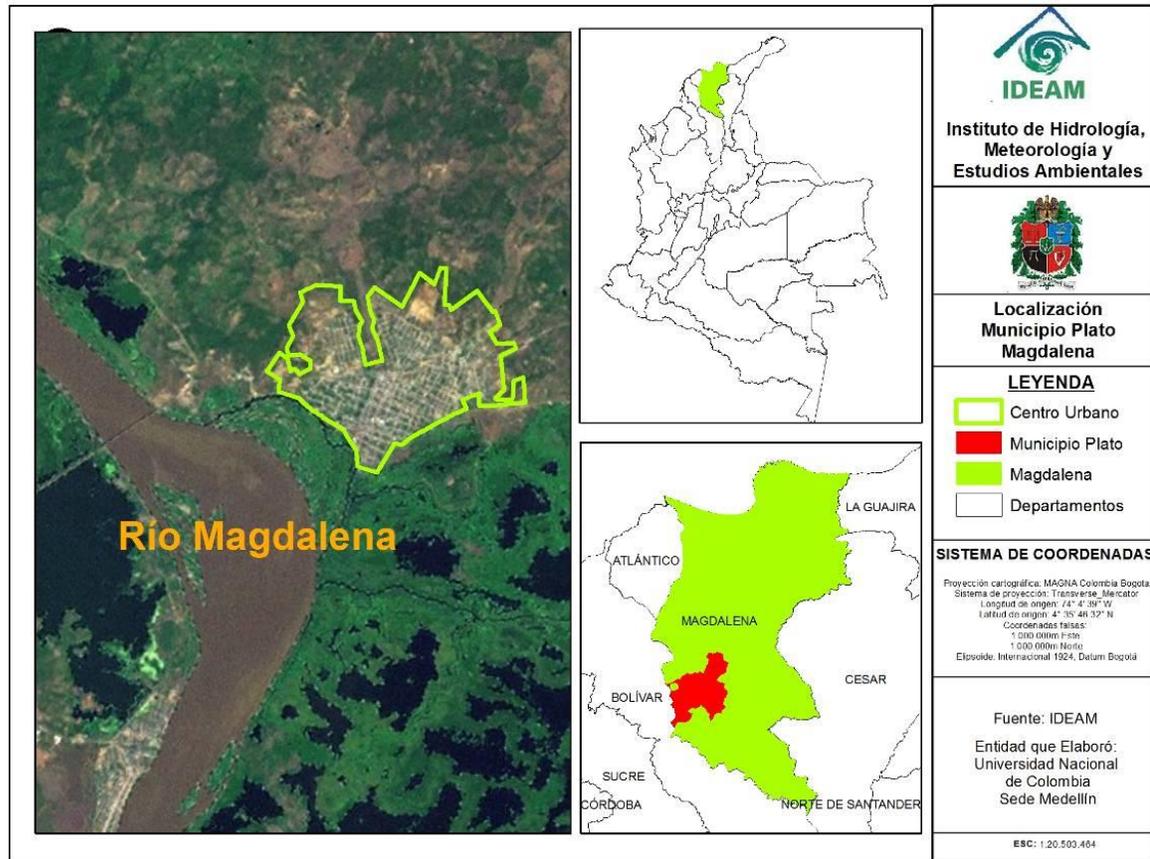


Figura 5-2. Localización del Municipio de Plato

5.2.3 Generalidades municipio de Momil – Córdoba

El municipio de Momil se encuentra localizado en el norte del departamento de Córdoba, pertenece a la subregión de la ciénaga Grande del Bajo Sinú y tiene una altura promedio de 17 m.s.n.m., limita la norte con el departamento de Sucre y el municipio de Purísima, al oriente con los municipios de Chimá y San Andrés de Sotavento, al sur con los municipios de Lorica y Chimá (terrenos Ciénaga Grande) y al occidente con los municipios de Lorica y Purísima. Momil tiene una extensión total de 15.5 km², donde 0.6 km² son urbanos y los 14.9 km² restantes son zona rural. Tiene una precipitación media anual de 1200 mm y una temperatura de 28°C (Figura 5-3).

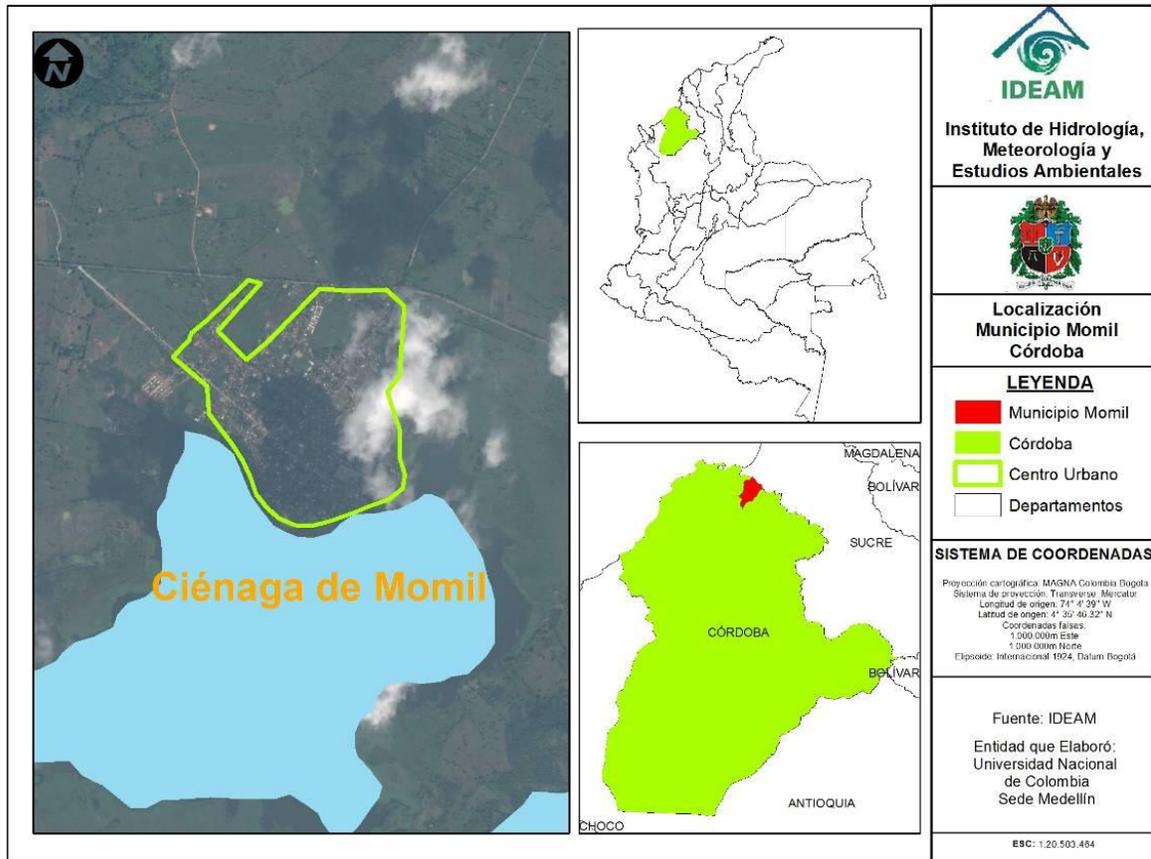


Figura 5-3. Localización del Municipio de Momil

5.2.4 Generalidades municipio La Virginia - Risaralda

El municipio de La Virginia se encuentra localizado en el departamento de Risaralda, al norte limita con el municipio de Belalcázar (Caldas), al sur con el municipio de Pereira, al oriente con los municipios de Pereira y Marsella y por el occidente con los municipios de Balboa y Santuario. Tiene una extensión total de 33 km² de los cuales 30 km² son área urbana. El municipio se ubica a 899 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 27°C y una precipitación media anual la cual varía entre los 1800 mm y los 1900 mm (Figura 5-4).

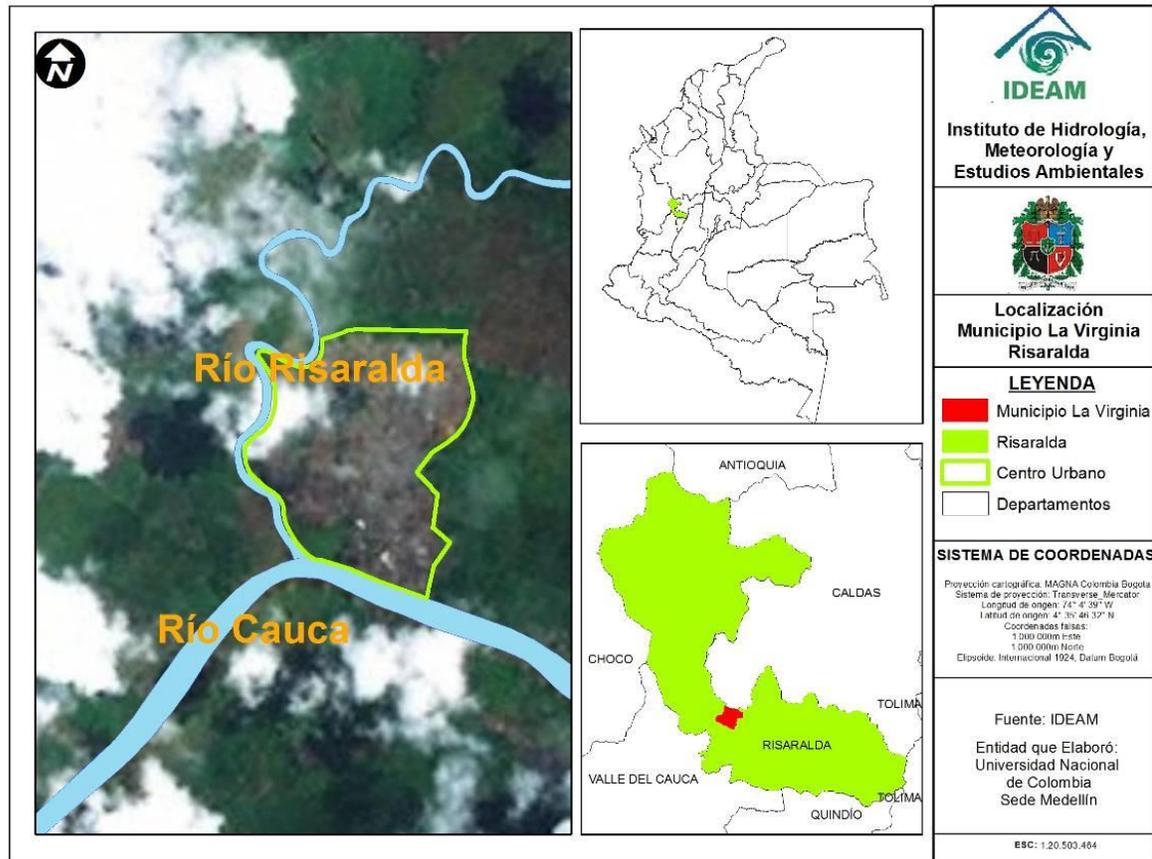


Figura 5-4. Localización del Municipio de la Virginia

5.2.5 Generalidades municipio de Puerto Boyacá – Boyacá

El municipio de Puerto Boyacá está localizado en el departamento de Boyacá a, limita al norte con el municipio de Bolivar (Santander), al sur con los municipios de Puerto Salgar y Yacopi (Cundinamarca), al oriente con el municipio de Otanche (Boyacá) y al occidente con los municipios de Puerto Nare, Puerto Triunfo, Puerto Berrio y Sonsón (Antioquia), este tiene influencia directa del río Magdalena al occidente del municipio. Este municipio tiene una extensión total de 1471 km² de los cuales 1467 km² son área rural. La precipitación media anual es de 2072.2 mm (fuente IDEAM) y una temperatura media de 28°C (Figura 5-5).

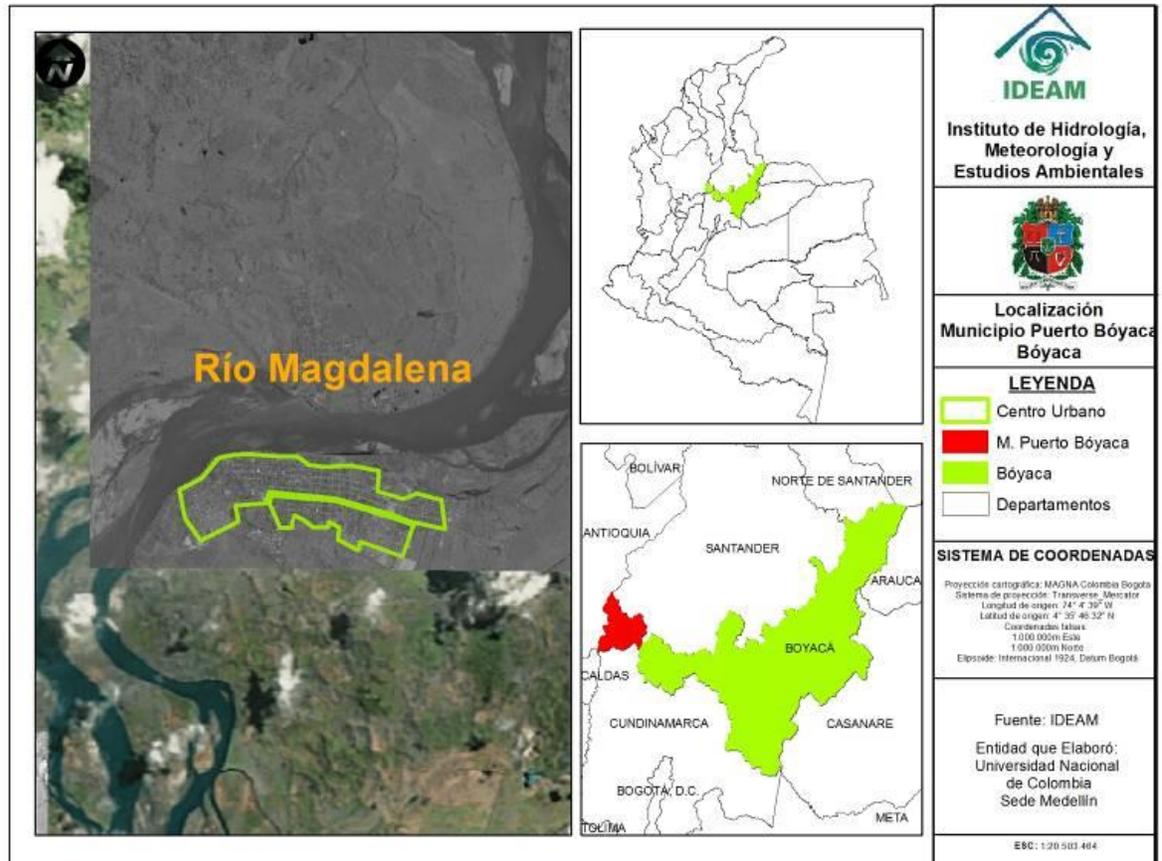


Figura 5-5. Localización del Municipio de Puerto Boyacá

5.2.6 Generalidades municipio de Paipa – Boyacá

El municipio de Paipa está localizado en el valle de Sogamoso a 2525 m.s.n.m., limita al norte con los municipios de Duitama y Gámbita, al oriente con Duitama y Tibasosa, al sur con Firavitoba y Tuta, al occidente con Sotaquirá y Gámbita. Tiene una precipitación media anual de 944 mm y una temperatura media de 15°C, y una extensión de 305.92 km² (Figura 5-6).

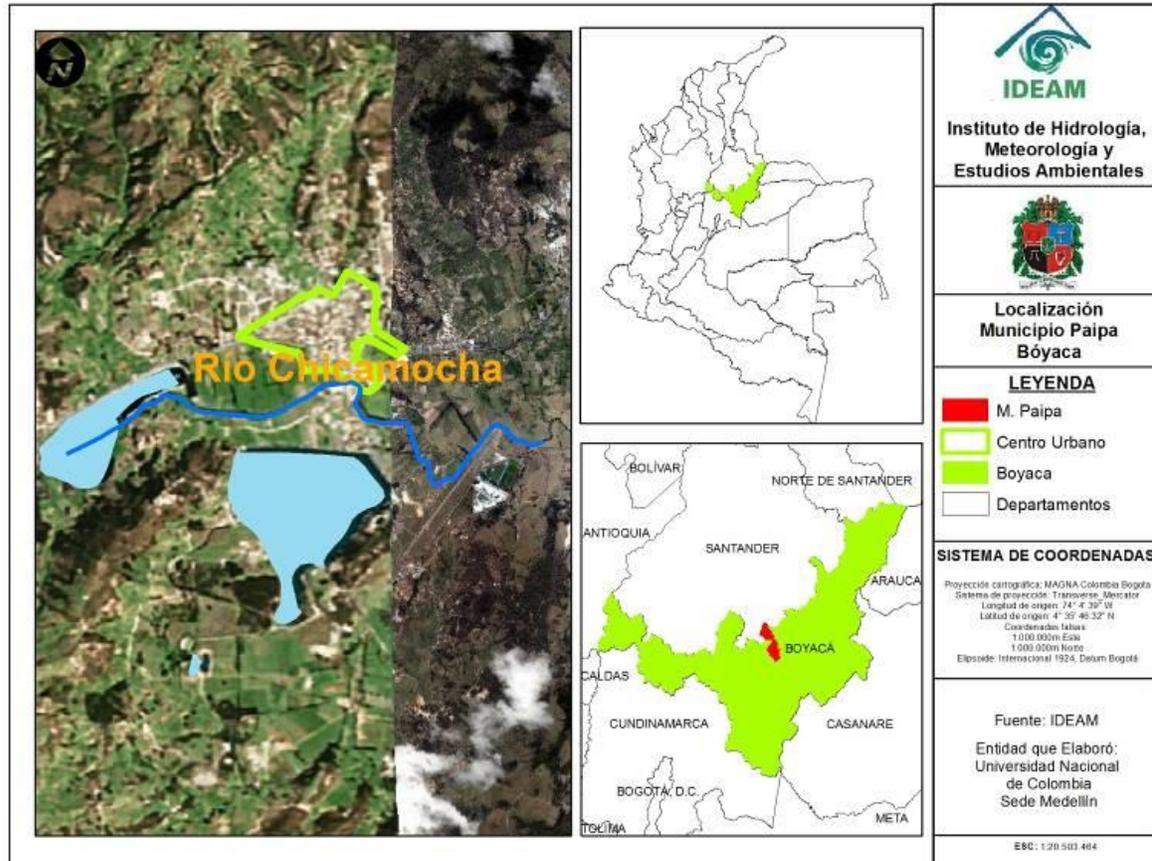


Figura 5-6. Localización del Municipio de Paipa

5.2.7 Generalidades municipio de Fundación – Magdalena

Está localizado al norte del departamento de Magdalena, con una extensión total de 96.471 Ha, el área urbana es de 565 Ha y 95.906 Ha son zona rural. El municipio se ubica entre las cotas 10 y 4000 msnm (Sierra Nevada de Santa Marta), tiene una precipitación media anual de 1000 mm y temperatura media de 32°C (Figura 5-7).

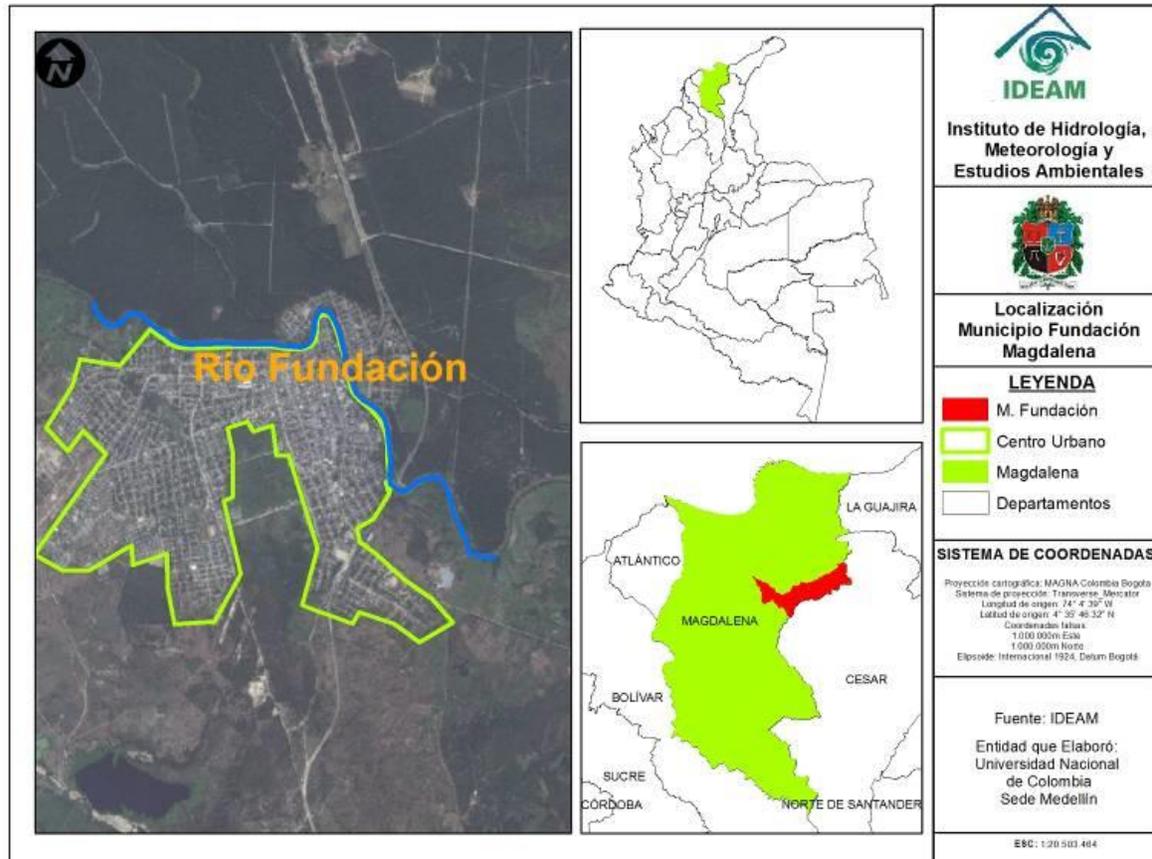


Figura 5-7. Localización del Municipio de Fundación

5.2.8 Generalidades municipio San Juan Girón – Santander

El municipio de San Juan Girón se encuentra localizado en el departamento de Santander. Limita al oriente con los municipios de Floridablanca, Piedecuesta y Bucaramanga; al occidente con el municipio de Betulia, al norte con los municipios Sabana de Torres y Lebrija y al sur con los municipios de Los Santos y Zapatoca. Tiene una extensión total de 475.14 km² y está ubicado a 777 m.s.n.m., con una temperatura media de 28°C y una precipitación media anual de 1177 mm (Figura 5-8).

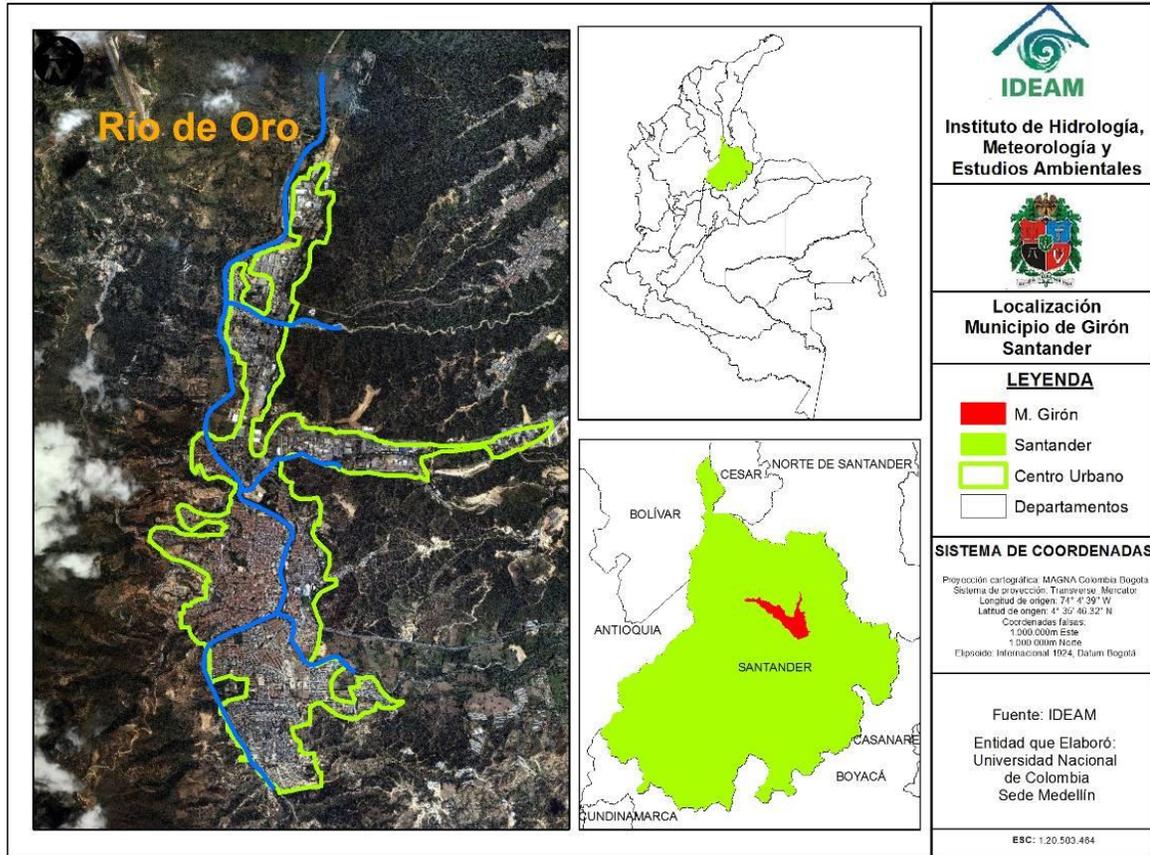


Figura 5-8. Localización del Municipio de San Juan Girón

5.2.9 Generalidades municipio Tuluá – Valle Del Cauca

El municipio de Tuluá está localizado en el departamento del Valle del Cauca, limita al norte con los municipios de Andalucía y Bugalagrande, al oriente con el municipio de Sevilla y el departamento del Tolima, al sur con los municipios de Buga y San Pedro y al occidente con el río Cauca y el municipio de Riofrío. Tiene una extensión total de 910.55 km² de los cuales 11.11 km² es área urbana, la zona urbana del municipio se encuentra a 960 msnm. Tiene una precipitación media anual de 900 mm y una temperatura media de 26°C (Figura 5-9).

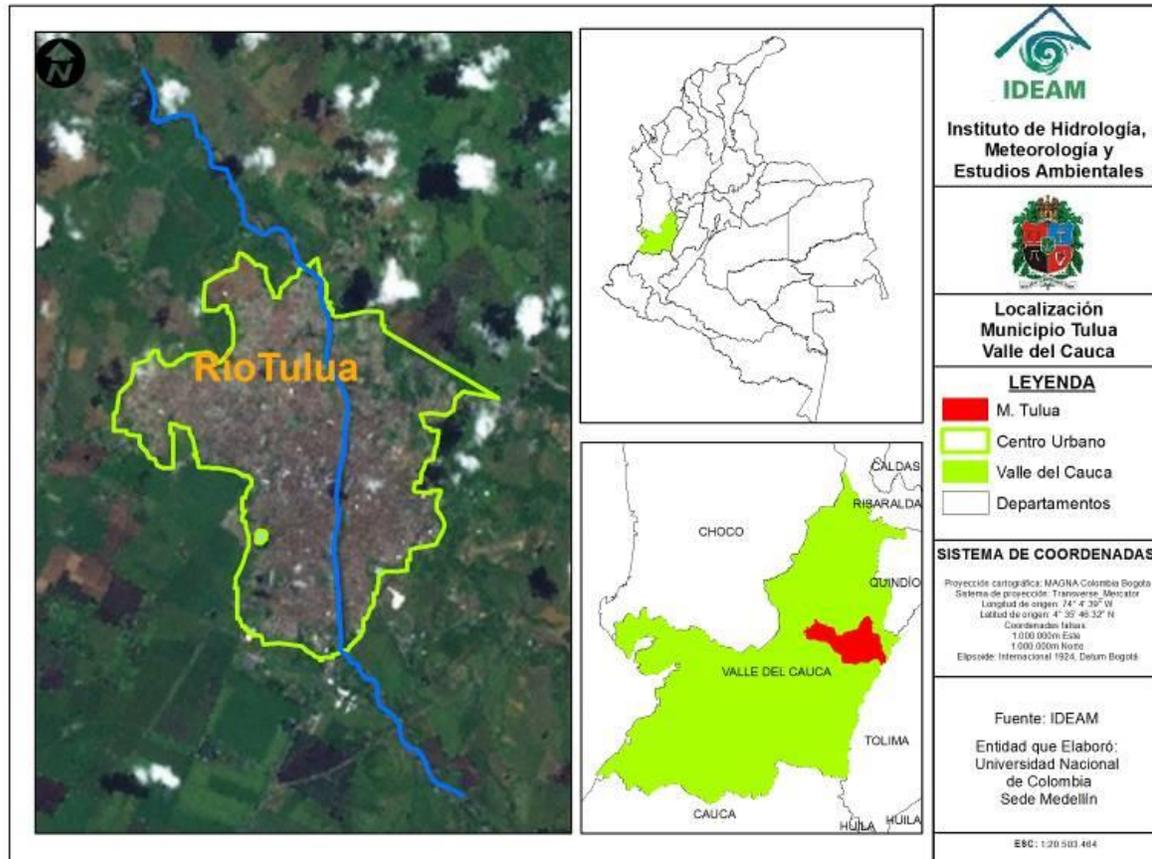


Figura 5-9. Localización del Municipio de Tuluá

5.2.10 Generalidades municipio de Pitalito - Huila

El municipio de Pitalito está localizado en el departamento del Huila sobre el valle del Magdalena, limita al norte con los municipios de Timaná, Elías y Saladoblanco, al occidente con los municipios Isnos y San Agustín, al sur con el municipio de Palestina y al oriente con el municipio de Acevedo. El municipio tiene una extensión total de 666 km², la cabecera municipal se ubica entre las cotas 1000-1800 m.s.n.m., tiene una precipitación media anual de 1200 mm y una temperatura media de 20°C (Figura 5-10).

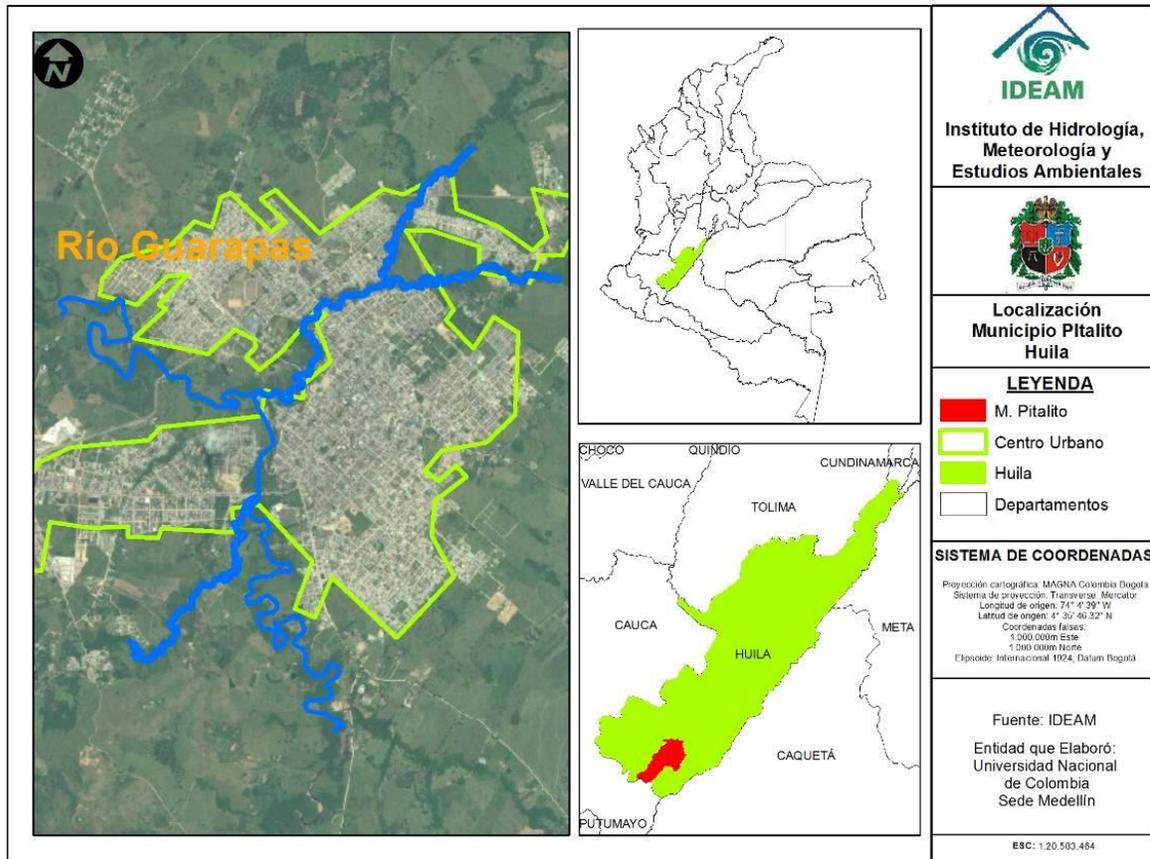


Figura 5-10. Localización Municipio de Pitalito

5.2.11 Levantamiento en campo de puntos de inundación

Con la información LIDAR como amarre, se procedió a levantar el contorno de la inundación en cada uno de los municipios, tomando puntos clave de referencia de la inundación y observando la coincidencia de la inundación real con la inundación estimada para un Tr de 20 años. En la Figura 5-11 a la Figura 5-20 se muestra la ubicación de los puntos levantados en campo que corresponden a los límites de inundación reportados en cada una de las zonas en los eventos históricos de inundación, adicionalmente se muestra la mancha de inundación correspondiente para un periodo de retorno de 20 años.

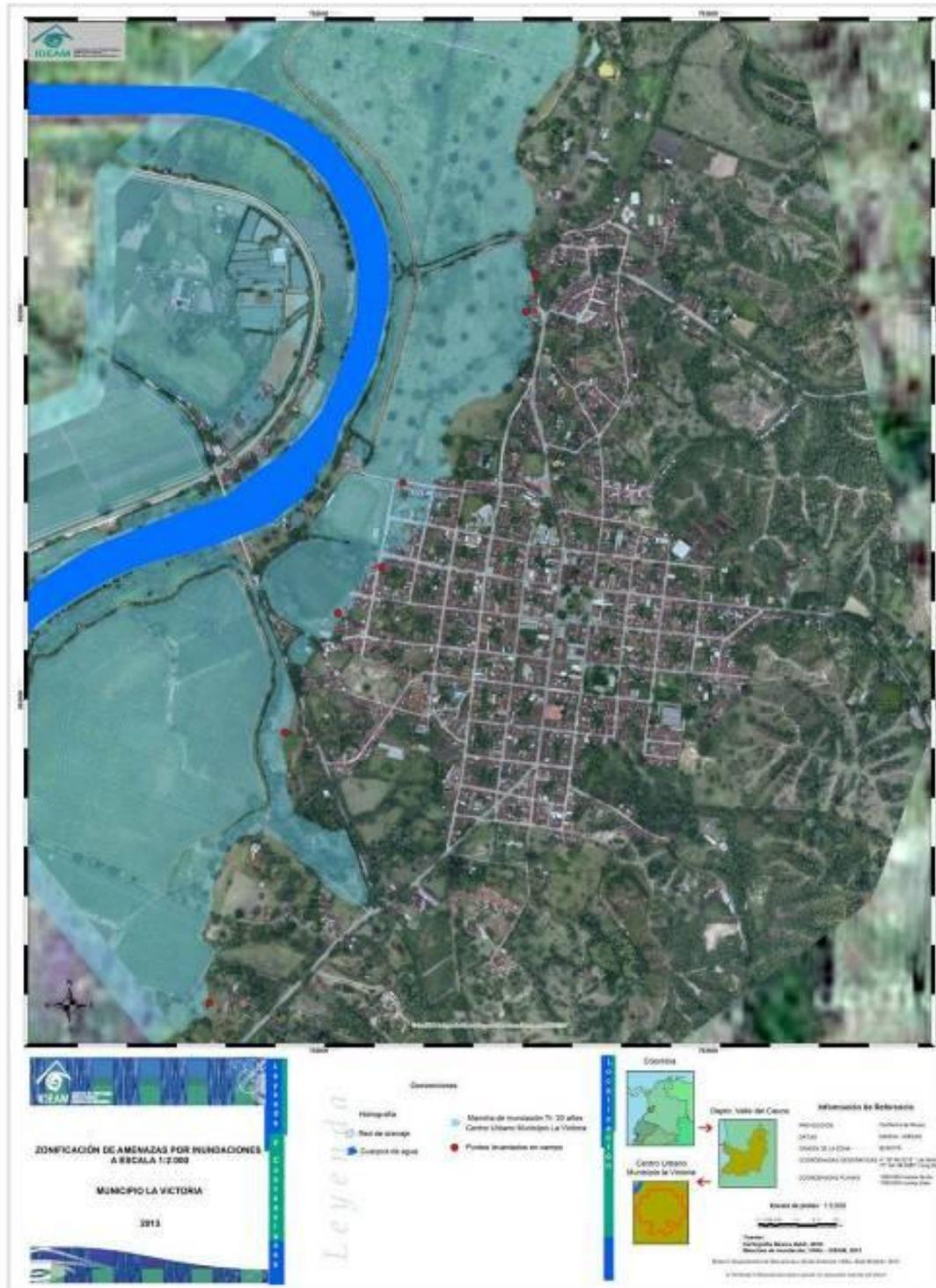
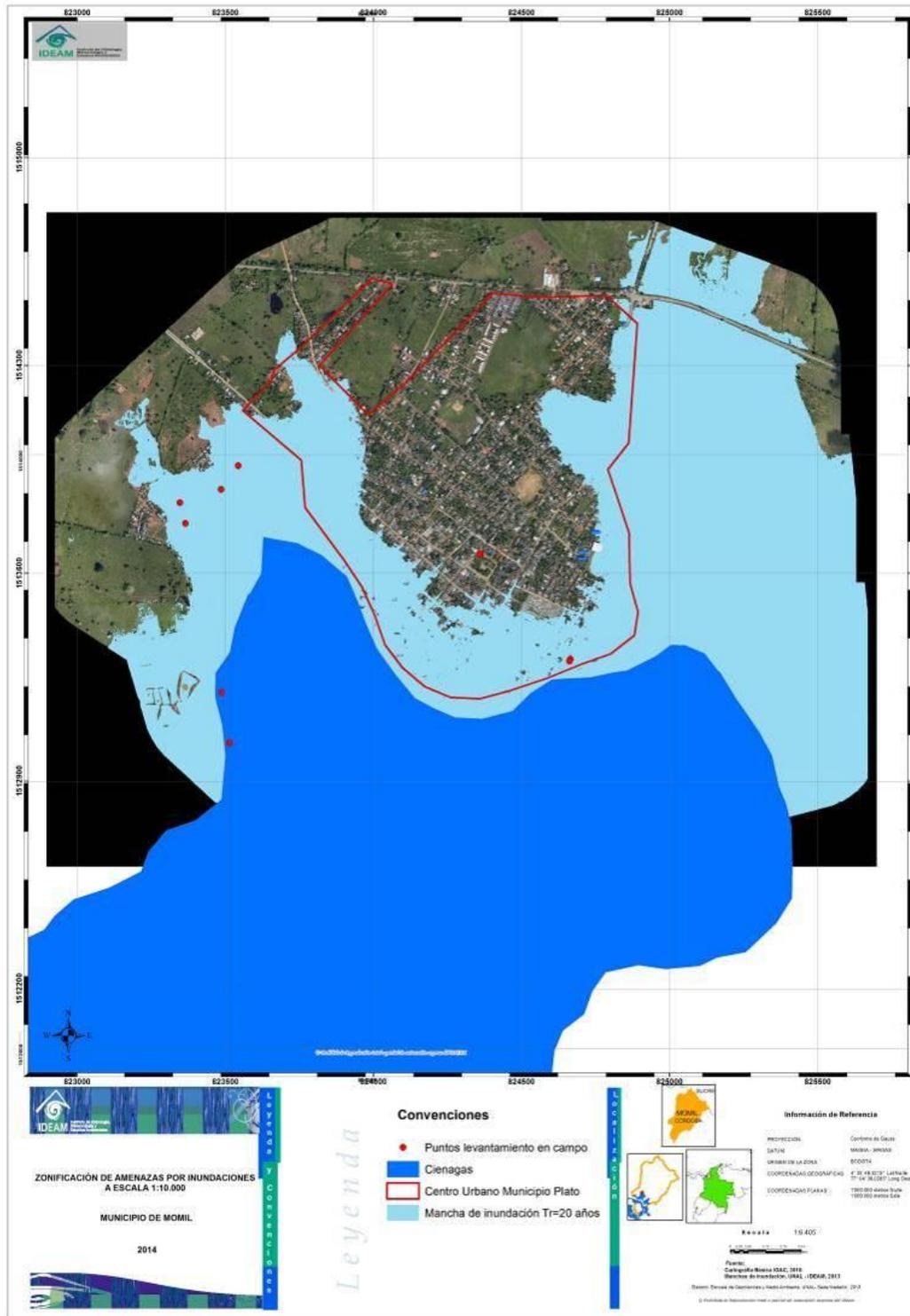


Figura 5-11. Ubicación puntos levantados en campo – Municipio de La Victoria



Figura 5-12. Ubicación puntos levantados en campo - Municipio de Plato



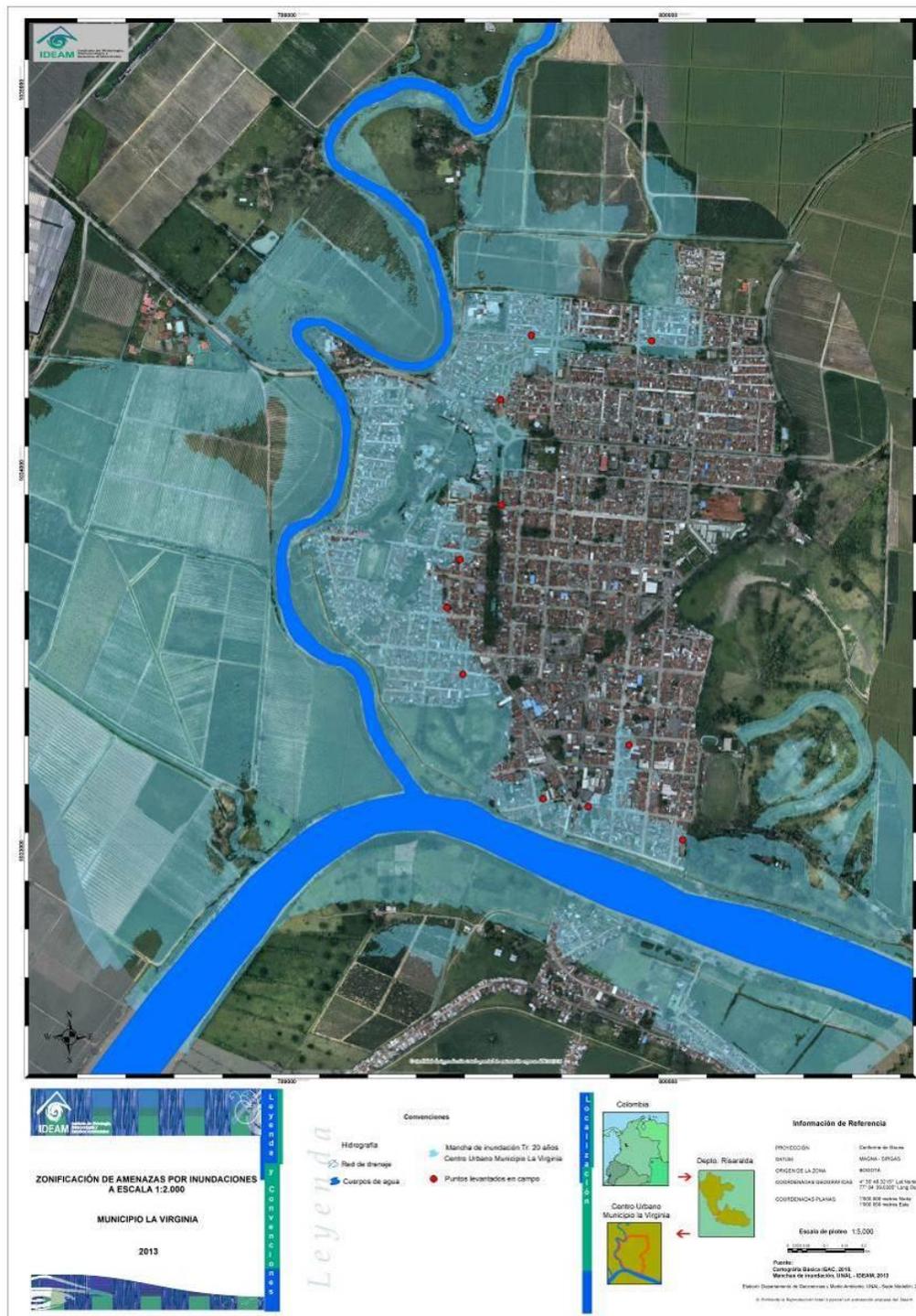


Figura 5-14. Ubicación de puntos levantados en campo - Municipio de La Virginia

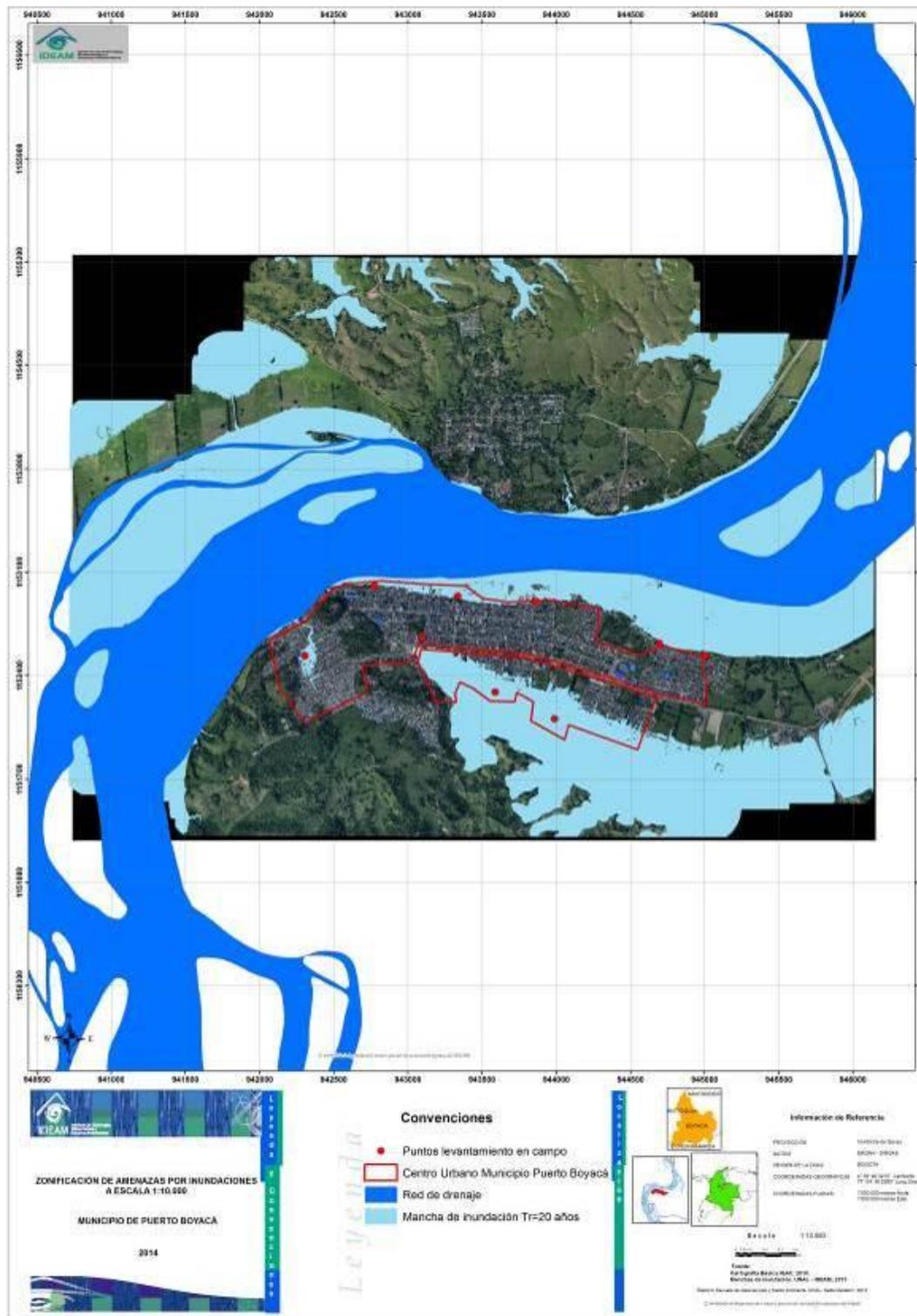


Figura 5-15. Ubicación de los puntos levantados en campo – Municipio de Puerto Boyacá

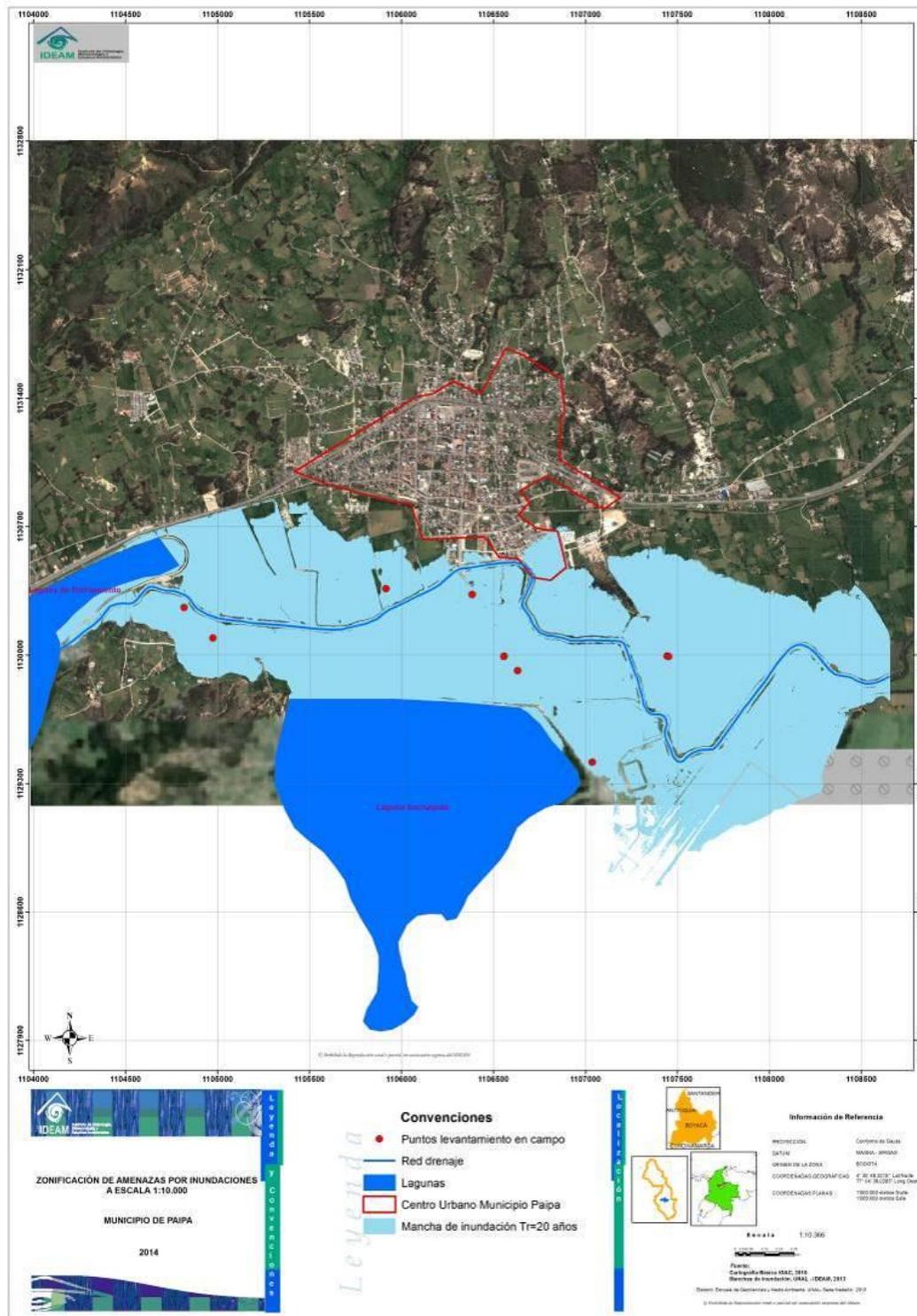


Figura 5-16. Ubicación de los puntos levantados en campo - Municipio de Paipa



Figura 5-17. Ubicación de los puntos levantados en campo - Municipio de Fundación

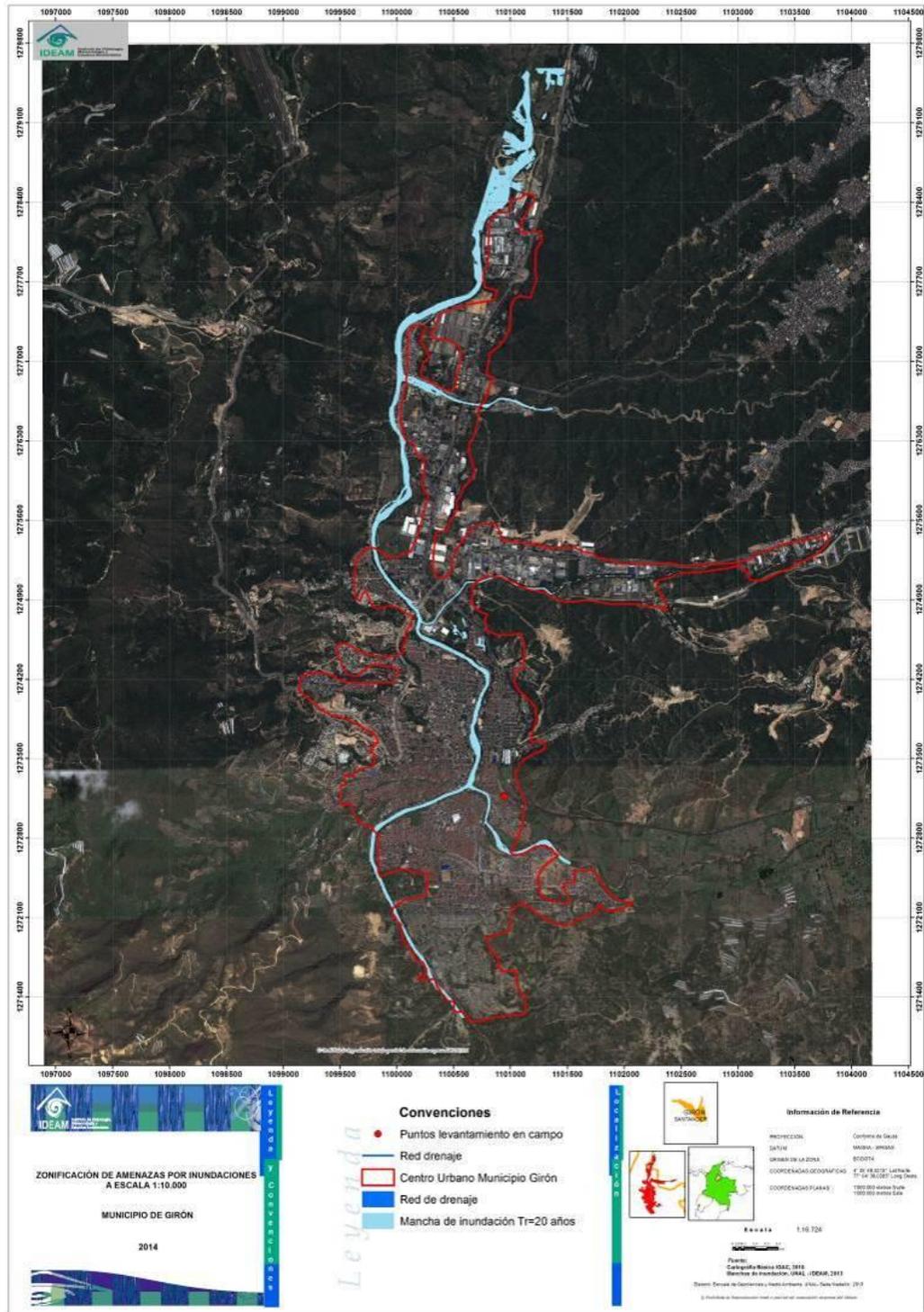


Figura 5-18. Ubicación puntos levantados en campo - Municipio de Girón

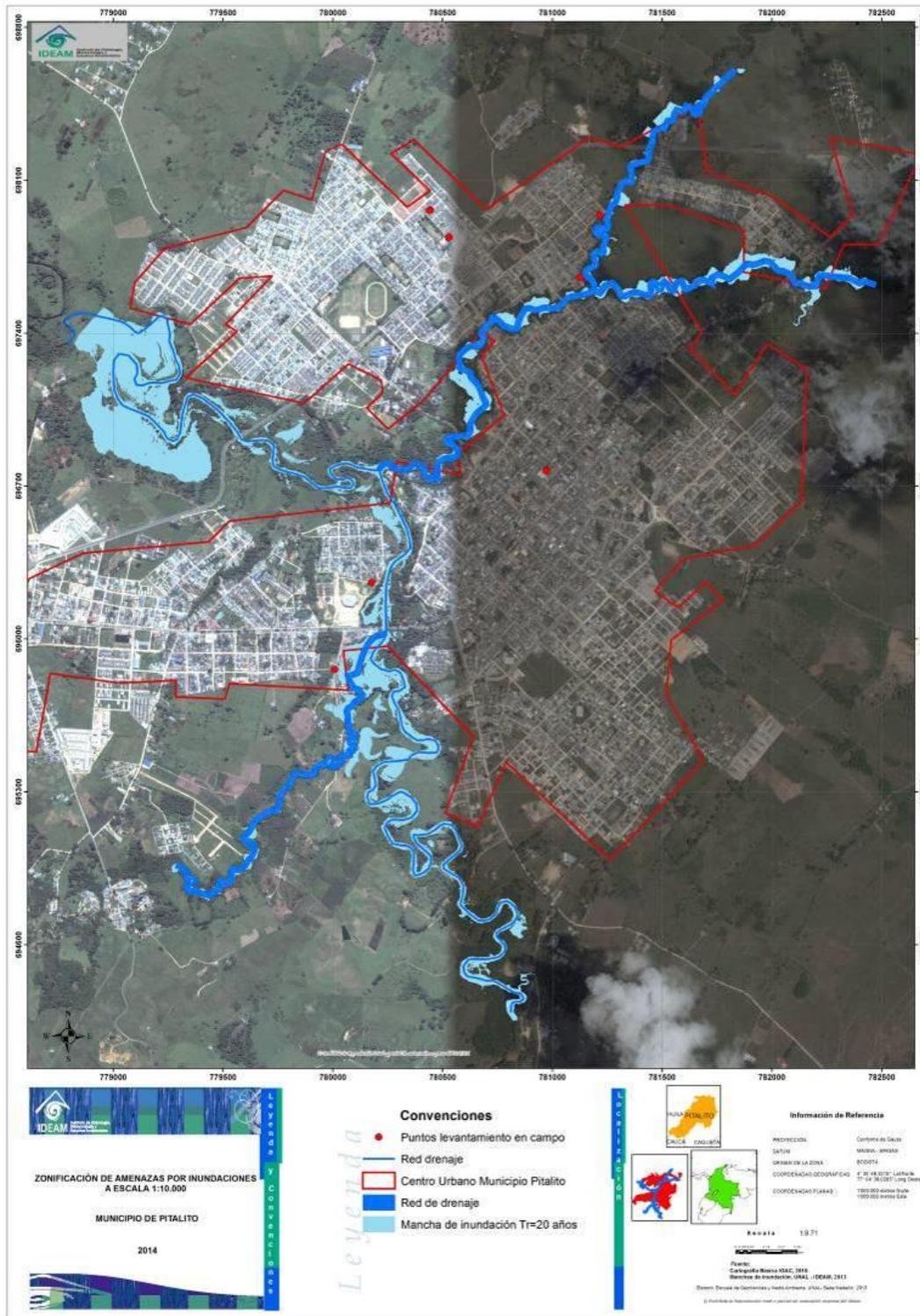


Figura 5-20. Ubicación de puntos levantados en campo - Municipio de Pitalito

6 GENERACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN Y AMENAZA

6.1 RESULTADOS MAPAS DE INUNDACIÓN – ZONAS DE INUNDACIONES LENTAS

Una vez realizado el análisis de frecuencia de las estaciones de nivel, fueron seleccionados los niveles asociados a tres períodos de retorno: 2.33, 20 y 100 años para los grados de amenaza alto, medio y bajo respectivamente.

Se empleó la metodología descrita en el Capítulo 4.3 para la definición de zonas de inundaciones lentas, las cuales fueron validadas con la información y registro de puntos reales de inundación levantados en las visitas de campo realizadas. Los resultados para cada una de las cinco (5) zonas urbanas afectadas por inundaciones lentas se presentan en el Anexo B, desde la Figura 9-1 a la Figura 9-15.

6.2 RESULTADOS MAPAS DE INUNDACIÓN – ZONAS DE INUNDACIONES SÚBITAS

A partir de la estimación de los caudales máximos obtenidos de las series de caudales de cada una de las corrientes de estudio y de la modelación hidráulica realizada, se obtuvieron la extensión de la inundación para los períodos de retorno de 2.33, 20 y 100 años, estos resultados fueron validados con el trabajo de campo realizado en cada uno de los municipios, donde se levantaron en campo los puntos de inundaciones reales presentadas en los últimos años.

Los resultados para las zonas urbanas afectadas por inundaciones súbitas se presentan en el Anexo C, desde la Figura 9-16 a la Figura 9-30.

6.3 RESULTADOS MAPAS DE AMENAZA

Para la evaluación de la amenaza, se usó la metodología propuesta en el estudio de la Universidad Nacional: “Criterios metodológicos mínimos para la elaboración e interpretación cartográfica de zonificaciones de amenaza por inundaciones fluviales para el territorio colombiano con una aplicación práctica de dos áreas piloto (Inundaciones lentas y súbitas)”, entregado en 2010.

La metodología consiste en establecer la amenaza fluvial a partir de diferentes parámetros: la velocidad, la profundidad del flujo, el entorno físico (entorno geomorfológico y coberturas) y el daño que pueda ocasionar la corriente. Para determinar los daños se utilizó la Figura 6-1 (Vélez et al, 2003).

A partir de la modelación hidrológica e hidráulica se puede obtener información de la profundidad y la velocidad del flujo (para el caudal asociado a períodos de retorno de 100

años) que al relacionarlas con la Figura 6-1 se puede obtener el tipo de daño que ocasiona la inundación. Una vez identificado el tipo de daño en el que se puede incurrir y el entorno geomorfológico en el que se encuentra la zona de estudio se procede a asignarle una amenaza a la zona.

Con base en la metodología planteada, se hicieron los mapas de amenaza para cada una de las corrientes de estudio.

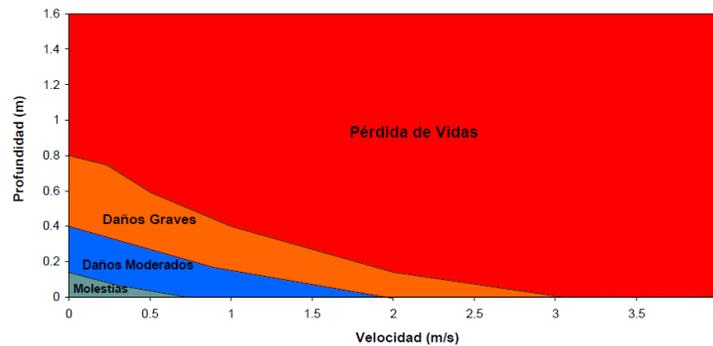


Figura 6-1. Tipos de daños por inundación y condiciones de flujo

Los mapas de amenaza obtenidos para cada una de las zonas urbanas afectadas se presentan en el Anexo D, desde la Figura 9-31 a la Figura 9-60.

7 CONCLUSIONES

El estudio de zonificación por amenaza de inundación consistió en la estimación de la extensión de la inundación para los periodos de retorno de 2.33, 20 y 100 años, considerados como eventos de amenaza baja, media y alta, respectivamente. Para ello se seleccionaron 10 cauces en Colombia asociados con zonas urbanas en las que recurrentemente en la última década se han evidenciado afectaciones por inundación.

En función del tipo de inundación se definió una metodología para la estimación de los mapas de amenaza por inundación lenta o súbita, para los cauces con pendientes y velocidades de flujo bajas se empleó la metodología HAND (Height Above Nearest Drainage) (Daleles Rennó, 2008) que indica dónde el terreno es susceptible a inundaciones de acuerdo con los valores de los niveles de las estaciones, para los cauces con tendencia a inundación súbita, pendientes y velocidades altas, el método empleado corresponde a la implementación de un modelo hidráulico (HEC-RAS).

Para la implementación de cada una de las metodologías, fue necesario tener tanto información hidroclimática como levantamiento topográfico de cada una de las zonas de estudio, donde se contó con registro de caudales máximos en las estaciones de caudal localizadas sobre cada uno de los cauces y además, del levantamiento topográfico obtenido a partir de las imágenes LIDAR (Light Detection And Ranging) en escala 1:2.000 y 1:5.000.

Con las series de caudales y de niveles máximos de las estaciones de caudales asociadas a cada una de las corrientes evaluadas, se realizó una evaluación de la calidad y consistencia de la información. Una vez evaluadas las series de niveles y caudales, se procedió a la estimación de los niveles y caudales máximos, los cuales se obtuvieron aplicando el método análisis de frecuencia.

Con los valores máximos de nivel y caudal para los diferentes periodos de retorno y la topografía obtenida del levantamiento con las imágenes LIDAR, se procedió a la estimación de la extensión de la inundación utilizando las metodologías HAND y modelo hidráulico, para cauces con inundación lenta y súbita respectivamente.

Se generaron manchas de inundación en escala 1:2.000 y 1:5.000, para diferentes períodos de retorno asociándolos a amenazas baja, media y alta. Las manchas fueron validadas con información levantada en campo, donde se verificaron en cada uno de los municipios los puntos de inundación presentados en los últimos eventos de inundación que se han registrado en la zona.

Al comparar la mancha de inundación con periodo de retorno de 20 años y los puntos de inundación obtenidos en campo, se encontró que, aproximadamente un 80% de los puntos de inundación registrados en campo corresponde al límite o borde de la mancha con periodo de retorno de 20 años que se obtuvo de las modelaciones implementadas y el 20% restante corresponde a inundaciones asociadas a inundaciones ocasionadas por falta de alcantarillado o mal sistema de drenaje del mismo, por remanso de las aguas cuando el cauce principal está en su máximo nivel.

Una vez verificadas la extensión de la inundación con información de campo, se procedió a la determinación de los mapas de amenaza por inundación, los cuales están en función de la velocidad y profundidad del flujo. Con los mapas obtenidos de amenaza se encontraron las zonas de cada municipio que tienen la probabilidad alta de presentar afectaciones graves en los eventos de creciente, y los cuales son consideradas zonas no aptas para presentar algún tipo de asentamiento.

Es importante anotar, que en varios de los municipios evaluados, específicamente: Paipa, Pitalito, Girón y la Virginia se han ejecutado obras de protección contra inundación como jarillones, diques y muros, sin embargo, estas obras no han sido suficientes para mitigar la problemática y no se ha logrado disipar por completo la afectación, ya que el problema persiste y queda latente agudizándose en otros sectores donde no se han tomado ningún tipo de medidas. Adicionalmente, las inundaciones no sólo están asociadas al desbordamiento de los niveles de los ríos, sino además al reflujo de la red de alcantarillado, a raíz del cual ocurre el represamiento de las aguas debido al control hidráulico que se genera con el aumento de niveles de los ríos.

En el caso de los municipios que tienen diques, es importante resaltar que la amenaza no desaparece, esta queda latente, y por tanto es necesario tomar medidas de control para evitar que a largo plazo resulten problemas mayores, por el colapso de la estructura o por afectaciones en la margen contraria y en los tramos localizados tanto aguas abajo como arriba de la obra. Es recomendable que los municipios tengan presente un plan de contingencia ante un posible colapso o mal funcionamiento de estas obras, además, como medida preventiva, se debe hacer el mantenimiento de estas y el monitoreo en los niveles del lecho y del flujo.

8 BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Daleles Rennó, A. D. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia.
- ✓ Esri Water Resources Team. (Octubre de 2011). Arc Hydro Tools v2.0. USA.
- ✓ Universidad de Texas. (01 de Octubre de 1997). AGREE - DEM Surface Reconditioning System. Recuperado el Junio de 2012, de <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/GISHYDRO/ferdi/research/agree/agree.html>
- ✓ Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2010). Criterios metodológicos mínimos para la elaboración e interpretación cartográfica de zonificaciones de amenaza por inundaciones fluviales para el territorio colombiano con una aplicación práctica de dos áreas piloto. Fase I. Crédito BIRF-7293-CO. 2010.
- ✓ Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2011). Implementación de la metodología de zonificación de amenazas por inundaciones para 3 grandes cuencas del país (Bajo Magdalena/Cauca/San Jorge, Sinú y Atrato). Fase II.

9 ANEXOS

9.1 Anexo A Resultados Numéricos de la Modelación Hidráulica en Condiciones Existentes.

Tabla 9-1. Resultados numéricos de la modelación hidráulica en condiciones existentes. Río Chicamocha

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
5938	233	2490.95	2493.76	1.94	62.87	2.29	2.81	0.39	0.000781	25.09	17.51
5938	20	2490.95	2494.87	2.43	92.55	2.58	3.92	0.46	0.001042	32.9	26.4
5938	100	2490.95	2495.28	2.5	109	2.56	4.33	0.48	0.001117	41.57	28.07
5838	233	2490.72	2493.32	3.01	40.5	1.47	2.6	0.77	0.0034	25.96	48.93
5838	20	2490.72	2494.6	2.89	78.27	2.39	3.88	0.58	0.001629	31.51	38.17
5838	100	2490.72	2494.99	3	91.16	2.66	4.27	0.57	0.001527	36.85	39.87
5732	233	2490.52	2493.08	2.81	43.44	1.94	2.56	0.62	0.002035	21.34	38.79
5732	20	2490.52	2494.35	3.15	72.59	2.94	3.83	0.57	0.001472	24.98	42.45
5732	100	2490.52	2494.69	3.42	81.15	3.25	4.17	0.58	0.001515	25.99	48.33
5642	233	2490.5	2493.25	1.27	96.27	2.34	2.75	0.26	0.000326	40.9	7.46
5642	20	2490.5	2494.58	1.49	153.92	3.53	4.08	0.25	0.000257	46.16	8.91
5642	100	2490.5	2494.96	1.62	174.67	3.9	4.46	0.26	0.000266	57.04	10.17
5550	233	2489.65	2493.17	1.53	79.75	2.69	3.52	0.28	0.000391	27.1	10.31
5550	20	2489.65	2494.47	1.91	117.55	3.34	4.82	0.32	0.000458	31.93	15.02
5550	100	2489.65	2494.83	2.09	129.38	3.51	5.18	0.34	0.000514	33.5	17.7
5445	233	2489.38	2493.11	1.69	73.5	3.08	3.73	0.29	0.000396	24.67	11.97
5445	20	2489.38	2494.36	2.22	108	4.24	4.98	0.33	0.000447	31.21	18.59
5445	100	2489.38	2494.69	2.46	118.8	4.55	5.31	0.35	0.000504	33.48	22.47
5386	233	2489.6	2492.99	2.07	59.04	2.4	3.39	0.41	0.000831	22.56	19.54
5386	20	2489.6	2494.23	2.52	89.37	3.13	4.63	0.43	0.000869	27.37	26.67
5386	100	2489.6	2494.55	2.78	98.45	3.35	4.95	0.46	0.000961	29.89	31.6
5320	233	2489.41	2492.99	1.77	70.77	2.8	3.58	0.33	0.000495	26.82	13.62
5320	20	2489.41	2494.24	2.24	105.97	4	4.83	0.35	0.000495	29.53	19.42
5320	100	2489.41	2494.56	2.5	115.5	4.31	5.15	0.38	0.000556	30.22	23.48
5219	233	2489.37	2492.95	1.75	74.5	3.16	3.58	0.31	0.00041	27.55	12.72
5219	20	2489.37	2494.2	2.24	111.43	4.36	4.83	0.34	0.000441	31.21	18.87
5219	100	2489.37	2494.51	2.5	121.33	4.67	5.14	0.36	0.000502	31.88	22.98
5136	233	2489.33	2492.88	1.89	65.83	2.77	3.55	0.35	0.000573	24.93	15.55
5136	20	2489.33	2494.1	2.41	97.74	3.94	4.77	0.38	0.000584	27.14	22.54
5136	100	2489.33	2494.39	2.7	105.68	4.21	5.06	0.41	0.00067	27.66	27.68
5036	233	2489.22	2492.78	2.04	60.17	2.63	3.56	0.39	0.000716	22.12	18.45
5036	20	2489.22	2493.98	2.62	88.04	3.74	4.75	0.42	0.000743	24.64	27.21
5036	100	2489.22	2494.23	2.97	94.61	3.97	5.01	0.46	0.00088	28.81	34.26
4936	233	2489.15	2492.77	1.7	71.57	2.59	3.61	0.33	0.000511	25.66	12.97

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
4936	20	2489.15	2493.99	2.12	105.94	3.2	4.84	0.36	0.000599	30.5	18.77
4936	100	2489.15	2494.26	2.37	114.23	3.35	5.11	0.4	0.000703	31.34	23.07
4751	233	2489.07	2492.73	1.39	116.87	2.47	3.66	0.28	0.000363	136.27	8.82
4751	20	2489.07	2494.12	0.74	560.64	3.22	5.05	0.13	0.000071	431.38	2.25
4751	100	2489.07	2494.43	0.69	697.82	3.47	5.36	0.12	0.000057	438.89	1.94
4651	233	2488.96	2492.62	1.73	73.24	2.99	3.66	0.31	0.000434	27.52	12.73
4651	20	2488.96	2493.85	2.23	108.67	4.16	4.89	0.34	0.000463	30.02	18.9
4651	100	2488.96	2494.09	2.53	115.81	4.39	5.13	0.38	0.000558	30.47	24
4548	233	2488.99	2492.58	1.69	72.38	2.45	3.59	0.33	0.000537	27.87	12.91
4548	20	2488.99	2493.82	2.04	110.05	3.17	4.83	0.35	0.000561	32.27	17.44
4548	100	2488.99	2494.05	2.3	117.65	3.32	5.06	0.39	0.000669	32.72	21.8
4451	233	2489.31	2492.54	1.61	80.33	3	3.23	0.29	0.000375	30.7	11.01
4451	20	2489.31	2493.78	2.05	120.43	4.19	4.47	0.31	0.000389	34.17	15.97
4451	100	2489.31	2494.01	2.33	128.19	4.4	4.69	0.35	0.000471	35.54	20.36
4349	233	2489.06	2492.46	1.81	70.29	2.64	3.4	0.35	0.000564	29.14	14.6
4349	20	2489.06	2493.69	2.24	108.35	3.8	4.63	0.36	0.000528	32.63	19.71
4349	100	2489.06	2493.89	2.56	114.9	3.99	4.83	0.4	0.000646	33.18	25.26
4256	233	2489.12	2492.34	2.1	60.04	2.81	3.22	0.39	0.000696	22.96	19.21
4256	20	2489.12	2493.86	0.32	1352.6	4.28	4.74	0.05	0.000009	683.17	0.39
4256	100	2489.12	2494.11	0.33	1522.9	4.52	4.98	0.05	0.000009	683.53	0.41
4149	233	2489.17	2492.25	2.07	58.91	2.25	3.08	0.42	0.000909	24.3	20.05
4149	20	2489.17	2493.52	2.45	91.97	2.99	4.35	0.43	0.000868	28.06	25.46
4149	100	2489.17	2494.1	0.25	1512.2	2.74	4.93	0.05	0.00001	712.67	0.28
4079	233	2488.92	2492.2	2.05	59.92	2.5	3.28	0.4	0.000774	24.23	18.98
4079	20	2488.92	2493.45	2.53	93.05	3.67	4.53	0.41	0.000705	28.83	25.39
4079	100	2488.92	2494.1	0.34	1483.8	4.29	5.18	0.05	0.000011	714.41	0.44
3999	233	2488.91	2492.2	1.65	75.51	2.53	3.29	0.32	0.000495	32.28	12.28
3999	20	2488.91	2493.49	1.99	119.43	3.76	4.58	0.32	0.000425	35.83	15.66
3999	100	2488.91	2494.1	0.25	1804.3	4.34	5.19	0.04	0.000006	721.48	0.24
3901	233	2488.86	2491.91	2.61	48.79	2.58	3.05	0.51	0.001208	21.08	30.52
3901	20	2488.86	2493.08	3.25	75.4	3.69	4.22	0.53	0.001157	24.27	41.89
3901	100	2488.86	2493.44	3.54	84.41	4.04	4.58	0.55	0.001219	25.82	48.24
3799	233	2488.86	2491.79	2.45	49.92	1.86	2.93	0.56	0.001638	26.46	29.93
3799	20	2488.86	2493.08	2.67	86.81	3.04	4.22	0.48	0.00101	30.55	30.08
3799	100	2488.86	2493.47	2.84	99.02	3.41	4.61	0.48	0.000985	31.82	32.92
3701	233	2489.01	2491.71	2.19	56.1	2.23	2.7	0.46	0.001032	24.83	22.55
3701	20	2489.01	2493	2.58	89.6	3.47	3.99	0.43	0.000789	27.43	26.87
3701	100	2489.01	2493.39	2.8	100.55	3.84	4.38	0.45	0.000815	29.99	30.66
3614	233	2488.85	2491.81	0.96	130.64	2.1	2.96	0.21	0.000212	65.1	4.38
3614	20	2488.85	2493.18	1.05	235	3.44	4.33	0.18	0.000132	98.02	4.46
3614	100	2488.85	2493.66	0.27	1853.4	3.91	4.81	0.04	0.000008	1042.5	0.29
3501	233	2488.15	2491.6	1.99	61.83	2.62	3.45	0.38	0.000683	23.49	17.54
3501	20	2488.15	2492.87	2.49	94.14	3.79	4.72	0.39	0.000654	27.51	24.33
3501	100	2488.15	2493.25	2.72	104.94	4.15	5.1	0.41	0.000694	28.73	28.22

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
3398	233	2487.83	2491.54	1.91	64.02	2.7	3.71	0.35	0.000607	22.44	16.07
3398	20	2487.83	2492.81	2.45	94.4	3.85	4.98	0.38	0.000623	25.42	23.49
3398	100	2487.83	2493.18	2.7	104.19	4.19	5.35	0.4	0.000675	26.82	27.72
3300	233	2487.7	2491.36	2.38	52.75	2.84	3.66	0.43	0.000881	19.7	24.54
3300	20	2487.7	2492.55	3.09	79.16	3.94	4.85	0.48	0.000957	24.99	36.95
3300	100	2487.7	2493.32	1.89	284.71	4.64	5.62	0.27	0.000289	216.46	13.17
3200	233	2487.88	2491.27	2.35	52.67	2.57	3.39	0.44	0.000977	20.87	24.66
3200	20	2487.88	2492.48	2.97	80.85	3.66	4.6	0.47	0.000976	25.83	34.98
3200	100	2487.88	2492.82	3.25	90.02	3.97	4.94	0.49	0.001052	26.97	40.95
3150	233	2487.52	2491.3	1.93	63.47	2.78	3.78	0.35	0.000593	21.52	16.21
3150	20	2487.52	2492.52	2.53	91.91	3.88	5	0.39	0.000654	25.25	24.9
3150	100	2487.52	2492.87	2.8	101	4.2	5.35	0.41	0.000722	26.33	29.75
2981	233	2487.37	2491.39	0.79	166.85	3.61	4.01	0.13	0.000071	57.32	2.51
2981	20	2487.37	2492.68	1.03	246.73	4.9	5.31	0.15	0.00008	66.02	3.83
2981	100	2487.37	2493.07	1.13	273.14	5.29	5.7	0.16	0.000087	68.58	4.52
2900	233	2487.3	2491.16	2.11	60.2	2.93	3.86	0.38	0.000664	21.86	19.1
2900	20	2487.3	2492.55	2.01	197.33	4.22	5.25	0.3	0.000371	169.58	15.35
2900	100	2487.3	2493.02	1.72	305.33	4.65	5.72	0.24	0.000238	213.84	10.86
2850	233	2487.18	2491.21	1.53	81.69	3.24	4.03	0.26	0.000303	26.61	9.64
2850	20	2487.18	2492.48	2.02	117.95	4.43	5.3	0.3	0.000351	30.61	15.25
2850	100	2487.18	2492.84	2.25	129.06	4.76	5.66	0.32	0.000395	31.73	18.41
2800	233	2487.24	2491.16	1.75	75.6	3.49	3.92	0.29	0.000359	25.66	12.3
2800	20	2487.24	2492.41	2.31	109.87	4.68	5.17	0.33	0.000426	29.41	19.53
2800	100	2487.24	2492.75	2.57	120.09	5.01	5.51	0.36	0.000482	30.43	23.68
2731	233	2487.12	2491.06	2.07	61.58	2.98	3.94	0.37	0.000624	22.41	18.23
2731	20	2487.12	2492.26	2.69	91.14	4.09	5.14	0.41	0.000692	26.8	27.8
2731	100	2487.12	2492.94	0.93	587.95	4.73	5.82	0.13	0.000068	324.31	3.14
2677	233	2487.17	2491.05	1.86	65.93	2.64	3.88	0.35	0.000591	24.43	15.3
2677	20	2487.17	2492.27	2.37	98.87	3.77	5.1	0.37	0.000598	29.49	22.09
2677	100	2487.17	2492.57	2.64	107.7	4.04	5.4	0.4	0.00068	30.71	26.93
2560	233	2487.03	2490.88	2.29	56.98	3.02	3.85	0.4	0.000749	23.22	22.2
2560	20	2487.03	2492.04	2.97	85.32	4.07	5.01	0.45	0.000848	25.94	33.86
2560	100	2487.03	2492.27	3.37	91.23	4.28	5.24	0.5	0.001024	26.55	42.96
2499	233	2486.89	2490.95	1.54	81.48	3.24	4.06	0.26	0.000307	27.25	9.77
2499	20	2486.89	2492.16	2.05	117.56	4.37	5.27	0.3	0.000368	32.66	15.76
2499	100	2486.89	2492.42	2.32	126.22	4.61	5.53	0.33	0.000439	33.8	19.86
2449	233	2486.78	2490.93	1.58	78.26	3	4.15	0.28	0.000362	27.26	10.65
2449	20	2486.78	2492.13	2.09	112.96	4.13	5.35	0.32	0.00041	30.65	16.62
2449	100	2486.78	2492.38	2.37	120.79	4.37	5.6	0.35	0.000489	31.35	20.97
2399	233	2486.68	2490.86	1.84	67.71	3	4.18	0.33	0.000489	23.95	14.37
2399	20	2486.68	2492.01	2.44	97.62	4.07	5.33	0.37	0.000572	27.77	22.87
2399	100	2486.68	2492.23	2.79	103.74	4.28	5.55	0.42	0.000699	28.47	29.32
2350	233	2486.68	2490.87	1.61	79.22	3.32	4.19	0.27	0.000328	27.11	10.69
2350	20	2486.68	2492.04	2.16	113.38	4.43	5.36	0.32	0.000403	31.23	17.48

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
2350	100	2486.68	2492.3	2.35	148.48	4.67	5.62	0.34	0.000441	84.28	20.21
2302	233	2486.63	2490.89	1.27	98.95	3.42	4.26	0.21	0.000195	32.01	6.54
2302	20	2486.63	2492.11	1.55	207.62	4.58	5.48	0.23	0.000197	160.1	8.85
2302	100	2486.63	2492.47	0.49	1103.1	4.92	5.84	0.07	0.000018	613.48	0.87
2200	233	2486.86	2490.82	1.54	79.83	3.1	3.96	0.27	0.000328	25.5	9.96
2200	20	2486.86	2492.18	0.45	867.15	4.39	5.32	0.07	0.000018	384.68	0.77
2200	100	2486.86	2492.47	0.32	1720	4.67	5.61	0.05	0.000008	911.32	0.37
2102	233	2486.47	2490.8	1.48	84.87	3.35	4.33	0.25	0.000274	26.76	9.02
2102	20	2486.47	2492.17	0.69	658.67	4.64	5.7	0.1	0.000039	473.83	1.76
2102	100	2486.47	2492.46	0.74	804.8	4.91	5.99	0.1	0.000041	526.03	1.97
2000	233	2486.45	2490.74	1.62	76.33	3.05	4.32	0.29	0.000372	25.99	11.15
2000	20	2486.45	2492.16	0.7	558.94	4.37	5.74	0.1	0.000043	269.64	1.82
2000	100	2486.45	2492.46	0.36	1511.6	4.65	6.04	0.05	0.00001	856.53	0.47
1913	233	2486.36	2490.75	1.34	95.19	3.61	4.39	0.21	0.000202	29.82	7.13
1913	20	2486.36	2492.15	0.81	541.69	4.89	5.79	0.11	0.000049	307.6	2.36
1913	100	2486.36	2492.44	0.82	631.3	5.16	6.08	0.11	0.000047	308.03	2.36
1800	233	2486.25	2490.73	1.27	97.93	3.49	4.48	0.21	0.000191	29.26	6.53
1800	20	2486.25	2492.15	0.73	517.82	4.82	5.9	0.1	0.000041	216.73	1.91
1800	100	2486.25	2492.44	0.77	580.72	5.09	6.19	0.11	0.000042	217.63	2.1
1701	233	2486.24	2490.7	1.33	92.57	3.39	4.46	0.22	0.000216	26.44	7.17
1701	20	2486.24	2492.15	0.69	726.88	4.74	5.91	0.1	0.000037	520.04	1.71
1701	100	2486.24	2492.44	0.64	965.79	5.01	6.2	0.09	0.00003	843.3	1.48
1650	233	2486.35	2490.66	1.52	83.53	3.41	4.31	0.26	0.00028	26.99	9.36
1650	20	2486.35	2492.11	1.14	421.99	4.79	5.76	0.16	0.000101	394.23	4.73
1650	100	2486.35	2492.42	1.06	599.18	5.07	6.07	0.15	0.00008	650.02	3.98
1597	233	2486.21	2490.67	1.31	98.88	3.43	4.46	0.22	0.000206	43.41	6.95
1597	20	2486.21	2492.08	1.29	297.91	4.76	5.87	0.18	0.00013	208.99	6.07
1597	100	2486.21	2492.38	1.31	359.73	5.04	6.17	0.18	0.000125	209.93	6.16
1468	233	2486.35	2490.67	1.14	126.02	3.96	4.32	0.18	0.00013	71.78	5.06
1468	20	2486.35	2492.06	1.27	255.23	5.32	5.71	0.17	0.000109	103.97	5.69
1468	100	2486.35	2492.34	1.39	284.5	5.59	5.99	0.18	0.000121	105.01	6.66
1399	233	2486.24	2490.61	1.41	86.77	3.3	4.37	0.24	0.000254	25.07	8.22
1399	20	2486.24	2491.92	1.9	122.21	4.48	5.68	0.27	0.000305	31.45	13.41
1399	100	2486.24	2492.39	0.54	1109.1	4.91	6.15	0.07	0.000022	674.8	1.06
1299	233	2486.26	2490.57	1.55	85.82	3.87	4.31	0.25	0.000247	27.13	9.36
1299	20	2486.26	2491.86	2.09	123.46	5.11	5.6	0.29	0.00031	33.3	15.52
1299	100	2486.26	2492.38	0.78	811.81	5.6	6.12	0.1	0.000038	492.33	2.08
1200	233	2486.1	2490.55	1.45	83.93	2.93	4.45	0.26	0.000315	25.63	9.04
1200	20	2486.1	2491.85	1.84	122.05	3.36	5.75	0.31	0.000422	32.81	13.91
1200	100	2486.1	2492.38	0.33	1250	3.2	6.28	0.06	0.000015	593.82	0.46
1103	233	2486.19	2490.52	1.49	84.28	3.54	4.33	0.24	0.000257	25.55	8.92
1103	20	2486.19	2491.96	0.75	730.84	4.88	5.76	0.1	0.000042	591.85	2.02
1103	100	2486.19	2492.37	0.63	980.08	5.27	6.18	0.08	0.000027	595.36	1.4
999	233	2486.13	2490.5	1.4	93.27	3.35	4.37	0.23	0.000243	35.86	7.99

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
999	20	2486.13	2491.79	1.79	142.44	4.52	5.66	0.26	0.000268	40.93	11.88
999	100	2486.13	2492.38	0.41	1095.5	5.05	6.25	0.06	0.000012	372.77	0.6
899	233	2486.09	2490.42	1.67	75.44	2.94	4.33	0.3	0.000415	29.63	11.97
899	20	2486.09	2491.7	2.07	123.19	4.11	5.61	0.31	0.000405	41.39	16.33
899	100	2486.09	2492.38	0.33	1292	4.73	6.29	0.05	0.000008	420.71	0.39
820	233	2486.11	2490.39	1.67	81.29	3.43	4.28	0.27	0.000339	32.14	11.4
820	20	2486.11	2491.84	0.38	1055.7	4.74	5.73	0.05	0.000011	430.59	0.53
820	100	2486.11	2492.37	0.36	1285.7	5.22	6.26	0.05	0.000009	431.46	0.45
750	233	2486.06	2490.36	1.69	75.47	3.19	4.3	0.29	0.000381	28.02	11.91
750	20	2486.06	2491.84	0.28	1500.3	4.52	5.78	0.04	0.000006	674.19	0.28
750	100	2486.06	2492.38	0.25	1860.1	5	6.31	0.03	0.000005	674.19	0.23
649	233	2486.09	2490.33	1.61	79.43	3.1	4.24	0.28	0.000357	30.1	10.84
649	20	2486.09	2491.84	0.38	1232.1	4.45	5.75	0.05	0.000012	706.18	0.54
649	100	2486.09	2492.37	0.3	1805.3	4.93	6.28	0.04	0.000007	855.72	0.32
600	233	2486.16	2490.32	1.58	81.67	3.22	4.16	0.27	0.000328	30.52	10.34
600	20	2486.16	2491.83	0.55	792.66	4.63	5.67	0.08	0.000025	408.18	1.12
600	100	2486.16	2492.37	0.45	1166.1	5.13	6.21	0.06	0.000014	516.24	0.73
500	233	2486.16	2490.29	1.51	81.76	3.11	4.13	0.26	0.000314	27.02	9.57
500	20	2486.16	2491.81	0.91	396.73	4.49	5.65	0.13	0.000071	171.97	3.11
500	100	2486.16	2492.37	0.45	1172.1	5	6.21	0.06	0.000015	557.35	0.74
400	233	2486.06	2490.27	1.46	87.09	3.35	4.21	0.25	0.000266	31.02	8.72
400	20	2486.06	2491.8	0.9	450.52	4.79	5.74	0.13	0.000062	229.5	2.92
400	100	2486.06	2492.37	0.36	1471.2	5.32	6.31	0.05	0.000009	611.52	0.44
290	233	2486.03	2490.26	1.31	94.78	3.23	4.23	0.23	0.000224	30.15	7.08
290	20	2486.03	2491.8	0.86	432.27	4.69	5.77	0.12	0.000059	196.48	2.7
290	100	2486.03	2492.35	0.81	540.9	5.21	6.32	0.11	0.000045	197.55	2.3
199	233	2486.03	2490.22	1.43	85.81	3.07	4.19	0.25	0.000286	27.51	8.62
199	20	2486.03	2491.79	0.89	456	4.56	5.76	0.13	0.000066	256.48	2.94
199	100	2486.03	2492.36	0.38	1344.4	5.09	6.33	0.05	0.00001	558.82	0.5
99	233	2485.9	2490.15	1.69	78.18	3.4	4.25	0.29	0.00035	27.34	11.67
99	20	2485.9	2491.57	2.12	120.61	4.77	5.67	0.3	0.000351	32.24	16.4
99	100	2485.9	2492.1	2.27	138.04	5.28	6.2	0.31	0.000351	34.34	18.15

Tabla 9-2. Resultados numéricos de la modelación hidráulica en condiciones existentes. Río Fundación

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
5399.8	2.33	45.46	47.81	0.5	534.69	1.92	2.35	0.11	6.5E-05	296.15	1.21
5399.8	20	45.46	48.49	0.31	1741.6	2.58	3.03	0.06	1.7E-05	755.46	0.44
5399.8	100	45.46	48.48	0.42	1736.4	2.58	3.02	0.08	3.1E-05	755.46	0.77
5350	2.33	45.39	47.57	2.12	110.78	1.9	2.18	0.48	0.00119	59.6	22.18
5350	20	45.39	47.73	3.71	120.65	2.03	2.34	0.82	0.00333	60.76	66.42

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
5350	100	45.39	48.43	1.19	619.34	2.68	3.04	0.23	0.00024	270.78	6.27
5249.1	2.33	45.35	46.91	3.5	66.16	1.31	1.56	0.98	0.00537	56.22	68.72
5249.1	20	45.35	47.43	3.63	147.7	1.83	2.08	0.86	0.00368	115.02	65.95
5249.1	100	45.35	47.64	4.13	171.74	2.03	2.29	0.92	0.00414	117.01	82.62
5199.7	2.33	45.33	47.2	0.72	347.53	1.49	1.87	0.19	0.00019	225.37	2.77
5199.7	20	45.33	47.37	1.23	386.28	1.66	2.04	0.31	0.00049	226.06	7.89
5199.7	100	45.33	47.34	1.67	378.32	1.62	2.01	0.42	0.00091	225.92	14.48
5150	2.33	45.26	46.9	2.33	98.39	1.19	1.76	0.68	0.00269	85.34	31.33
5150	20	45.26	47.38	0.91	531.13	1.63	2.24	0.23	0.00027	315.81	4.31
5150	100	45.26	47.35	1.22	522.24	1.6	2.21	0.31	0.0005	315.72	7.84
5100.3	2.33	45.23	46.62	2.77	83.95	1.14	1.56	0.83	0.00404	85.39	44.97
5100.3	20	45.23	47.37	0.88	584.65	1.82	2.31	0.21	0.00022	357.56	3.87
5100.3	100	45.23	47.34	1.19	571.49	1.79	2.28	0.28	0.00041	357.34	7.12
5049.6	2.33	45.14	46.49	2.49	91.56	1.2	1.56	0.73	0.00305	76.25	35.77
5049.6	20	45.14	46.86	3.18	153.76	1.52	1.93	0.82	0.00361	129.28	53.98
5049.6	100	45.14	47.33	1.11	659.56	1.96	2.4	0.25	0.00031	405	6.05
4950	2.33	45.02	46.2	2.4	118.87	0.92	1.49	0.8	0.00403	165.72	36.4
4950	20	45.02	46.58	2.89	183.7	1.25	1.87	0.83	0.00389	176.22	47.56
4950	100	45.02	47.01	2.66	262.74	1.6	2.3	0.67	0.00235	191.92	36.99
4849.2	2.33	44.87	46.28	0.67	365.31	1.12	1.87	0.2	0.00025	327.9	2.69
4849.2	20	44.87	46.77	0.5	1118.7	1.61	2.36	0.13	8.2E-05	910.56	1.29
4849.2	100	44.87	47.18	0.5	1488.1	2.01	2.77	0.11	6.1E-05	917.96	1.21
4751	2.33	44.78	46.28	0.29	856.43	1.1	2.03	0.09	4.7E-05	717.46	0.51
4751	20	44.78	46.77	0.42	1222.9	1.58	2.52	0.11	0.00006	842.16	0.93
4751	100	44.78	47.17	0.45	1579.8	1.99	2.92	0.1	5.1E-05	892.3	0.99
4649.3	2.33	44.7	46.12	1.8	140.71	1.09	1.92	0.55	0.00182	140.14	19.38
4649.3	20	44.7	46.75	0.59	943.38	1.67	2.55	0.15	0.00011	662.14	1.82
4649.3	100	44.7	47.16	0.6	1212.3	2.08	2.96	0.13	8.5E-05	662.14	1.73
4600.1	2.33	44.63	45.91	2.19	116.72	0.96	1.8	0.71	0.00318	135.95	29.81
4600.1	20	44.63	46.75	0.61	827.06	1.72	2.64	0.15	0.00011	480.96	1.9
4600.1	100	44.63	47.15	0.65	1022	2.12	3.04	0.14	9.8E-05	480.96	2.03
4500.8	2.33	44.52	46.03	0.41	578.31	1.13	2.03	0.12	8.7E-05	433.39	0.97
4500.8	20	44.52	46.74	0.53	886.51	1.84	2.74	0.12	7.7E-05	433.39	1.39
4500.8	100	44.52	47.15	0.59	1062.1	2.25	3.15	0.13	7.4E-05	433.39	1.64
4450.4	2.33	44.29	46.02	0.55	498.55	1.46	1.73	0.14	0.00011	371.78	1.62
4450.4	20	44.29	46.73	0.67	762.42	2.17	2.44	0.15	0.0001	371.78	2.14
4450.4	100	44.29	47.14	0.74	912.65	2.57	2.85	0.15	9.7E-05	371.78	2.45
4350	2.33	44.28	46	0.7	357.61	1.26	1.72	0.2	0.00023	275.05	2.8
4350	20	44.28	46.7	0.88	552.4	1.96	2.42	0.2	0.0002	276.58	3.77
4350	100	44.28	47.1	0.97	663.53	2.36	2.82	0.2	0.00019	277.48	4.34
4299.8	2.33	44.26	45.95	1.16	230.76	1.65	1.69	0.29	0.00043	156.74	6.97
4299.8	20	44.26	46.63	1.5	338.07	2.33	2.37	0.31	0.00046	158.76	10.41
4299.8	100	44.26	47.01	1.68	399.23	2.72	2.75	0.33	0.00047	159.66	12.4
4200.1	2.33	44.16	45.85	1.4	162.34	1.53	1.69	0.36	0.0007	105.7	10.48

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
4200.1	20	44.16	46.48	1.89	229.95	2.11	2.32	0.41	0.00083	110.27	17.05
4200.1	100	44.16	46.83	2.14	268.8	2.44	2.67	0.44	0.00087	111.44	20.86
4149.9	2.33	44.1	45.74	1.77	128.68	1.44	1.64	0.47	0.00121	89.06	17.02
4149.9	20	44.1	46.29	2.42	179.49	1.88	2.19	0.56	0.00157	94.84	28.95
4149.9	100	44.1	46.6	2.74	209.31	2.12	2.5	0.6	0.00172	98.07	35.8
4050.3	2.33	43.88	45.49	2.13	106.75	1.02	1.61	0.67	0.00277	104.18	27.75
4050.3	20	43.88	46.05	2.59	167.09	1.53	2.17	0.67	0.00239	108.58	35.81
4050.3	100	43.88	46.38	2.82	203.2	1.83	2.5	0.66	0.00222	109.96	39.89
3999.7	2.33	43.92	45.46	1.63	143.2	1.13	1.54	0.49	0.00141	132.64	15.64
3999.7	20	43.92	46.08	1.97	226.94	1.75	2.16	0.48	0.00116	137.67	19.82
3999.7	100	43.92	46.43	2.15	276.18	2.1	2.51	0.47	0.00108	139.71	22.2
3949.4	2.33	43.81	45.41	1.45	157.32	1.05	1.6	0.45	0.00122	148.88	12.64
3949.4	20	43.81	46.06	1.69	256.63	1.62	2.25	0.42	0.00094	158.34	14.91
3949.4	100	43.81	46.43	1.82	315.81	1.95	2.62	0.41	0.00085	162.86	16.22
3849.5	2.33	43.77	45.01	2.43	93.66	1.06	1.24	0.75	0.00343	88.36	35.62
3849.5	20	43.77	45.31	3.59	120.89	1.31	1.54	1	0.00562	92.13	72.08
3849.5	100	43.77	45.59	3.88	147.68	1.54	1.82	1	0.00531	95.7	80.08
3750.1	2.33	43.59	44.9	1.67	164.58	1.07	1.31	0.52	0.0016	253.24	16.74
3750.1	20	43.59	45.01	1.73	349.47	1.17	1.42	0.51	0.00152	483.76	17.47
3750.1	100	43.59	45.28	1.63	483.35	1.44	1.69	0.43	0.00101	493.52	14.36
3650.2	2.33	43.51	44.78	1.4	214.02	0.81	1.42	0.5	0.00163	366.4	12.91
3650.2	20	43.51	44.94	1.14	489.71	0.95	1.58	0.37	0.00087	627.31	8.16
3650.2	100	43.51	45.25	1.06	685.52	1.26	1.89	0.3	0.00051	631.59	6.35
3599.3	2.33	43.39	44.56	1.85	123.49	0.92	1.48	0.61	0.00236	133.41	21.43
3599.3	20	43.39	44.92	0.93	555.2	1.27	1.84	0.26	0.00039	520.7	4.87
3599.3	100	43.39	45.23	0.95	718.43	1.58	2.15	0.24	0.00031	521.24	4.77
3498.5	2.33	43.26	44.56	0.92	275.25	1.07	1.92	0.28	0.00048	317.84	5.03
3498.5	20	43.26	44.92	0.55	913.46	1.42	2.28	0.15	0.00012	683.68	1.64
3498.5	100	43.26	45.23	0.59	1129.4	1.74	2.59	0.14	0.0001	683.68	1.75
3398.3	2.33	43.25	44.58	0.21	1090.5	1.18	2.2	0.06	2.2E-05	810.57	0.26
3398.3	20	43.25	44.92	0.34	1360.3	1.51	2.54	0.09	4.1E-05	810.57	0.6
3398.3	100	43.25	45.23	0.38	1616.7	1.82	2.85	0.09	4.1E-05	810.57	0.73
3353.1	2.33	43.23	44.58	0.18	1233.5	1.21	2.22	0.05	1.6E-05	864.43	0.19
3353.1	20	43.23	44.92	0.29	1521	1.55	2.56	0.08	0.00003	864.43	0.46
3353.1	100	43.23	45.23	0.34	1794.5	1.86	2.87	0.08	3.1E-05	864.43	0.57
3300.5	2.33	43.01	44.58	0.19	1216.8	1.22	2.23	0.05	1.7E-05	886.1	0.2
3300.5	20	43.01	44.91	0.3	1515.9	1.55	2.56	0.08	3.2E-05	904.62	0.48
3300.5	100	43.01	45.23	0.34	1802.1	1.87	2.88	0.08	3.2E-05	904.62	0.59
3224.3	2.33	42.91	44.54	0.94	290.34	1.22	1.63	0.27	0.00043	337.59	5.08
3224.3	20	42.91	44.83	1.36	388.94	1.51	1.92	0.35	0.00067	342.22	9.88
3224.3	100	42.91	45.14	1.41	496.65	1.82	2.23	0.33	0.00056	347.2	10.03
3148.6	2.33	42.85	44.48	1.04	242.65	1.02	3.28	0.33	0.00065	242.82	6.54
3148.6	20	42.85	44.71	1.6	298.39	1.25	3.51	0.46	0.00119	244.38	14.64
3148.6	100	42.85	45.03	1.68	376.65	1.57	3.83	0.43	0.00097	246.54	14.95

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
3049.9	2.33	42.71	44.47	0.6	412.75	1.16	3.13	0.18	0.00019	337.69	2.09
3049.9	20	42.71	44.7	0.96	489.61	1.36	3.36	0.26	0.00038	339.75	5.09
3049.9	100	42.71	45.03	1.03	602.42	1.66	3.69	0.26	0.00034	342.73	5.5
2948.6	2.33	42.52	43.9	3.08	74.04	0.97	3.06	1	0.00621	77.01	58.76
2948.6	20	42.52	44.72	0.19	2207.3	1.47	3.87	0.05	1.3E-05	1098.5	0.19
2948.6	100	42.52	45.06	0.19	3072.9	1.8	4.21	0.05	0.00001	1401.3	0.18
2849.1	2.33	42.42	44.17	0.46	766.94	1.53	2.44	0.12	7.3E-05	781.1	1.11
2849.1	20	42.42	44.72	0.52	1194.4	2.08	2.99	0.11	6.3E-05	781.1	1.28
2849.1	100	42.42	45.05	0.55	1455.9	2.42	3.32	0.11	5.7E-05	781.1	1.36
2800.2	2.33	42.39	44.17	0.28	942.64	1.32	2.71	0.08	3.4E-05	814.4	0.44
2800.2	20	42.39	44.71	0.36	1390.4	1.86	3.25	0.09	3.6E-05	820.36	0.66
2800.2	100	42.39	45.05	0.4	1665.1	2.2	3.59	0.09	3.5E-05	820.36	0.76
2750.1	2.33	42.28	44.16	0.38	807.01	1.66	2.31	0.09	4.6E-05	625.58	0.75
2750.1	20	42.28	44.71	0.49	1148.4	2.2	2.86	0.11	5.3E-05	625.58	1.14
2750.1	100	42.28	45.04	0.54	1357.4	2.53	3.19	0.11	5.3E-05	625.58	1.33
2700.1	2.33	42.17	44.16	0.35	881.52	1.9	2.89	0.08	3.2E-05	595.67	0.6
2700.1	20	42.17	44.71	0.47	1206.4	2.44	3.44	0.1	4.2E-05	595.67	1.02
2700.1	100	42.17	45.04	0.53	1405.3	2.77	3.77	0.1	4.5E-05	595.67	1.23
2649.6	2.33	42.19	44.16	0.37	794.12	1.58	2.98	0.09	4.6E-05	599.07	0.71
2649.6	20	42.19	44.7	0.49	1120.4	2.12	3.52	0.11	5.4E-05	599.07	1.13
2649.6	100	42.19	45.04	0.54	1320.3	2.45	3.86	0.11	5.6E-05	599.07	1.34
2549.4	2.33	42.09	44.15	0.39	750.74	1.99	3.14	0.09	3.8E-05	439.88	0.74
2549.4	20	42.09	44.7	0.55	988.85	2.53	3.69	0.11	5.6E-05	439.88	1.38
2549.4	100	42.09	45.03	0.63	1134.9	2.86	4.02	0.12	6.2E-05	439.88	1.74
2499.7	2.33	41.97	44.14	0.64	469.53	1.84	2.17	0.15	0.00011	328.25	2.06
2499.7	20	41.97	44.67	0.87	644.03	2.37	2.7	0.18	0.00015	328.25	3.44
2499.7	100	41.97	45	0.97	751.44	2.7	3.03	0.19	0.00016	328.25	4.15
2449.5	2.33	41.93	44.11	0.85	352.54	1.95	2.18	0.19	0.00019	245.46	3.57
2449.5	20	41.93	44.63	1.17	479.03	2.47	2.7	0.24	0.00026	245.46	6.16
2449.5	100	41.93	44.95	1.31	557.36	2.78	3.02	0.25	0.00027	245.46	7.48
2353.2	2.33	41.8	44.08	0.86	345.82	1.51	2.55	0.22	0.00027	282.07	3.99
2353.2	20	41.8	44.59	1.13	489.44	2.02	3.06	0.25	0.00031	282.07	6.19
2353.2	100	41.8	44.91	1.25	579.46	2.33	3.38	0.26	0.00032	282.07	7.2
2300	2.33	41.66	43.97	1.46	165.37	1.26	2.73	0.42	0.00099	127.77	12.17
2300	20	41.66	44.6	0.59	866.4	1.82	3.36	0.14	0.0001	487.56	1.78
2300	100	41.66	44.93	0.66	1024.3	2.14	3.69	0.14	0.0001	487.56	2.1
2266.5	2.33	41.67	43.62	2.88	99.57	1.33	1.95	0.79	0.00355	125.68	46.33
2266.5	20	41.67	44.03	3.62	154.18	1.74	2.36	0.87	0.00392	140.86	66.7
2266.5	100	41.67	44.26	3.97	186.91	1.96	2.59	0.9	0.00403	150.03	77.37
2150	2.33	41.63	43.57	1.17	287.22	1.79	1.94	0.28	0.00039	327.37	6.91
2150	20	41.63	44.07	1.39	451.44	2.29	2.44	0.29	0.0004	327.37	8.95
2150	100	41.63	44.31	1.54	530.62	2.53	2.68	0.31	0.00043	327.37	10.64
2050	2.33	41.51	43.36	2.06	147.83	1.67	1.85	0.51	0.00133	166.74	21.9
2050	20	41.51	43.75	2.76	219.48	2.06	2.24	0.61	0.00181	200	36.59

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
2050	100	41.51	43.87	3.29	243.75	2.18	2.36	0.71	0.0024	200	51.21
2000.2	2.33	41.44	43.29	2.05	156	1.44	1.85	0.55	0.00162	211.13	22.9
2000.2	20	41.44	43.67	2.62	253.46	1.82	2.23	0.62	0.00192	325.74	34.35
2000.2	100	41.44	43.63	3.63	238.8	1.78	2.19	0.87	0.00382	309.4	66.64
1950.1	2.33	41.42	43.31	1.17	221.52	1.41	1.89	0.31	0.00054	202.02	7.44
1950.1	20	41.42	43.76	1.24	469.6	1.86	2.34	0.29	0.00042	397.57	7.67
1950.1	100	41.42	42.99	4.03	158.75	1.1	1.57	1.23	0.00893	197.9	96.41
1900.1	2.33	41.37	43.17	1.85	146.42	1.48	1.8	0.48	0.00127	146.12	18.34
1900.1	20	41.37	43.22	3.36	153.34	1.52	1.85	0.87	0.00403	146.57	60.17
1900.1	100	41.37	43.22	4.44	153.53	1.53	1.85	1.15	0.00702	146.58	105.03
1799.8	2.33	41.3	43.24	0.66	536.42	1.81	1.94	0.16	0.00012	497.2	2.2
1799.8	20	41.3	43.12	1.44	478.12	1.69	1.82	0.35	0.00064	497.2	10.65
1799.8	100	41.3	43.31	1.54	574.18	1.88	2.01	0.36	0.00063	497.2	11.71
1740.7	2.33	41.27	42.76	2.88	79.25	0.84	1.95	1	0.00652	93.99	53.71
1740.7	20	41.27	42.83	2.46	200.85	0.87	2.02	0.84	0.00456	267.31	38.96
1740.7	100	41.27	42.92	2.91	225.69	0.93	2.11	0.96	0.0058	274.95	53.18
1651	2.33	41.08	42.68	1.05	238.61	0.89	1.96	0.35	0.0008	250.1	6.98
1651	20	41.08	42.81	1.11	500.85	1.02	2.09	0.35	0.00075	591.05	7.48
1651	100	41.08	42.99	1.21	604.4	1.2	2.27	0.35	0.00072	591.91	8.4
1550	2.33	41.03	42.62	0.95	292.05	1.04	2.24	0.3	0.00053	335.52	5.43
1550	20	41.03	42.6	1.84	286	1.02	2.22	0.58	0.00206	333.22	20.62
1550	100	41.03	42.75	2.08	335.32	1.17	2.37	0.62	0.00221	352.86	25.28
1450.8	2.33	40.95	42.62	0.45	760.39	1.42	2.49	0.12	8.1E-05	796.77	1.13
1450.8	20	40.95	42.43	1.92	341.05	1.23	2.3	0.55	0.00175	451.59	21.06
1450.8	100	40.95	42.54	2.32	393.74	1.33	2.41	0.64	0.0023	512.56	30.09
1347.5	2.33	40.81	42.62	0.27	1222.8	1.58	2.04	0.07	2.4E-05	1051.1	0.38
1347.5	20	40.81	42.19	2.18	310.76	1.21	1.61	0.63	0.00232	452.54	27.44
1347.5	100	40.81	42.19	2.89	310.78	1.21	1.61	0.84	0.00406	452.55	48.01
1251	2.33	40.66	41.99	3.35	68.1	1.14	2.34	1	0.0059	59.64	65.76
1251	20	40.66	42.06	1.2	541.06	1.2	2.41	0.35	0.0007	668.47	8.24
1251	100	40.66	42.24	0.71	1131.7	1.37	2.59	0.19	0.00021	1088.3	2.81
1149.4	2.33	40.58	41.74	1.78	225.67	1.08	2.05	0.54	0.00178	452.87	18.82
1149.4	20	40.58	41.78	3.14	244.3	1.12	2.09	0.94	0.00529	476	58.08
1149.4	100	40.58	41.88	3.49	294.92	1.21	2.19	1.01	0.00589	545.26	70.15
1050.3	2.33	40.41	41.57	0.68	396.39	0.96	2.54	0.22	0.00031	422.96	2.88
1050.3	20	40.41	41.57	1.29	397.47	0.96	2.54	0.42	0.0011	422.97	10.37
1050.3	100	40.41	41.69	1.51	446.57	1.07	2.66	0.47	0.00131	423.55	13.71
948.84	2.33	40.32	41.49	0.37	496.55	0.61	2.89	0.15	0.00017	527.64	0.99
948.84	20	40.32	41.51	0.7	509.51	0.63	2.91	0.28	0.00056	528.42	3.45
948.84	100	40.32	41.62	0.87	563.56	0.73	3.02	0.33	0.00073	531.64	5.18
847.85	2.33	40.21	41.48	0.34	633.6	0.7	3.04	0.13	0.00012	655.8	0.81
847.85	20	40.21	41.48	0.65	633.6	0.7	3.04	0.25	0.00043	655.8	2.94
847.85	100	40.21	41.57	0.8	694.28	0.79	3.13	0.29	0.00055	656.55	4.26
747.89	2.33	40.07	41.22	0.46	596.85	0.95	2.95	0.15	0.00014	645.93	1.32

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
747.89	20	40.07	41.34	0.59	932.55	1.06	3.07	0.18	0.0002	1005.8	2.12
747.89	100	40.07	41.56	0.63	1156.3	1.28	3.29	0.18	0.00018	1005.8	2.22
649.76	2.33	39.94	41.22	0.24	909.93	0.86	2.93	0.08	4.4E-05	779.62	0.37
649.76	20	39.94	41.32	0.43	990.69	0.96	3.03	0.14	0.00012	779.62	1.13
649.76	100	39.94	41.55	0.5	1164	1.18	3.26	0.15	0.00012	779.62	1.43
550.23	2.33	39.83	40.98	2.48	122.98	0.94	1.67	0.82	0.00421	178.07	38.64
550.23	20	39.83	41.27	1.01	509.43	1.22	1.96	0.29	0.00049	431.06	5.87
550.23	100	39.83	41.49	1.13	601.77	1.43	2.18	0.3	0.0005	431.06	7
449.79	2.33	39.78	40.88	0.89	334.86	0.98	1.48	0.28	0.0005	399.67	4.84
449.79	20	39.78	41.23	1.16	474.39	1.32	1.83	0.32	0.00058	400.45	7.49
449.79	100	39.78	41.44	1.29	558.92	1.53	2.04	0.33	0.00059	400.45	8.82
349.11	2.33	39.52	40.64	1.81	136.52	0.67	1.26	0.7	0.00348	186.35	23.02
349.11	20	39.52	40.93	2.27	223.15	0.94	1.55	0.75	0.00348	257.04	32.19
349.11	100	39.52	41.11	2.5	269.65	1.12	1.73	0.75	0.00334	257.04	36.82
249.66	2.33	39.41	40.55	1.35	216.23	0.71	2.32	0.51	0.00179	355.79	12.52
249.66	20	39.41	40.91	1.47	384.97	1.08	2.68	0.45	0.00123	440.76	12.98
249.66	100	39.41	41.12	1.56	476.58	1.29	2.89	0.44	0.00109	443.58	13.7
199.81	2.33	39.35	40.51	1.15	224.26	0.62	2.48	0.46	0.00154	380.08	9.43
199.81	20	39.35	40.88	1.43	379.43	0.99	2.85	0.46	0.00129	447.37	12.6
199.81	100	39.35	41.09	1.53	476.48	1.2	3.06	0.44	0.00114	472.94	13.45
149.57	2.33	39.26	40.46	1.46	222.64	1.02	1.37	0.46	0.0013	311.92	13.01
149.57	20	39.26	40.81	1.78	332.38	1.37	1.72	0.48	0.0013	312.92	17.41
149.57	100	39.26	41.01	1.94	394.55	1.56	1.92	0.49	0.0013	312.92	19.94

Tabla 9-3. Resultados numéricos de la modelación hidráulica en condiciones existentes. Río de Oro

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
10128.3	233	702.3	703.96	1.83	32.51	0.99	1.66	0.58	0.0069	32.42	66.94
10128.3	20	702.3	704.82	2.77	62.85	1.66	2.52	0.68	0.0079	37.13	129
10128.3	100	702.3	705.05	3	71.34	1.83	2.75	0.7	0.0082	38.1	146.39
9932.47	233	701.19	702.53	1.81	32.98	0.89	1.34	0.61	0.0078	36.98	67.59
9932.47	20	701.19	703.48	2.45	71.16	1.61	2.29	0.61	0.0064	43.67	101.67
9932.47	100	701.19	703.76	2.56	83.66	1.8	2.57	0.61	0.0061	45.85	107.05
9699.33	233	699.54	701.26	1.54	38.6	1.11	1.72	0.46	0.0042	34.24	45.79
9699.33	20	699.54	702.35	2.24	77.71	2.02	2.81	0.5	0.004	37.19	79.05
9699.33	100	699.54	702.61	2.45	87.48	2.21	3.07	0.52	0.0042	38.17	91.46
9514.82	233	698.96	700.41	1.7	35.12	1.17	1.45	0.5	0.0047	29.73	54.35
9514.82	20	698.96	701.61	2.18	80.03	1.88	2.65	0.5	0.0042	48.88	76.64
9514.82	100	698.96	701.86	2.29	92.85	2.01	2.9	0.51	0.0042	53.14	82.58
9299.87	233	697.57	698.9	2.27	26.23	1.11	1.33	0.68	0.0091	23.06	99.17
9299.87	20	697.57	700.11	2.9	60.13	1.54	2.54	0.73	0.0096	37.92	144.52

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
9299.87	100	697.57	700.37	3.05	70.18	1.74	2.8	0.73	0.009	38.99	153.73
9051	233	696.09	697.57	1.57	37.94	1.19	1.48	0.45	0.004	31.19	46.29
9051	20	696.09	698.65	2.34	74.36	2	2.56	0.52	0.0044	35.9	86.64
9051	100	696.09	698.93	2.53	84.61	2.21	2.84	0.53	0.0045	36.84	97.78
8834.64	233	695.43	696.55	1.66	35.89	1.02	1.12	0.52	0.0054	34.5	54.38
8834.64	20	695.43	697.4	2.63	66.2	1.74	1.97	0.63	0.0067	36.93	114.43
8834.64	100	695.43	697.64	2.86	74.98	1.93	2.21	0.65	0.0069	37.6	130.21
8280.33	233	692.23	693.65	1.49	30.55	0.99	1.48	0.48	0.0045	31.88	44.05
8280.33	20	692.23	694.69	2.1	66.35	2.03	2.52	0.47	0.0035	36.58	69.09
8280.33	100	692.23	694.96	2.24	76.47	2.3	2.79	0.47	0.0033	37.5	75.31
8022.97	233	691.15	692.69	1.6	37.17	1.24	1.54	0.45	0.0039	29.05	47.54
8022.97	20	691.15	693.73	2.51	69.57	2.04	2.58	0.55	0.0049	32.67	98.32
8022.97	100	691.15	694.02	2.71	79.08	2.25	2.87	0.56	0.005	33.47	111.18
7680.49	233	688.67	689.74	2.89	20.62	0.84	1.07	1	0.0215	24.24	176.37
7680.49	20	688.67	690.81	3.52	49.57	1.63	2.14	0.86	0.013	29.03	208.42
7680.49	100	688.67	691.09	3.7	57.92	1.83	2.42	0.85	0.0124	30.05	222.04
7291.77	233	687.07	688.83	1.67	48.68	1.37	1.76	0.43	0.0037	32.37	49.75
7291.77	20	687.07	690.15	2.33	102.1	2	3.08	0.5	0.0043	47.03	85.28
7291.77	100	687.07	690.46	2.49	117	2.22	3.39	0.51	0.0044	48.68	94.72
6893.76	233	685.31	686.97	1.81	44.81	1.1	1.66	0.55	0.0059	39.94	63.31
6893.76	20	685.31	688	2.75	86.46	1.99	2.69	0.61	0.0061	41.4	119.09
6893.76	100	685.31	688.29	2.95	98.81	2.24	2.98	0.61	0.006	41.82	132.45
6579.23	233	683.28	684.63	2.21	36.71	1.08	1.35	0.67	0.0089	33.13	94.71
6579.23	20	683.28	685.81	3.03	78.36	2.01	2.53	0.67	0.0073	37.63	144.57
6579.23	100	683.28	686.11	3.24	90.14	2.23	2.83	0.68	0.0073	38.81	159.28
6232.83	233	681.08	683.14	1.45	56.06	1.38	2.06	0.39	0.0028	40.21	37.5
6232.83	20	681.08	684.41	2.05	116.1	2.14	3.33	0.44	0.0031	53.41	64.53
6232.83	100	681.08	684.74	2.17	134.3	2.32	3.66	0.45	0.0031	56.85	70.87
5823.3	233	679.32	680.32	2.9	27.99	0.83	1	1.01	0.0218	33.05	177.93
5823.3	20	679.32	681.22	4.02	59.08	1.57	1.9	1.01	0.0179	36.27	275.9
5823.3	100	679.32	681.47	4.27	68.37	1.77	2.15	1	0.0173	37.18	299.29
5493.55	233	677.3	678.64	1.9	45.05	1.03	1.34	0.59	0.007	43.11	71.27
5493.55	20	677.3	679.95	2.38	105.4	2.11	2.65	0.52	0.0042	48.89	87.66
5493.55	100	677.3	680.35	2.46	125.3	2.37	3.05	0.5	0.0039	51.73	90.17
5185.16	233	675.3	677.15	1.74	49.33	1.49	1.85	0.45	0.0036	32.4	52.65
5185.16	20	675.3	678.05	3.14	79.87	2.16	2.75	0.67	0.0071	35.52	151.43
5185.16	100	675.3	678.15	3.69	83.59	2.24	2.85	0.77	0.0094	35.76	206.25
4407.17	233	670.81	671.93	1.95	44.07	0.58	1.12	0.82	0.016	76.41	90.48
4407.17	20	670.81	672.73	1.85	135.4	0.98	1.92	0.6	0.0071	137.1	68.55
4407.17	100	670.81	672.94	1.87	164.6	1.19	2.13	0.55	0.0056	137.8	65.75
4123.24	233	668.83	670.31	1.36	62.86	1.16	1.48	0.4	0.0031	53.74	35.17
4123.24	20	668.83	671.5	1.85	135.4	1.9	2.67	0.43	0.0029	70.3	55
4123.24	100	668.83	671.74	2	155.5	2.02	2.91	0.45	0.0032	94.56	62.89

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
3758.66	233	666.53	667.91	2.78	30.82	1.11	1.38	0.84	0.0137	27.33	148.73
3758.66	20	666.53	669.11	3.54	72.71	1.82	2.58	0.83	0.0114	57.1	204.16
3758.66	100	666.53	669.42	3.38	94.35	1.8	2.89	0.8	0.0106	81.32	186.81
3115.57	233	663.19	664.59	1.54	58.26	1.15	1.4	0.46	0.004	49.98	44.92
3115.57	20	663.19	665.52	2.47	106.3	1.97	2.33	0.55	0.005	52.68	96.37
3115.57	100	663.19	665.85	2.6	124.2	2.22	2.66	0.55	0.0047	58.61	102.97
2045.37	233	654.39	655.87	3.53	25.38	1.19	1.48	1.01	0.02	20.17	233.9
2045.37	20	654.39	657.31	3.39	77.34	1.64	2.92	0.82	0.0121	44.91	193.58
2045.37	100	654.39	657.49	3.77	85.37	1.79	3.1	0.88	0.0133	45.28	233.06
1758.02	233	652.42	654.21	1.28	70.05	1.16	1.79	0.38	0.0027	59.6	30.94
1758.02	20	652.42	654.66	2.71	96.86	1.58	2.23	0.68	0.0081	60.36	124.94
1758.02	100	652.42	654.92	2.85	113.1	1.82	2.5	0.67	0.0074	60.81	131.95
851.785	233	650.62	650.85	0.34	32.68	0.11	1.95	0.32	0.0042	46.88	4.65
851.785	20	650.62	651.76	0.79	148.3	0.78	2.86	0.29	0.0018	264.9	13.58
851.785	100	650.62	651.84	0.9	167.7	0.86	2.94	0.31	0.002	269.2	17.11
359.579	233	643.36	644.66	0.91	82.74	1.15	1.3	0.27	0.0014	107.4	15.82
359.579	20	643.36	644.02	7.94	29.42	0.58	0.66	3.32	0.264	61.9	1500.65
359.579	100	643.36	644.14	7.61	37.19	0.68	0.78	2.93	0.1953	69.32	1305.81

Tabla 9-4. Resultados numéricos de la modelación hidráulica en condiciones existentes. Río Tuluá

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
10100	233	1020.5	1022.1	2.26	63.98	1.51	1.56	0.59	0.00364	71.79	53.7
10100	20	1020.5	1022.2	3.51	74.27	1.64	1.7	0.87	0.00777	76.71	125.24
10100	100	1020.5	1022.5	3.62	92.73	1.87	1.93	0.84	0.00698	88.3	128.05
10000	233	1019.6	1020.7	2.96	42.61	1.07	1.18	0.91	0.00978	48.81	102.62
10000	20	1019.6	1021.1	3.55	62.56	1.47	1.57	0.93	0.00925	51.54	133
10000	100	1019.6	1021.2	2.85	108.36	1.58	1.69	0.72	0.00539	95.76	83.65
9877	233	1017.9	1019.2	3.26	37.19	1.09	1.55	0.99	0.01154	34.88	123.74
9877	20	1017.9	1019.4	3.27	67.96	1.25	1.76	0.92	0.00967	68.92	118.92
9877	100	1017.9	1019.7	3.35	91.88	1.48	2.02	0.87	0.00818	108.5	118.65
9700	233	1015.7	1016.5	1.83	65.72	0.59	2.06	0.76	0.0083	112.48	48.06
9700	20	1015.7	1016.6	1.26	142.79	0.73	2.2	0.47	0.00298	183.53	21.21
9700	100	1015.7	1016.6	1.64	142.79	0.73	2.2	0.61	0.00503	183.53	35.8
9600	233	1014.2	1015.5	2.88	49.31	1.16	1.49	0.85	0.00832	67.15	94.54
9600	20	1014.2	1015.6	1.98	127.9	1.24	1.57	0.57	0.00361	163.52	43.91
9600	100	1014.2	1015.6	2.57	127.9	1.24	1.57	0.74	0.0061	163.52	74.13
9500	233	1013.1	1014.1	1.8	67.19	0.45	1.41	0.85	0.01132	156.75	50.43
9500	20	1013.1	1014.3	2.2	99.14	0.62	1.6	0.89	0.01128	172.72	68.08
9500	100	1013.1	1014.4	2.36	124.18	0.72	1.7	0.89	0.0106	216.2	74.55
9300	233	1010.7	1011.7	1.95	50.91	0.52	1.19	0.85	0.01113	89.84	56.61

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
9300	20	1010.7	1012	2.11	79.41	0.63	1.48	0.83	0.01004	106.41	62.45
9300	100	1010.7	1012.2	2.29	97.3	0.72	1.64	0.84	0.00994	118.12	70.18
9200	233	1009.6	1011.7	0.55	240.54	1.6	2.43	0.13	0.0002	212.87	3.12
9200	20	1009.6	1011.7	0.98	240.54	1.6	2.43	0.24	0.00063	212.87	9.91
9200	100	1009.6	1011.7	1.28	240.54	1.6	2.43	0.31	0.00107	212.87	16.73
9000	233	1002.3	1004.2	2.86	41.91	1.39	1.88	0.77	0.00649	29.35	88.37
9000	20	1002.3	1004.9	3.49	61.35	1.83	2.51	0.81	0.00666	32.37	119.54
9000	100	1002.3	1005.2	3.81	73.08	2.1	2.86	0.82	0.00663	34.55	136.32
8900	233	1001.7	1003.2	3.57	34.92	1.38	1.47	0.97	0.01015	28.28	137.4
8900	20	1001.7	1003.8	4.29	52.36	1.98	2.06	0.97	0.00908	30.24	175.96
8900	100	1001.7	1004.2	4.63	63.33	2.33	2.42	0.97	0.00851	31.37	194.55
8824	233	1000.6	1002.2	3.01	39.93	0.9	1.55	1	0.01273	43.64	112.48
8824	20	1000.6	1002.6	3.56	60.16	1.27	1.99	1	0.01132	46.7	140.61
8824	100	1000.6	1002.9	3.86	72.07	1.47	2.24	1.01	0.01097	48.85	157.58
8700	233	999.19	1000.4	2.93	42.7	1.03	1.23	0.92	0.01005	52.04	101.85
8700	20	999.19	1000.8	3.41	64.54	1.44	1.63	0.91	0.00878	56.22	123.66
8700	100	999.19	1001	3.66	77.82	1.67	1.86	0.9	0.00831	58.3	135.93
8600	233	998.05	999.32	2.93	45.68	1.07	1.27	0.9	0.00963	60.05	101.04
8600	20	998.05	999.67	3.42	67.28	1.42	1.62	0.91	0.00898	62.48	125.11
8600	100	998.05	999.88	3.67	80.46	1.63	1.83	0.92	0.0086	63.92	137.41
8500	233	996.87	998.04	2.95	46.87	1.08	1.17	0.9	0.00959	64.23	101.64
8500	20	996.87	998.39	3.4	71.37	1.44	1.52	0.91	0.00873	71.12	123
8500	100	996.87	998.45	2.98	108.17	1.5	1.58	0.78	0.00635	108.89	93.15
8300	233	994.26	995.74	2.72	53.09	1.07	1.48	0.84	0.0083	82.19	87.05
8300	20	994.26	996.01	3.24	75.63	1.34	1.75	0.89	0.0087	82.72	114.54
8300	100	994.26	996.17	3.5	89.02	1.5	1.91	0.91	0.00871	82.99	128.37
8100	233	991.93	993.4	2.95	43.25	1.24	1.47	0.84	0.00803	43.59	97.63
8100	20	991.93	994.02	3.13	71.22	1.85	2.09	0.73	0.00528	47.58	95.89
8100	100	991.93	994.39	3.25	89.15	2.21	2.46	0.69	0.00448	50.34	97.23
8044	233	991.24	993.13	2.61	48.17	1.63	1.89	0.65	0.00438	35.11	69.83
8044	20	991.24	993.44	3.83	59.24	1.94	2.2	0.88	0.00743	36.86	141.07
8044	100	991.24	993.75	4.21	71.31	2.24	2.51	0.9	0.00739	48.84	162.62
7900	233	990.05	991.85	3.67	33.95	1.46	1.8	0.96	0.00994	26.11	142.32
7900	20	990.05	992.64	3.56	73.81	2.24	2.59	0.75	0.00528	65.48	116.13
7900	100	990.05	992.88	3.84	89.67	2.48	2.83	0.77	0.00538	68.03	130.85
7800	233	988.61	990.63	2.79	45.59	1.61	2.02	0.69	0.00506	34.01	79.93
7800	20	988.61	991.4	1.9	126.52	2.17	2.79	0.41	0.00159	84.04	33.69
7800	100	988.61	991.85	1.85	165.08	2.61	3.24	0.36	0.00117	86.05	29.79
7700	233	987.65	989.61	3.69	33.98	1.53	1.96	0.95	0.00943	26.37	141.68
7700	20	987.65	990.27	4.34	52.76	2.19	2.62	0.93	0.00814	30.23	174.5
7700	100	987.65	990.64	4.68	64.46	2.56	2.99	0.93	0.00768	32.75	192.36
7600	233	986.74	987.89	3.18	37.77	1.11	1.17	0.96	0.0107	37.06	116.93
7600	20	986.74	988.38	3.82	56.69	1.61	1.66	0.96	0.00949	39.41	149.68
7600	100	986.74	988.67	4.15	68.27	1.9	1.95	0.96	0.00899	40.78	167.29

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
7500	233	985.48	986.78	3.33	36.34	1.23	1.34	0.96	0.01029	32.43	124.15
7500	20	985.48	987.35	4.06	55.85	1.79	1.91	0.97	0.00926	37.69	162.93
7500	100	985.48	987.68	4.39	69	2.12	2.24	0.96	0.00866	41.87	180.44
7400	233	984.29	985.69	3.27	38.67	1.32	1.4	0.9	0.00899	35.17	116.76
7400	20	984.29	986.18	4.03	57.42	1.82	1.89	0.95	0.00899	40.84	160
7400	100	984.29	986.51	4.31	71.36	2.14	2.22	0.94	0.00827	45.45	173.09
7300	233	983.17	984.59	3.35	35.87	1.13	1.42	1	0.01169	31.85	129.63
7300	20	983.17	985.19	3.77	58.88	1.67	2.02	0.93	0.0088	43.79	144.14
7300	100	983.17	985.54	3.95	75.62	2.02	2.37	0.88	0.0075	53.29	148.17
7200	233	982.01	983.59	3.2	42.5	1.43	1.58	0.85	0.00779	43.6	109.3
7200	20	982.01	984.03	3.87	61.66	1.86	2.02	0.9	0.00799	45.12	145.92
7200	100	982.01	984.28	4.18	73.31	2.12	2.27	0.92	0.00787	45.9	163.6
7100	233	981.3	982.51	2.75	40.97	1.08	1.26	0.84	0.00843	39.07	88.88
7100	20	981.3	982.98	3.41	60.23	1.46	1.73	0.89	0.00855	43.44	122.79
7100	100	981.3	983.25	3.69	72.21	1.68	2	0.9	0.00835	45.37	137.67
7000	233	980.14	981.5	3.12	37.27	1.18	1.43	0.92	0.00958	34.57	110.92
7000	20	980.14	982.05	3.74	57.84	1.73	1.98	0.9	0.00822	39.26	139.7
7000	100	980.14	982.36	4.09	70.07	2.04	2.29	0.91	0.00793	41.14	158.55
6900	233	979.16	980.85	2.01	58.29	1.63	1.71	0.5	0.00257	38.01	41.2
6900	20	979.16	981.53	2.51	84.6	2.31	2.39	0.53	0.00253	40.11	57.22
6900	100	979.16	981.92	2.77	100.54	2.7	2.78	0.54	0.00251	41.66	66.21
6800	233	978.09	980.02	3.44	36.55	1.37	1.97	0.94	0.00955	31.51	127.94
6800	20	978.09	980.57	4.16	54.48	1.92	2.52	0.96	0.0089	33.68	167.13
6800	100	978.09	980.89	4.53	65.22	2.23	2.84	0.97	0.00863	34.78	188.61
6700	233	977.45	978.84	3.55	34.26	1.34	1.39	0.98	0.01049	27.6	137.44
6700	20	977.45	979.45	4.25	51.89	1.95	2	0.97	0.00912	29.72	173.98
6700	100	977.45	979.8	4.63	62.47	2.29	2.35	0.97	0.00868	30.93	195.25
6600	233	976.38	977.89	3.42	36.56	1.47	1.51	0.9	0.00856	27.95	123.27
6600	20	976.38	978.43	4.32	52.07	2	2.05	0.98	0.00907	29.97	178.15
6600	100	976.38	978.78	4.69	62.86	2.36	2.4	0.97	0.00858	31.23	198.2
6500	233	975.56	977.12	3.31	38.95	1.51	1.56	0.86	0.00774	32.16	114.82
6500	20	975.56	977.61	4.18	55.88	2.01	2.05	0.94	0.00842	35.92	166.01
6500	100	975.56	977.83	4.78	63.82	2.23	2.27	1.02	0.00962	37.56	210.16
6400	233	974.7	976.17	3.54	36.04	1.44	1.47	0.94	0.00948	30.61	133.46
6400	20	974.7	976.77	4.16	55.71	2.03	2.07	0.93	0.00822	34.96	163.98
6400	100	974.7	977.3	1.87	242.97	2.56	2.6	0.37	0.00122	279.98	30.66
6300	233	973.77	975.2	3.52	35.78	1.37	1.43	0.96	0.00993	30.35	133.67
6300	20	973.77	975.78	4.17	54.59	1.96	2.01	0.95	0.00871	33.79	167.34
6300	100	973.77	976.15	4.44	67.62	2.33	2.38	0.93	0.00784	36.72	179.05
6200	233	972.84	974.39	2.24	63.62	1.53	1.55	0.58	0.00348	77.5	52.41
6200	20	972.84	974.56	3.37	77.92	1.71	1.72	0.82	0.00683	90.58	114.29
6200	100	972.84	974.81	3.44	102.38	1.96	1.97	0.79	0.00593	99.15	113.94
6100	233	972.05	973.46	3.42	36.81	1.31	1.42	0.95	0.00995	33	128.2
6100	20	972.05	974.18	2.42	141.47	2.03	2.14	0.54	0.00278	240.67	55.38

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
6100	100	972.05	974.58	1.76	252.86	2.44	2.54	0.36	0.00116	303.88	27.67
6000	233	970.88	972.36	3.48	34.92	1.31	1.48	0.97	0.01038	28.53	133.21
6000	20	970.88	972.95	4.21	52.04	1.9	2.07	0.98	0.00927	29.81	172.43
6000	100	970.88	973.3	4.58	62.65	2.25	2.42	0.97	0.00873	30.57	192.34
5900	233	969.82	971.59	2.75	44.75	1.58	1.77	0.7	0.00504	33.14	78.2
5900	20	969.82	971.9	4.02	55.18	1.89	2.08	0.93	0.00851	34.77	157.48
5900	100	969.82	972.23	4.38	67.05	2.22	2.41	0.94	0.00813	36.95	176.63
5800	233	969.21	970.7	3.52	36.67	1.45	1.49	0.93	0.00926	31.88	131.52
5800	20	969.21	971.32	2.94	106.11	2.06	2.11	0.65	0.00403	145.58	81.56
5800	100	969.21	971.38	2.7	193.04	2.13	2.17	0.59	0.00326	377.05	68.01
5700	233	968.42	970.02	3.03	43.37	1.46	1.61	0.8	0.00679	39.48	97.09
5700	20	968.42	970.29	2.6	138.22	1.73	1.88	0.63	0.004	273.8	67.68
5700	100	968.42	970.47	2.3	216.55	1.9	2.06	0.53	0.00275	423.34	51.26
5600	233	967.81	969.32	3.05	41.04	1.47	1.52	0.8	0.0068	32	98.22
5600	20	967.81	970.05	0.77	394.51	2.2	2.25	0.17	0.00025	469.76	5.48
5600	100	967.81	970.52	0.6	616.05	2.67	2.71	0.12	0.00012	476.29	3.07
5500	233	967	968.82	2.78	45.93	1.73	1.82	0.67	0.00454	30.98	77.18
5500	20	967	969.06	4.25	53.39	1.97	2.06	0.97	0.00897	31.33	173.45
5500	100	967	969.4	4.61	63.97	2.31	2.4	0.97	0.00855	31.81	193.41
5400	233	966.55	968.18	3.04	41.6	1.41	1.63	0.82	0.00714	34.86	98.98
5400	20	966.55	968.57	0.63	357.45	1.8	2.02	0.15	0.00023	264.65	3.96
5400	100	966.55	968.27	1.09	279.44	1.5	1.72	0.28	0.00085	263.77	12.56
5300	233	965.93	967.29	3.35	39.42	1.33	1.36	0.93	0.00945	39.88	122.75
5300	20	965.93	967.8	3.9	61.35	1.83	1.87	0.92	0.00829	46.35	148.93
5300	100	965.93	967.99	0.75	400.79	2.03	2.06	0.17	0.00027	275.94	5.35
5173	233	964.63	965.94	2.35	51.09	1.3	1.31	0.66	0.00477	45.07	60.73
5173	20	964.63	966.29	3.22	66.9	1.64	1.66	0.8	0.00658	47.62	105.9
5173	100	964.63	966.42	3.84	73.24	1.77	1.79	0.92	0.00842	48.61	146.35
5100	233	964.4	965.44	2.22	48.37	0.8	1.31	0.8	0.00821	62.95	64.02
5100	20	964.4	965.76	2.84	69.22	1.12	1.63	0.86	0.00851	64.66	93.56
5100	100	964.4	965.86	1.64	200.84	1.22	1.73	0.47	0.00252	282.91	30.18
4979	233	963.15	964.31	1.5	73.17	1.14	1.28	0.45	0.00229	65.09	25.74
4979	20	963.15	964.82	1.1	248.54	1.66	1.79	0.27	0.00075	275.65	12.25
4979	100	963.15	965.12	1.01	329.73	1.95	2.09	0.23	0.00051	275.95	9.78
4900	233	962.46	963.84	2.3	49.5	0.97	1.38	0.74	0.00679	54.25	64.49
4900	20	962.46	964.19	2.98	69.73	1.32	1.73	0.82	0.0075	57.86	96.98
4900	100	962.46	964.39	3.33	81.03	1.51	1.93	0.86	0.00783	58.55	115.93
4800	233	961.95	962.88	2.83	42.87	0.92	0.93	0.94	0.01101	54.46	99.22
4800	20	961.95	963.27	3.34	64.47	1.3	1.32	0.94	0.00965	57.66	123.07
4800	100	961.95	963.48	3.6	77.19	1.52	1.53	0.93	0.00909	58.43	135.53
4742	233	961.35	962.39	1.94	47.01	0.71	1.04	0.74	0.00736	53.58	50.92
4742	20	961.35	962.89	2.34	75.84	1.14	1.54	0.7	0.00562	62.47	63.05
4742	100	961.35	963.14	2.62	91.73	1.39	1.79	0.71	0.00544	66.87	74.09
4600	233	960.23	961.33	2.52	45.54	1.07	1.2	0.78	0.00706	46.54	74.29

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
4600	20	960.23	961.68	3.33	62.54	1.43	1.55	0.89	0.00847	49.87	118.41
4600	100	960.23	961.94	3.61	75.81	1.68	1.81	0.89	0.00799	52.33	131.91
4500	233	959.59	960.56	2.45	46.07	0.88	1.08	0.83	0.00868	55.49	75.18
4500	20	959.59	961.05	2.78	74.11	1.37	1.57	0.76	0.00622	59.26	83.66
4500	100	959.59	961.35	2.93	92.5	1.68	1.87	0.72	0.00528	61.6	86.83
4400	233	958.61	959.79	2.57	45.92	1.12	1.21	0.78	0.00698	44.97	76.34
4400	20	958.61	960.15	3.37	62.68	1.48	1.57	0.88	0.00822	46.44	119.51
4400	100	958.61	960.36	3.81	72.25	1.69	1.78	0.94	0.00885	47.26	146.42
4300	233	957.85	959.02	2.72	45.77	1.06	1.17	0.84	0.00843	51.82	87.37
4300	20	957.85	959.48	3.17	70.51	1.51	1.63	0.82	0.0071	56.62	105.38
4300	100	957.85	959.81	3.25	90.08	1.85	1.96	0.76	0.00568	59.8	103.07
4200	233	957.16	958.5	2.04	55.01	1.14	1.45	0.61	0.00429	50.89	48.04
4200	20	957.16	959.16	2.3	88.89	1.8	2.11	0.55	0.00296	52.28	52.11
4200	100	957.16	959.56	2.43	109.97	2.2	2.51	0.52	0.00253	53.14	54.64
4100	233	956.42	958.02	2.47	49.11	1.52	1.6	0.64	0.00426	35.19	63.64
4100	20	956.42	958.63	3.07	70.9	2.13	2.21	0.67	0.00421	36.56	87.96
4100	100	956.42	958.99	3.37	84.24	2.49	2.57	0.68	0.00413	37.44	100.92
4000	233	956	957.49	2.62	45.81	1.42	1.49	0.7	0.00528	34.61	73.44
4000	20	956	957.96	3.46	62.27	1.89	1.96	0.8	0.0063	35.61	116.59
4000	100	956	958.21	3.96	70.98	2.13	2.21	0.87	0.00703	36.13	146.74
3900	233	955.55	956.62	2.98	38.75	1.04	1.07	0.93	0.01039	38.74	105.49
3900	20	955.55	957.1	3.66	57.88	1.52	1.55	0.95	0.00942	41.09	139.93
3900	100	955.55	957.37	4	69.19	1.79	1.82	0.96	0.00905	42.11	158.64
3700	233	954.36	955.79	1.42	83.97	1.39	1.52	0.38	0.00158	70.37	21.54
3700	20	954.36	956.36	1.72	125.63	1.96	2.09	0.39	0.00148	77.15	28.34
3700	100	954.36	956.67	1.89	149.99	2.27	2.4	0.4	0.00147	81.11	32.68
3600	233	953.97	955.44	2.16	58.73	1.38	1.47	0.59	0.00371	54	50.38
3600	20	953.97	955.99	2.52	89.91	1.94	2.02	0.58	0.00321	58.69	60.99
3600	100	953.97	956.26	2.77	106	2.21	2.29	0.59	0.00326	60.35	70.58
3500	233	953.61	955	2.31	54.65	1.31	1.39	0.64	0.00454	51.83	58.5
3500	20	953.61	955.17	3.55	63.83	1.49	1.56	0.93	0.00909	54.24	132.43
3500	100	953.61	955.4	3.82	76.6	1.72	1.79	0.93	0.00869	56.01	146.33
3400	233	953.24	954.16	2.6	43.23	0.86	1.01	0.89	0.01005	52.88	85.15
3400	20	953.24	954.47	2.11	124.54	1.17	1.32	0.62	0.00442	204.2	50.67
3400	100	953.24	954.6	2.41	152.42	1.3	1.45	0.67	0.00502	230.04	63.9
3278	233	952.37	953.6	1.06	99.13	0.97	1.52	0.34	0.00143	100.8	13.66
3278	20	952.37	953.97	1.4	138.05	1.32	1.89	0.39	0.00165	109.11	21.43
3278	100	952.37	953.61	2.44	99.84	0.98	1.53	0.79	0.00751	100.96	72.05
3200	233	952.11	953.26	2.29	62	1.01	1.31	0.73	0.00631	96.55	62.58
3200	20	952.11	953.45	3.12	81.31	1.2	1.5	0.91	0.00937	107.73	110.27
3200	100	952.11	953.64	1.28	247.29	1.39	1.69	0.35	0.0013	267.45	17.75
3137	233	951.65	952.83	2.36	64.06	0.98	1.45	0.76	0.00707	127.37	67.61
3137	20	951.65	953.04	2.85	91.94	1.19	1.66	0.84	0.00792	136.41	92.26
3137	100	951.65	953.18	3.02	111.35	1.33	1.8	0.84	0.00766	143.6	99.54

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
3000	233	950.81	952.11	1.01	116.42	1.02	2.29	0.32	0.0012	148.49	12.08
3000	20	950.81	952.01	2.02	102.36	0.93	2.19	0.67	0.00553	134.68	50.2
3000	100	950.81	952.01	2.62	102.36	0.93	2.19	0.87	0.00934	134.68	84.75
2866	233	950.38	951.63	2.36	65.05	0.97	2.58	0.76	0.00711	129.89	67.55
2866	20	950.38	951.83	0.26	552.31	1.17	2.78	0.08	6.6E-05	378.03	0.76
2866	100	950.38	951.83	0.34	552.31	1.17	2.78	0.1	0.00011	378.03	1.29
2801	233	949.87	950.92	2.75	47.35	0.92	1.96	0.92	0.01036	67.69	93.65
2801	20	949.87	951.4	2.19	108.49	1.4	2.44	0.59	0.00375	109.55	51.39
2801	100	949.87	951.29	3.18	96.21	1.29	2.33	0.89	0.00885	107.02	111.59
2700	233	949.18	950.66	1.58	77.15	1.44	1.89	0.42	0.00189	63.89	26.58
2700	20	949.18	950.44	3.15	64.5	1.22	1.67	0.91	0.00928	55.94	111.24
2700	100	949.18	950.7	1.05	287.92	1.48	1.93	0.28	0.00081	273.21	11.68
2600	233	948.63	949.98	2.69	42.64	0.93	2.13	0.89	0.00981	52.8	89.31
2600	20	948.63	950.38	0.43	413.65	1.33	2.53	0.12	0.00015	288.47	2
2600	100	948.63	950.38	0.56	413.65	1.33	2.53	0.15	0.00026	288.47	3.37
2450	233	948.22	948.58	0.83	53.61	0.17	1.11	0.64	0.00871	97.95	14.84
2450	20	948.22	948.86	1.44	82.03	0.42	1.39	0.71	0.00806	105	33.13
2450	100	948.22	948.9	1.32	132.32	0.46	1.43	0.62	0.00592	181.34	26.92
2300	233	947.25	948.11	1.06	111.97	0.84	0.97	0.37	0.00174	167.52	14.31
2300	20	947.25	948.61	0.7	351.35	1.34	1.47	0.19	0.00041	438.85	5.36
2300	100	947.25	948.49	1.12	279.27	1.22	1.35	0.32	0.00118	362.63	14.08
2200	233	946.61	947.98	1.14	114.54	1.37	1.4	0.31	0.00104	116.13	14.01
2200	20	946.61	948.6	0.53	529.21	1.99	2.02	0.12	0.00014	500	2.66
2200	100	946.61	948.04	2.46	121.63	1.43	1.46	0.66	0.00463	116.63	64.8
2100	233	945.89	947.21	3.25	37.04	1.23	1.32	0.94	0.00987	34.25	118.62
2100	20	945.89	947.76	3.87	57.4	1.78	1.87	0.92	0.00852	39.47	148.42
2100	100	945.89	948.08	1.12	317.33	2.1	2.19	0.25	0.00057	273.96	11.72
2000	233	945.34	946.23	1.94	70.23	0.83	0.92	0.68	0.00592	132.83	48.3
2000	20	945.34	946.46	2.22	110.72	1.07	1.15	0.69	0.00556	164.64	58.09
2000	100	945.34	946.48	2.8	114.02	1.09	1.17	0.86	0.00859	165.35	91.41
1900	233	945.17	945.75	1.1	78.12	0.45	1.14	0.52	0.00425	145.24	18.92
1900	20	945.17	946.04	1.42	125.72	0.75	1.43	0.52	0.00363	171.09	26.63
1900	100	945.17	946.23	1.2	228.87	0.94	1.62	0.4	0.00193	296.9	17.71
1700	233	943.59	944.74	2.09	63.3	1.01	1.41	0.67	0.00532	87	52.41
1700	20	943.59	945.06	2.47	91.49	1.33	1.73	0.69	0.00515	89.34	66.98
1700	100	943.59	945.03	3.31	89.04	1.3	1.7	0.93	0.00949	89.01	120.83
1600	233	943.21	944.49	1.53	87.95	1.25	1.75	0.44	0.00213	102.06	26.15
1600	20	943.21	944.79	1.96	119.6	1.55	2.05	0.5	0.00262	107.46	39.84
1600	100	943.21	944.85	1.48	220.33	1.62	2.11	0.37	0.00141	219.67	22.29
1500	233	942.85	944.16	1.88	84.67	0.91	1.51	0.63	0.00491	184.15	43.66
1500	20	942.85	944.24	2.79	99.4	0.99	1.59	0.9	0.00972	187.61	93.9
1500	100	942.85	944.38	2.74	125.4	1.12	1.73	0.83	0.00789	191.1	86.87
1400	233	942.61	943.83	1.57	102.49	1.09	1.36	0.48	0.0027	187.56	28.69
1400	20	942.61	944.1	1.24	213.51	1.36	1.64	0.34	0.00125	268.32	16.6

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
1400	100	942.61	944.3	1.21	268.17	1.56	1.84	0.31	0.001	268.83	15.26
1300	233	942.24	943.1	2.56	48.04	0.83	0.86	0.9	0.01025	74.61	83.83
1300	20	942.24	943.42	3.1	74.68	1.16	1.18	0.92	0.00964	85.43	109.63
1300	100	942.24	943.6	3.33	90.34	1.34	1.36	0.92	0.00921	89.85	120.84
1200	233	941.99	943.03	0.17	406.67	0.77	2.19	0.06	5.3E-05	303.51	0.4
1200	20	941.99	942.81	0.33	339.83	0.55	1.97	0.14	0.0003	302.96	1.63
1200	100	941.99	942.79	0.42	331.85	0.53	1.95	0.19	0.00052	302.63	2.68
1100	233	941.28	942.73	2.39	53.55	1.28	1.68	0.67	0.00501	53.29	63.04
1100	20	941.28	942.79	0.49	379.93	1.34	1.74	0.13	0.0002	282.8	2.6
1100	100	941.28	942.75	0.65	367.88	1.3	1.7	0.18	0.00036	282.4	4.63
971.4	233	940.9	942.17	3.27	39.62	1.25	1.27	0.93	0.00975	40.37	119.27
971.4	20	940.9	942.33	2.96	80.39	1.41	1.43	0.8	0.00681	79.73	93.92
971.4	100	940.9	942.37	1.31	263.56	1.44	1.47	0.35	0.00129	313.8	18.2
923.6	233	940.56	941.71	2.33	75.04	0.83	1.15	0.81	0.00846	211.53	69.07
923.6	20	940.56	941.88	2.68	114.36	1	1.32	0.85	0.0088	255.68	86.16
923.6	100	940.56	941.96	2.83	137.08	1.08	1.4	0.86	0.00879	269.15	93.52
500	233	938.41	939.57	1.7	82.41	1.01	1.21	0.54	0.00348	126.13	34.47
500	20	938.41	939.96	1.77	133.68	1.4	1.6	0.48	0.00245	147.7	33.59
500	100	938.41	940.21	1.91	182.22	1.64	1.85	0.47	0.0023	257.31	37.05
400	233	937.79	938.94	2.26	54.22	0.93	1.32	0.75	0.00691	70.65	62.87
400	20	937.79	939.18	3.01	71.8	1.17	1.56	0.89	0.00898	73.09	103.18
400	100	937.79	939.35	3.31	84.54	1.34	1.73	0.91	0.00905	74.81	119.25
300	233	937.28	938.11	2.19	55.06	0.67	0.83	0.86	0.01005	99.24	66.06
300	20	937.28	938.39	2.53	82.64	0.95	1.11	0.83	0.00845	100.96	78.37
300	100	937.28	938.49	2.89	93.5	1.05	1.21	0.9	0.00954	101.64	98.46
200	233	936.96	938	0.97	135.19	1.01	1.04	0.31	0.00113	186.09	11.16
200	20	936.96	938.38	1.07	208.64	1.4	1.42	0.29	0.00089	193.91	12.19
200	100	936.96	938.61	1.01	328.34	1.62	1.65	0.25	0.00066	334.53	10.44
100	233	936.67	937.55	1.96	56.33	0.74	1.02	0.73	0.00701	79.92	50.96
100	20	936.67	937.86	2.47	81.96	1.05	1.33	0.77	0.007	85.5	72.19
100	100	936.67	938.04	2.74	97.27	1.23	1.51	0.79	0.00701	88.66	84.35

Tabla 9-5. Resultados numéricos de la modelación hidráulica en condiciones existentes. Río Guarapas

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
8141.12	233	1252.8	1255	1.44	49.5	1.66	2.16	0.35	0.0013	28.64	21.18
8141.12	20	1252.8	1255.7	1.75	70.6	2.14	2.86	0.37	0.0014	32.19	28.69
8141.12	100	1252.8	1255.8	1.83	74.2	2.21	2.97	0.38	0.0014	34.29	30.88
7932.04	233	1252.4	1254.9	0.84	101	2.12	2.48	0.18	0.0003	74.7	6.66
7932.04	20	1252.4	1255.7	0.96	171	2.85	3.23	0.18	0.0003	108.43	7.82
7932.04	100	1252.4	1255.8	0.97	184	2.97	3.35	0.18	0.0003	109.61	7.94

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
7556.93	233	1251.9	1254.5	1.75	40.9	1.67	2.59	0.42	0.0019	23.62	30.93
7556.93	20	1251.9	1255.3	2.04	66.5	2.19	3.32	0.43	0.0018	52.17	38.32
7556.93	100	1251.9	1255.4	2.08	72.7	2.29	3.43	0.43	0.0018	53.03	39.3
7372.45	233	1251.8	1254.1	1.87	38.2	1.51	2.27	0.47	0.0025	23.73	36.62
7372.45	20	1251.8	1254.9	2.09	61	1.75	3.01	0.49	0.0026	43.85	43.75
7372.45	100	1251.8	1255	2.13	66.6	1.79	3.13	0.49	0.0026	48.62	44.93
6977.46	233	1251.2	1253.5	1.38	51.8	1.65	2.3	0.34	0.0012	30.61	19.34
6977.46	20	1251.2	1254.2	1.65	75.3	2.1	3.01	0.36	0.0012	45.97	25.5
6977.46	100	1251.2	1254.3	1.71	80.8	2.19	3.12	0.36	0.0013	55.91	27.16
6825.45	233	1250.7	1253.3	1.63	43.9	1.73	2.55	0.38	0.0016	24.08	26.47
6825.45	20	1250.7	1253.9	2.01	62	2	3.2	0.44	0.002	33.12	38.66
6825.45	100	1250.7	1254	2.11	65	2.05	3.28	0.46	0.0021	34.77	42.21
6544.7	233	1250.3	1252.6	2.09	34.2	1.65	2.29	0.51	0.0028	21.91	44.39
6544.7	20	1250.3	1253.3	2.12	71.2	1.86	3	0.48	0.0024	73.06	44.04
6544.7	100	1250.3	1253.4	2.11	79.2	1.95	3.11	0.47	0.0022	74.03	42.84
5905.95	233	1249.5	1251.5	1.45	49.2	1.65	2.05	0.35	0.0013	28.7	21.37
5905.95	20	1249.5	1252.1	1.87	66.2	2.08	2.62	0.4	0.0016	30.39	32.92
5905.95	100	1249.5	1252.1	1.99	68.2	2.13	2.68	0.43	0.0018	30.58	36.93
5530.3	233	1249	1251.1	1.22	63.7	1.6	2.07	0.31	0.001	58.44	15.32
5530.3	20	1249	1251.8	1.27	118	2.15	2.73	0.27	0.0007	88.2	14.94
5530.3	100	1249	1251.9	1.22	146	2.23	2.83	0.26	0.0006	143.08	13.73
5184.33	233	1248.2	1250.6	1.69	42.2	1.77	2.42	0.39	0.0016	22.56	28.43
5184.33	20	1248.2	1251.2	2.19	56.4	2.06	3	0.47	0.0022	25.64	45.39
5184.33	100	1248.2	1251.3	2.31	58.6	2.12	3.09	0.49	0.0024	25.84	50.02
4816.23	233	1247.9	1250.1	1.45	52.4	1.76	2.25	0.34	0.0012	45.7	20.8
4816.23	20	1247.9	1250.8	1.57	102	2.39	2.9	0.32	0.0009	112.96	22.16
4816.23	100	1247.9	1250.9	1.59	114	2.49	3	0.32	0.0009	120.45	22.28
4572.27	233	1247.3	1249.5	2.3	31.1	1.59	2.13	0.56	0.0035	18.82	54.34
4572.27	20	1247.3	1250.1	2.72	50.3	2	2.75	0.59	0.0036	50.33	70.65
4572.27	100	1247.3	1250.2	2.83	54.9	2.08	2.83	0.6	0.0037	61.17	75.17
4353.64	233	1247.1	1248.8	1.9	37.7	1.39	1.74	0.51	0.0029	26.43	38.79
4353.64	20	1247.1	1249.5	2.18	57.9	1.87	2.41	0.5	0.0025	39.45	46.56
4353.64	100	1247.1	1249.3	2.66	51.1	1.73	2.23	0.64	0.0042	31.81	70.74
4088.08	233	1246.3	1248.7	1.01	70.7	1.89	2.36	0.23	0.0005	36.08	9.92
4088.08	20	1246.3	1249.3	1.3	95.3	2.35	3.01	0.26	0.0007	39.21	15.25
4088.08	100	1246.3	1249.5	0.61	294	2.39	3.16	0.12	0.0001	207.94	3.3
3816.46	233	1245.6	1248.5	1.71	43.9	1.77	2.84	0.4	0.0017	24.86	29.03
3816.46	20	1245.6	1249.2	1.68	87.7	2.46	3.57	0.33	0.001	46.68	25.02
3816.46	100	1245.6	1249.3	1.75	92.1	2.55	3.66	0.34	0.0011	47.51	26.98
3562.1	233	1245.3	1248.1	1.62	47.4	2.14	2.81	0.34	0.0012	26.77	24.4
3562.1	20	1245.3	1248.9	1.82	101	2.86	3.59	0.33	0.001	146.7	28.06
3562.1	100	1245.3	1249	1.79	121	2.98	3.72	0.32	0.0009	189.9	26.89
3318.34	233	1245	1247.8	1.8	41.7	1.99	2.74	0.39	0.0016	19.09	30.77

Abscisa (m)	Tr (años)	Cota fondo (m.s.n.m.)	Cota agua (m.s.n.m.)	V (m/s)	Área (m ²)	Rh (m)	H (m)	No. Froude	Pend. línea energía (m/m)	Ancho (m)	Esfuerzo (N/m ²)
3318.34	20	1245	1248.4	2.33	58	2.34	3.4	0.46	0.0021	40	49.1
3318.34	100	1245	1248.5	2.43	62	2.42	3.5	0.48	0.0022	40.94	53.01
2610.89	233	1243.8	1247.2	2.75	40.3	1.8	3.41	0.62	0.0042	30.83	74.44
2610.89	20	1243.8	1248.2	2.52	99.4	2.52	4.37	0.49	0.0023	94.55	56.08
2610.89	100	1243.8	1248.3	2.53	112	2.63	4.49	0.48	0.0022	106.98	55.64
2241.72	233	1243.5	1246.4	1.94	55.7	2.02	2.9	0.42	0.0018	25.99	35.95
2241.72	20	1243.5	1245.9	4.23	44.4	1.76	2.44	0.99	0.0103	24.03	178.03
2241.72	100	1243.5	1246	4.35	47.3	1.84	2.56	0.99	0.0102	24.28	185.04
1898.78	233	1242.8	1244.5	3.77	28.7	1.39	1.66	0.99	0.0112	19.65	152.9
1898.78	20	1242.8	1246	0.61	446	2.38	3.19	0.12	0.0001	376.22	3.33
1898.78	100	1242.8	1246.1	0.62	479	2.46	3.27	0.12	0.0001	392.27	3.46
1484.18	233	1242.5	1245	2.73	48	1.26	2.58	0.76	0.0067	58.14	82.65
1484.18	20	1242.5	1245.5	2.99	74.9	1.59	3.02	0.75	0.0059	65.72	91.97
1484.18	100	1242.5	1245.4	3.53	69.7	1.53	2.94	0.9	0.0087	64.32	129.72
1335.77	233	1241.6	1244.8	1.36	84.3	2.29	3.18	0.28	0.0008	45.62	16.88
1335.77	20	1241.6	1243.8	3.98	47.1	1.59	2.26	1	0.0105	29.02	163.25
1335.77	100	1241.6	1244	4.05	50.7	1.66	2.38	0.99	0.0103	29.89	166.76
471.329	233	1240.8	1243.4	2.41	51.1	1.83	2.6	0.56	0.0032	64.75	57.03
471.329	20	1240.8	1243.7	2.37	118	2.19	2.97	0.5	0.0024	146.03	52.07
471.329	100	1240.8	1243.8	2.39	128	2.26	3.04	0.5	0.0024	146.19	52.44
85.9751	233	1240	1242.9	1.23	125	1.59	2.88	0.31	0.001	144.59	15.61
85.9751	20	1240	1243.3	1.41	179	1.94	3.25	0.32	0.001	152.68	19.06
85.9751	100	1240	1243.4	1.44	191	2.01	3.32	0.32	0.001	154.41	19.73

9.2 Anexo B Resultados Mapas de Inundación. Zonas de Inundaciones Lentas.

9.2.1 Mapas de Inundación en la zona urbana del Municipio de la Victoria - Valle del Cauca

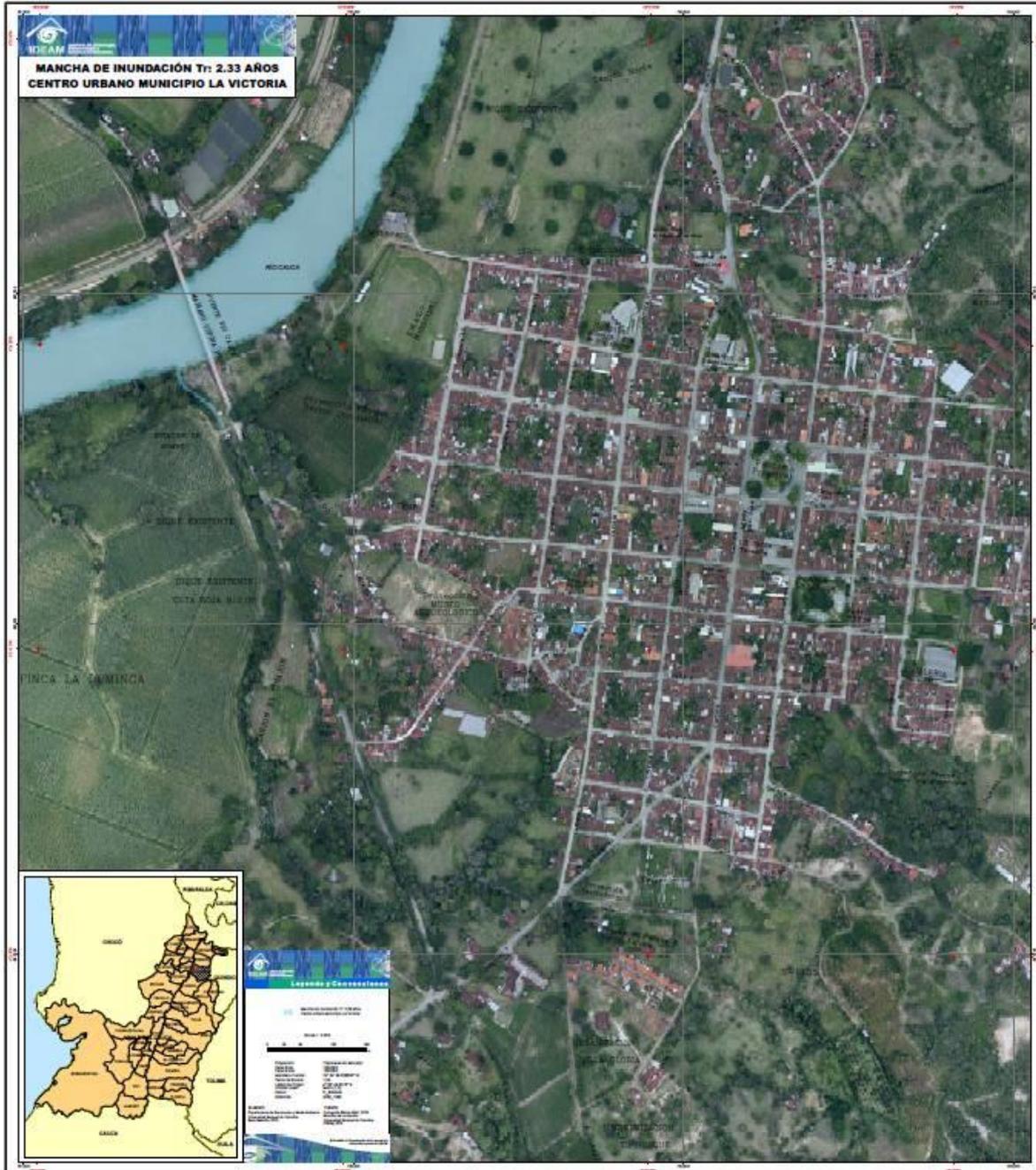


Figura 9-1. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de La Victoria - Tr=2.33 años

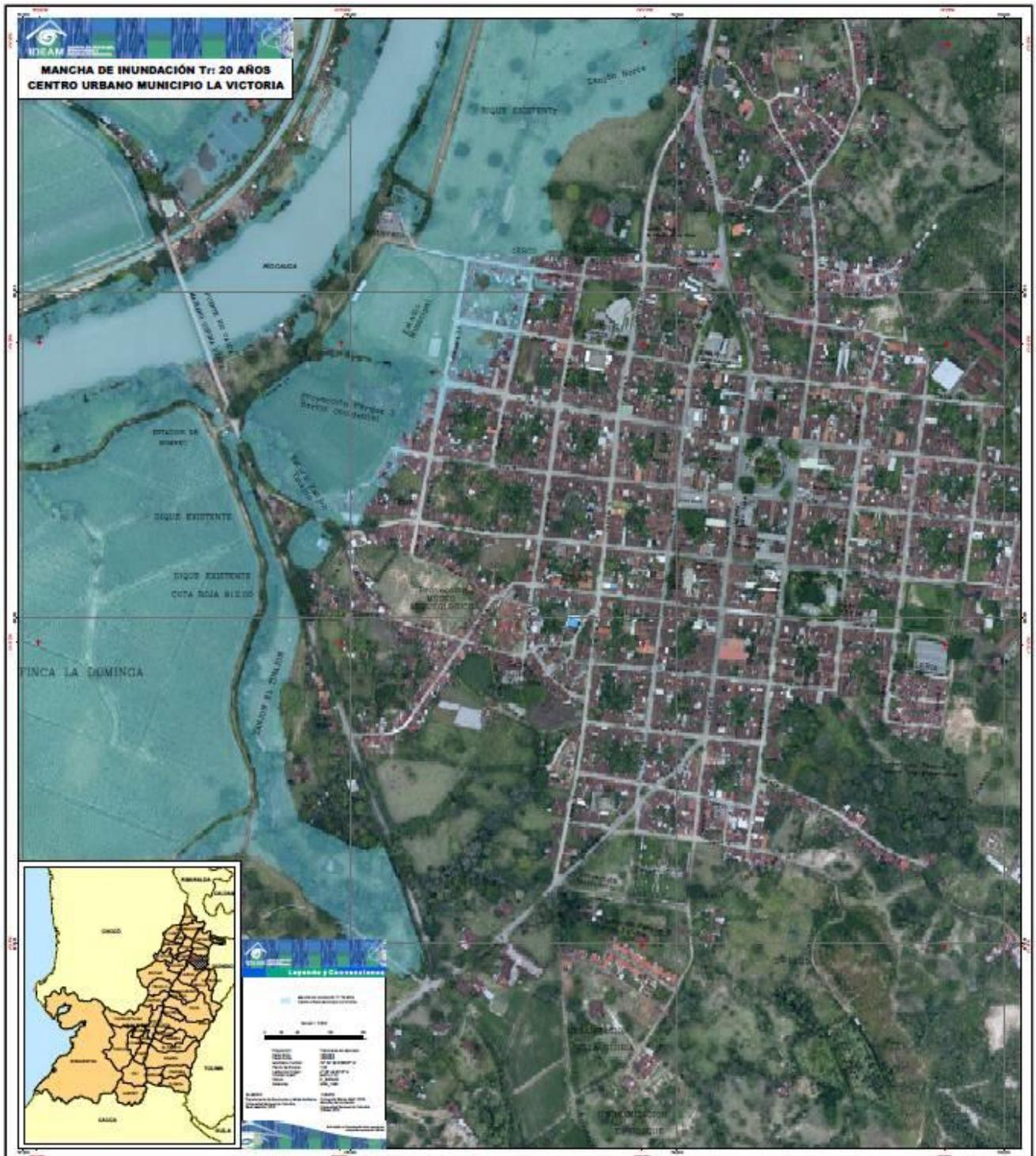


Figura 9-2. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de La Victoria - Tr=20 años

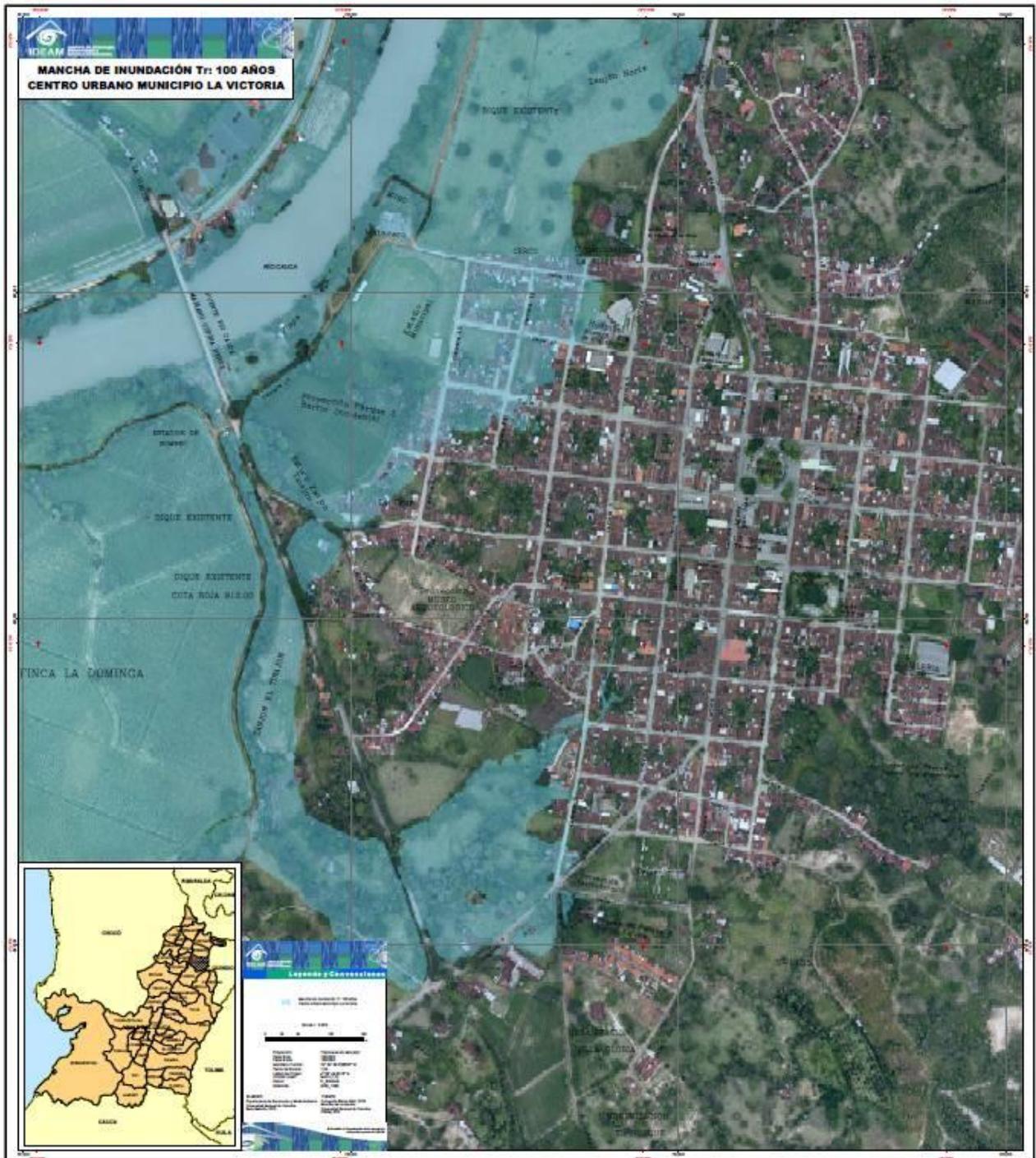


Figura 9-3. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de La Victoria - Tr=100 años

9.2.2 Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Plato - Magdalena

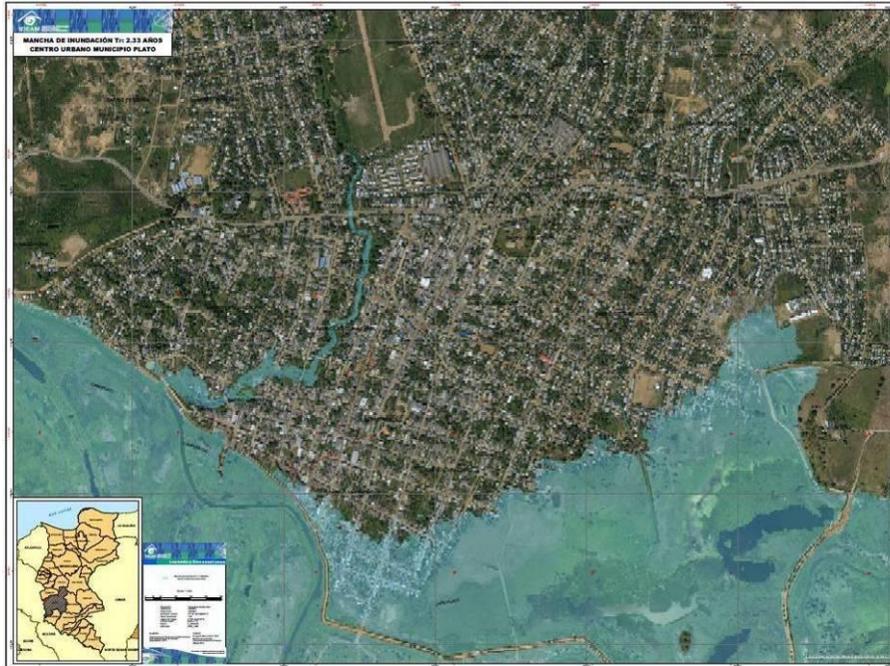


Figura 9-4. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Plato - Tr=2.33 años

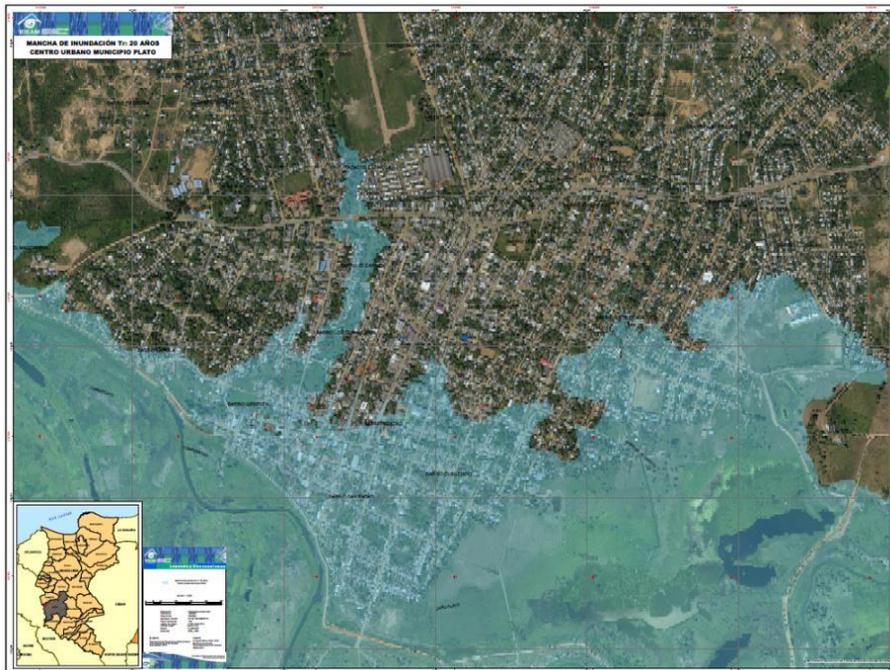


Figura 9-5. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Plato - Tr=20 años

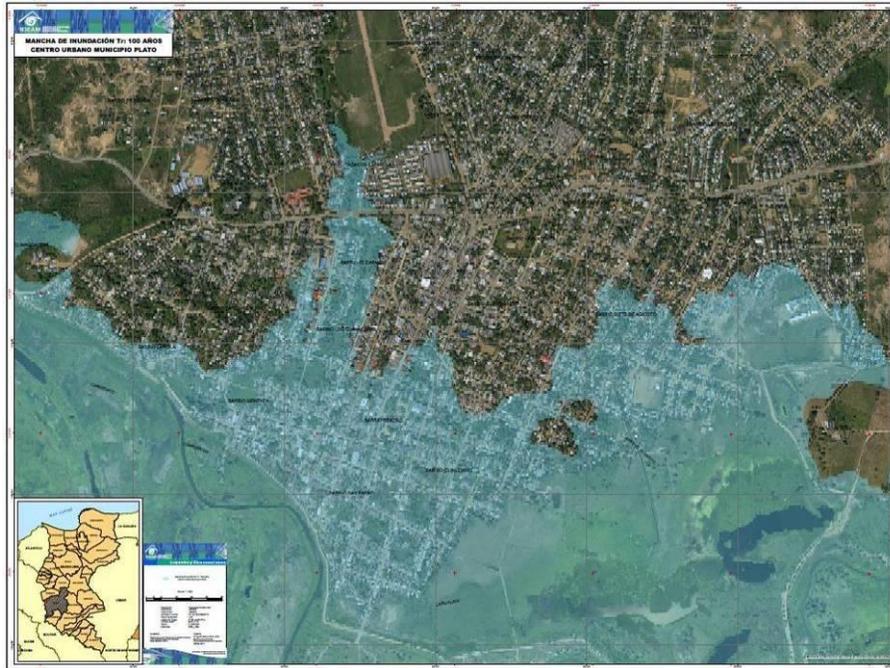


Figura 9-6. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Plato - $Tr=100$ años

9.2.3 Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Momil - Córdoba



Figura 9-7. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Momil - $Tr=2.33$ años



Figura 9-8. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Momil - Tr=20 años



Figura 9-9. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Momil - Tr=100 años

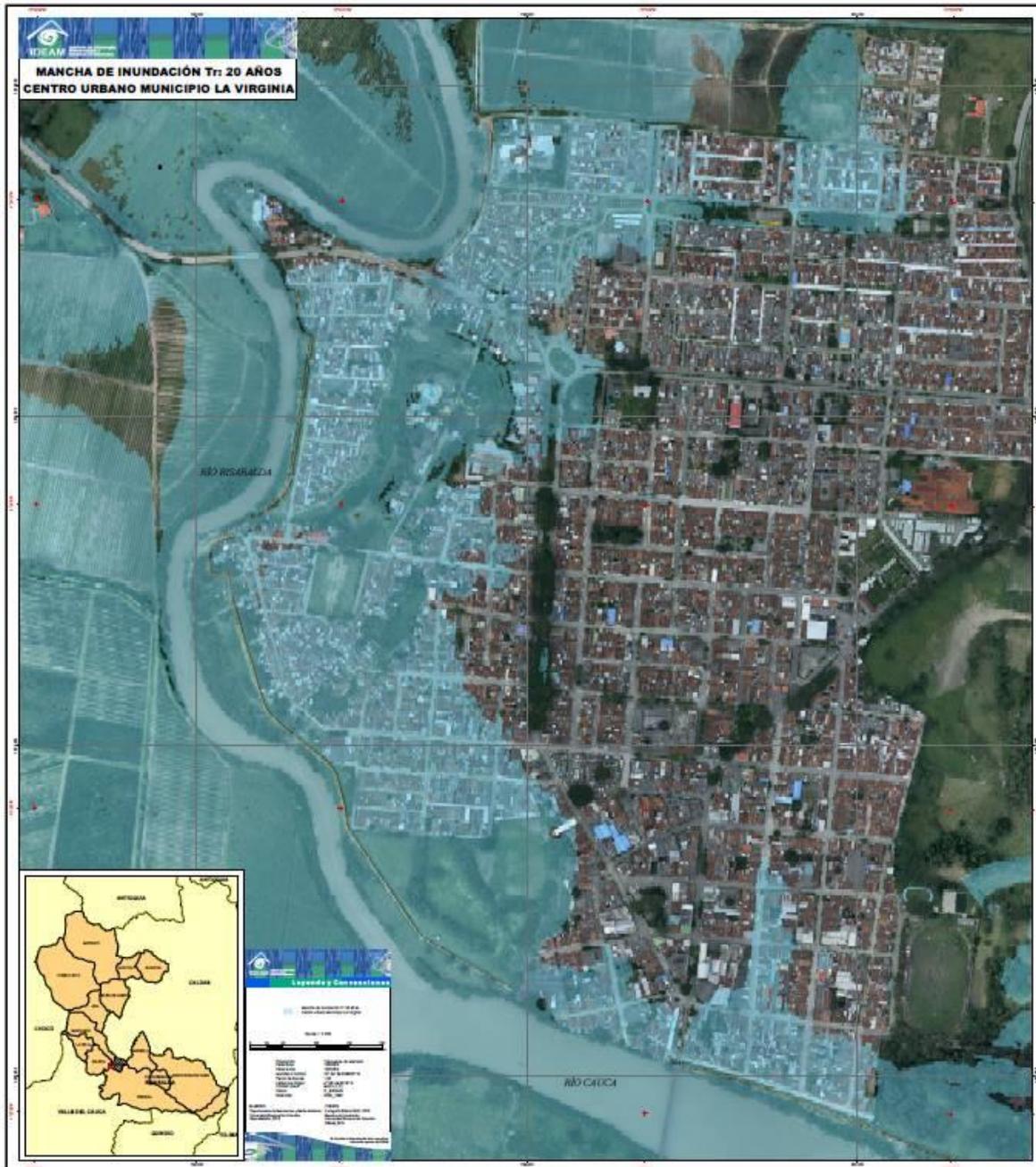


Figura 9-11. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de La Virginia - Tr=20 años

9.2.5 Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Puerto Boyacá – Boyacá

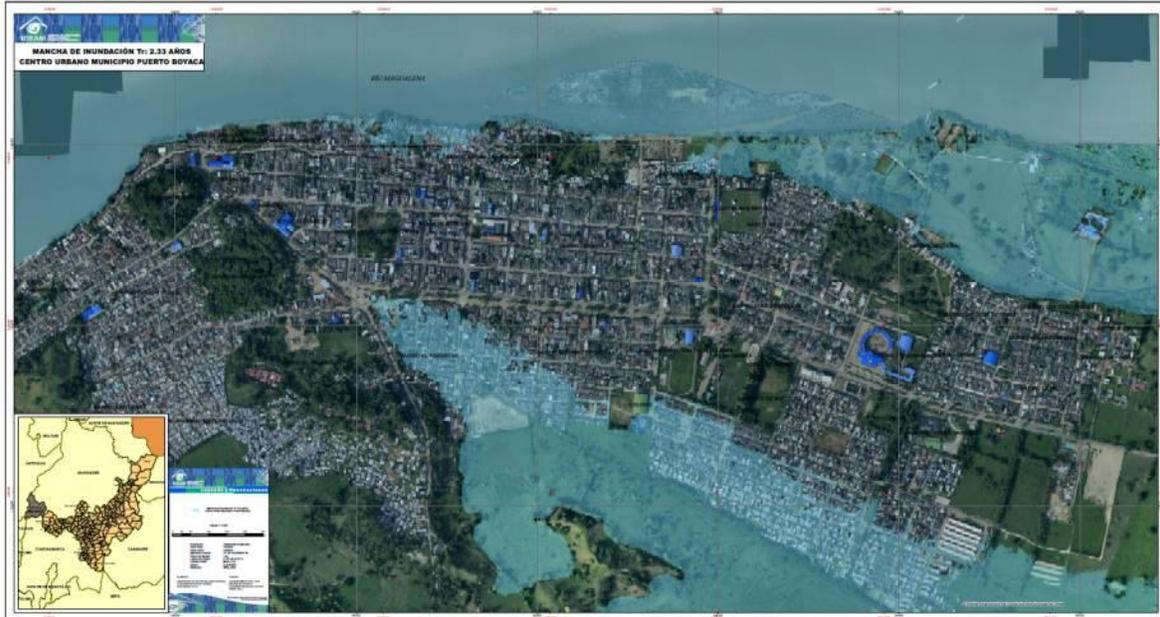


Figura 9-13. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Puerto Boyacá – Tr=2.33 años

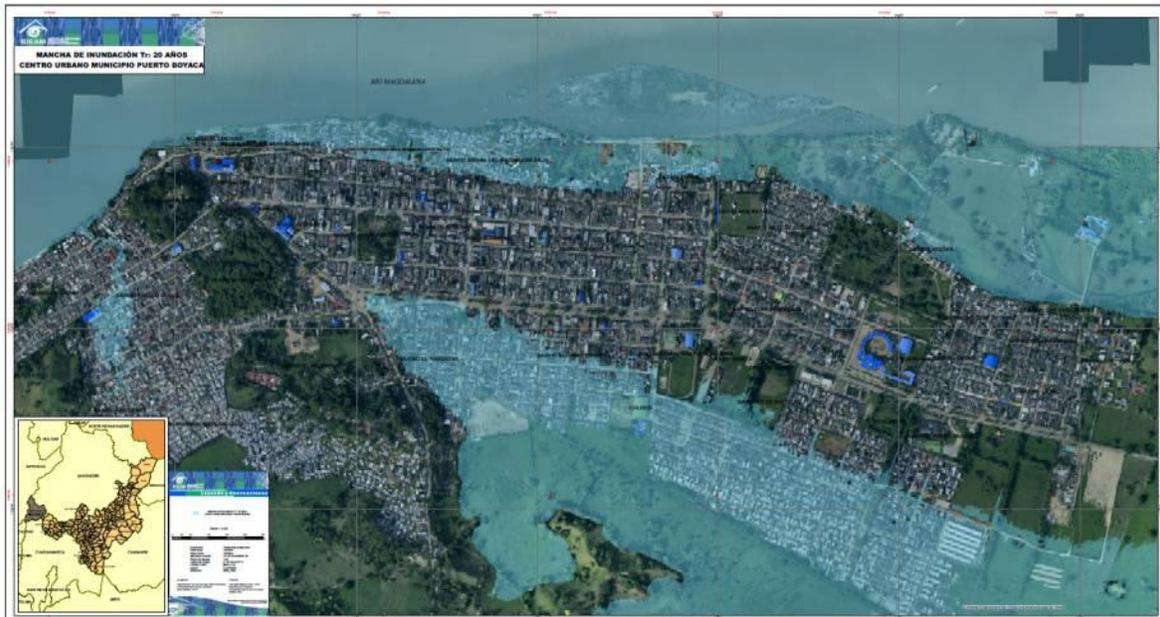


Figura 9-14. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Puerto Boyacá – Tr=20 años

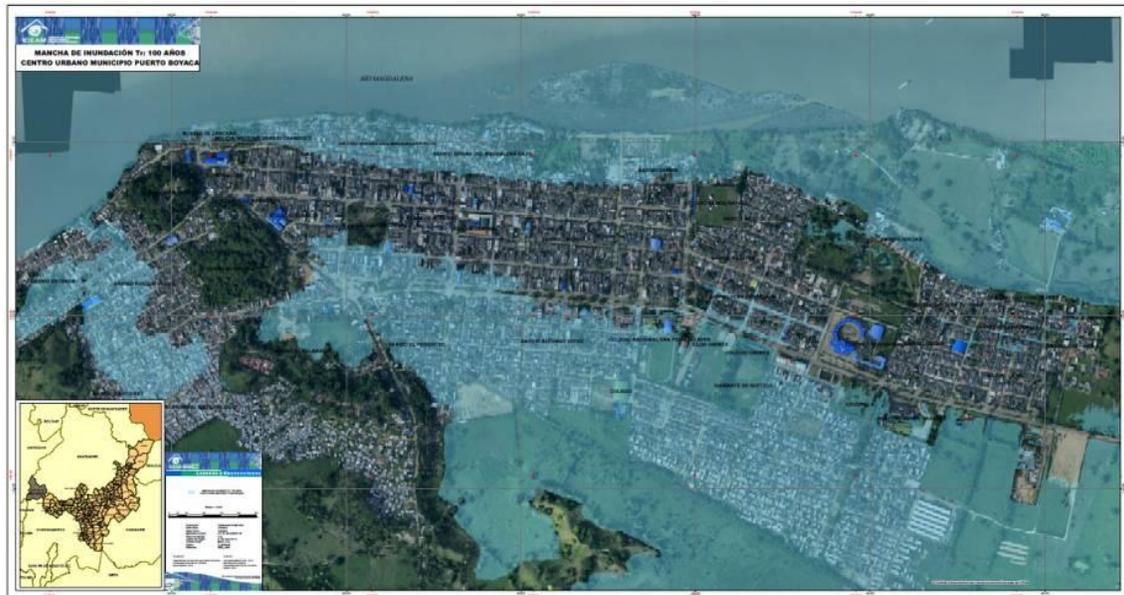


Figura 9-15. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Puerto Boyacá - Tr=100 años

9.3 Anexo C Resultados Mapas de Inundación. Zonas de Inundaciones Súbitas.

9.3.1 Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Paipa – Boyacá



Figura 9-16. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Paipa – $Tr=2.33$ años

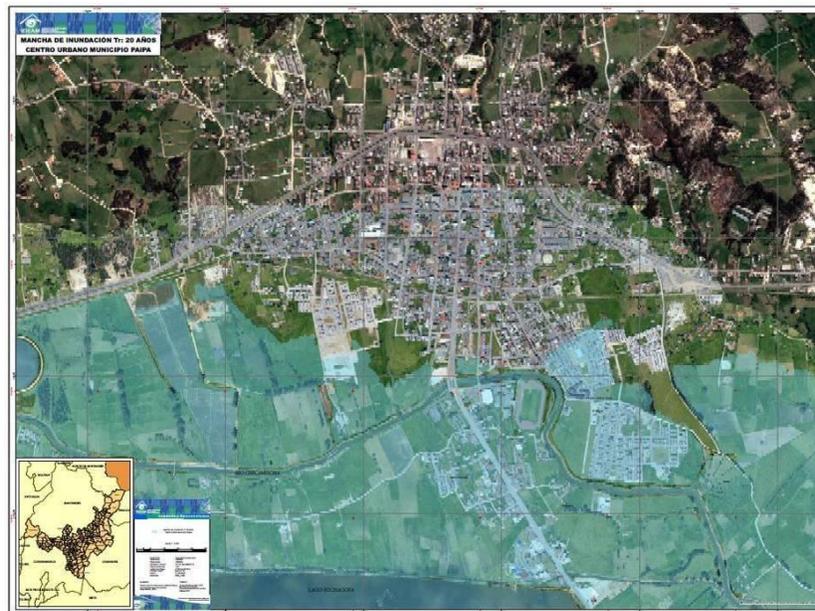


Figura 9-17. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Paipa – $Tr=20$ años

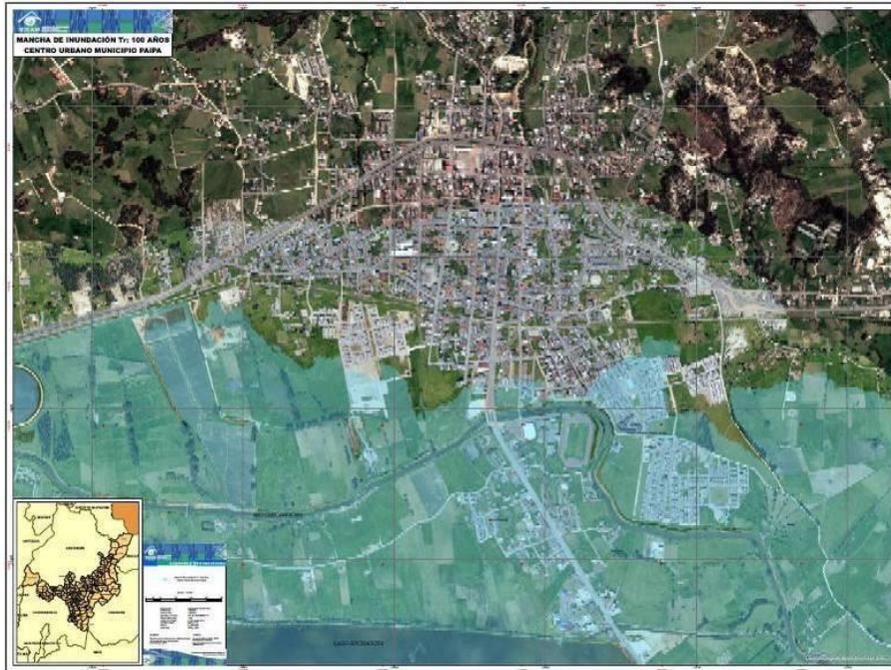


Figura 9-18. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Paipa - Tr=100 años

9.3.2 Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Fundación - Magdalena

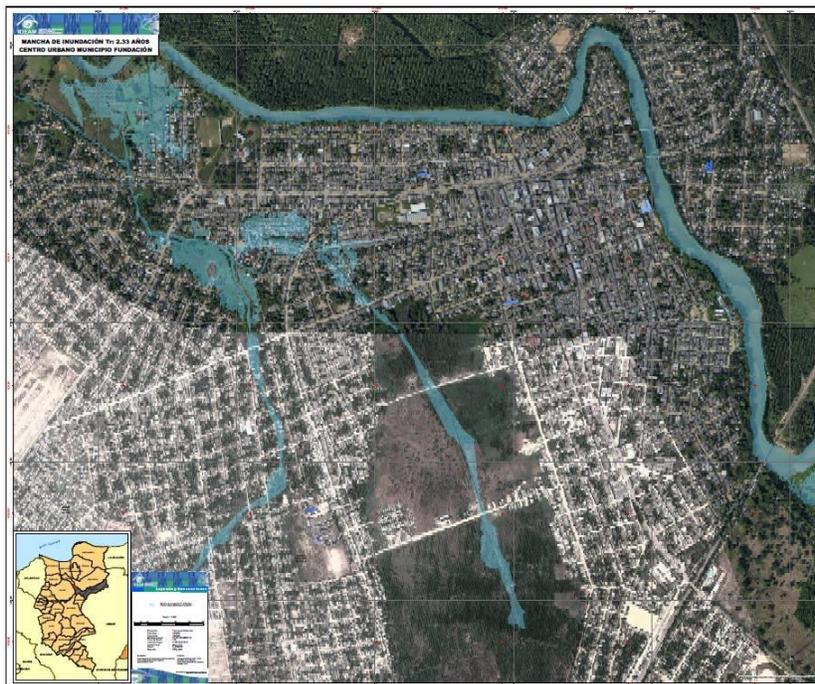


Figura 9-19. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Fundación - Tr=2.33 años

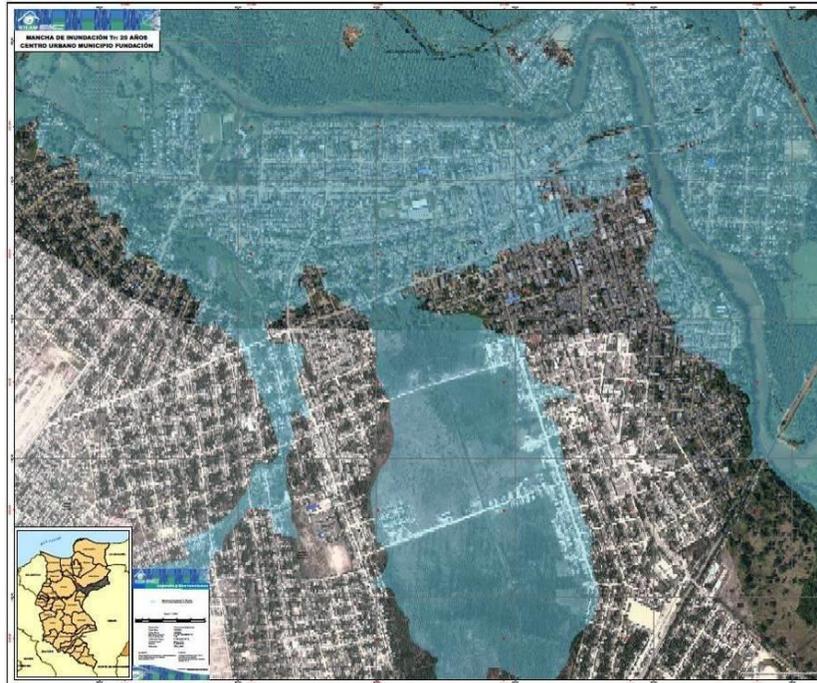


Figura 9-20. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Fundación - Tr=20 años

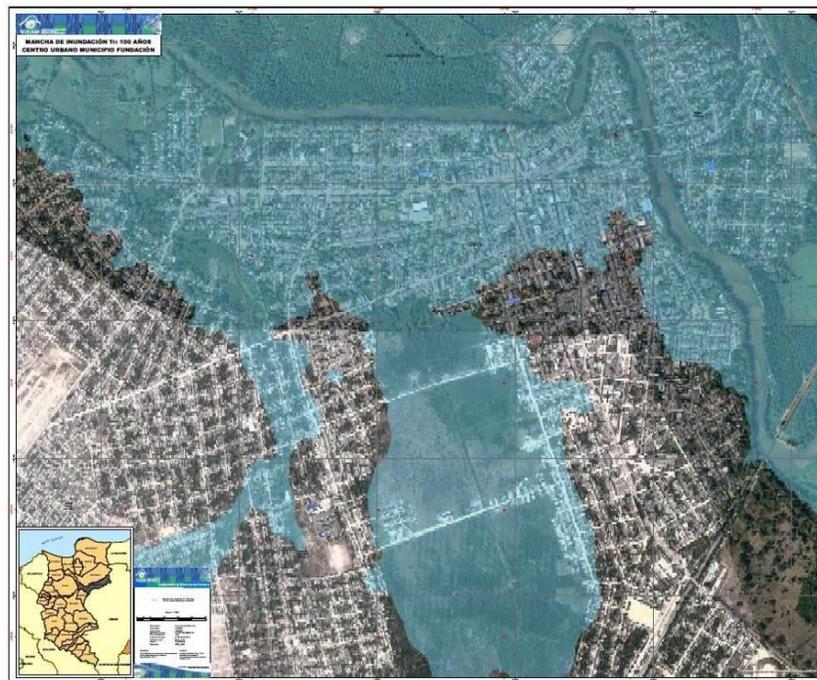


Figura 9-21. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Fundación - Tr=100 años

9.3.3 Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Girón - Santander.

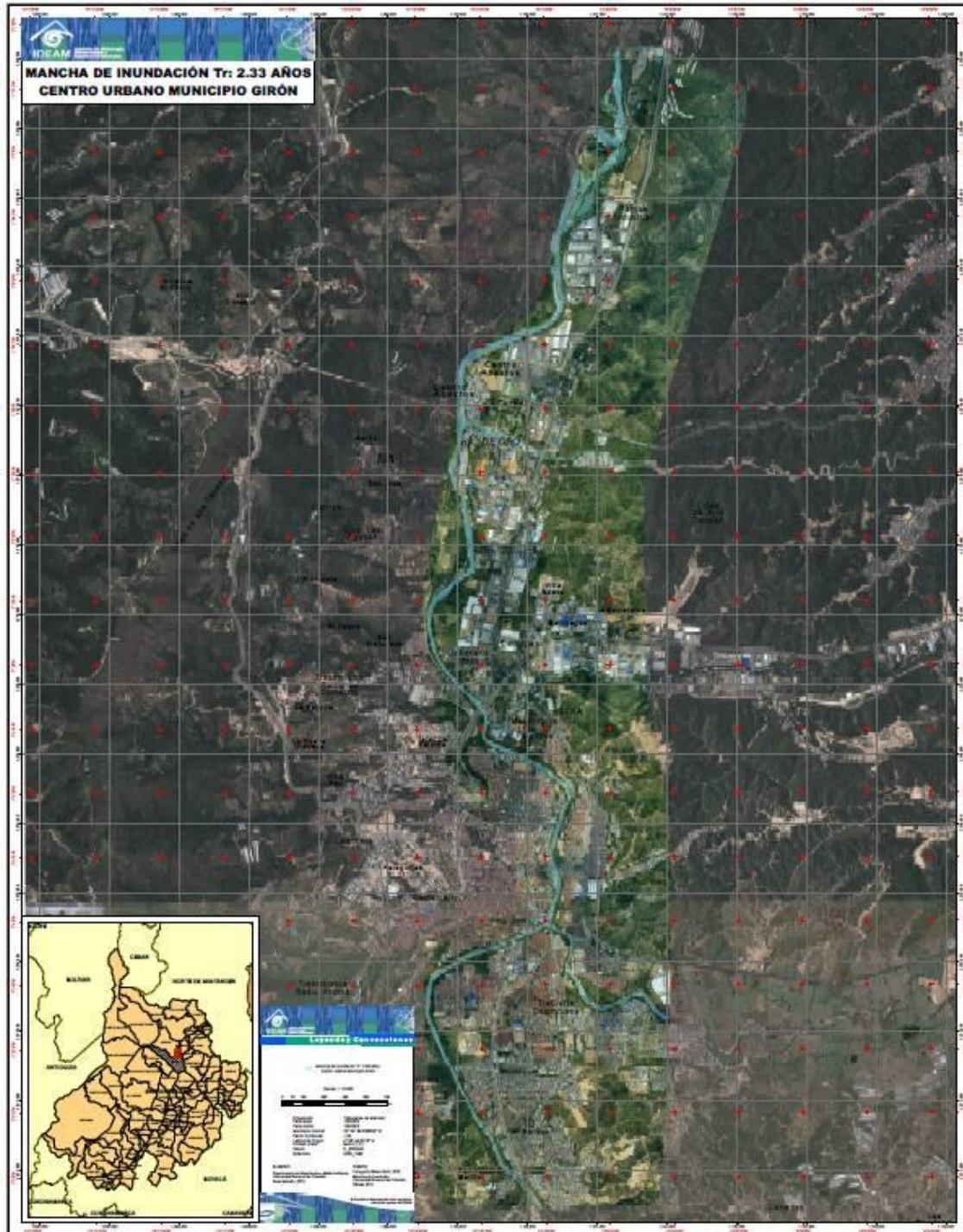


Figura 9-22. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Girón - Tr=2.33 años

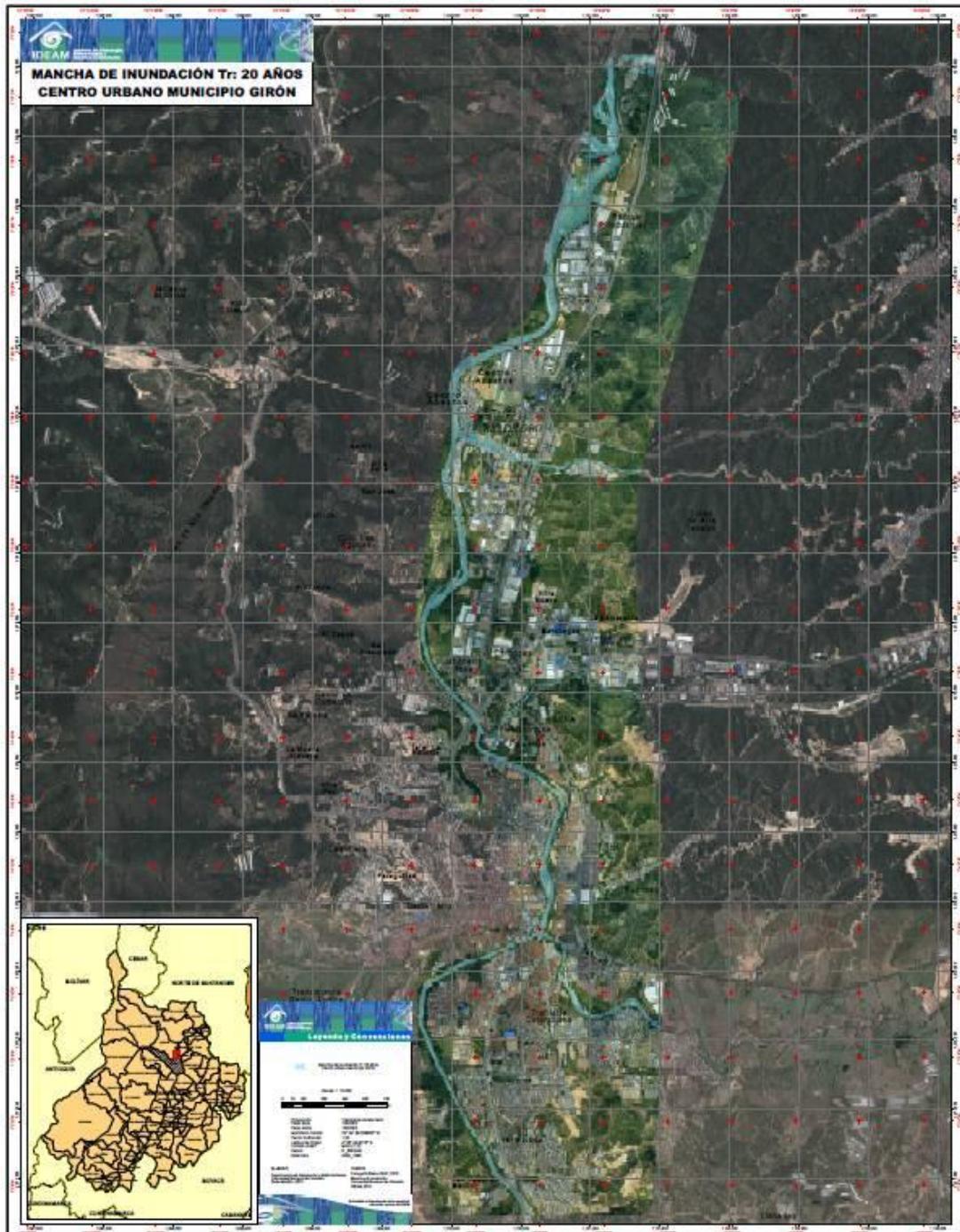


Figura 9-23. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Girón - Tr=20 años

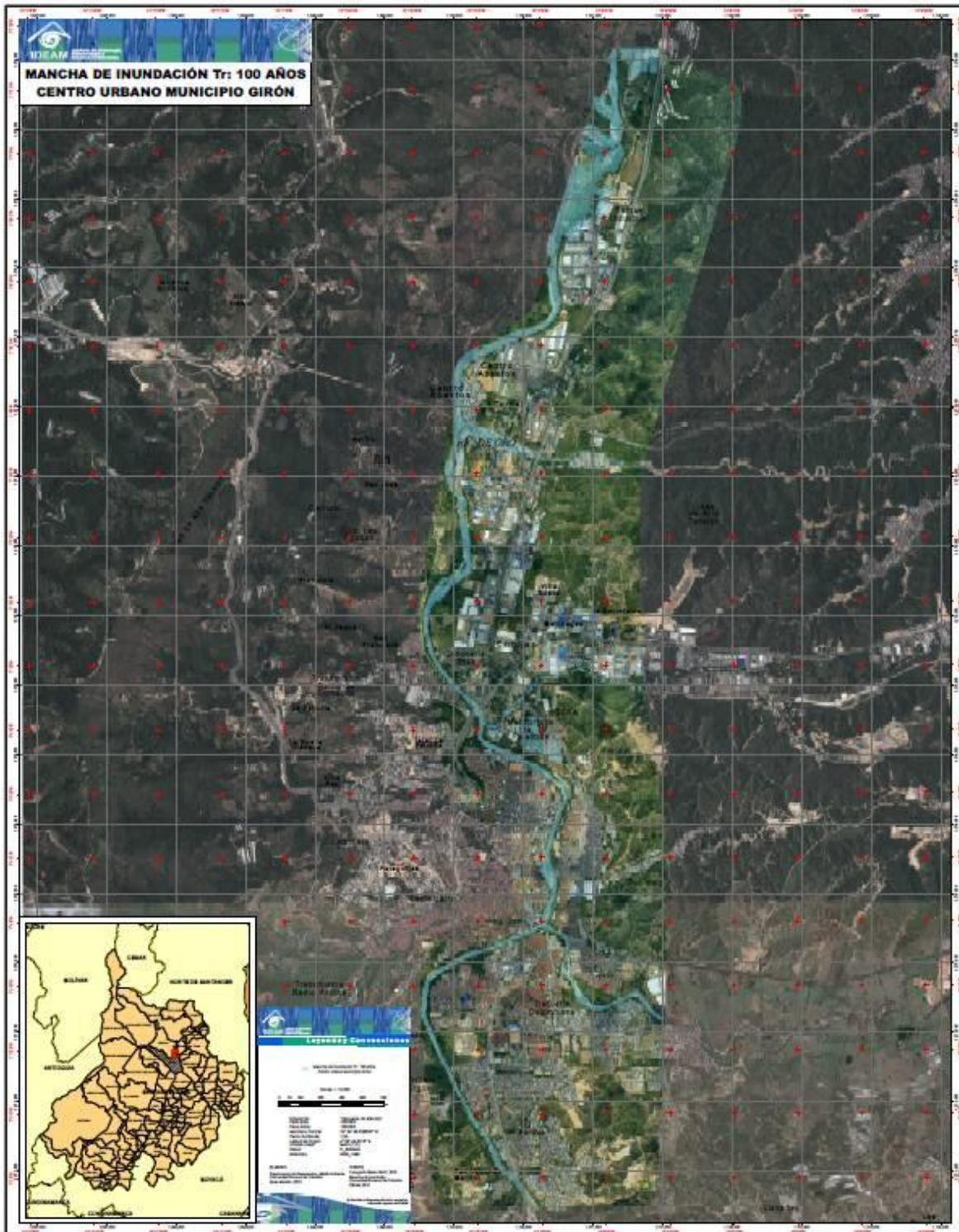


Figura 9-24. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Girón - Tr=100 años

9.3.4 Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Tuluá - Valle del Cauca



Figura 9-25. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Tuluá - Tr=2.33 años

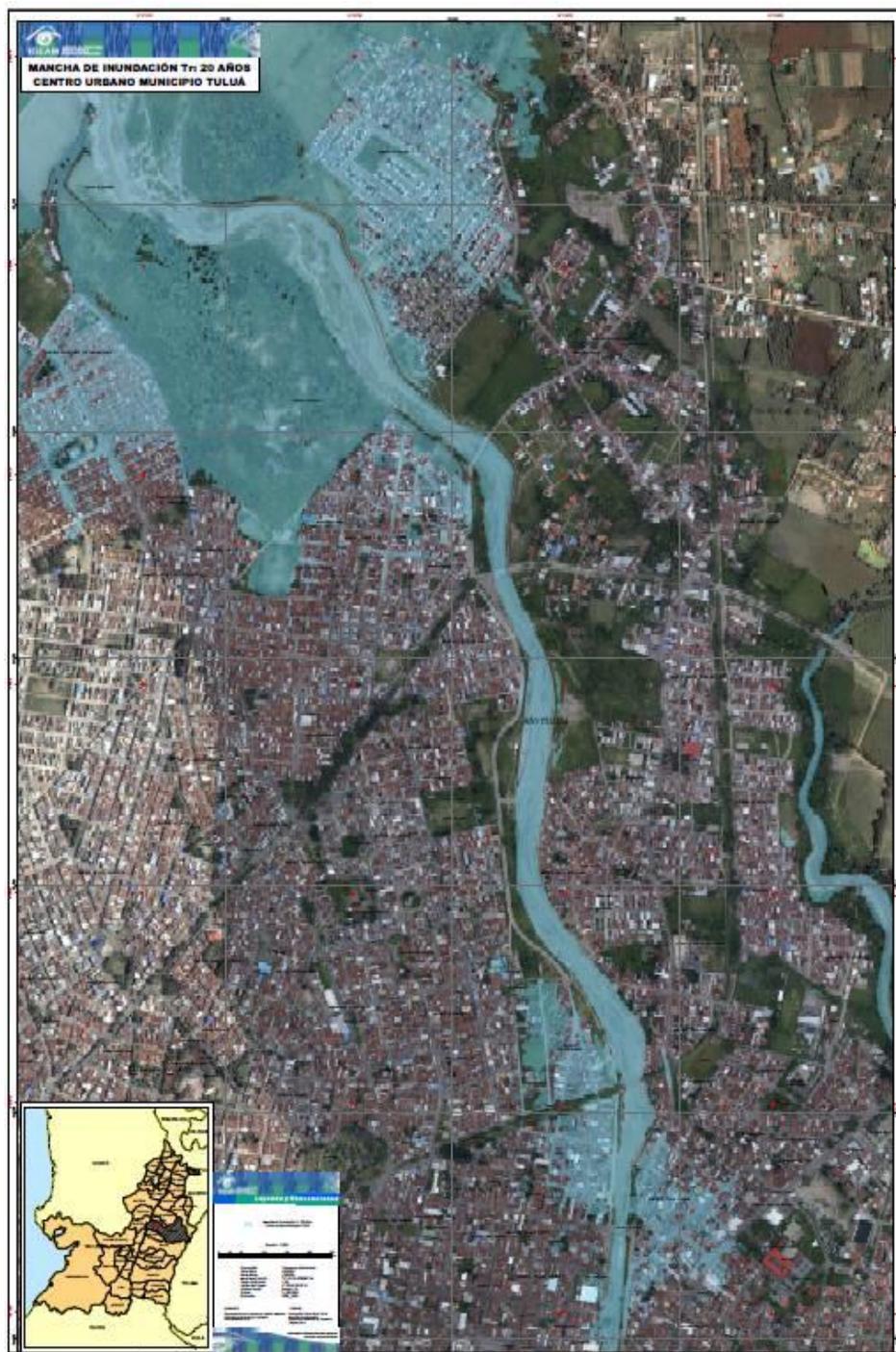


Figura 9-26. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Tuluá - Tr=20 años

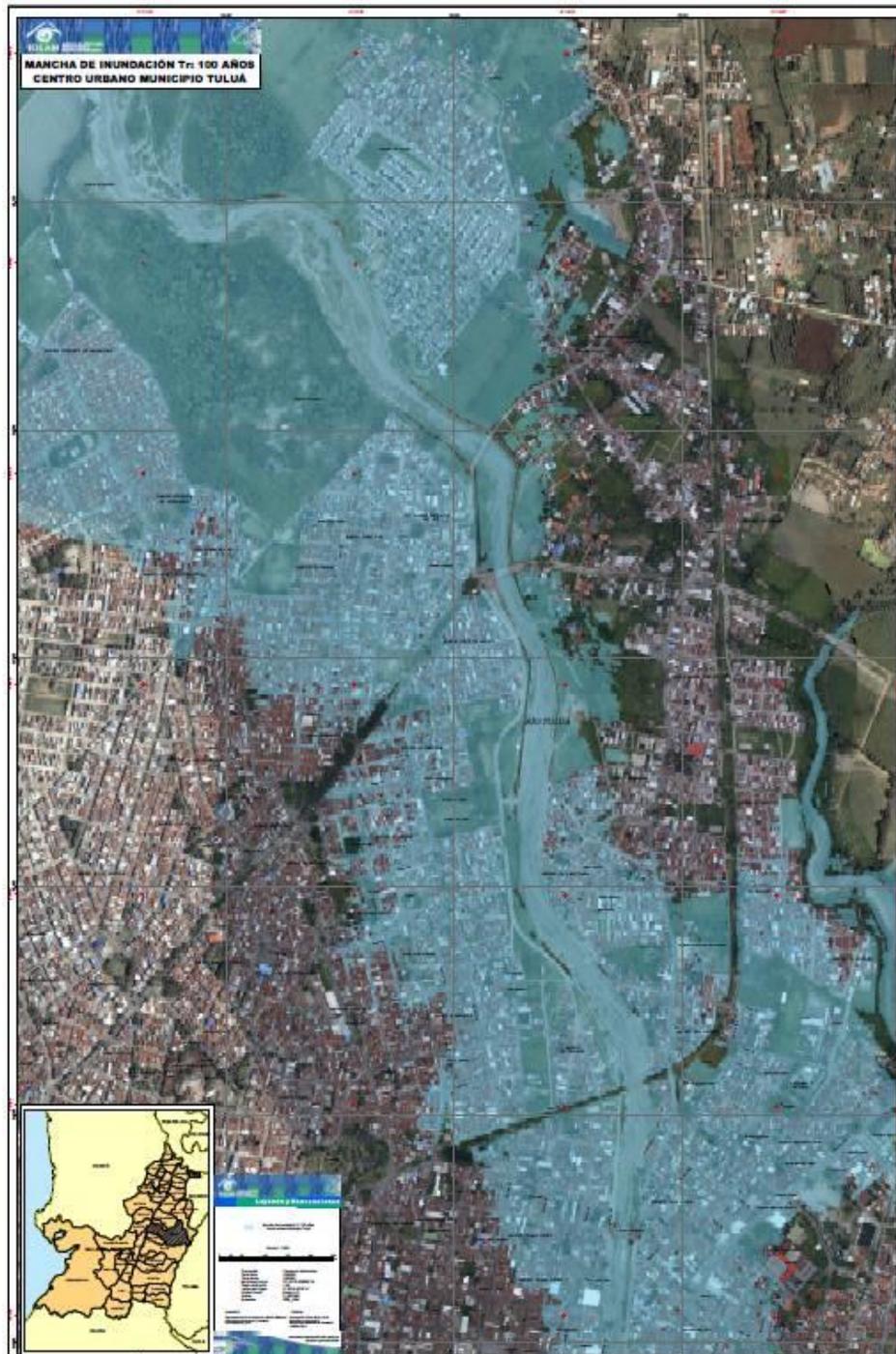


Figura 9-27. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Tuluá - Tr=100 años

9.3.5 Mapas de Inundación de la zona urbana del Municipio de Pitalito – Huila

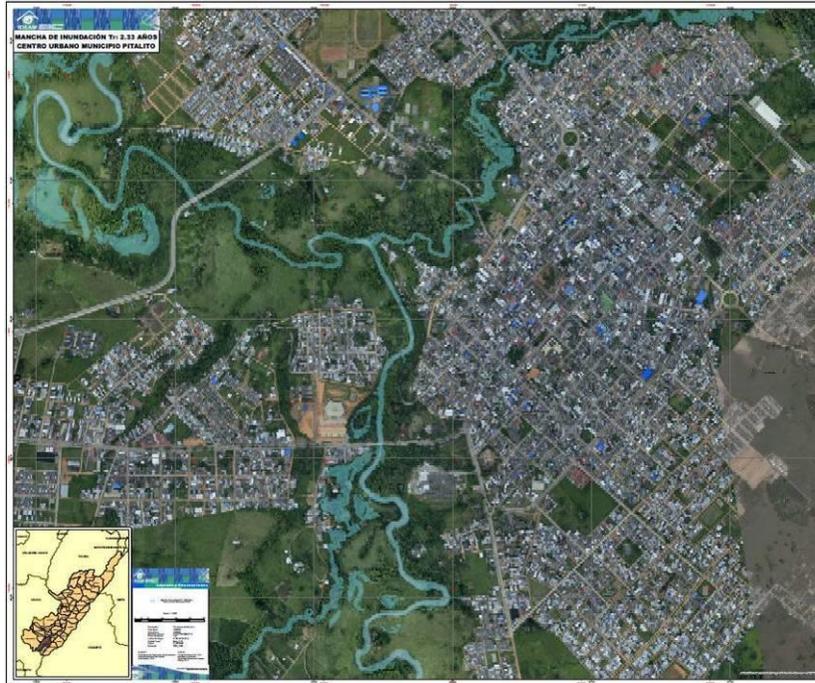


Figura 9-28. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Pitalito – Tr=2.33 años

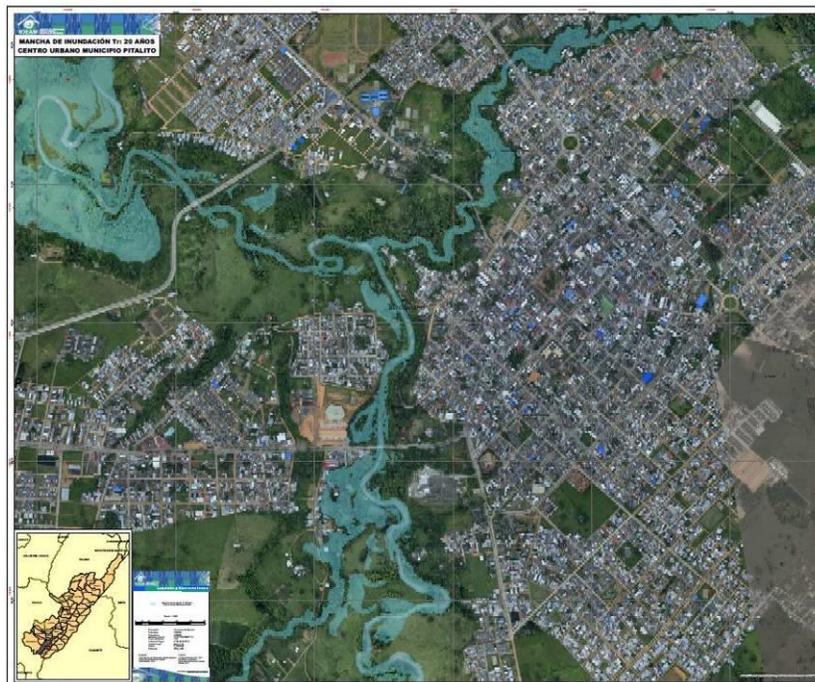


Figura 9-29. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Pitalito – Tr=20 años

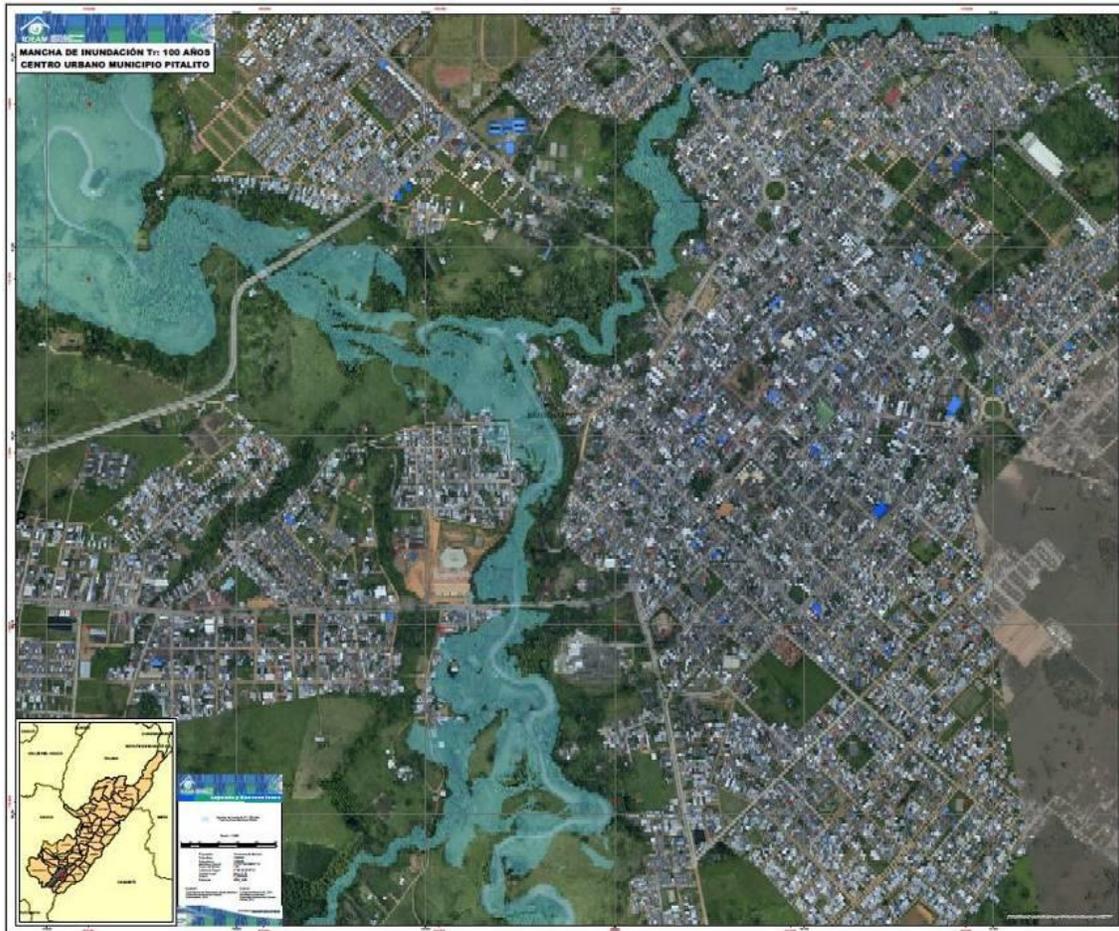


Figura 9-30. Mapa de Inundación zona urbana Municipio de Pitalito - Tr=100 años

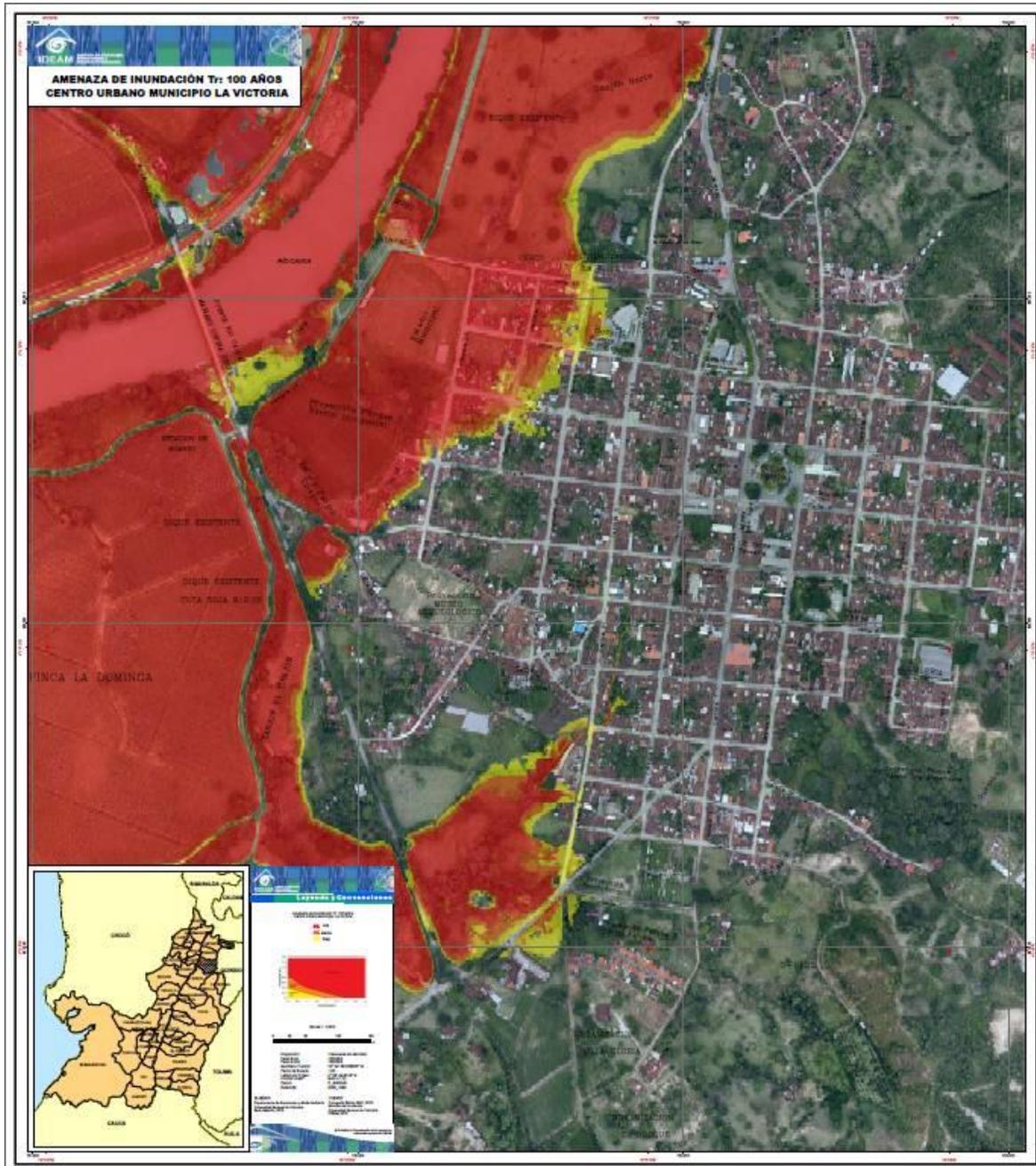


Figura 9-33. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de la Victoria - Tr=100 años

9.4.2 Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Plato – Magdalena



Figura 9-34. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Plato – Tr=2.33 años

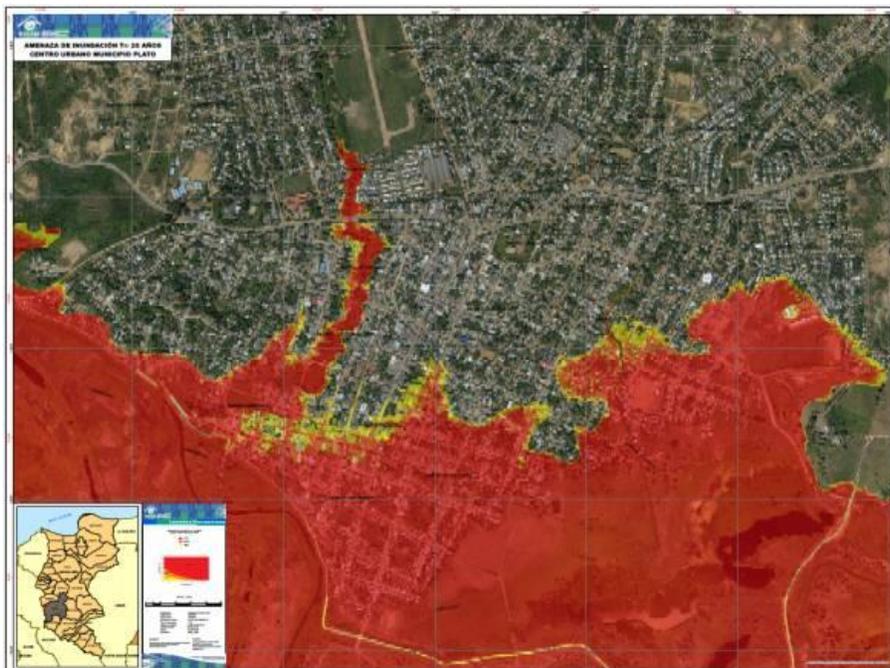


Figura 9-35. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Plato – Tr=20 años

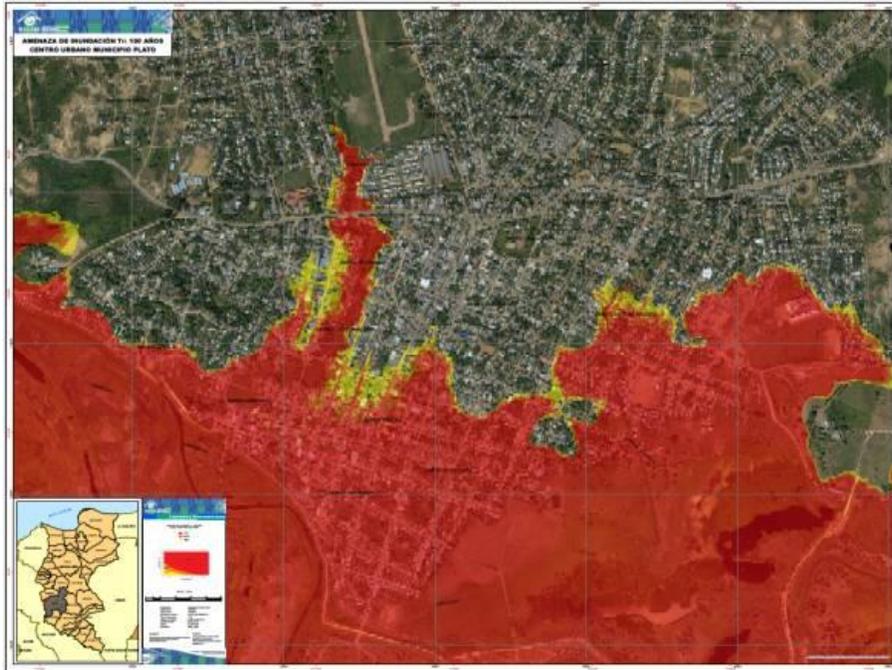


Figura 9-36. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Plato - $Tr=100$ años

9.4.3 Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Momil - Córdoba

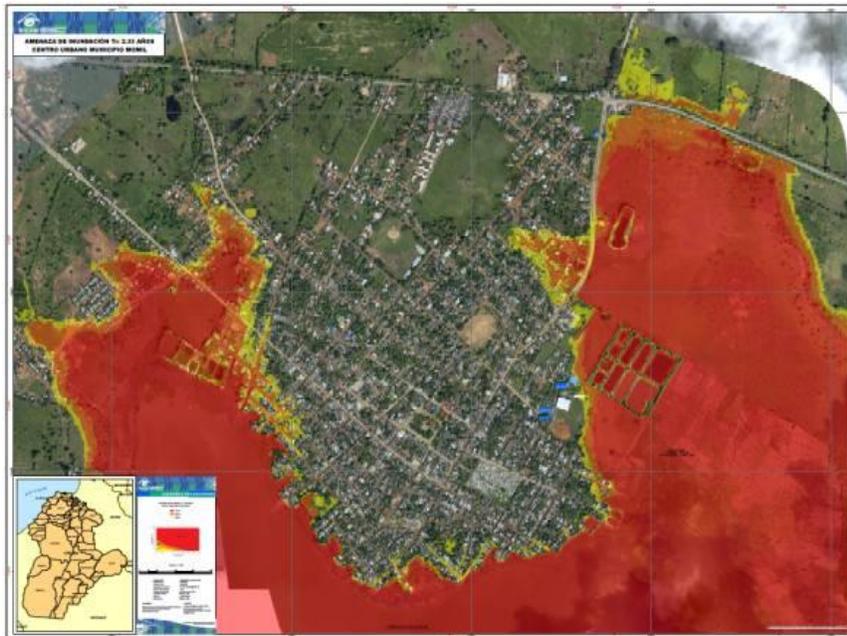


Figura 9-37. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Momil - $Tr=2.33$ años

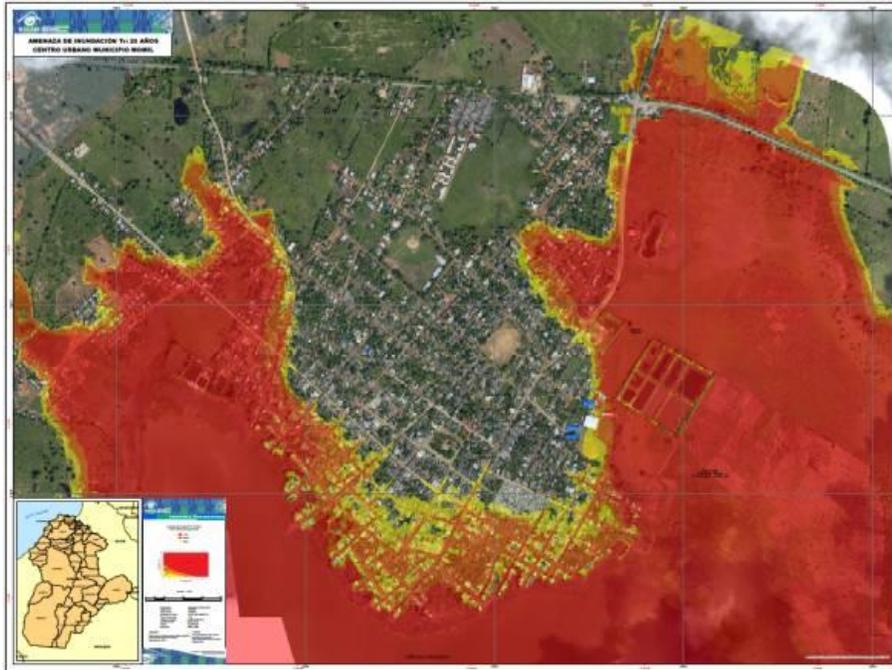


Figura 9-38. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Momil - Tr=20 años

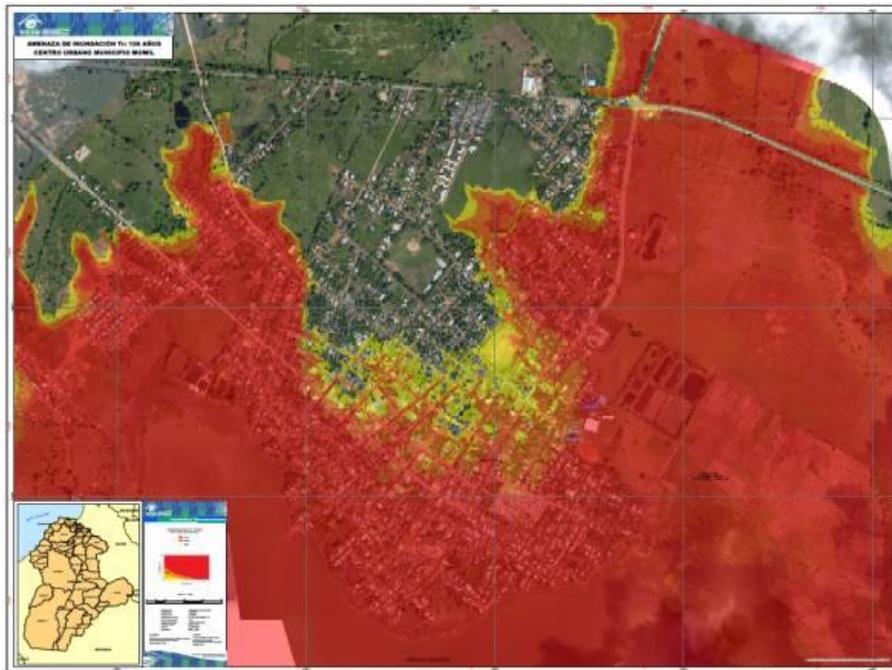


Figura 9-39. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Momil - Tr=100 años

9.4.4 Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de La Virginia - Risaralda



Figura 9-40. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de la Virginia - Tr=2.33 años

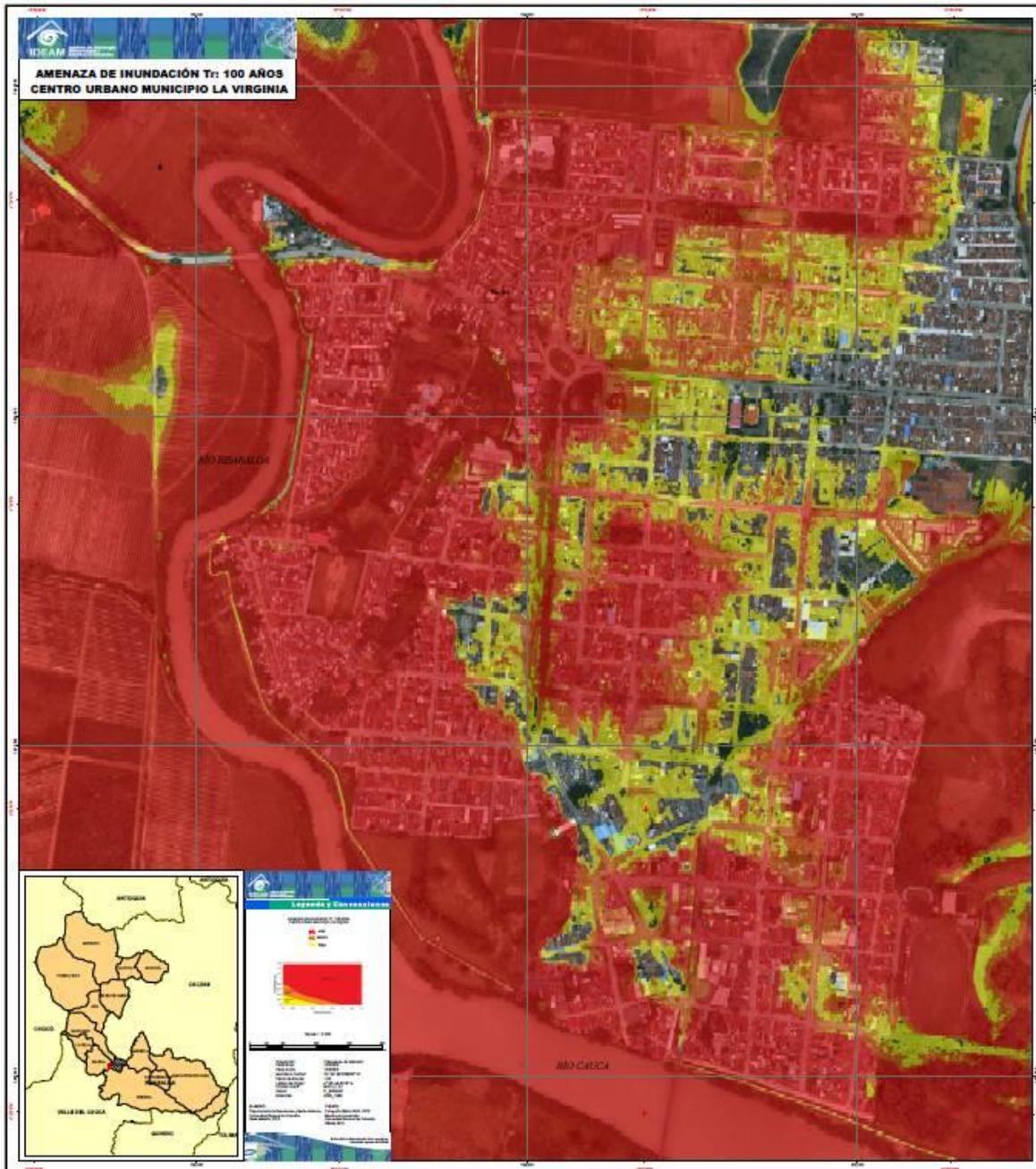


Figura 9-42. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de la Virginia - Tr=100 años

9.4.5 Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Puerto Boyacá – Boyacá

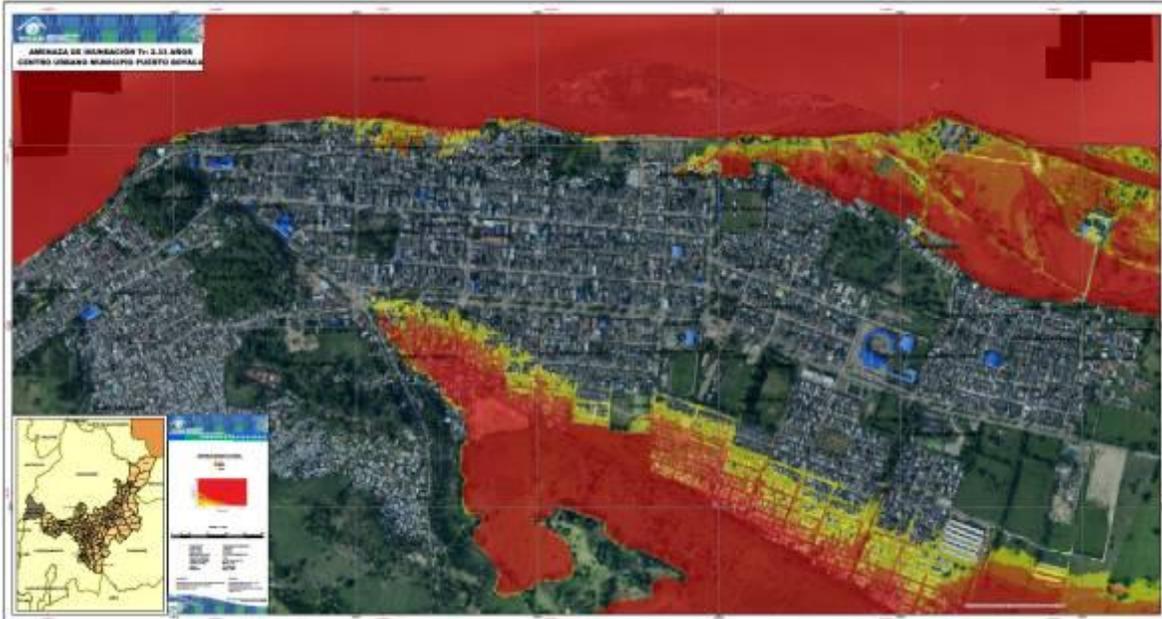


Figura 9-43. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Puerto Boyacá – Tr=2.33 años

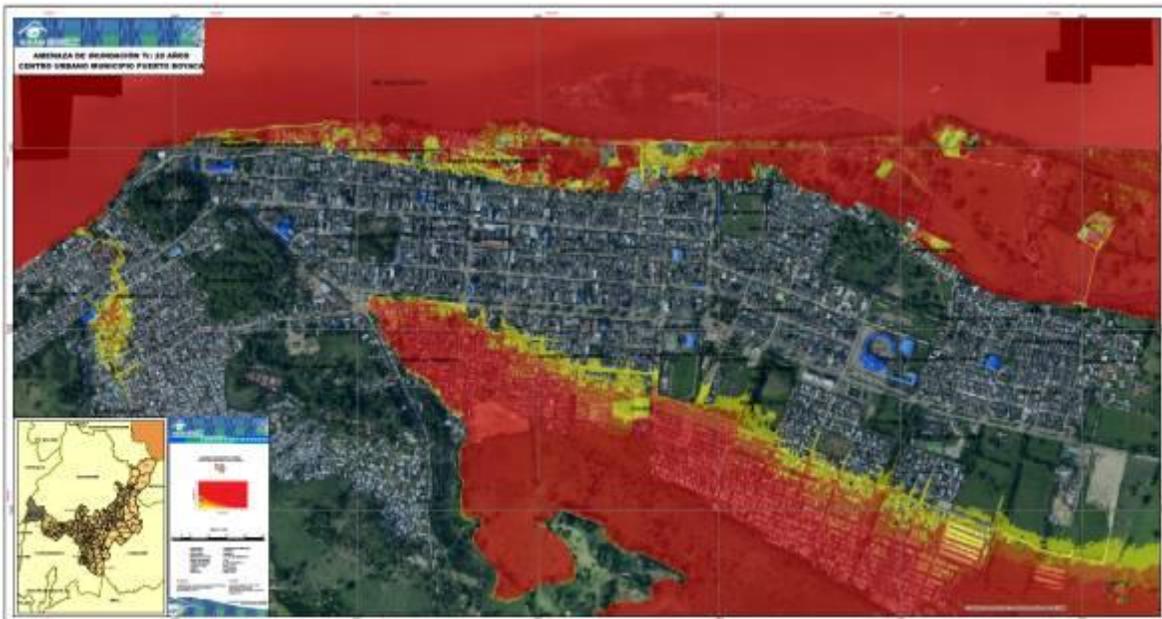


Figura 9-44. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Puerto Boyacá – Tr=20 años



Figura 9-45. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Puerto Boyacá - Tr=100 años

9.4.6 Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Paipa - Boyacá



Figura 9-46. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Paipa - Tr=2.33 años

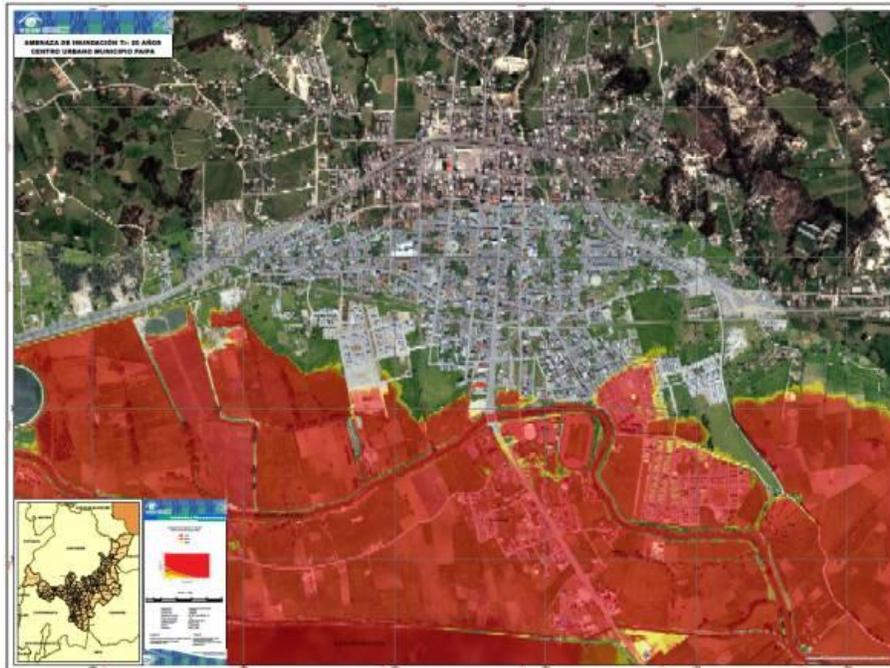


Figura 9-47. Mapa amenaza zona urbana Municipio de Paipa - Tr=20 años

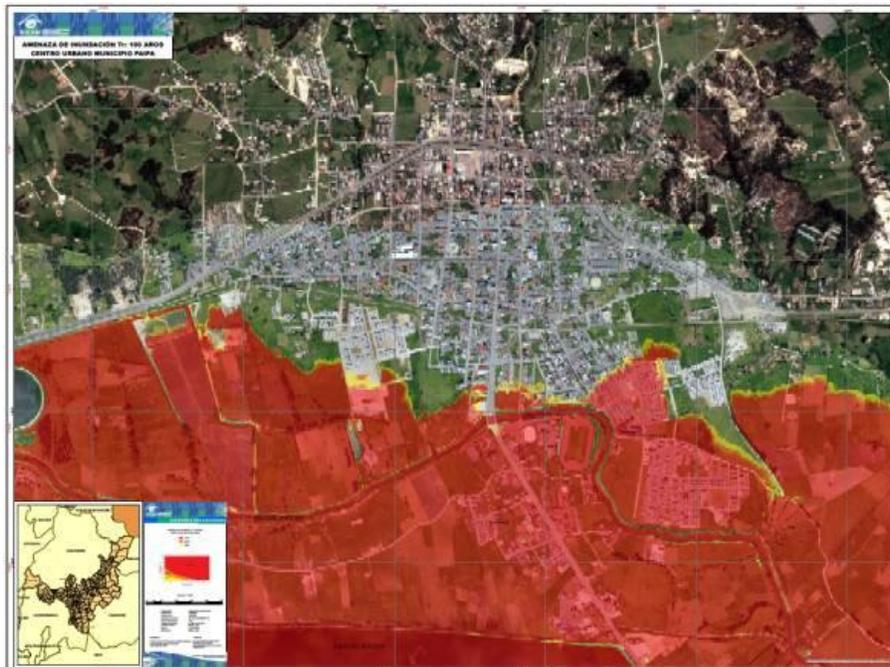


Figura 9-48. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Paipa - Tr=100 años

9.4.7 Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Fundación - Magdalena



Figura 9-49. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Fundación - $Tr=2.33$ años

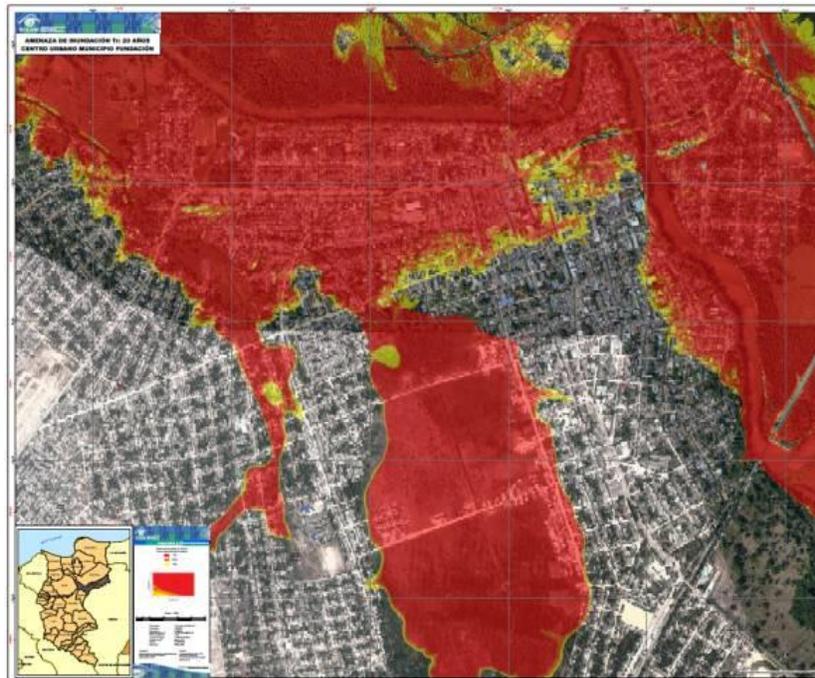


Figura 9-50. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Fundación - $Tr=20$ años

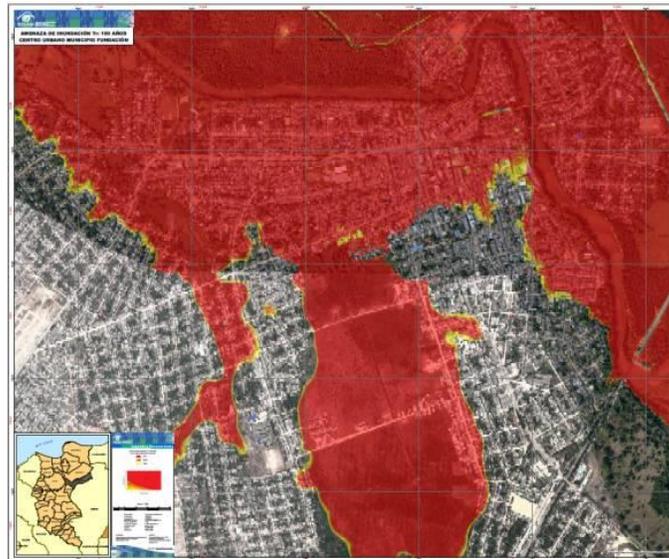


Figura 9-51. Mapa amenaza zona urbana Municipio de Fundación – $Tr=100$ años

9.4.8 Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Girón – Santander

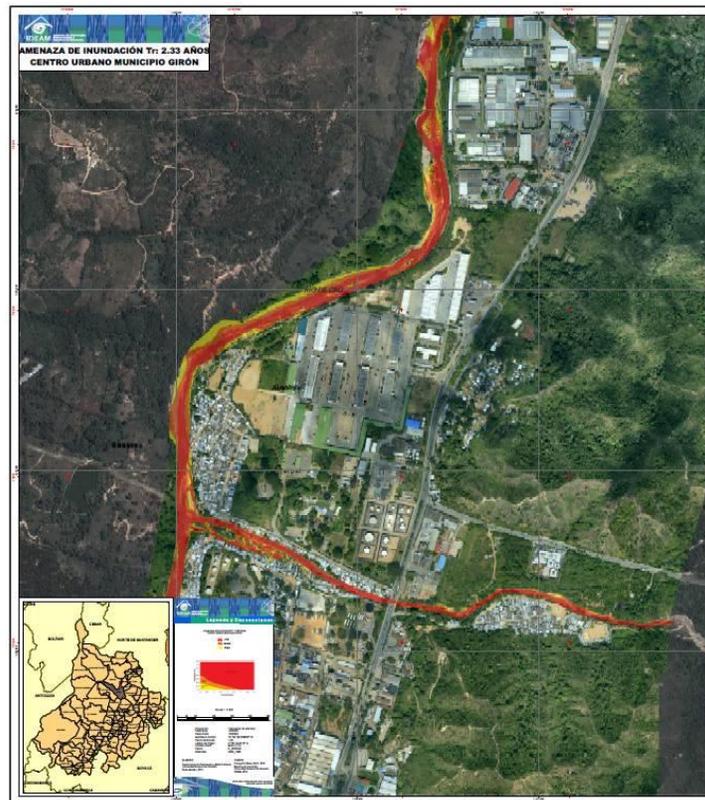


Figura 9-52. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Girón – $Tr=2.33$ años

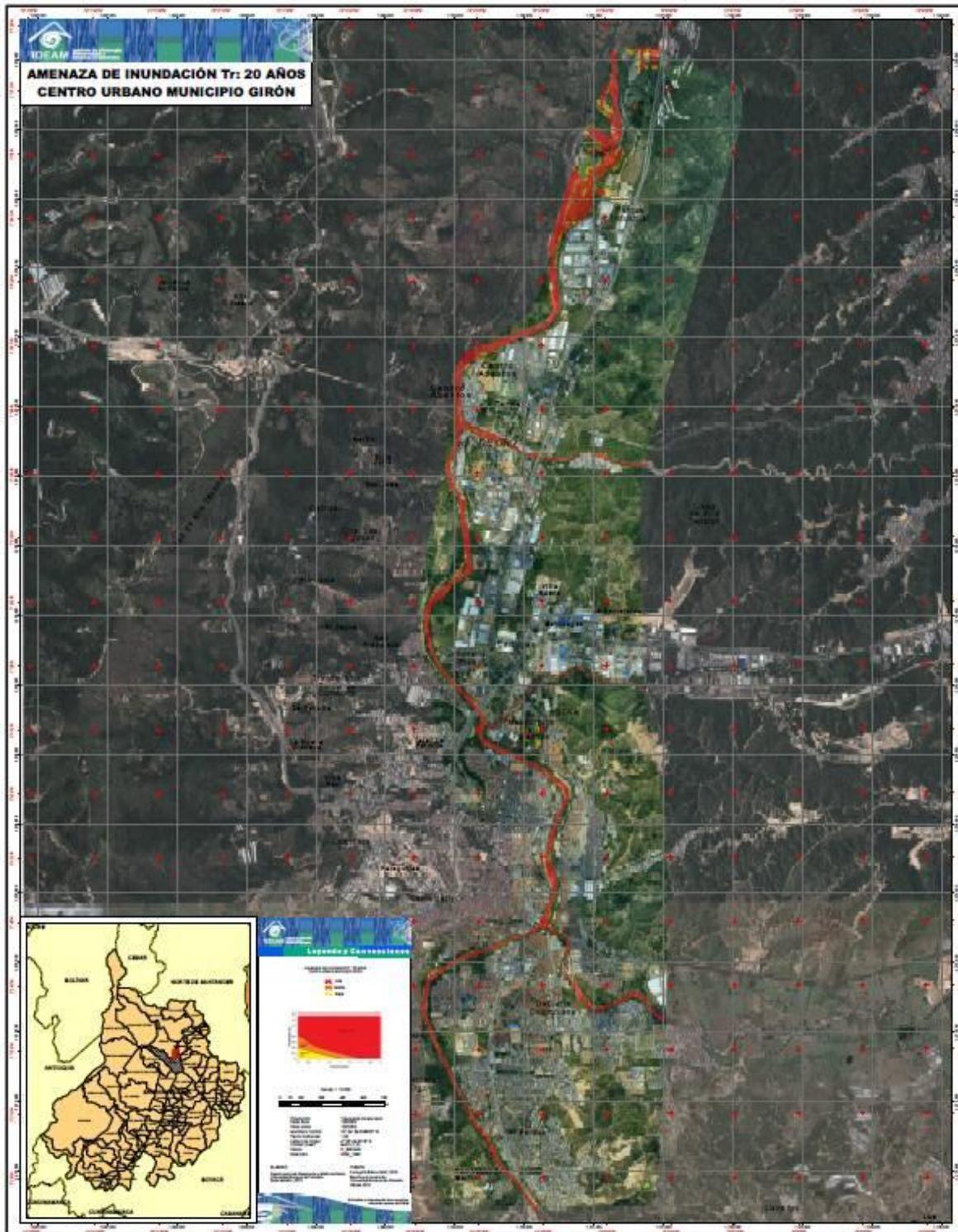


Figura 9-53. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Girón - Tr=20 años

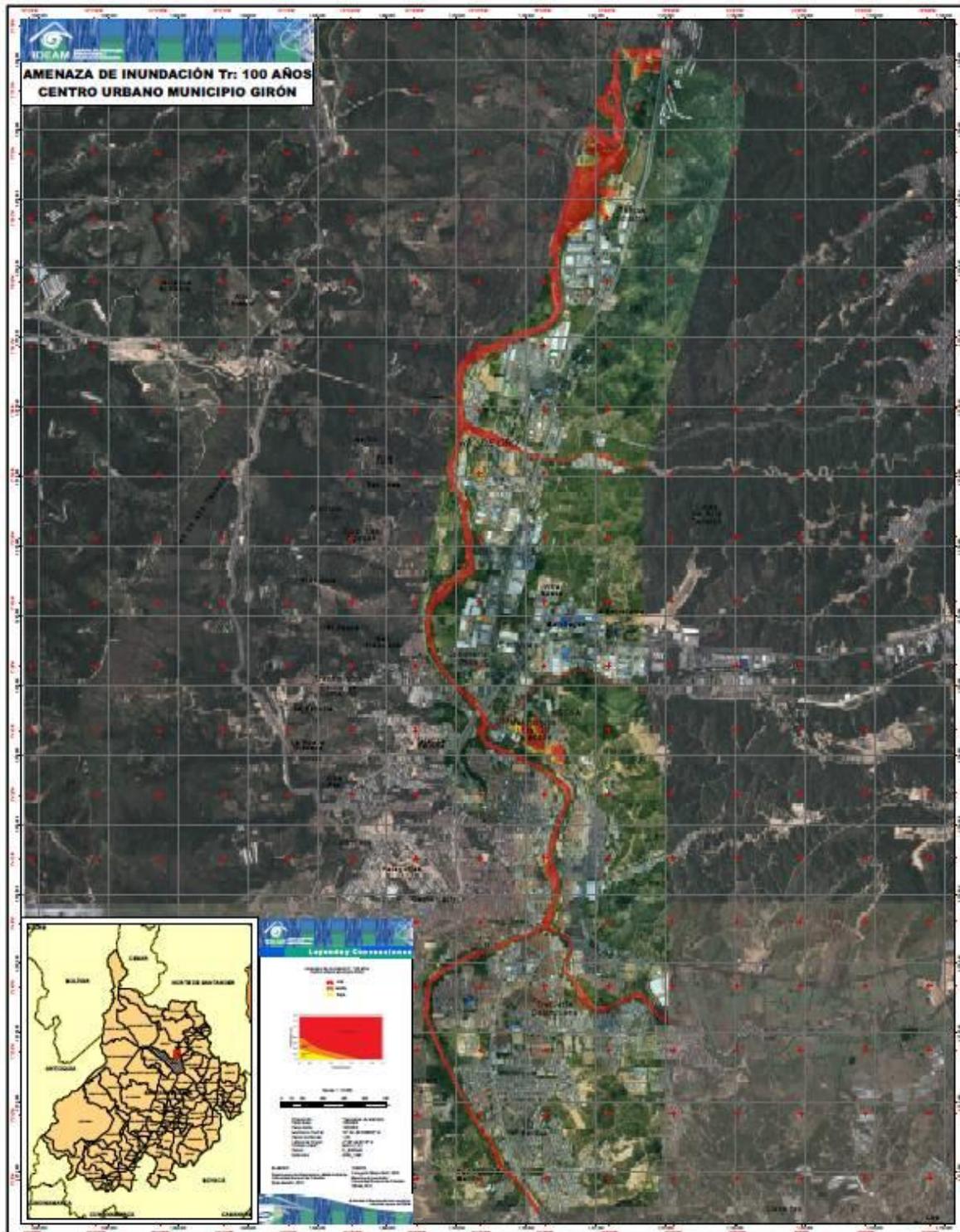


Figura 9-54. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Girón - Tr=100 años

9.4.9 Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Tuluá - Valle del Cauca



Figura 9-55. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Tuluá - Tr=2.33 años

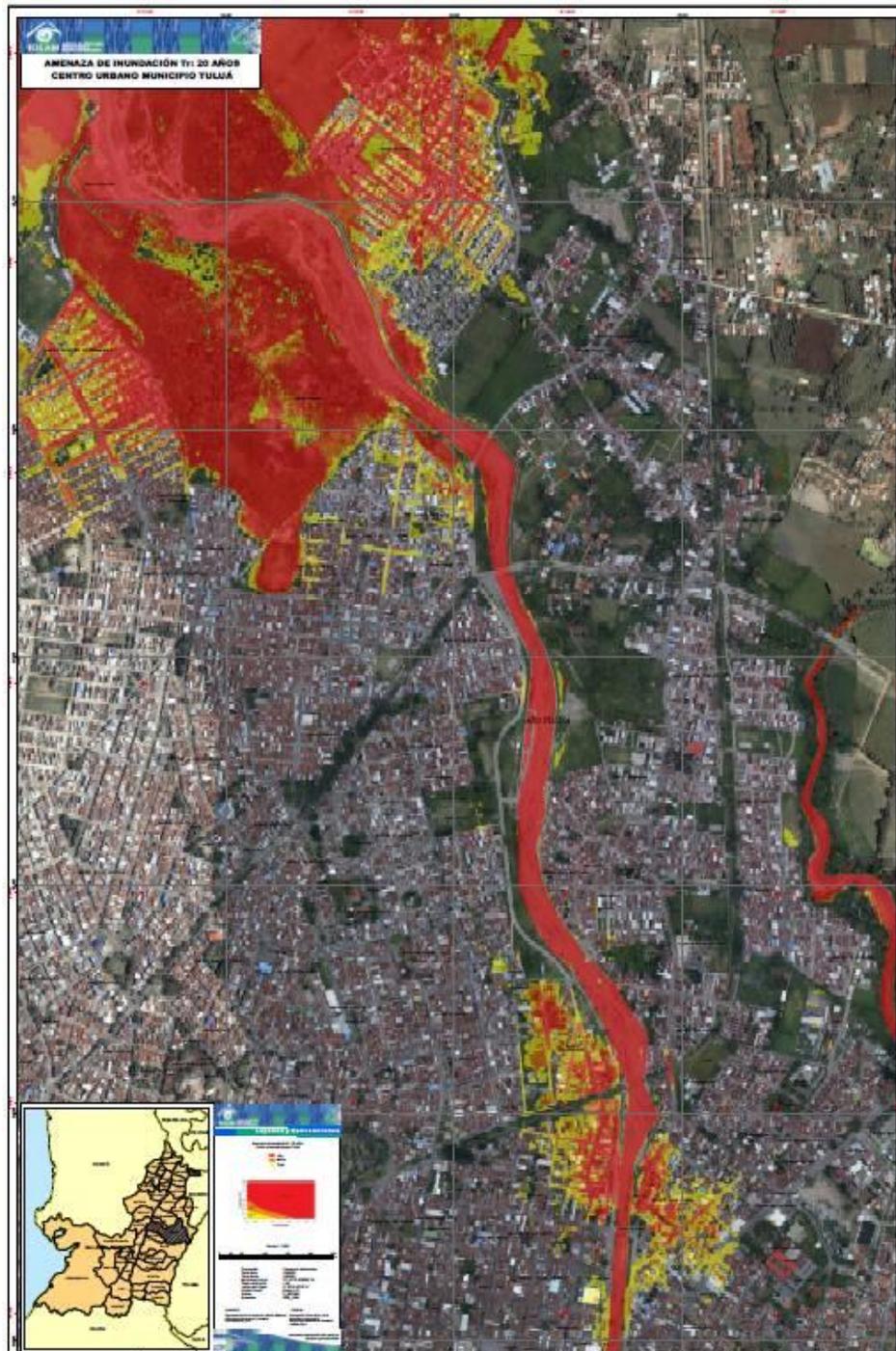


Figura 9-56. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Tuluá - Tr=20 años

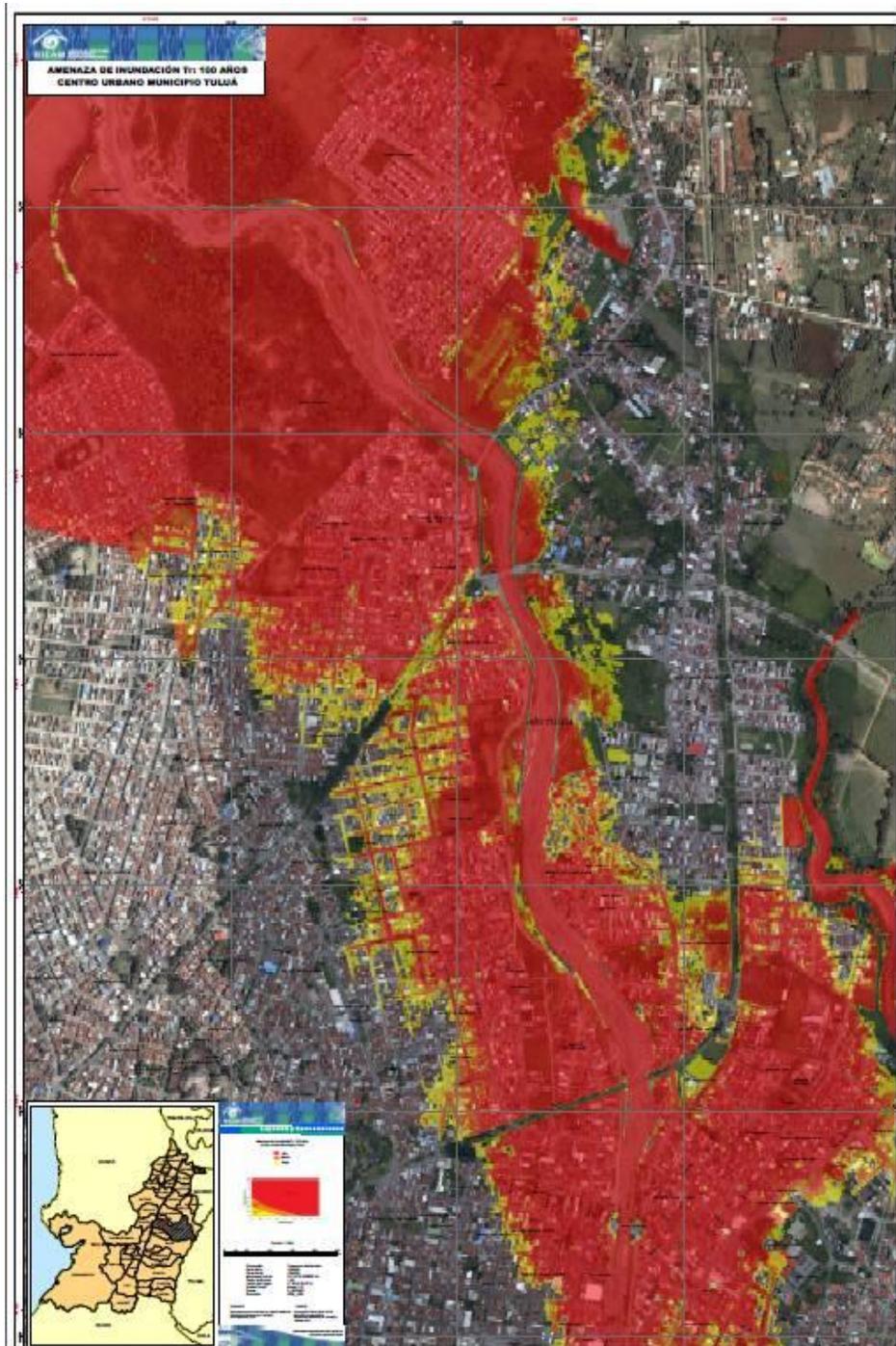


Figura 9-57. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Tuluá - Tr=100 años

9.4.10 Mapas de amenaza de la zona urbana del Municipio de Pitalito - Huila

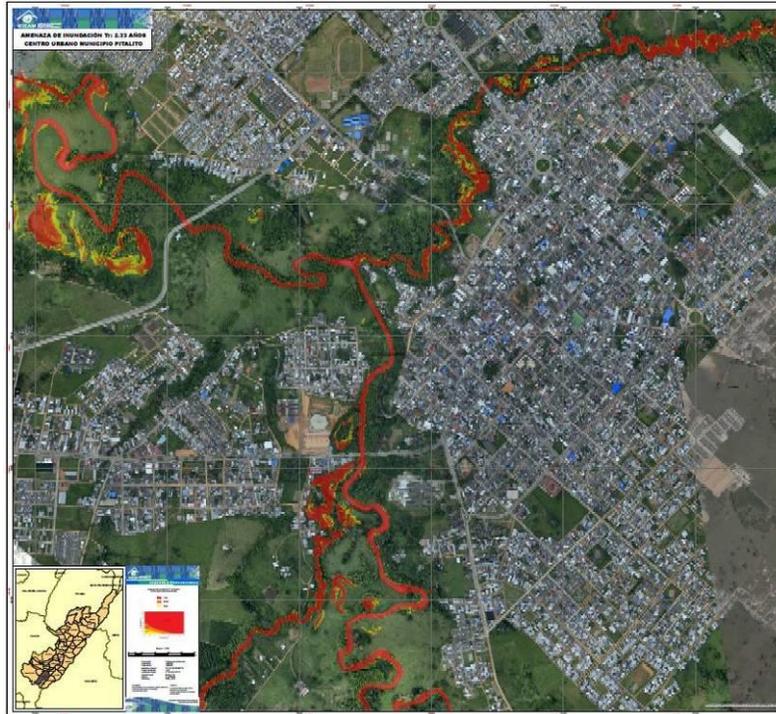


Figura 9-58. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Pitalito - $Tr=2.33$ años

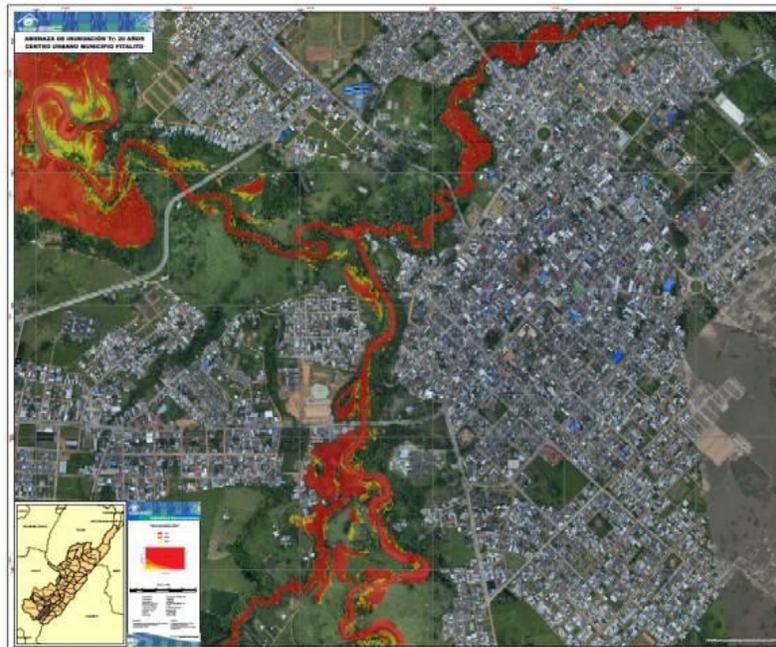


Figura 9-59. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Pitalito - $Tr=20$ años

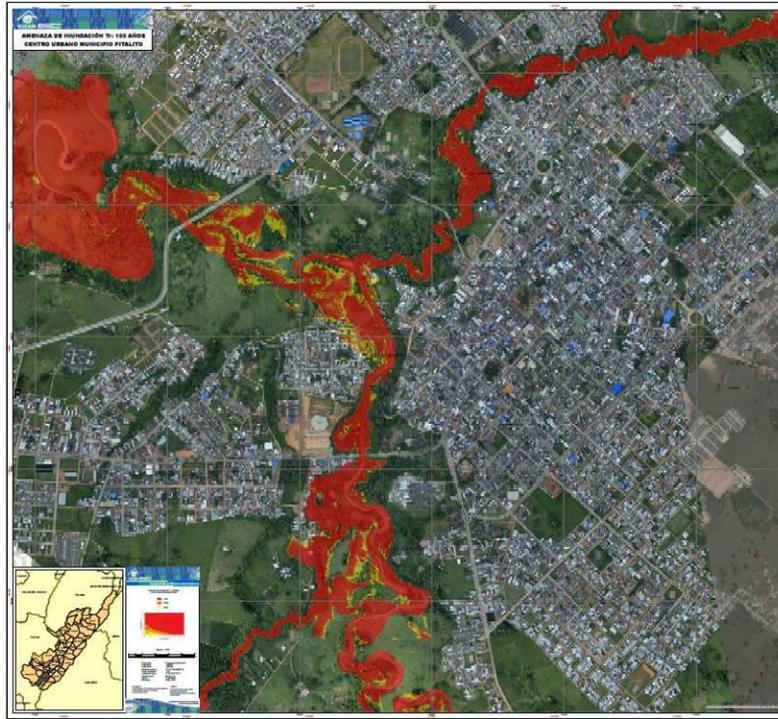


Figura 9-60. Mapa de amenaza zona urbana Municipio de Pitalito - Tr=100 años