

**EVALUACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIÓN EN
GIRÓN BAJO DIFERENTES HIPOTESIS DE DESARROLLO URBANO**

**GONZALO ANDRÉS PEÑA CASTELLANOS
JUAN DIEGO CALA RUEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2006

**EVALUACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIÓN EN
GIRÓN BAJO DIFERENTES HIPOTESIS DE DESARROLLO URBANO**

**GONZALO ANDRÉS PEÑA CASTELLANOS
JUAN DIEGO CALA RUEDA**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
JORGE ALBERTO GUZMAN JAIMES
Ingeniero Civil MSc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2006**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Noviembre de 2006.

A mis padres.
Gonzalo Andrés

A mamá.
A Valeria.
Juan Diego

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director, Ing. MSc Jorge Alberto Guzmán, por su respaldo incondicional.

Al ingeniero Ludwing Uribe, por su orientación en el desarrollo de esta investigación

Al grupo en predicción y Modelamiento hidroclimático (GPH), por suministrarnos el modelo del río y los hidrogramas NAM.

A las secretarías de planeación de los diferentes municipios del Área Metropolitana, por suministrarnos información correspondiente a los Planes de ordenamiento territorial.

Al DANE por suministrarnos las series de población de los censos

A nuestros amigos por su tolerancia y colaboración.

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIÓN EN GIRÓN BAJO DIFERENTES HIPOTESIS DE DESARROLLO URBANO:*

AUTORES:

Gonzalo Andrés Peña Castellanos
Juan Diego Cala Rueda.**

PALABRAS CLAVES:

Cuenca Río de Oro, Desarrollo Urbano, Uso del Suelo, Modelo hidrológico, Modelo hidráulico, Flujo no permanente, Espacialización.

DESCRIPCION:

En la presente investigación se estudia la respuesta hidrológica de la cuenca del Río de Oro ante eventos similares al ocurrido durante el periodo del 9 al 12 de Febrero de 2005 y ante cambios en el uso del suelo. Además, se analiza la respuesta hidráulica de las estructuras de mitigación de inundaciones en función de la respuesta hidrológica simulada.

La investigación se inicia con un análisis de población según los censos hechos por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) hasta 2005. A partir de esta información, se lleva a cabo una proyección de población del área metropolitana de Bucaramanga en los siguientes 30 años partiendo de 2006. Además, Con ayuda de los registros cartográficos de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), se plantean algunas hipótesis de desarrollo urbano. Sobre el desarrollo urbano se evalúa el cambio en los coeficientes de escorrentía promedios para seis subcuencas que conforman sobre el río de Oro. Además, se hace un estudio de posibles distribuciones en el espacio con el evento de precipitación ocurrido en la cuenca del río de Oro en Febrero de 2005. Finalmente, se seleccionan las más representativas de las diferentes hipótesis agrupándolas en tres escenarios. Con estos escenarios y con un modelo hidráulico del río de Oro en el software HEC-RAS 3.1.3. se lleva a cabo un análisis se la competencia de los muros construidos en los sectores de Arenales, Parque Gallineral, Malecón y Poblado para detener las inundaciones ante posibles eventos futuros.

Se puede concluir que el desarrollo urbano en la cuenca del río de Oro, por sí solo, no representa un peligro para el casco urbano de Girón, no obstante, ante eventos de magnitud similar con diferente distribución en el espacio se podrían llegar a presentar problemas de rebosamientos de las estructuras de mitigación.

* Proyecto de Grado

** Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas.
Ing. MSc. Jorge Alberto Guzmán Jaimes.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE FLOOD CONTROL STRUCTURES IN THE CITY OF GIRÓN UNDER HYPOTHESES OF URBAN DEVELOPMENT.*

AUTHORS:

Gonzalo Andrés Peña Castellanos
Juan Diego Cala Rueda.**

KEY WORDS:

Río de Oro Catchment, Urban Development, Soil Use, Hydrological Model, Hydraulic Model, Unsteady Flow, Spatialization .

DESCRIPTION:

The current investigation studies the hydrological response of the “Río de Oro” watershed, withstanding similar events to the ones occurred during the 9th to the 12th of February of 2005 and introducing the impact of land-use change. Furthermore, the hydraulic response of the flood control structures is analyzed according to the simulated hydrological response.

The research begins with a population data analysis according to the census made by the National Statistics Department (DANE), registered until the year 2005. With this information, an estimate of the population located in the Metropolitan area of Bucaramanga is made for the next 30 years beginning in 2006. This, along with the cartographic records located in the Land-Use Planning Policies (POT), a series of urban development hypotheses are proposed. The change in the average runoff coefficient is evaluated for 6 different basins located in the Rio de Oro watershed. Also, a series of different spatial distributions of the event occurred in February 2005 are established. Finally, the most representative hypotheses are selected and grouped into three different scenarios. A hydraulic model of the Rio de Oro River is then simulated for each scenario with the help of HEC-RAS 3.1.3, and the response of the different flood control structures along the sectors of Arenales, Gallineral Park, Malecón and Poblado, is evaluated.

It can be concluded that urban development by itself in the Rio de Oro watershed, does not represent a latent danger in the urban area of *Girón*.. However, similar duration and intensity events with different spatial distribution could cause the failure of the flood control structures.

* Thesis Project

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering
Director: Jorge Alberto Guzman Jaimes.

TABLA DE CONTENIDO

OBJETIVOS	1
OBJETIVO GENERAL	1
OBJETIVOS ESPECIFICOS	1
INTRODUCCIÓN	2
1. ASPECTOS GENERALES	4
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	4
1.2 INFORMACIÓN ESTADÍSTICA POBLACIONAL	6
1.3 INFORMACIÓN PLANIMÉTRICA Y TOPOGRÁFICA	7
1.4 INFORMACIÓN METEOREOLÓGICA	8
1.5 DESCRIPCIÓN DEL EVENTO – FEBRERO 2005	9
1.5.1 <i>PRECIPITACIÓN DEL EVENTO</i>	10
1.5.2 <i>HIDROGRAMAS DE RESPUESTA</i>	12
1.6 METODOLOGÍA	14
2. DESARROLLO URBANO	15
2.1 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN ESTADÍSTICA	16
2.2 PROYECCIONES POBLACIONALES	17
2.3 CONFRONTACIÓN DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA POBLACIONAL Y PLANIMÉTRICA	20
(i) Suelo Urbano	22
(ii) Suelo de Expansión Urbana	22
(iii) Suelo Suburbano	22
2.4 DEFINICIÓN DE HIPÓTESIS DE DESARROLLO URBANO	23
2.4.1 <i>HIPÓTESIS 1</i>	25
2.4.2 <i>HIPÓTESIS 2</i>	29
2.4.3 <i>HIPÓTESIS 3</i>	32
2.5 COMPARACIÓN DE HIPÓTESIS	34
3. ASPECTOS HIDROLÓGICOS	35
3.1 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	35
3.1.1 <i>COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA A PARTIR DE CARTOGRAFÍA</i>	36
3.1.2 <i>VARIACIÓN DE COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA</i>	39
3.1.3 <i>COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA A PARTIR DE HIDROGRAMAS</i>	43

(i)	SEPARACIÓN DE FLUJO BASE.....	43
(ii)	Resultados.....	44
(iii)	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	46
3.2	ESPACIALIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.....	47
3.2.1	MÉTODO DE KRIGING.....	48
3.2.2	ESPACIALIZACIÓN EVENTO FEBRERO 2005.....	48
3.2.3	CAMBIO DE ESPACIALIZACION.....	49
3.2.4	ESPACIALIZACIÓN DE EVENTOS MÁXIMOS.....	50
3.3	ESTIMACIÓN DE HIDROGRAMAS DE RESPUESTA.....	51
3.3.1	MODELO NAM.....	52
3.3.2	EL MÉTODO RACIONAL.....	53
(i)	ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE ALFA:.....	53
3.4	HIDROGRAMAS DE RESPUESTA.....	55
3.4.1	ESCENARIO UNO.....	56
3.4.2	ESCENARIO DOS - TRES.....	57
4.	MODELACIÓN DEL RIO DE ORO.....	58
4.1	SOFTWARE HEC – RAS.....	58
4.2	PARÁMETROS DE ENTRADA DEL MODELO EN HEC-RAS.....	59
4.3	GEOMETRÍA, COEFICIENTES DE RUGOSIDAD Y CONDICIONES INICIALES.....	60
4.4	HIDROGRAMAS DE LAS SUBCUENCAS.....	62
4.5	MODELACIÓN HIDRÁULICA DE HIPÓTESIS.....	62
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	64
5.1	ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE NIVELES EN MUROS.....	64
5.2	VARIACIÓN DE NIVELES EN PUENTES.....	70
6.	CONCLUSIONES.....	73
7.	RECOMENDACIONES.....	75
8.	BIBLIOGRAFIA.....	76
9.	ANEXOS.....	78
9.1	DATOS ORIGINALES DE POBLACIÓN ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA – FUENTE DANE.....	78
9.2	VALOR COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA.....	80
9.3	VARIABLES HIDROLÓGICAS REGISTRADAS.....	81
9.4	VARIABLES HIDROLÓGICAS PROMEDIO POR SUBCUENCA.....	86
9.5	PRECIPITACIÓN PROMEDIO ESPACIALIZADA - COMBINATORIA.....	94
9.6	COMBINACIONES ESPACIALIZADAS.....	96
9.7	ESTRUCTURA DEL MODELO NAM.....	98

9.7.1	<i>Almacenamiento superficial U</i>	99
9.7.2	<i>Almacenamiento inferior o zona de raíces L</i>	99
9.7.3	<i>Aporte de flujo subsuperficial QIF</i>	100
9.7.4	<i>Flujo superficial QOF</i>	101
9.7.5	<i>Evapotranspiración actual Ea</i>	102
9.7.6	<i>Infiltración en la zona de raíces DL</i>	102
9.7.7	<i>Salida resultante de la unión del flujo superficial y subsuperficial QR1</i>	103
9.7.8	<i>Componente inferior del flujo subterráneo BFL1</i>	103
9.7.9	<i>Parámetros Usados en NAM</i>	103
9.8	MORFOLOGÍA DEL RÍO DE ORO BASE DEL MODELO HIDRÁULICO (Sossa, GONZALEZ 2005)	105
9.8.1	<i>MORFOLOGÍA RÍO DE ORO</i>	105
9.8.2	<i>Sector 1. Bahondo – Parque Gallineral</i>	105
9.8.3	<i>Sector 2. Parque Gallineral – Poblado</i>	106
9.8.4	<i>Sector 3. El poblado – Saceites</i>	109
9.8.5	<i>Sector 4. Saceites - Parque industrial I</i>	110
9.8.6	<i>Sector 5. Parque industrial – Escuela Río de Oro</i>	111
9.8.7	<i>Sector 6. Escuela Río de Oro- Parque industrial II</i>	111
9.8.8	<i>Sector 7. Parque industrial II – Puente Nariño</i>	112
9.8.9	<i>Sector 8. Puente Nariño- Río Suratá</i>	113
9.9	VERIFICACIÓN DE BORDES LIBRES EN MUROS	114
9.10	NIVELES PRESENTADOS EN PUENTES	126
9.11	FACTOR DE REDUCCION DE AREA PARA DIFERENTES CUENCAS	130

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

FIGURA 1.	LOCALIZACIÓN GENERAL CUENCA DEL RÍO DE ORO	5
FIGURA 2.	SUBCUENCAS EN RÍO DE ORO Y PARTE BAJA CUENCA RÍO SURATÁ (ADAPTADA DE GONZÁLES & SOSSA).	6
FIGURA 3.	MODELOS DIGITAL DE ELEVACIONES.	7
FIGURA 4.	PUENTE LENGUERKE – MUNICIPIO DE GIRÓN	9
FIGURA 5.	SERIES DE TIEMPO DE PRECIPITACIÓN PROMEDIO POR SUBCUENCA.....	10
FIGURA 6.	HIDROGRAMAS DE RESPUESTA SIMULADOS (NAM)	12
FIGURA 7.	ESQUEMA DE METODOLOGÍA A SEGUIR.	14

CAPÍTULO 2

FIGURA 8.	BUCARAMANGA, SECTOR CABECERA DEL LLANO, 1978 - 2005.....	15
FIGURA 9.	SERIES DE POBLACIÓN AMB Y COMBINACIONES SEGÚN CENSOS DANE...	17
FIGURA 10.	PROYECCIONES DE POBLACIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.	18
FIGURA 11.	POBLACIÓN RURAL MUNICIPIOS DE GIRÓN Y PIEDECUESTA.	19
FIGURA 12.	RELACIÓN Y PROYECCIÓN (PR / PT). GIRÓN Y PIEDECUESTA	19
FIGURA 13.	SUELOS URBANOS Y POTENCIALMENTE URBANOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.	23
FIGURA 14.	HIPÓTESIS DE CRECIMIENTO URBANO 1A.....	27
FIGURA 15.	HIPÓTESIS DE CRECIMIENTO 1B.	28
FIGURA 16.	EVOLUCIÓN DEL ÁREA DEL AMB SEGÚN HIPÓTESIS 1 EN EL TIEMPO.....	28
FIGURA 17.	HIPÓTESIS DE CRECIMIENTO URBANO 2A.....	31
FIGURA 18.	HIPÓTESIS DE CRECIMIENTO URBANO 2B.....	31
FIGURA 19.	EVOLUCIÓN DEL ÁREA DEL AMB SEGÚN HIPÓTESIS 2 EN EL TIEMPO.....	32
FIGURA 20.	HIPÓTESIS DE CRECIMIENTO URBANO 3A.....	33
FIGURA 21.	HIPÓTESIS DE CRECIMIENTO URBANO 3B.....	33
FIGURA 22.	COMPARACIÓN DE HIPÓTESIS 1 Y 2 EN EL TIEMPO PARA EL AMB.....	34

CAPÍTULO 3

FIGURA 23.	MAPA DE USOS DE SUELO AÑO 2005 DE LA CUENCA DEL RÍO DE ORO.	37
FIGURA 24.	MAPA DE PENDIENTES CUENCA RÍO DE ORO.....	38
FIGURA 25.	VALORES MÁXIMOS DE CE POR SUBCUENCA EN CADA AÑO ENTRE LAS HIPÓTESIS.	41
FIGURA 26.	VALORES MÍNIMOS DE CE POR SUBCUENCA EN CADA AÑO ENTRE LAS HIPÓTESIS.	41
FIGURA 27.	VARIACIÓN PORCENTUAL DE VALORES MÁXIMOS DE CE RESPECTO AL AÑO 2005.....	42
FIGURA 28.	VARIACIÓN PORCENTUAL DE VALORES MÍNIMOS DE CE RESPECTO AL AÑO 2005.....	43
FIGURA 29.	SEPARACIÓN FLUJO BASE SUBCUENCAS.	45
FIGURA 30.	ESPAIALIZACIÓN 09/02/05 – 4:00 AM , 12/02/05 6:00 AM.....	48
FIGURA 31.	VARIACIÓN DEL COEFICIENTE ALFA CONTRA EL ÁREA.	54
FIGURA 32.	COMPARACIÓN HIDROGRAMAS DE RESPUESTA EN LA SUBCUENCA DE ORO ALTO	56
FIGURA 33.	COMPARACIÓN HIDROGRAMAS DE RESPUESTA EN LA SUBCUENCA DE RÍO FRÍO	56

CAPÍTULO 4

FIGURA 34.	ESQUEMA EN PLANTA DEL TRAMO DEL RÍO DE ORO MODELADO EN HEC-RAS	60
------------	--	----

CAPÍTULO 9

FIGURA 35.	COMBINACIÓN B	96
FIGURA 36.	COMBINACIÓN B15.....	96
FIGURA 37.	COMBINACIÓN B	96
FIGURA 38.	COMBINACIÓN B18.....	96
FIGURA 39.	COMBINACIÓN A11	97
FIGURA 40.	COMBINACIÓN A28.....	97
FIGURA 41.	COMBINACIÓN A31	97
FIGURA 42.	COMBINACIÓN A12.....	97

FIGURA 43.	COMBINACIÓN A29	97
FIGURA 44.	ESTRUCTURA DEL MODELO NAM.....	98
FIGURA 45.	FOTOGRAFÍA BATEA VADO HONDO.....	106
FIGURA 46.	FOTOGRAFÍA PUENTE GEO VON LENGUERKE.....	107
FIGURA 47.	FOTOGRAFÍA PUENTE JORGE ELIÉCER FONSECA.....	108
FIGURA 48.	FOTOGRAFÍA PUENTE PALENQUE.	110
FIGURA 49.	FOTOGRAFÍA PUENTE NARIÑO	112
FIGURA 50.	RELACIONES ALFA PARA DIFERENTES CUENCAS (DE LAAT, E. J. M., SAVENIJE, H.H.G.; 2001)	130

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO 1

TABLA 1.	ÁREA Y DESCRIPCIÓN SUBCUENCAS EN RÍO DE ORO.....	5
TABLA 2.	ESTACIONES METEREOLÓGICAS.....	8

CAPÍTULO 2

TABLA 3.	PROYECCIONES DE POBLACIÓN EN BUCARAMANGA Y FLORIDABLANCA.	20
TABLA 4.	PROYECCIONES DE POBLACIÓN EN GIRÓN Y PIEDECUESTA.....	20
TABLA 5.	DENSIDAD ACTUALES POBLACIONAL MUNICIPIOS AMB.....	24
TABLA 6.	DELTA DE POBLACIÓN Y ÁREA DE EXPANSIÓN DE BUCARAMANGA Y FLORIDABLANCA EN HIPÓTESIS 1.....	26
TABLA 7.	DELTA DE POBLACIÓN Y ÁREA DE EXPANSIÓN PARA GIRÓN Y PIEDECUESTA EN HIPÓTESIS1.....	26
TABLA 8.	DELTA DE POBLACIÓN Y ÁREA DE EXPANSIÓN DE BUCARAMANGA Y	
TABLA 9.	DELTA DE POBLACIÓN Y ÁREA DE EXPANSIÓN PARA GIRÓN Y	
TABLA 10.	COMPARACIÓN DE HIPÓTESIS 1 Y 2 EN CANTIDAD DE ÁREA.....	34

CAPÍTULO 3

TABLA 11.	COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA CALCULADOS CON EL USO DE SUELO PARA CADA UNA DE LAS HIPÓTESIS.....	40
TABLA 12.	VALORES DEL PARÁMETRO K, HALLADO PARA CADA SUBCUENCA.....	44
TABLA 13.	COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA (CE) OBTENIDOS A PARTIR DE HIDROGRAMAS MODELADOS POR NAM.....	46
TABLA 14.	COMPARACIÓN COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA.....	46
TABLA 15.	PRECIPITACIÓN PROMEDIO DE COMBINACIONES.....	50
TABLA 16.	PRECIPITACIÓN PROMEDIO DE COMBINACIONES MÁXIMAS.....	51
TABLA 17.	VALOR DE ALFA PARA CADA SUBCUENCA.....	55

CAPÍTULO 5

TABLA 18.	EVALUACIÓN DE BORDE LIBRE EN MUROS PARA ESCENARIO 1.....	66
TABLA 19.	EVALUACIÓN DE BORDE LIBRE EN MUROS PARA ESCENARIO 2.....	67
TABLA 20.	EVALUACIÓN DE BORDE LIBRE EN MUROS PARA ESCENARIO 3.....	68
TABLA 21.	DIFERENCIAS DE NIVELES EN PUENTES SEGÚN ESCENARIO 1.	71
TABLA 22.	DIFERENCIAS DE NIVELES EN PUENTES SEGÚN ESCENARIO 2.	71
TABLA 23.	DIFERENCIAS DE NIVELES EN PUENTES SEGÚN ESCENARIO 3.	71

CAPÍTULO 9

TABLA 24.	POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA.....	78
TABLA 25.	POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA.....	78
TABLA 26.	POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE GIRÓN.	79
TABLA 27.	POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA.	79
TABLA 28.	COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA (VEN TE CHOW).	80
TABLA 29.	PRECIPITACIÓN	81
TABLA 30.	EVAPOTRANSPIRACIÓN PROMEDIO MM/HORA.....	86
TABLA 31.	PRECIPITACIÓN PROMEDIO EN MM/HORA POR SUBCUENCA	90
TABLA 32.	PRECIPITACIÓN PROMEDIO DE COMBINACIONES.....	94
TABLA 33.	PRECIPITACIÓN PROMEDIO DE COMBINACIONES.....	95
TABLA 34.	PARÁMETROS USADOS POR NAM PARA MODELO USADO	104
TABLA 35.	CONDICIONES INICIALES MODELO NAM, POR SUBCUENCA.....	104
TABLA 36.	SIMULACIÓN DE PRECIPITACIÓN ORIGINAL 7 -12 DE FEBRERO DE 2005. .	114
TABLA 37.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS 2016.	115
TABLA 38.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS 2026.	116
TABLA 39.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS 2036.	117
TABLA 40.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS B4.	118
TABLA 41.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS B13.	119
TABLA 42.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS B15.	120
TABLA 43.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS B18.	121
TABLA 44.	VERIFICACIÓN DE SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS C11.....	122
TABLA 45.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS C12.....	123
TABLA 46.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS C28.....	124
TABLA 47.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS C31.....	125

TABLA 48.	SIMULACIÓN DE PRECIPITACIÓN ORIGINAL 7-12 DE FEBRERO DE 2005. ..	126
TABLA 49.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS 2016.	126
TABLA 50.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS 2026.	126
TABLA 51.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS 2036.	127
TABLA 52.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS B4.	127
TABLA 53.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS B13.	127
TABLA 54.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS B15.	128
TABLA 55.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS B18.	128
TABLA 56.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS C11.	128
TABLA 57.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS C12.	129
TABLA 58.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS C28.	129
TABLA 59.	SIMULACIÓN DE HIPÓTESIS C31.	129

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Valorar la respuesta hidráulica en las estructuras de contención de inundación construidas en el municipio de Girón, bajo hipótesis de desarrollo urbano para los próximos treinta (30) años.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los factores que puedan influir en el desarrollo urbano de la cuenca del río de Oro.
- Establecer hipótesis para el futuro uso del suelo sobre la cuenca del río de Oro.
- Realizar la modelación hidrológica del evento incluyendo cada una de las hipótesis de cambio de uso del suelo.
- Aplicar los hidrogramas de respuesta para cada una de las hipótesis planteadas sobre un modelo hidráulico del río de Oro.
- Comparar el efecto del evento ocurrido en las condiciones que se presentó con cada una de las hipótesis de cambio seleccionadas sobre las estructuras que se han construido posteriormente al evento.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo urbano así como otras formas de intervención antrópica en el medio ambiente, generan cambios en respuesta del mismo, pudiéndose presentar bajo ciertas circunstancias, eventos con determinado impacto sobre los asentamientos urbanos.

En nuestro medio la herramienta que regula las funciones de planeación en el desarrollo urbano es el plan de ordenamiento territorial (POT), el cual cada municipio debe determinar de acuerdo a sus condiciones y características particulares.

El presente trabajo de grado pretende llevar a cabo un primer ejercicio académico de modelamiento de las condiciones futuras de la cuenca del Río de Oro, en primera medida en lo que al desarrollo urbano respecta y en segundo término frente a una variación espacial probable del evento presentado en Girón en 2005.

Ante las nuevas condiciones también se propone hacer una evaluación del impacto que puede llegar a producir sobre las comunidades del área afectada, medido como la variación en los niveles del Río de Oro luego de los procesos de escorrentía

Las limitaciones de información y la dificultad para obtener esta, se convierten en un obstáculo para la obtención de resultados plenamente confiables. Sin embargo, este ejercicio funciona como punto de partida en la selección de herramientas que ayuden a la toma de decisiones en materia de planeación futura para la región teniendo en cuenta la prevención de desastres.

En el primer capítulo se hace una descripción general de la zona de estudio y de la información disponible. Como primera medida se hace un análisis de la información histórica poblacional de Bucaramanga y su área metropolitana y se lleva a cabo una proyección de la población para los próximos treinta años. A continuación se hace un análisis de la información cartográfica de los POT de los municipios del área metropolitana, se proponen diferentes configuraciones de crecimiento urbano para alojar a la población futura y se calculan los coeficientes de escorrentía para la cuenca

En el siguiente capítulo, se estima el impacto causado por el desarrollo urbano en la respuesta hidrológica a partir del evento de Febrero de 2005. A su vez, se modifica la distribución espacial de la lluvia original y se obtiene la respuesta hidrológica de la cuenca utilizando el modelo semidistribuido NAM.

Finalmente, sobre un modelo hidráulico del río de oro compuesto por un tramo de 17 Km, se evalúa los niveles alcanzados y la afectación que los mismos producen sobre las estructuras de mitigación de inundación construidas, para diferentes escenarios de estudio.

1. ASPECTOS GENERALES

La recolección de información corresponde a la primera etapa del proceso en la investigación. Diferentes entidades gubernamentales, grupos de investigación adscritos a la Universidad Industrial de Santander, así como diferentes proyectos previos a este, brindaron las bases para su conformación.

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio corresponde a la cuenca del Río de Oro. Se encuentra ubicada al Nororiente del departamento de Santander. Limita al Norte con la subcuenca del Río Suratá y la microcuenca del Río Tona afluente del anterior, al oriente con las microcuencas de los ríos Jordán y Manco los cuales forman parte de las cuencas de los ríos Arauca y Chicamocha respectivamente; Al Sur occidente con la subcuenca del Río Sogamoso y al Occidente con la microcuenca de la Quebrada la Angula (CDMB, 2003).

La cuenca del Río de Oro forma parte del sistema de subcuencas que conforman la cuenca superior del río Lebrija (CSRL). Las coordenadas que limitan la cuenca son 1.094.600 a 1.125.500 Este y 1.255.700 a 1.284.300 Norte con origen en Bogotá. Posee alturas sobre el nivel del mar que van desde los 600 m.s.n.m. en el sector de la confluencia con el río Suratá hasta los 3500 m.s.n.m. en el Alto El Picacho.

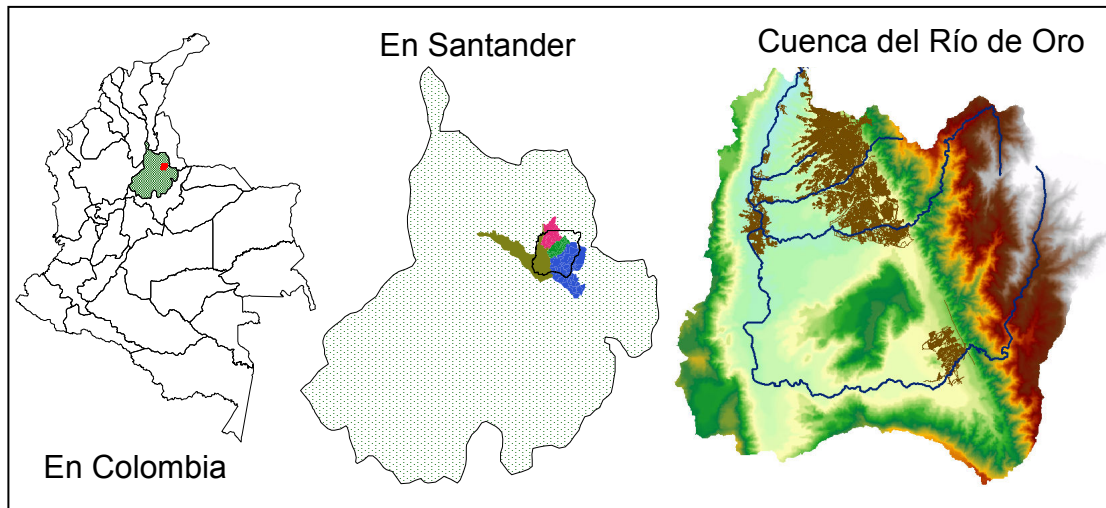


Figura 1. Localización General cuenca del río de Oro

La cuenca del río de Oro se puede subdividir en cinco subcuencas, las cuales confluyen todas al cauce del río de Oro dentro de la cuenca. Estas se nombran de la siguiente manera: Oro Alto, Río Frío, Oro Bajo, La Iglesia y Chimitá o la Rosita. Además, la porción inferior de la cuenca del Río Suratá ha sido adicionada al estudio, por su influencia en los eventos a analizar. (ver Tabla 1 y Figura 2).

Tabla 1. Área y descripción subcuencas en río de Oro.

SUBCUENCA	AREA (m2)	OBSERVACIONES
Río de Oro Alto	347,382,500	Incluye la subcuenca del Río Lato y las quebradas Ruitoque y el Palmar. El punto de cierre se ubica en la confluencia con el Río Frío
Río Frío	135,875,500	Corresponde a toda la cuenca del Río Frío.
La Iglesia	20,542,500	Corresponde a la zona urbana que drena por este canal.
Chimitá	15,702,500	Incluye las quebradas Seca La Joya y La Rosita.
Río de Oro Bajo	54,215,500	Corresponde a la parte baja del Río de Oro desde la confluencia con el Río Frío hasta la unión con el Río Suratá.
Río Suratá	108,852,500	Corresponde a la parte baja de la cuenca del río Suratá, límites en el costado norte y oriente definidos de acuerdo al área analizada.

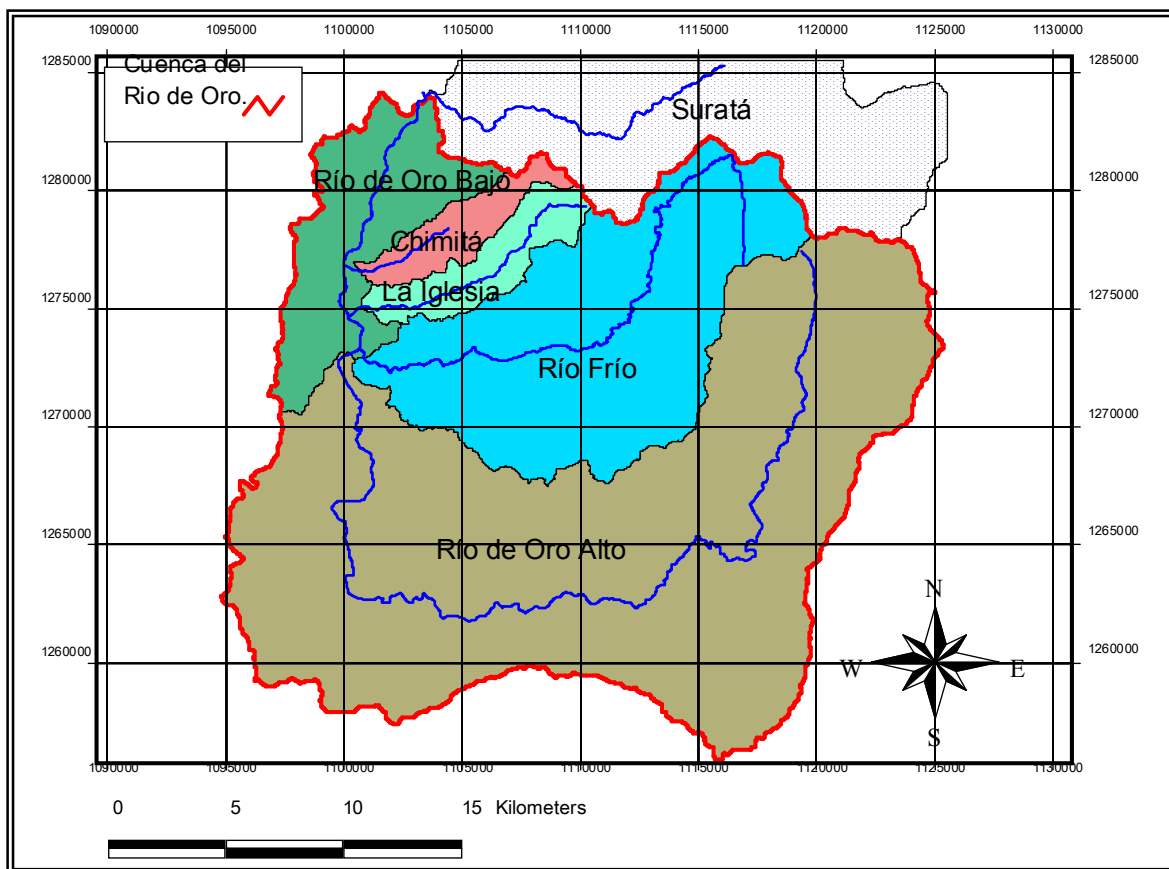


Figura 2. Subcuencas en río de Oro y parte baja cuenca Río Suratá (adaptada de Gonzáles & Sossa).

La cuenca del río Suratá es superior en tamaño a la porción adoptada para este estudio. El río Suratá se incluyó dentro del estudio por estar incluido como tributario en el modelo hidráulico del río de Oro. Se adoptó solo la parte baja de dicha cuenca debido a que el evento solo tuvo incidencia sobre esta porción.

1.2 INFORMACIÓN ESTADÍSTICA POBLACIONAL

La información correspondiente a los datos de población del área metropolitana de Bucaramanga fue suministrada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) a través de su banco de datos en la ciudad de Bucaramanga y las publicaciones hechas a través de su página Web.

Los datos de población obtenidos en el banco de datos del DANE en Bucaramanga incluyen las series históricas de población rural y urbana de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, datos correspondientes a los censos llevados a cabo para toda la República de Colombia en los años 1938, 1951, 1964, 1973, 1985 y 1993 (Ver Anexo 9.1).

Los datos del último censo para la República de Colombia se obtuvieron a través de la página Web del DANE e incluyen la población total de cada uno de los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, hasta la fecha de esta investigación sin diferenciar entre población rural y urbana.

1.3 INFORMACIÓN PLANIMÉTRICA Y TOPOGRÁFICA

Los POT de cada municipio del área metropolitana de Bucaramanga suministraron la información cartográfica referente a los usos actuales del suelo, los usos potenciales y los usos recomendados del mismo. La información altimétrica fue suministrada por el grupo de predicción y modelamiento Hidroclimático (GPH) en forma de un modelo digital de elevaciones.

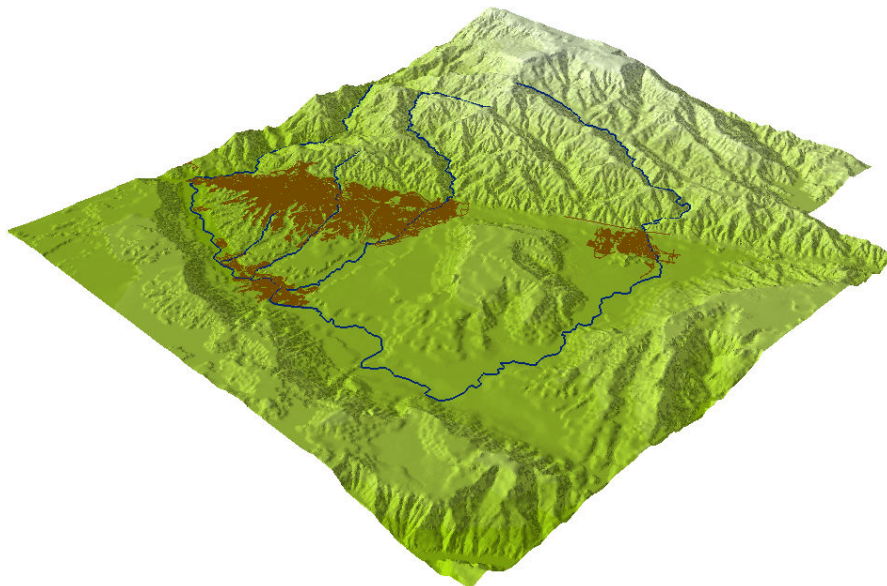


Figura 3. Modelos Digital de elevaciones.

1.4 INFORMACIÓN METEOREOLÓGICA

Todas las series de tiempo correspondientes al evento ocurrido en Febrero de 2005, fueron suministradas por el GPH. La información de precipitación, que servirá de base para diferentes cálculos en capítulos posteriores, corresponde a la información medida por las estaciones dentro de la cuenca del río de Oro (Ver Tabla 2) y corregida con posterioridad al evento por Gonzáles & Sossa.

Además de la precipitación, las estaciones de Centro, Chimitá, PTAR y UIS (Ver tabla 2) suministraron valores de temperatura, radiación solar, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad de viento. Las series de tiempo corregidas y la evapotranspiración potencial calculada mediante la metodología ASCE Penman-Monteith, fue suministrada por Guzmán 2005.

Tabla 2. Estaciones metereológicas

ESTACION	Operador	Variable	COORDENADAS		Tipo	Res.
			Norte	Este		
Gja Piedecuesta	IDEAM	Climática	1265228.44	1111558.92	Análogo	2 hr.
Apto. Palonegro	IDEAM	Climática	1279868.90	1098742.90	Análogo	10 min
IDEAM	IDEAM	Pluviógrafo	1280115.37	1106165.91	Análogo	10 min
Llanogrande	IDEAM	Climática	1268739.27	1100571.11	Análogo	10 min
Club Campestre	CDMB	Climática	1273071.53	1106398.82	Análogo	2 hr.
La Esperanza	CDMB	Climática	1273581.60	1111228.36	Análogo	2 hr.
Centro	CDMB	Climática	1279145.60	1104976.11	Digital	1 hr.
Chimita	CDMB	Climática	1276795.85	1100617.85	Digital	1 hr.
PTAR	CDMB	Climática	1273104.76	1104883.23	Digital	1 hr.
UIS	CDMB	Climática	1281493.52	1105534.11	Digital	1 hr.
CDMB	CDMB	Climática	1279070.65	1105857.40	Análogo	2 hr.
Ruitoque	Urbanas	Pluviógrafo	1268701.86	1110037.82	Análogo	2 hr.
Palogordo	IDEAM	Hidrológica	1263882.19	1102165.01	Mixto	15 min.
Café Madrid	IDEAM	Hidrológica	1284359.66	1102861.31	Mixto	15 min.

1.5 DESCRIPCIÓN DEL EVENTO – FEBRERO 2005

En el periodo del 7 al 14 de Febrero de 2005 se presentaron eventos climáticos de orden regional que desencadenaron las crecientes del Río de Oro de los días 9 y 12 de Febrero; en especial la creciente del 12 tuvo especial importancia debido a que tuvo influencia sobre algunos estados Venezolanos (Zulia, Vargas y Mérida) y departamentos Colombianos (Norte de Santander y Santander) causando mas de 24398 damnificados, la perdida de 27000 viviendas y 62 muertos en Venezuela mientras que en Colombia se reportaron 17274 familias afectadas y 54 muertos (OPS, 2005).

La intensidad del evento provocó el desbordamiento del Río Frío y el Río de Oro a la altura de los municipios de Girón (Ver Figura 4) y Bucaramanga el día 9 de Febrero, provocando la afectación de los asentamientos humanos instalados en las riveras de estos ríos.



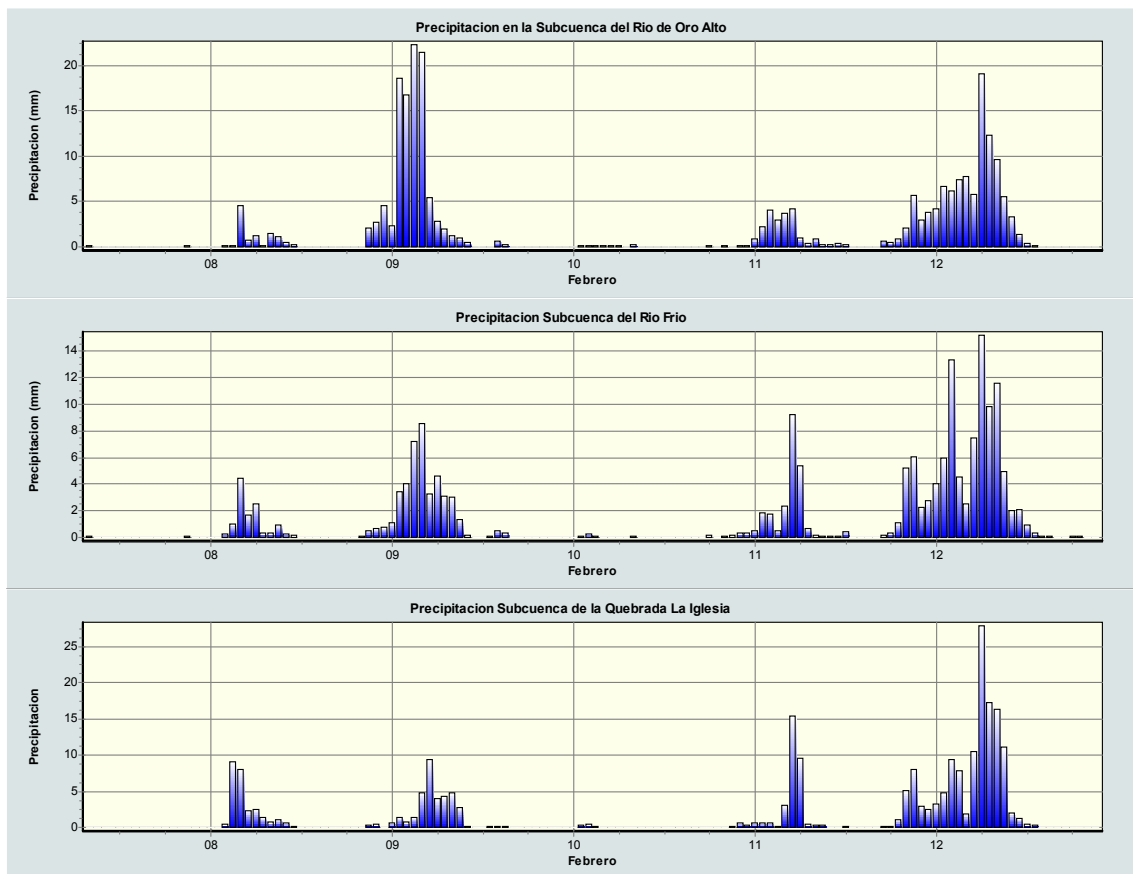
Figura 4. Puente Lenguerke – Municipio de Girón

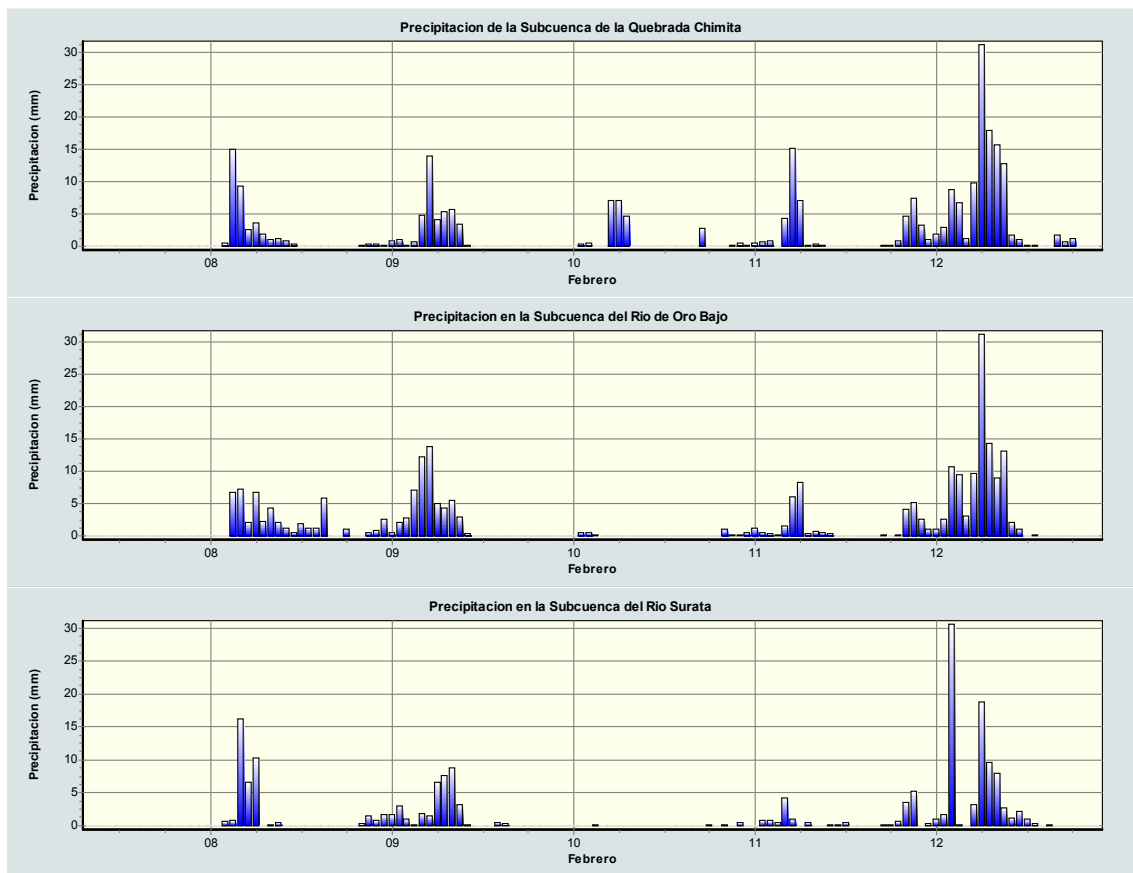
Cuando se estaba iniciando la respuesta al primer evento ocurrió un segundo evento catastrófico: lluvias fuertes y continuas por 17 horas entre el 11 y 12 de febrero que ocasionaron una creciente tipo avalancha de mayor magnitud que la anterior con múltiples deslizamientos de tierra en las zonas de escarpa y ladera que destruyeron y sepultaron casas. Las vías de acceso a Bucaramanga y de comunicación con Girón fueron taponadas. Las lluvias también afectaron a Puerto Santander y a Villa del Rosario en Norte de Santander. (OPS, 2005)

1.5.1 PRECIPITACIÓN DEL EVENTO

A continuación se muestran las series de precipitación promedio por cada subcuenca del evento de Febrero de 2005

Figura 5. Series de tiempo de precipitación promedio por subcuenca (Sossa & Gonzalez, 2005)





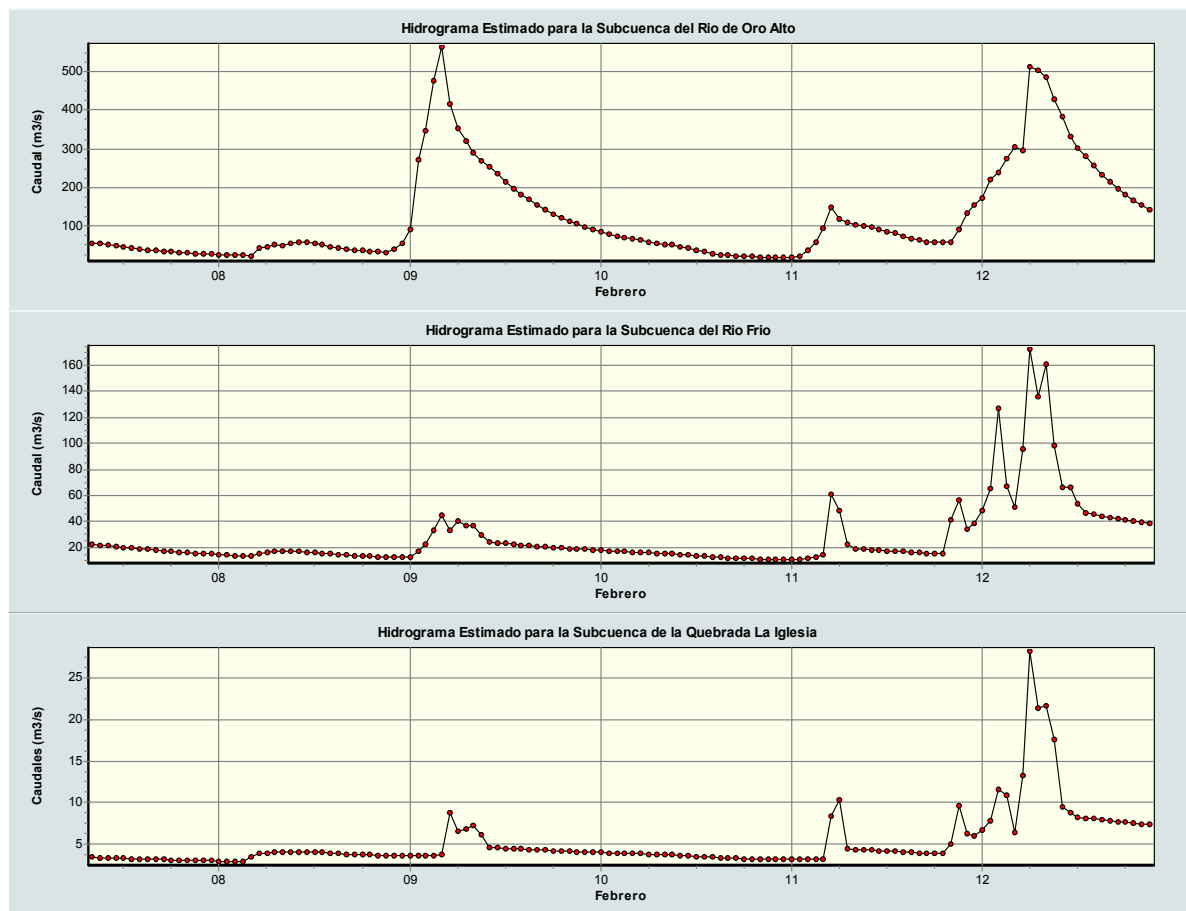
La máxima intensidad de precipitación se registró en la estación Llanogrande con un valor de 64.7 mm/hora seguido de la estación UIS donde se registraron 48.9 mm/h. Es importante tener en cuenta que la estación UIS luego de registrar esta intensidad quedó fuera de servicio y los datos para el periodo siguiente se llenaron como datos faltantes al igual que en las demás estaciones con registros dudosos o inexistentes. En el Anexo 9.3 se presentan los datos tabulados donde se pueden observar los periodos sin registros.

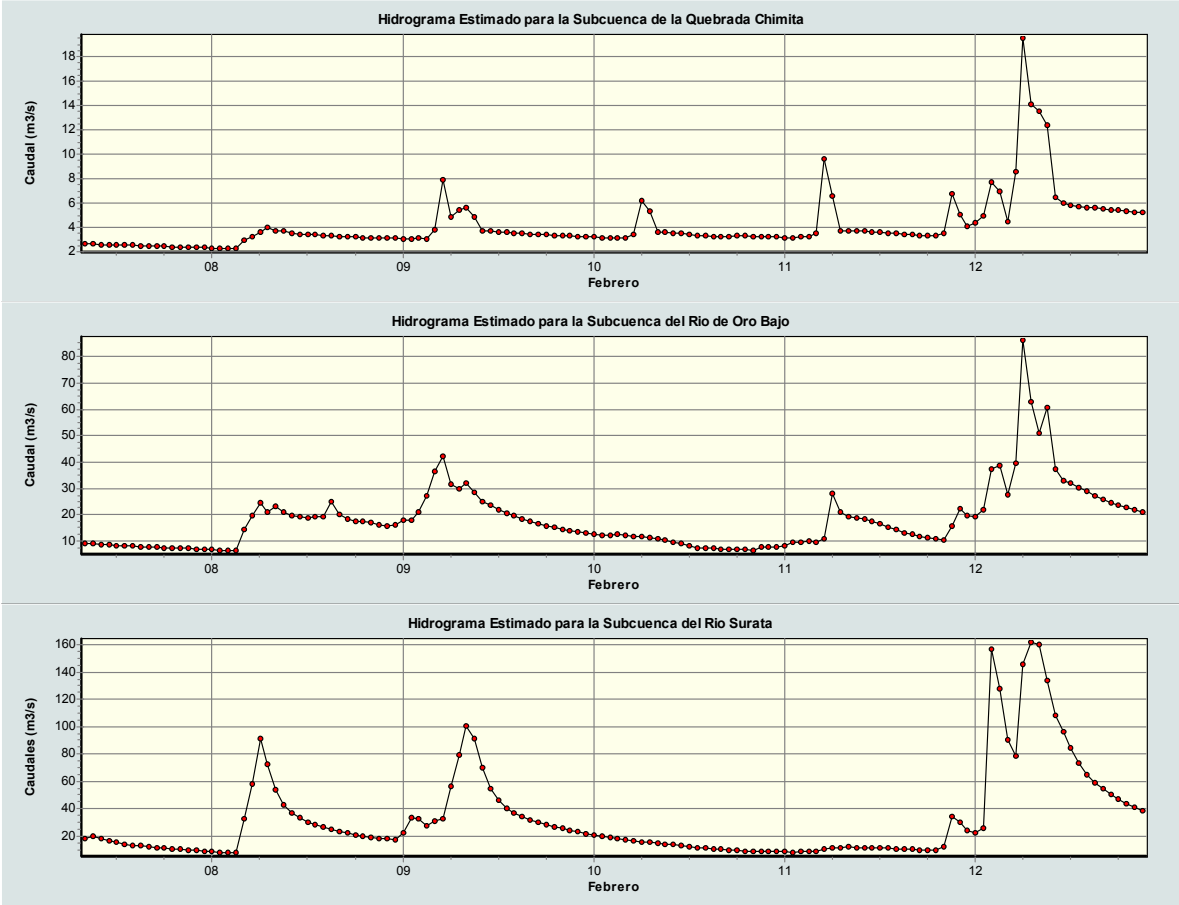
1.5.2 HIDROGRAMAS DE RESPUESTA

Los caudales de salida de cada subcuenca fueron calculados por Gonzalez & Sossa, utilizando el modelo hidrológico semidistribuido NAM.

En la figura 6 se puede observar que el caudal máximo obtenido en las subcuencas Oro Bajo, Río Frío, Chimitá, Iglesia y Surata, ocurrió el 12 de febrero en horas de la madrugada, mientras que para la subcuenca Oro Alto ocurrió el día 9 de febrero, esto se debe a que para ese mismo periodo se registro la máxima intensidad de lluvia sobre la zona en la estación Llanogrande ubicada en esta subcuenca.

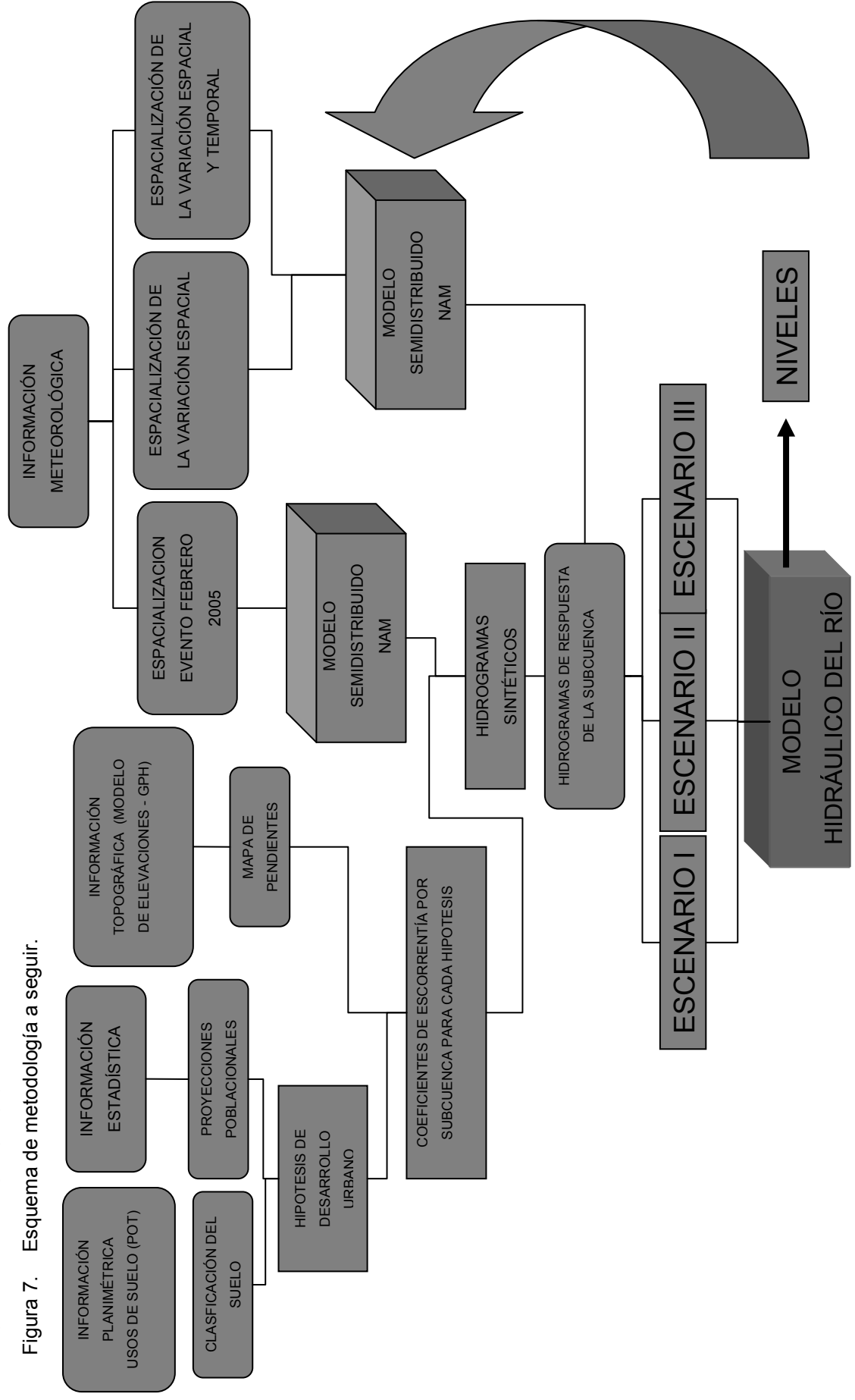
Figura 6. Hidrogramas de respuesta simulados (NAM) (Sossa & Gonzalez , 2005)





1.6 METODOLOGÍA

Figura 7. Esquema de metodología a seguir.



2. DESARROLLO URBANO

El cambio en el uso del suelo de un cualquier asentamiento humano va ligado en primera instancia, al crecimiento poblacional. Además existen otros factores sociales, políticos y de orden público que de una u otra forman definen como será el crecimiento de una localidad.

En la figura 8 se puede observar el cambio de un sector en la ciudad de Bucaramanga, donde además de la intervención en nuevos terrenos, se aprecia claramente el fenómeno de redensificación de las ciudades, donde las casas o edificaciones con 3 o menos pisos, son reemplazadas por edificios y/o urbanizaciones de más de 5 pisos.



Figura 8. Bucaramanga, sector cabecera del llano, 1978 - 2005

Teniendo en cuenta lo anterior se buscan herramientas que permitan modelar de alguna manera el desarrollo urbano en el AMB.

2.1 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

Una vez consultada la información poblacional, se tabuló y se graficó esta para cada uno de los municipios del área metropolitana con el fin de observar alguna tendencia que permitiese tomar alguna determinación respecto a las proyecciones a elaborar.

Al observar el gráfico (ver figura 10), se nota un claro cambio de tendencia, sobre el cual se puede afirmar que es común en los municipios del AMB a partir del año 1973. A partir de este año las series reflejan un incremento de la pendiente lo que indica que se presentó una aceleración en el crecimiento demográfico y que a partir de ese punto se ha mantenido relativamente constante hasta nuestros días.

La excepción a la anterior tendencia, la presenta Bucaramanga. Esta ciudad muestra un comportamiento relativamente uniforme desde los primeros censos, con una pendiente no tan acentuada como se ve en los demás municipios, lo que llevaría a suponer que Bucaramanga tiene un comportamiento independiente al resto del AMB.

Además de graficar las series poblacionales de cada municipio, se graficaron diferentes combinaciones entre los municipios con el fin de observar sus correspondientes comportamientos (ver figura 9).

La población rural en Floridablanca, Girón y Piedecuesta representa un porcentaje considerable de la población total en todos los censos. Contrario a esto, las cifras muestran que la población rural en Bucaramanga es tan pequeña, que no afectaría de manera considerable cualquier proyección que se haga. (Ver tablas anexo 9.1).

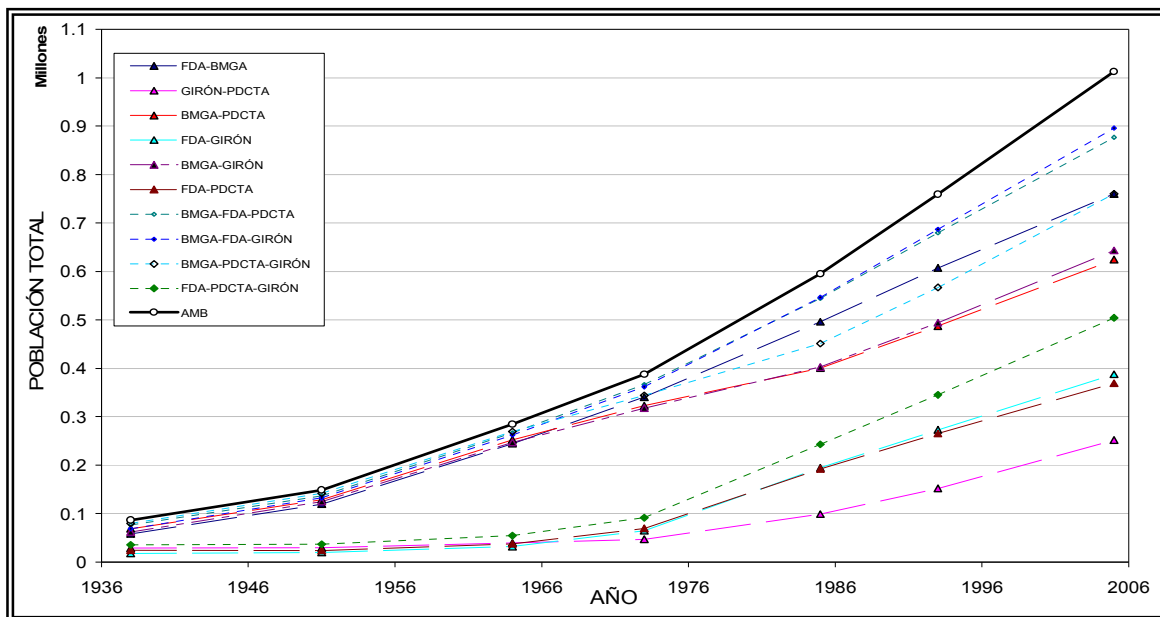


Figura 9. Series de Población AMB y combinaciones según censos DANE.

2.2 PROYECCIONES POBLACIONALES

Como consecuencia de las observaciones realizadas sobre la información estadística poblacional, se tomaron las siguientes decisiones con el propósito de llevar a cabo las proyecciones para los siguientes treinta años que el proyecto se propone evaluar:

- ◆ Cada municipio tiene un comportamiento poblacional independiente de los demás y se comportará de la misma forma en los próximos treinta años.
- ◆ En los municipios del AMB diferentes de Bucaramanga, se tomarán en cuenta como datos representativos para la proyección de la población total, aquellos que sean posteriores al censo de 1973 incluyéndose este como punto de partida. Esto, debido al cambio de tendencia a partir de este año.
- ◆ En el caso del municipio de Bucaramanga, que tiene un comportamiento relativamente uniforme desde el censo de 1938 hasta la fecha, se tendrán en cuenta todos los censos para proyectar los valores futuros.
- ◆ Teniendo en cuenta el peso de la población rural sobre la población total de cada uno de los municipios y el área (Rural y/o urbana) que cada municipio

tiene sobre la cuenca del Río de Oro, se separó la población rural de la población urbana en las proyecciones.

- ◆ En el caso de Bucaramanga donde la población rural no representa un porcentaje muy importante de la población total y que casi todo su perímetro municipal está incluido dentro de la cuenca del río de Oro las proyecciones se harán sobre la población total.
- ◆ En Floridablanca, Girón y Piedecuesta se proyecta la población rural y total de manera independiente y posteriormente se determina la diferencia entre estas para determinar la población que realmente incide en el área urbana de cada uno de los municipios (ver tablas 3 y 4).
- ◆ Para las proyecciones de la población total de cada uno de los municipios se utilizó un ajuste lineal. Aunque se pensaría que el comportamiento fuese logarítmico justificado en que las poblaciones tienden a estabilizarse, al probar los ajustes lineal comparado con el logarítmico, el R^2 se ajustaba más a una ecuación lineal y los comportamientos eran muy similares. De esta manera se toma la ecuación lineal como el ajuste más apropiado (ver figura 10).

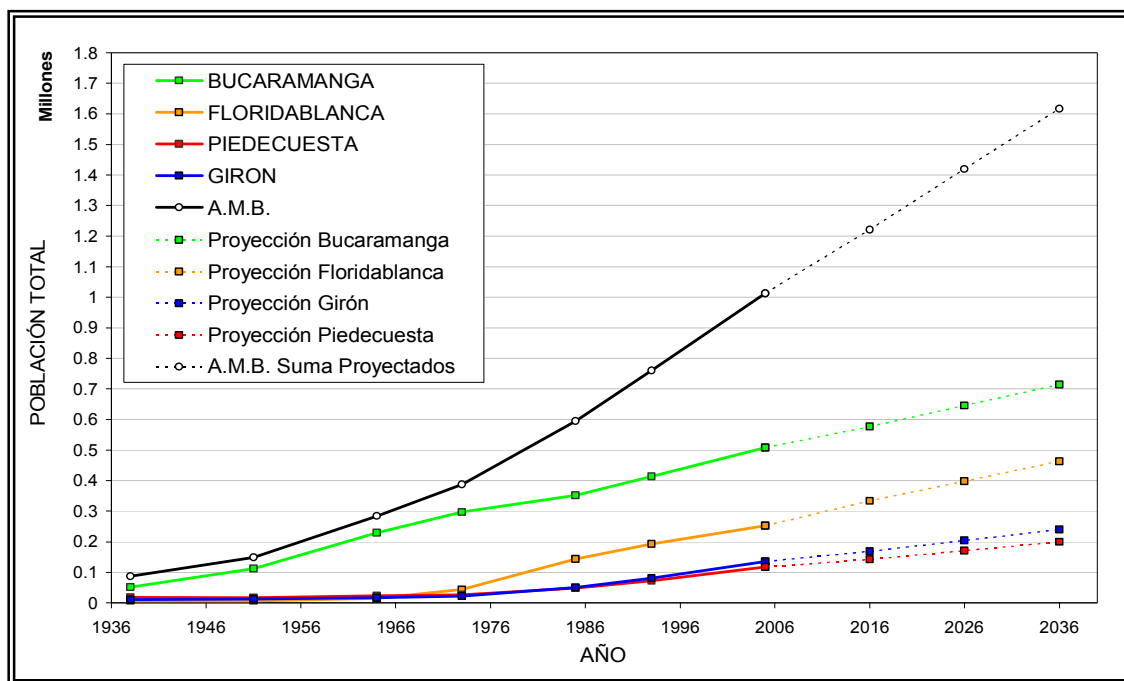


Figura 10. Proyecciones de población en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

- ◆ Para la proyección de la población rural en el caso del municipio de Floridablanca se despreció el dato del censo de 1964 debido a su inconsistencia con la tendencia observada en los demás datos de la serie. Esta proyección se hizo de manera lineal.
- ◆ Cómo la población rural de los municipios de Girón y Piedecuesta resulta más fluctuante que en los demás casos (ver figura 11), se optó por proyectar la relación entre población total y población rural (PR / PT). Después, con la proyección de la relación, se hizo la conversión a población rural posteriormente utilizando la población total también proyectada (ver figura 12).

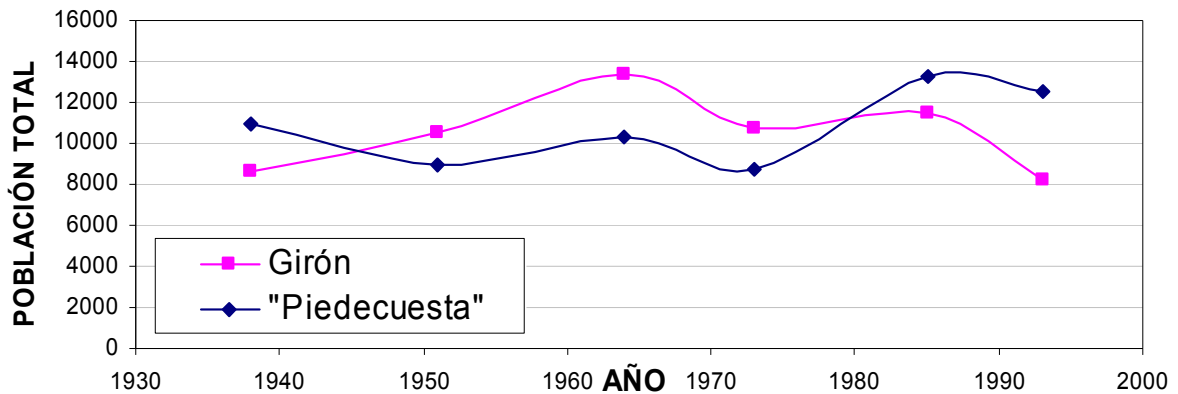


Figura 11. Población rural municipios de Girón y Piedecuesta.

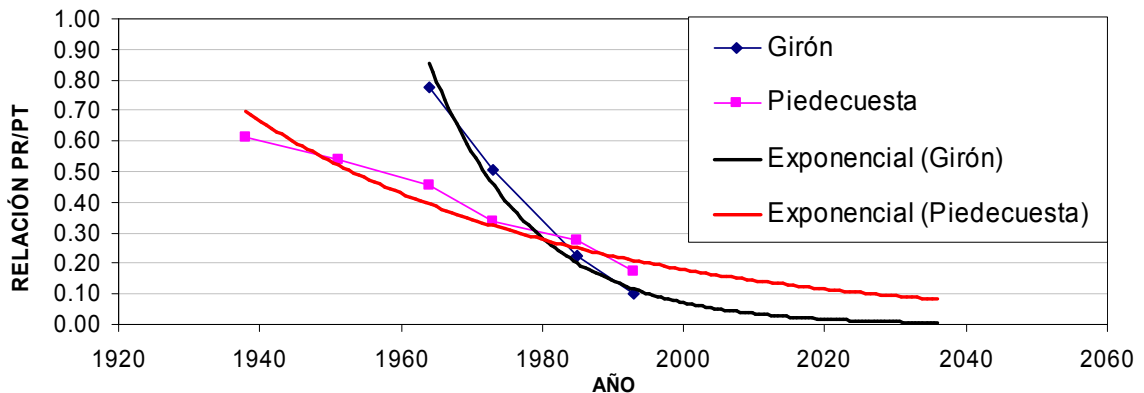


Figura 12. Relación y proyección (PR / PT). Girón y Piedecuesta

- ♦ Una vez proyectadas las poblaciones rurales y totales de manera independiente se halla la diferencia ($PU = PT - PR$) para obtener la población urbana que estará contenida dentro del perímetro urbano de cada municipio del área metropolitana según las proyecciones, como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 3. Proyecciones de población en Bucaramanga y Floridablanca.

AÑO	BUCARAMANGA		FLORIDABLANCA	
	POBLACIÓN URBANA (Hab)	POBLACIÓN RURAL (Hab)	POBLACIÓN URBANA (Hab)	POBLACIÓN RURAL (Hab)
2005	508112	0	246430	5830
2016	577257	0	327461	5962
2026	645774	0	392237	6083
2036	714290	0	457165	6051

Tabla 4. Proyecciones de población en Girón y Piedecuesta.

AÑO	GIRÓN		PIEDECUESTA	
	POBLACIÓN URBANA (Hab)	POBLACIÓN RURAL (Hab)	POBLACIÓN URBANA (Hab)	POBLACIÓN RURAL (Hab)
2005	128574	6826	97791	18778
2016	164227	3968	124545	18072
2026	201499	2412	153614	17425
2036	238205	1422	183124	16337

2.3 CONFRONTACIÓN DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA POBLACIONAL Y PLANIMÉTRICA

El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de cada municipio es un instrumento de planificación del desarrollo municipal puesto a disposición de los municipios del

país a través de la Ley 388 de 1997, para promover e instrumentar procesos de planificación territorial y gestión urbana y lograr territorios solidarios, competitivos, gobernables y con identidad.

El POT que debe tener todo municipio con una población superior a 100 mil habitantes, es el conjunto de acciones y políticas administrativas y de planeación física, que orienta el desarrollo del territorio municipal y que regula la utilización, ocupación y transformación del espacio físico urbano y rural.

Cada uno de los municipios del área metropolitana de Bucaramanga superan los 100 mil habitantes, por lo tanto, las disposiciones correspondientes a sus políticas de planeación física están reguladas por el POT que cada uno tenga en vigencia y a disposición. De esta manera, cualquier disposición de orden legal que incluya el desarrollo urbano debe ser tomada teniendo en cuenta esta herramienta y a su vez debe ajustarse a la misma.

Cada municipio cuenta en su POT con una clasificación del total de su territorio de acuerdo a sus características y potencialidades. Estas clasificaciones se presentan en mapas de uso de suelo los cuales sirven como referente en los procesos de planeación.

Es importante aclarar que los planos encontrados presentan inconsistencias en cuanto a límites y falta de uniformidad en la clasificación del uso del suelo. Para la utilización de los planos fue necesaria la limpieza de los mismos y organización con la ayuda del programa Autocad V.2002 y Autocad Map V. 2000.

Para poder reunir la información correspondiente al proyecto fue necesaria la utilización de un sistema de información geográfica SIG, que reuniera la totalidad de la información y que permitiera de forma rápida y eficiente su manipulación. Se utilizó el software ArcView V. 3.2 para la implementación del mismo.

Para la clasificación del suelo se empleó la misma usada por los POT donde se clasificó el suelo en Suelo Urbano, Suelo de expansión Urbana y Suelo Suburbano, extrayendo las áreas correspondientes a cada una.

(i) Suelo Urbano

El suelo urbano, corresponde al área del municipio, dotada de servicios públicos domiciliarios (acueducto, alcantarillado y energía), e infraestructura vial que posibilitan su urbanización y edificación. (POT Floridablanca)

(ii) Suelo de Expansión Urbana

Corresponde a las áreas que serán incorporadas al uso urbano y por ende dotadas de servicios públicos e infraestructura durante la vigencia del actual POT. (POT Floridablanca)

(iii) Suelo Suburbano

Constituyen esta categoría las áreas ubicadas dentro del suelo rural, en las que se mezclan los usos del suelo y las formas de vida del campo y la ciudad, diferentes a las clasificadas como áreas de expansión urbana, que pueden ser objeto de desarrollo con restricciones de uso, de intensidad y de densidad, garantizando el autoabastecimiento en servicios públicos domiciliarios, de conformidad con lo establecido en la Ley 99 de 1993 y en la Ley 142 de 1994. (POT Floridablanca)

Existen otras definiciones de suelo de acuerdo al uso rural al cuál estén destinados los mismos, pero como esas áreas no son susceptibles de modificación en el proceso de crecimiento urbano, se tomarán por ahora como área rural simplemente y solo se hará énfasis en el desarrollo urbano.

En ese orden de ideas, se obtiene entonces un mapa de Bucaramanga y su área metropolitana indicando su área urbana así como sus áreas con potencial de urbanización en el futuro (ver figura 13).

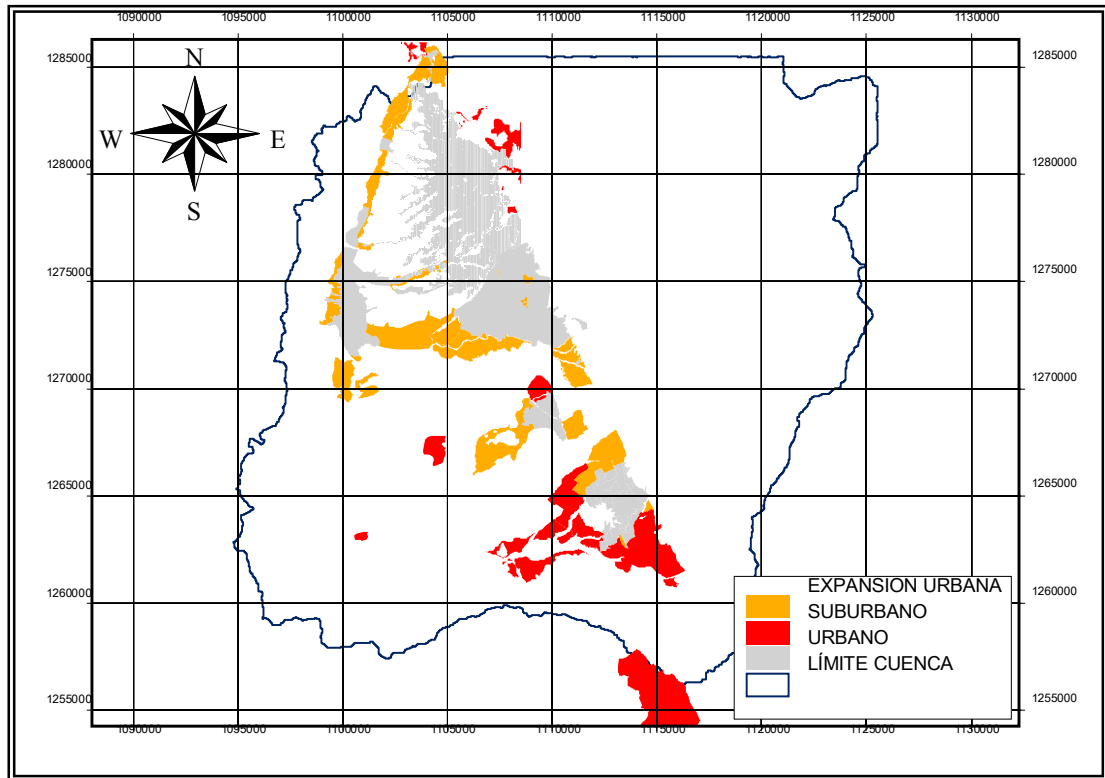


Figura 13. Suelos urbanos y potencialmente urbanos en el área metropolitana de Bucaramanga.

2.4 DEFINICIÓN DE HIPÓTESIS DE DESARROLLO URBANO

A partir de las proyecciones de población ya hechas, se plantean diferentes opciones para asignarle un espacio a la población actual y por otro lado darle una ubicación al delta de población futura.

Como los mapas de clasificación de suelo de los POT tienen diferente fecha según el año en que fueron expedidos en cada municipio, con las mismas proyecciones de población futura se buscó la población del año de expedición de cada POT. Luego de obtener la población urbana del año de expedición de los POT, se asumió que ésta cubría el área caracterizada como urbana para ese entonces y se determinó una densidad de habitante por metro cuadrado. De ahí en adelante se asume la densidad calculada como uniforme para toda el área en cada uno de los

municipios, es decir, se obtuvieron cuatro densidades diferentes tomadas a partir de la población urbana de cada municipio. (Ver tabla 5)

Densidad	Bucaramanga	Floridablanca	Girón	Piedecuesta
hab/m ²	0.0180	0.0155	0.0158	0.0106
m ² /hab	55.5373	64.3465	63.4463	93.9221

Tabla 5. Densidad actuales poblacional municipios AMB

Luego de hallar las densidades actuales, se pasa a definir como se comportará el AMB en los próximos 30 años partiendo del año 2006. Es decir, se obtendrán puntos de estudio para los años 2016, 2026 y 2036.

Con el propósito de estimar la forma como se desarrollan los municipios en el futuro, se formularán varias hipótesis de tal forma que el desarrollo urbano real de las ciudades o del área metropolitana en su conjunto se comporte dentro de los límites de las hipótesis formuladas. Lo anterior lleva a establecer al menos dos hipótesis que actúen una de ellas como límite superior y la otra como límite inferior del comportamiento futuro.

Para predecir el comportamiento territorial de la zona se podría acudir a otras herramientas de influencia como la economía, los servicios de transporte, servicios públicos entre otros. De hecho, como parte de la investigación se acudió a algunas de las empresas de servicios públicos de la zona, indagando por las disponibilidad y planeación de los servicios hacia el futuro. Se encontró que éstas ajustan su planeación a lo indicado por los POT. De la misma forma, los corredores del sistema de transporte masivo próximo a implementarse en el área metropolitana de Bucaramanga, interconectan los actuales centros urbanos y al mismo tiempo ejercen alguna influencia en las áreas de crecimiento sobre todo en Floridablanca y Piedecuesta. De otra parte, las secretarías de planeación adelantan actualmente

planes parciales donde solo contemplan posibilidades de crecimiento dentro los límites establecidos por el respectivo POT sin tener en cuenta otros estudios.

De acuerdo a lo anterior, teniendo en cuenta la dificultad de planear con otras herramientas, la ausencia de datos y la incertidumbre social que aún no supera el país, la herramienta más práctica para señalar las zonas de desarrollo son los POT.

Según los POT de Floridablanca y Girón, en el área de la planta de tratamiento de aguas residuales de Río Frío, existe un aislamiento ambiental de 1 km alrededor de toda la planta. Este aislamiento es debido al problema de olores que no se ha solucionado hasta la fecha; no obstante la Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) adelanta actualmente algunas investigaciones con el propósito de solucionar este problema. Por esta razón, para efectos de proyección territorial, en este estudio se despreja el aislamiento y se integran estos territorios como áreas de posible expansión urbana.

2.4.1 HIPÓTESIS 1

La primera hipótesis de crecimiento urbano asume que la población proyectada se ubica con la misma densidad actual y de forma independiente en cada municipio.

El espacio de crecimiento para cada municipio se adoptó a partir de las áreas de expansión urbana y suburbana incluidas en el POT. De esta manera, el delta de población se ubica alrededor del casco urbano de cada municipio con la misma densidad que presentaba en el momento de producción de los mapas del POT. Sin embargo, como las áreas de crecimiento de cada municipio no son las mismas y las densidades tampoco, entonces cada municipio tendrá una dinámica diferente. Así, algunas llenarán su espacio disponible antes de los siguientes treinta años y por el contrario a otras les sobraré espacio para los siguientes años.

Teniendo en cuenta lo anterior, la hipótesis supone que las ciudades crecerán con la misma densidad hasta cubrir la totalidad del espacio de crecimiento (zonas de expansión urbana y suburbana), y en el momento en que ese espacio esté cubierto, se iniciará un proceso de re-densificación. Así, en los próximos treinta años el área dura de las ciudades será según esta hipótesis, obligatoriamente menor o igual (\leq) a las áreas actualmente denominadas de expansión, suburbana y urbana de cada municipio independientemente e ignorando cualquier interacción por cuenta del área metropolitana, la vecindad de los municipios, el transporte etc.

Los datos de población y área a distribuir se muestran en las tablas a continuación:

Tabla 6. Delta de población y área de expansión de Bucaramanga y Floridablanca en hipótesis 1

Año	Bucaramanga		Floridablanca	
	Hab/m ² =	0.018005924	Hab/m ² =	0.015540855
	Δ Población	Area expansión (m ²)	Δ Población	Area expansión (m ²)
2016	82220	4566289	81031	5214038
2026	150737	7731712	145807	7106647
2036	219253	7731712	210735	7106647

Tabla 7. Delta de población y área de expansión para Girón y Piedecuesta en hipótesis 1.

Año	Girón		Piedecuesta	
	Hab/m ² =	0.015761362	Hab/m ² =	0.010647123
	Δ Población	Area expansión (m ²)	Δ Población	Area expansión (m ²)
2016	57223	3630557	39404	3700927
2026	94494	5995320	68473	6431140
2036	131201	8324234	97983	9202751

La forma de la expansión obedece a un buffer de afectación que se extiende desde los límites urbanos actuales hasta que se completa el área de expansión determinada por la población proyectada y la densidad poblacional. Así mismo, se plantean dos formas de expansión. Una de ellas plantea que primero se ocupan las zonas de expansión urbana independientemente de si están más cerca del límite urbano y luego de ocupada esta zona, se continúa con la zona suburbana. La otra forma de expansión plantea que ambas zonas (expansión, suburbana) se expanden al mismo tiempo de acuerdo con la cercanía con el límite urbano. De esta manera, al final se obtienen dos formas de hipótesis 1, que son: hipótesis 1A e hipótesis 1B respectivamente (ver figura 14 y 15).

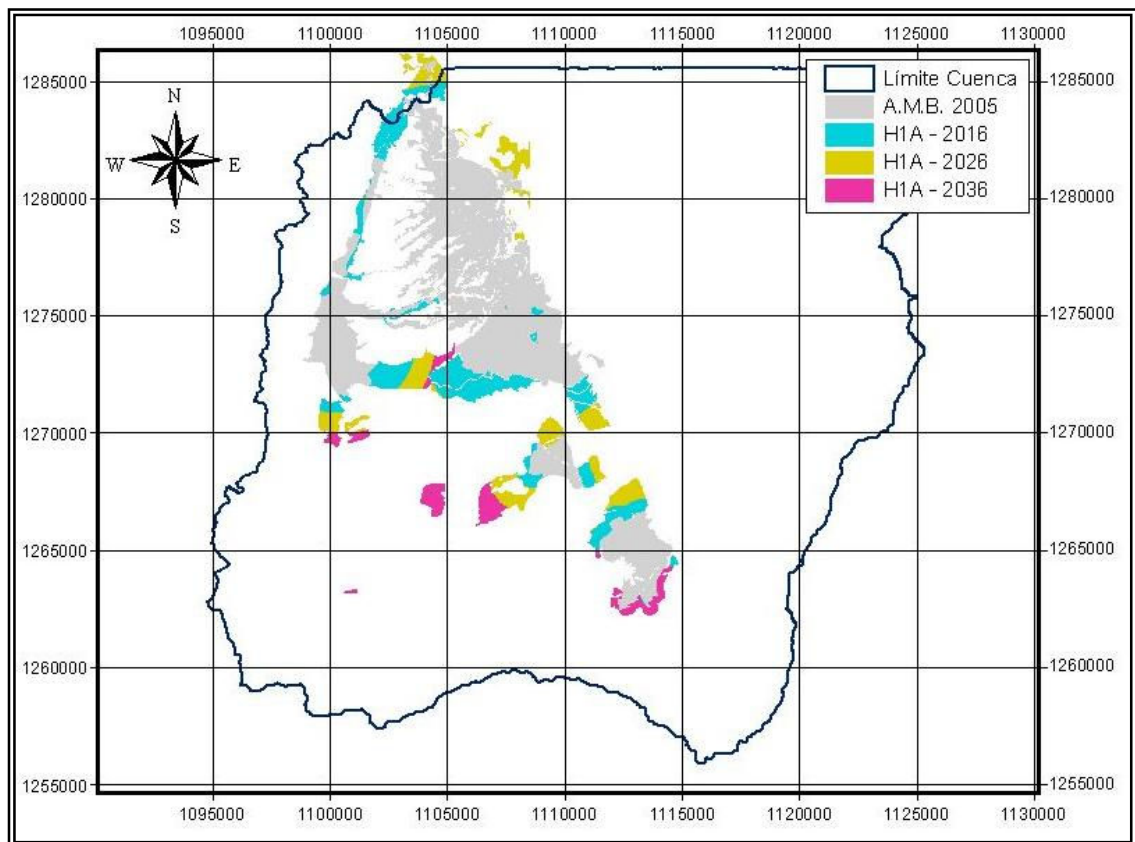


Figura 14. Hipótesis de crecimiento urbano 1A.

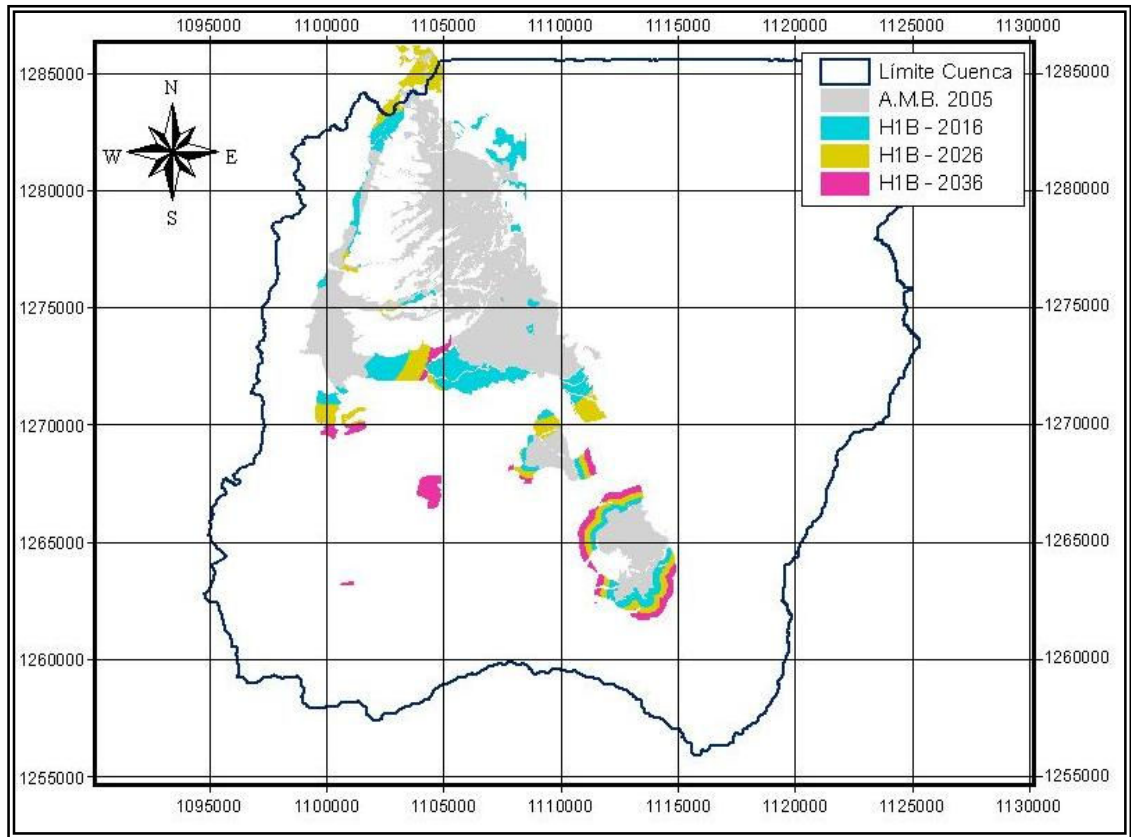


Figura 15. Hipótesis de crecimiento 1B.

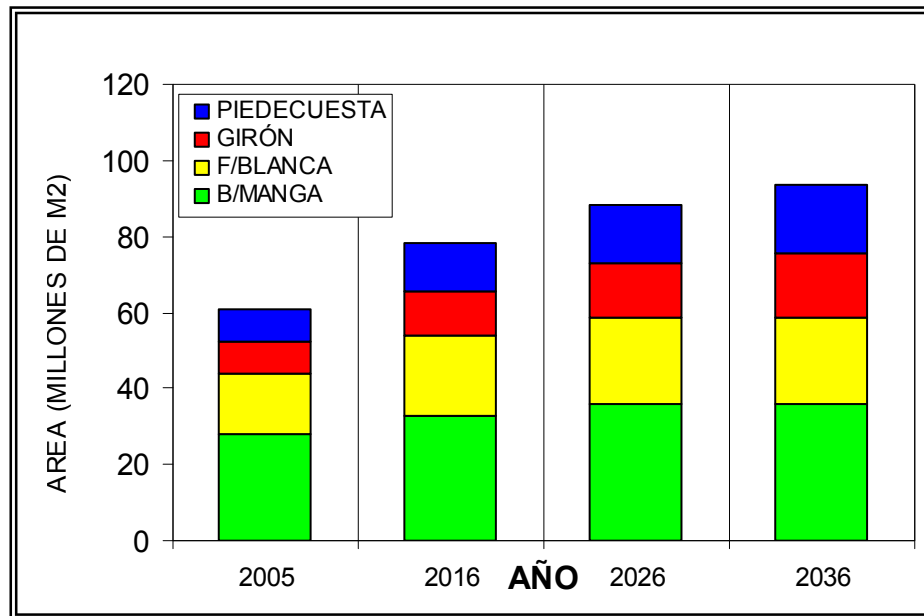


Figura 16. Evolución del área del AMB según hipótesis 1 en el tiempo.

Esta hipótesis contempla la opción más conservadora de todas, pues las ciudades se planean como estáticas a partir de que cubren su espacio de crecimiento y éstas no influyen sobre las vecinas en su crecimiento, lo cual resulta poco probable que suceda. Es evidente que cuando se llenen y desde antes habrá interacción entre ellas, lo que aumentará las áreas ocupadas. A parte de lo anterior no se contemplan en esta hipótesis los asentamientos subnormales e ilegales que podrían representar un cambio en el uso del suelo significativo.

2.4.2 HIPÓTESIS 2

La segunda hipótesis de crecimiento urbano asume que la población proyectada se ubica con la misma densidad actual y de forma independiente para cada municipio, pero solo hasta el punto en el que se cubre la totalidad de su espacio de crecimiento (zonas suburbana y de expansión urbana).

El mecanismo de crecimiento de esta hipótesis, es el siguiente: cada municipio crecerá con su densidad hasta cuando cubra su espacio disponible para crecimiento. De ahí en adelante, se traslada hacía el municipio inmediatamente vecino. Los datos de población y área a distribuir se muestran en las tablas a continuación:

Tabla 8. Delta de población y área de expansión de Bucaramanga y Floridablanca en hipótesis 2

Año	Bucaramanga		Floridablanca	
	Hab/m2 =	0.018005924	Hab/m2 =	0.015540855
	Δ Población	Area expansión (m2)	Δ Población	Area expansión (m2)
2016	82220	4566289	81031	5214038
2026	139217	7731712	110443	7106647
2036	139217	7731712	110443	7106647

Tabla 9. Delta de población y área de expansión para Girón y Piedecuesta en hipótesis 2.

Año	Girón		Piedecuesta	
	Hab/m2 =	0.015761362	Hab/m2 =	0.015540855
	Δ Población	Area expansión (m2)	Δ Población	Area expansión (m2)
2016	57223	3630557	39404	3700927
2026	133225	8452630	76627	7196955
2036	133225	8452630	276287	25949467

De esta manera, los municipios de Floridablanca, Bucaramanga y Girón solo tendrán espacio hasta años antes de cumplirse el 2026. Lo anterior conduce a que de ahí en adelante el municipio de Piedecuesta asuma toda la población que resulta del crecimiento en las demás ciudades.

Cabe aclarar, que una vez que el municipio receptor asume la población de sus vecinos, esta población se distribuye de acuerdo con la densidad propia, de tal manera que las densidades de cada municipio se conservan y se siguen comportando de manera independiente.

Esta hipótesis resulta como la menos conservadora pues no asume ningún tipo de re-densificación. Así, todo el delta de población a partir del inicio de la proyección tendrá un espacio diferente al ya catalogado como urbano. Como consecuencia, el área de crecimiento al final de la proyección resulta considerablemente mayor que en la hipótesis número 1.

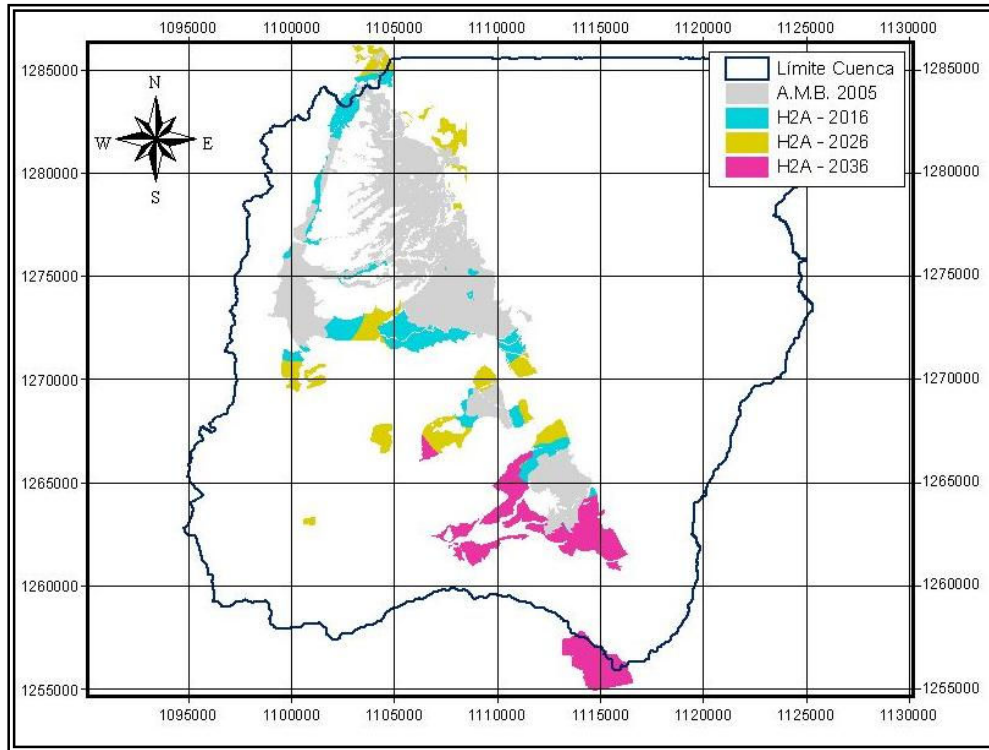


Figura 17. Hipótesis de crecimiento urbano 2A.

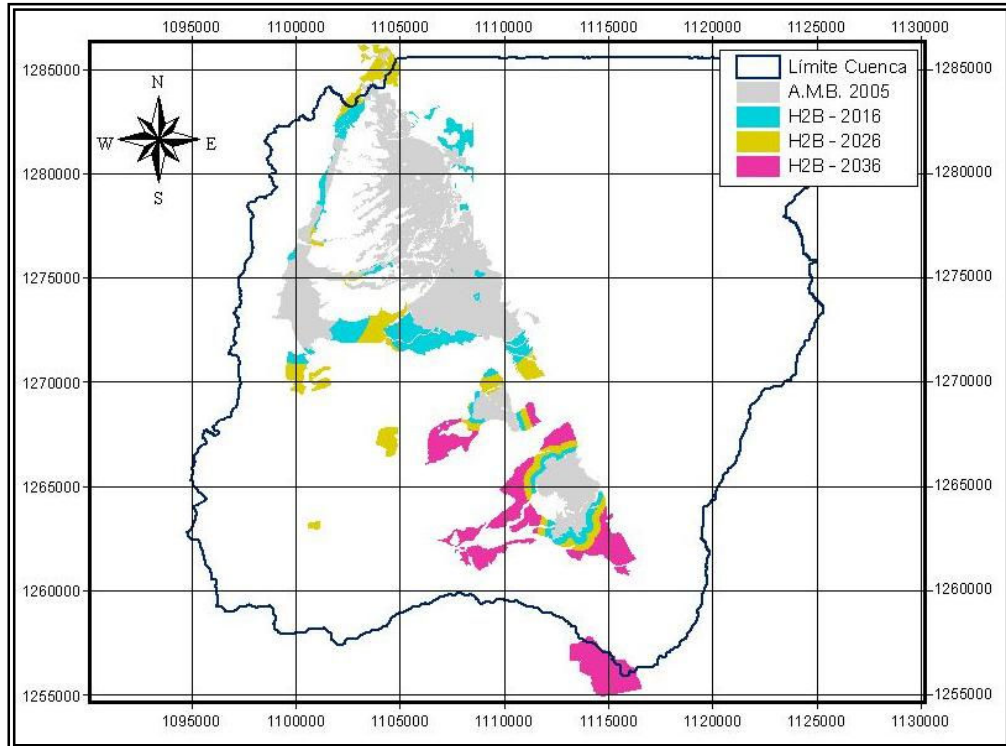


Figura 18. Hipótesis de crecimiento urbano 2B.

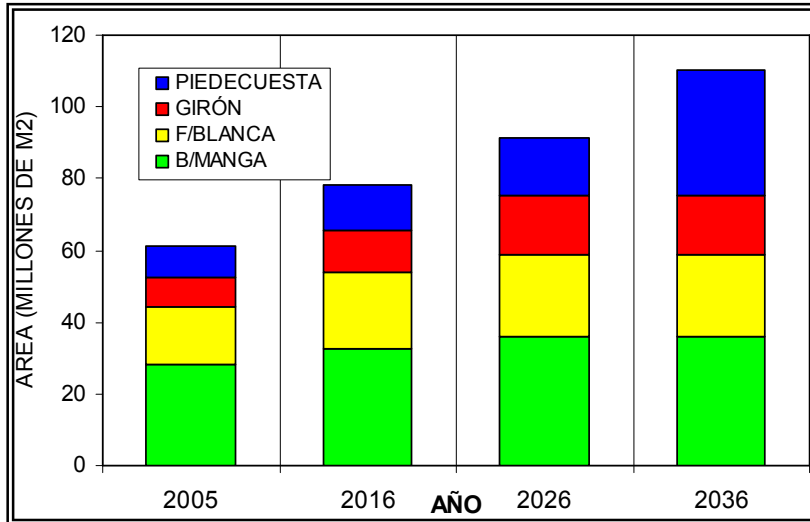


Figura 19. Evolución del área del AMB según hipótesis 2 en el tiempo.

Teniendo en cuenta la hipótesis 1 y 2 como extremas, se puede llegar a afirmar que cualquier comportamiento de ocupación de área en Bucaramanga y su zona metropolitana se encontrará en el intervalo de estas dos hipótesis. Esto, con la condición de que no cambien las políticas de uso de suelo en el tiempo y el crecimiento de la población no sufra alteración alguna.

2.4.3 HIPÓTESIS 3

La hipótesis 3 se presenta como una variante en términos puramente cualitativos de la hipótesis 2. Las áreas de crecimiento son las mismas pero se contextualizan de manera diferente. En este caso el área metropolitana se asume como un todo que se comporta de manera global. De esta manera, el área de crecimiento se asume igual pero alrededor del total del casco urbano de los cuatro municipios al mismo tiempo. De esto se obtiene una distribución espacial diferente a la hipótesis 2 pero con la misma cantidad de área ocupada.

De la misma manera que en las anteriores hipótesis, del análisis resultan dos tipos de hipótesis según el búfer de afectación tenga en cuenta primero la zona de

expansión y luego la suburbana, o ambas al mismo tiempo obteniéndose así, la hipótesis 3A y la hipótesis 3B respectivamente.

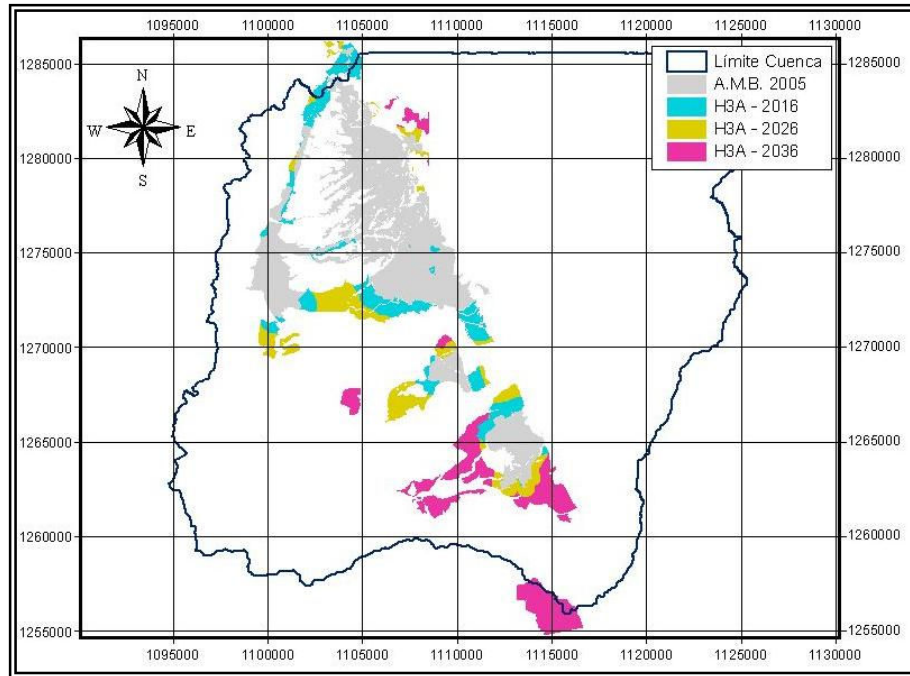


Figura 20. Hipótesis de crecimiento urbano 3A.

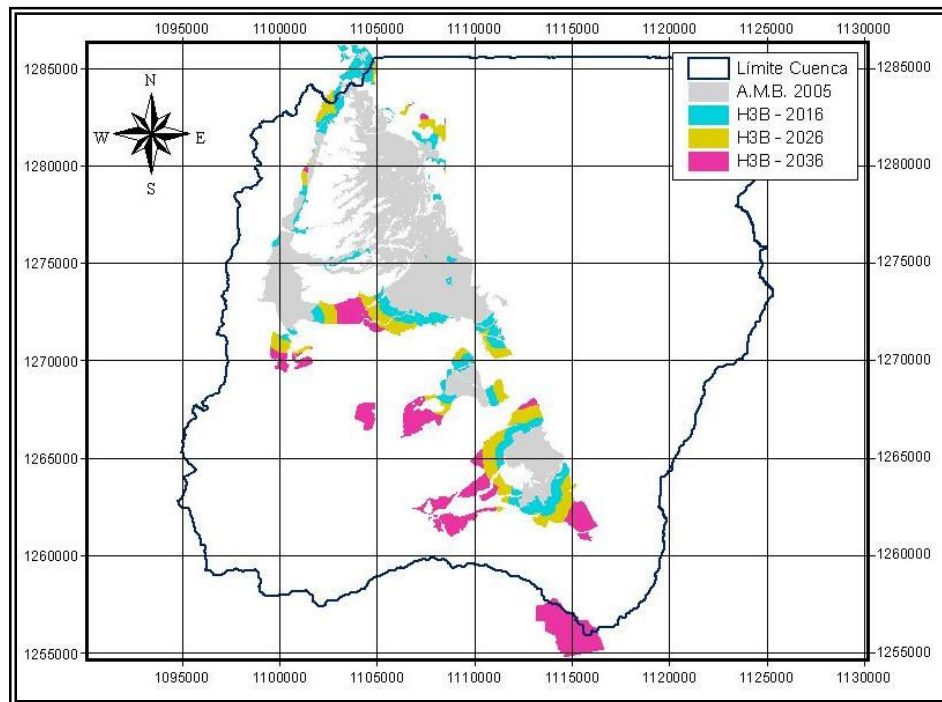


Figura 21. Hipótesis de crecimiento urbano 3B.

2.5 COMPARACIÓN DE HIPÓTESIS

Las diferencia en configuración de área entre las hipótesis y el presente se pueden observar en los mapas de las figuras 14 a 21.

A continuación se muestra una comparación de las hipótesis 1 y 2. La hipótesis 3 no se incluye debido que las diferencias en cantidad de área entre la hipótesis 2 y 3 son nulas.

Tabla 10. Comparación de hipótesis 1 y 2 en cantidad de área.

AÑO	HIPÓTESIS 1	HIPÓTESIS 2	DIFERENCIA (m2)
	ÁREA EXPANDIDA (m2)	ÁREA EXPANDIDA (m2)	
2016	17111811	17111811	0
2026	27264819	30487944	3223125
2036	32365344	49240456	16875111

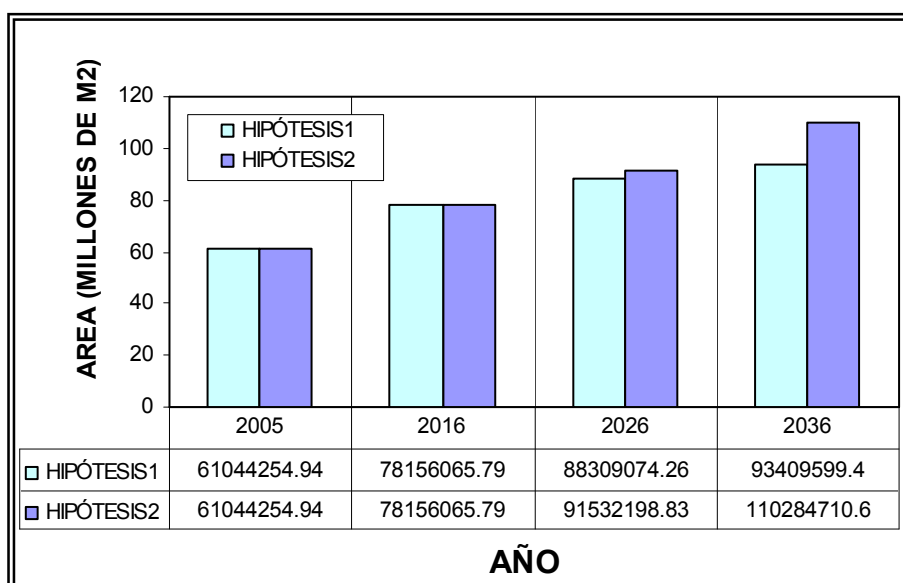


Figura 22. Comparación de hipótesis 1 y 2 en el tiempo para el AMB

3. ASPECTOS HIDROLÓGICOS

3.1 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

La escorrentía directa se puede definir como el porcentaje de precipitación de un evento que fluye superficialmente hasta la salida del drenaje de la cuenca sin infiltrarse o evaporarse. Ahora bien, el porcentaje remanente de volumen de precipitación que se infiltra o evapora, generalizando, se puede nombrar como pérdidas.

El coeficiente de escorrentía (C_e) se puede definir entonces como la relación entre el volumen total de precipitación y el volumen de escorrentía directa para un evento en particular. Este coeficiente de escorrentía depende de varios factores inherentes a la cuenca entre los cuales se encuentran el uso del suelo, la pendiente del terreno, la intensidad de la lluvia, las condiciones previas al evento de estudio y más aún, cambia en la medida que el evento en estudio se desarrolla, por lo tanto depende también de la duración del evento.

$$C_e = \frac{V_{ed}}{VII}$$

Donde:

C_e = Coeficiente de escorrentía

V_{ed} = Volumen de escorrentía directa

VII = Volumen total de precipitación

El volumen de lluvia se deriva de la sumatoria de los datos de precipitación multiplicados por el área de la subcuenca respectiva como se muestra en la siguiente ecuación:

$$VII = \left(\sum_{i=1}^n p_i \right) * A_{sbc}$$

Donde:

VII = Volumen total de precipitación.

P_i = Precipitación.

A_{sbc} = Área de la subcuenca.

Existen varias metodologías para el cálculo del coeficiente de escorrentía en una cuenca dependiendo de la disponibilidad de datos con que se cuente. A continuación se presenta las metodologías utilizadas en el presente proyecto para el cálculo del coeficiente de escorrentía en la cuenca del río de Oro.

3.1.1 COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA A PARTIR DE CARTOGRAFÍA.

Contando con la cartografía de los POT se pudo establecer los usos del suelo y el modelo digital orográfico permitió la generación de un mapa de pendientes.

No se cuenta con un estudio de eventos de precipitación, ni con series de tiempo lo suficientemente antiguas y detalladas que permitieran generar valores de Ce propios de la cuenca del Río de Oro. Por lo tanto, para asignar los valores de coeficiente de escorrentía a la cuenca, se utilizó la tabla de valores tabulados para diferentes tipos de superficie, utilizados en la ciudad de Austin, Texas, tabla que se presenta en “Hidrología Aplicada” de Ven Te Chow (Ver anexo 9.2).

El evento del 12 de Febrero de 2005, se cree que obedece a un periodo de retorno de aproximadamente 30 años (Guzman, 2006), así que en la tabla se utilizaron los valores correspondientes a la columna de 25 años.

En el caso del mapa de usos de suelo, se subdividió toda el área de la cuenca en zonas de uso según la tabla de coeficientes de escorrentía. Para ello se tomaron los mapas de uso de suelo del POT de cada uno de los municipios que conforman el AMB, y a partir de estos, se hizo una verificación de los diferentes suelos. Resultado de esta verificación, se tiene un mapa de usos de suelo donde se incluye la zona urbana por un lado, y por el otro la zona rural, compuesta de los suelos bosque, cultivos y pasto (ver figura 23).

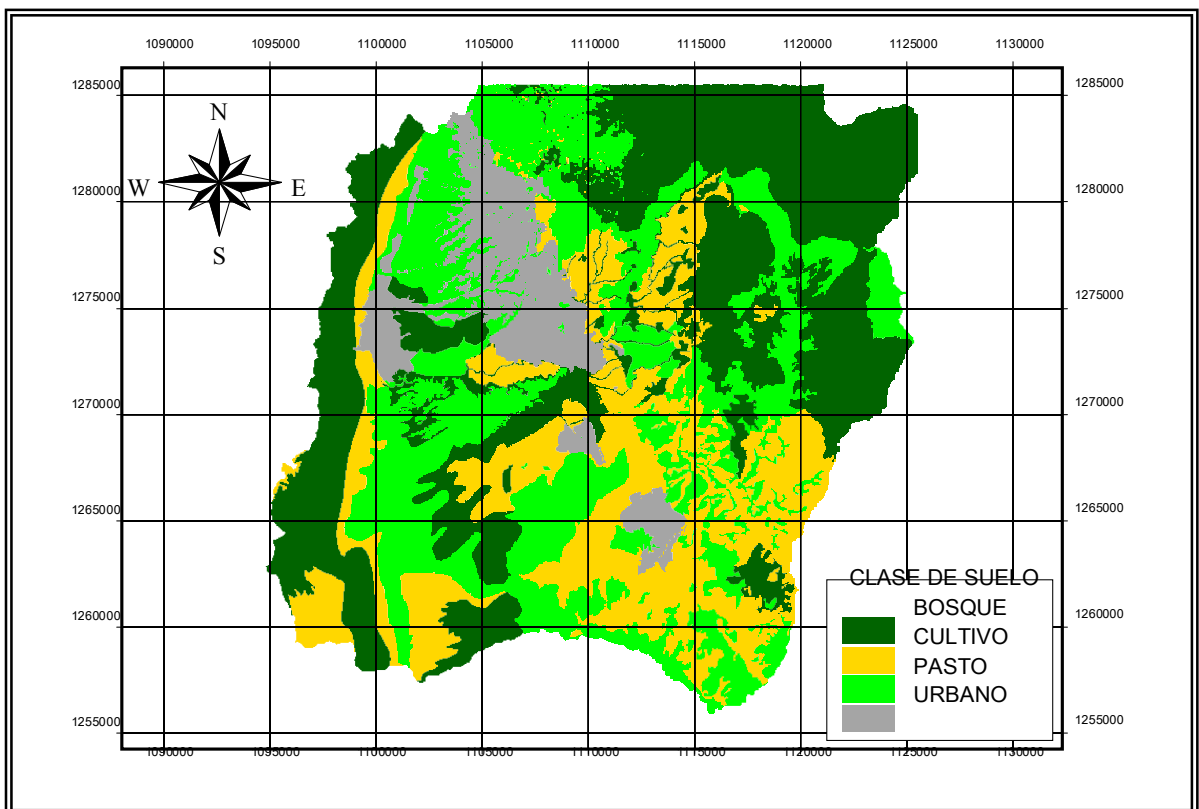


Figura 23. Mapa de usos de suelo año 2005 de la Cuenca del Río de Oro.

La clasificación de las pendientes del terreno también se llevó a cabo de acuerdo con la tabla (Ver anexo 9.2). Aún así, el terreno ofrece un alto porcentaje de pendientes muy superiores al 7% que es el límite superior que presenta la tabla. No obstante, se caracterizó el mapa de pendientes en rangos de 0-2%, 2-7% y superiores al 7% (ver figura 24).

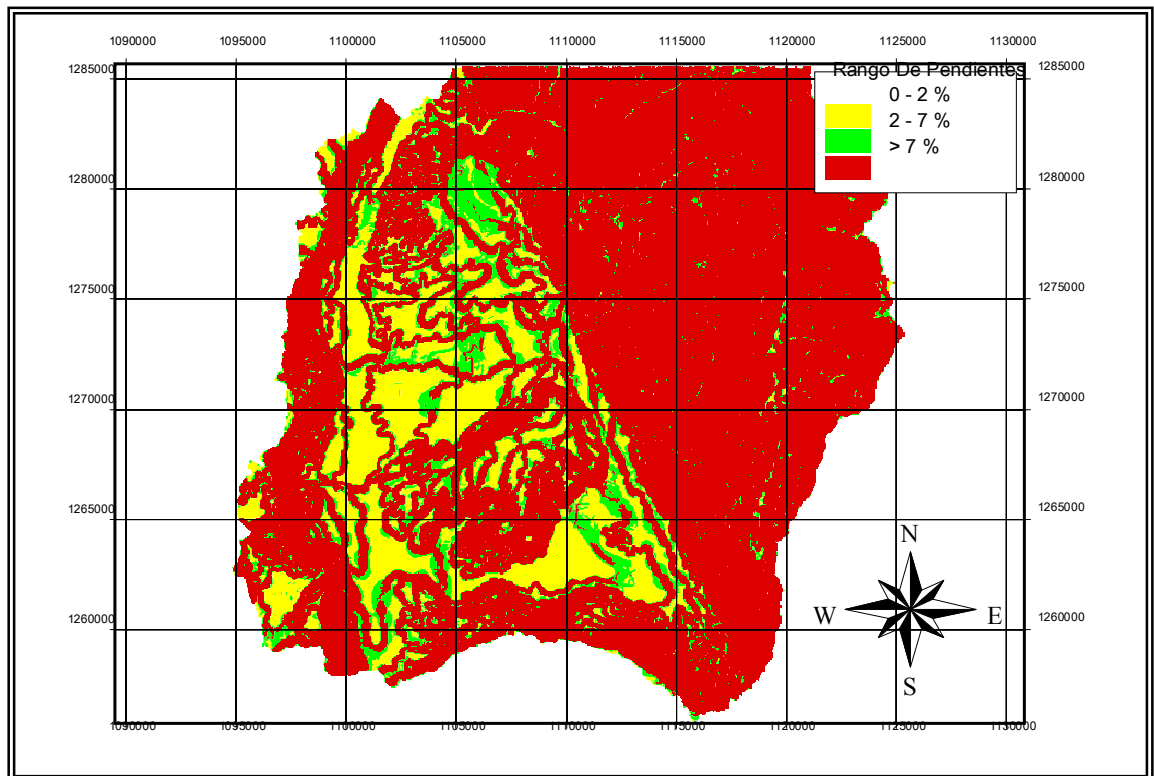


Figura 24. Mapa de pendientes cuenca río de Oro.

La cuenca se analizó dividiéndola en seis subcuencas hidrográficas según se había subdividido anteriormente (González & Sossa, 2005) para la modelación hidrológica. Las subcuencas seleccionadas son: Río de Oro Alto, Río Frío, La iglesia, Chimitá o Rosita, Río de Oro Bajo y Suratá (ver figura 2 y tabla 1).

Seguidamente, se llevó a cabo una superposición de mapas de uso de suelo, pendientes y subcuencas con el fin de asignar los coeficientes de escorrentía a cada zona. Una vez asignados los coeficientes de escorrentía a cada tipo de

suelo, se halló el área que cada uno ocupaba dentro de cada subcuenca y se calculó un promedio ponderado del C_e para cada una de ellas.

Finalmente, se repite el procedimiento para cada uno de las hipótesis de desarrollo urbano, obteniendo así, diferentes mapas de uso de suelo. En cada hipótesis el uso rural en cualquiera de sus modalidades, es reemplazado por uso urbano según el área expandida de década en década. Al final se obtiene entonces, un coeficiente de escorrentía promedio para cada subcuenca en cada hipótesis (ver tabla 11).

De la misma manera, obteniendo los coeficientes para cada subcuenca, se pueden obtener valores promedios de coeficientes de escorrentía (C_e) para la totalidad de la cuenca del río de Oro. Esto se logra, sacando una media ponderada de los coeficientes de cada subcuenca con el área de superficie de cada una de las mismas.

3.1.2 VARIACIÓN DE COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA

A raíz de que el área de crecimiento urbano no representa un gran porcentaje de la totalidad del área de cada subcuenca, la variación de los coeficientes entre el hoy y las hipótesis futuras, no es considerable y en algunos casos se mantiene constante a medida que evolucionan las hipótesis (ver tabla 11). Este comportamiento se puede observar con mayor énfasis en las subcuencas de La Rosita y La Iglesia. Y tal comportamiento tiene su origen en que desde hoy estas subcuencas tienen casi la totalidad del área ocupada en uso urbano. De este modo, estas subcuencas crecerán en los territorios de expansión únicamente durante la primera década, permaneciendo constante el uso del suelo para las siguientes décadas. A continuación se muestra la tabla resumen para las diferentes hipótesis.

Tabla 11. Coeficientes de escorrentía calculados con el uso de suelo para cada una de las hipótesis.

COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA SEGÚN USO DEL SUELO			SUBCUENCAS						Ce promedio total
			Rosita	La iglesia	Oro Alto	Oro Bajo	Río frío	Suratá	
Hoy			0.65	0.63	0.45	0.53	0.51	0.47	0.51
Hipótesis 1	A	2016	0.66	0.64	0.46	0.55	0.53	0.47	0.52
		2026	0.66	0.64	0.46	0.55	0.55	0.48	0.53
		2036	0.66	0.64	0.47	0.55	0.55	0.48	0.53
	B	2016	0.66	0.64	0.46	0.55	0.53	0.47	0.52
		2026	0.66	0.64	0.46	0.55	0.54	0.48	0.53
		2036	0.66	0.64	0.47	0.55	0.55	0.48	0.53
Hipótesis 2	A	2016	0.66	0.64	0.46	0.55	0.53	0.47	0.52
		2026	0.66	0.64	0.47	0.55	0.55	0.48	0.53
		2036	0.66	0.64	0.48	0.55	0.55	0.48	0.54
	B	2016	0.66	0.64	0.46	0.55	0.53	0.47	0.52
		2026	0.66	0.64	0.47	0.55	0.55	0.48	0.53
		2036	0.66	0.64	0.48	0.55	0.55	0.48	0.54
Hipótesis 3	A	2016	0.66	0.64	0.46	0.54	0.53	0.47	0.52
		2026	0.66	0.64	0.47	0.55	0.55	0.47	0.53
		2036	0.66	0.64	0.48	0.55	0.55	0.48	0.54
	B	2016	0.66	0.64	0.46	0.54	0.53	0.47	0.52
		2026	0.66	0.64	0.47	0.55	0.54	0.48	0.53
		2036	0.66	0.64	0.48	0.55	0.55	0.48	0.54

Así, si el interés del proyecto se centra en buscar un intervalo de comportamiento en las subcuencas, se deberían tener en cuenta los coeficientes de escorrentía máximos y mínimos para cada subcuenca (ver figuras 25 y 26). Con relación a lo anterior, se puede observar en los diagramas de barras, que la subcuencas de la

rosita presentan los coeficientes (C_e) más altos que las demás, esto, debido a que una gran porción del área urbana de Bucaramanga se encuentran abarcando casi la totalidad de estas dos subcuencas. A su vez la subcuenca del Oro Alto presenta los valores más bajos (por debajo de 0.5) debido a que la mayor parte de su territorio está constituida por suelos de uso rural.

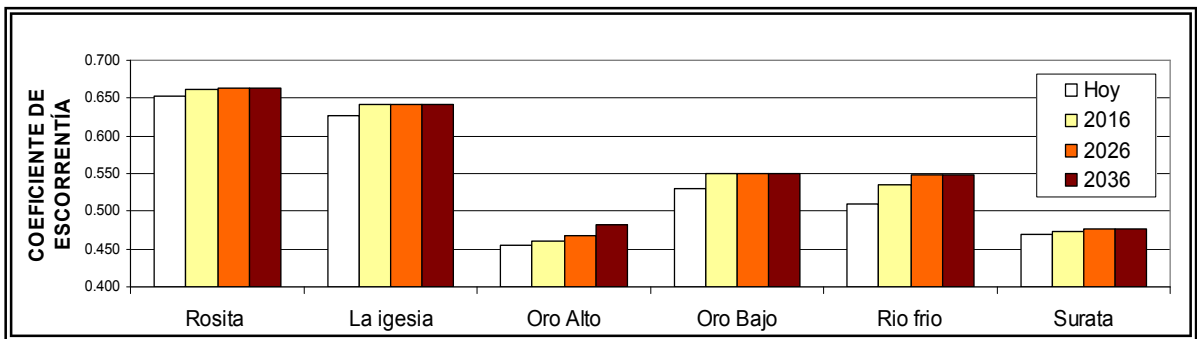


Figura 25. Valores máximos de C_e por subcuenca en cada año entre las hipótesis.

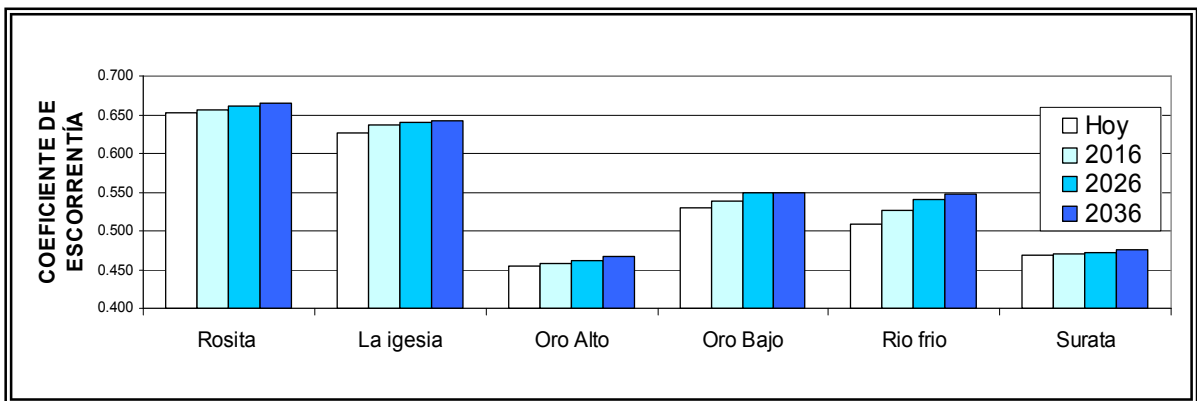


Figura 26. Valores mínimos de C_e por subcuenca en cada año entre las hipótesis.

Los análisis porcentuales de la variación de los coeficientes durante las hipótesis muestran que, el desarrollo urbano influye en un porcentaje inferior al 8% en el cambio de los coeficientes (ver figuras 27 y 28). Este comportamiento tiene su origen en que la cuenca es de tal tamaño, que el desarrollo urbano no logra influir aún en gran medida sobre el comportamiento hidrológico de esta. Sin embargo,

hay que tener en cuenta las limitaciones legales a las que está sometida la investigación. El presente estudio está limitado a las áreas destinadas al crecimiento delimitado por los POT, en consecuencia, no se están teniendo en cuenta los asentamientos subnormales e ilegales que ya existen, pero que no aparecen oficialmente constituidos. Por ende, la dinámica que estos puedan ofrecer hacia el futuro tampoco se tuvo en cuenta.

Para el caso de la suposición de la redensificación de los territorios urbanos, se necesita también una mejor caracterización de las ciudades, pues estas en cierto modo permiten predecir mejor hasta que grado puede darse la redensificación. Por ejemplo, un barrio compuesto en su mayoría por manzanas de casas tiene más posibilidades de redensificarse que barrios de conjuntos cerrados de casas y edificios.

Otro fenómeno importante es que parte del desarrollo urbano planteado se da por fuera de los límites divisorios de la cuenca. Estos desarrollos se encuentran alejados de los centros urbanos lo que los hace susceptibles de cambios. Por ejemplo, si se liberan otros territorios más cercanos a los centros urbanos y por lo tanto dentro de los límites divisorios de la cuenca, la prioridad de crecimiento urbano pasará a estos nuevos territorios y en consecuencia, se aumentarán así los coeficientes de escorrentía de la cuenca.

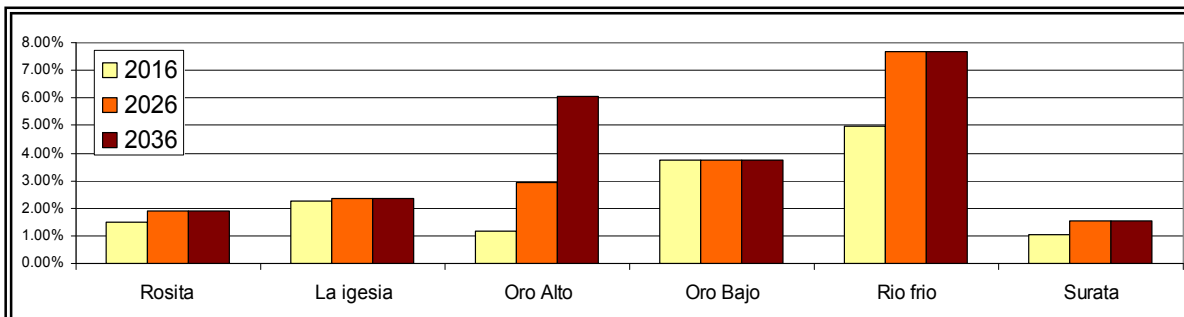


Figura 27. Variación porcentual de valores máximos de Ce respecto al año 2005

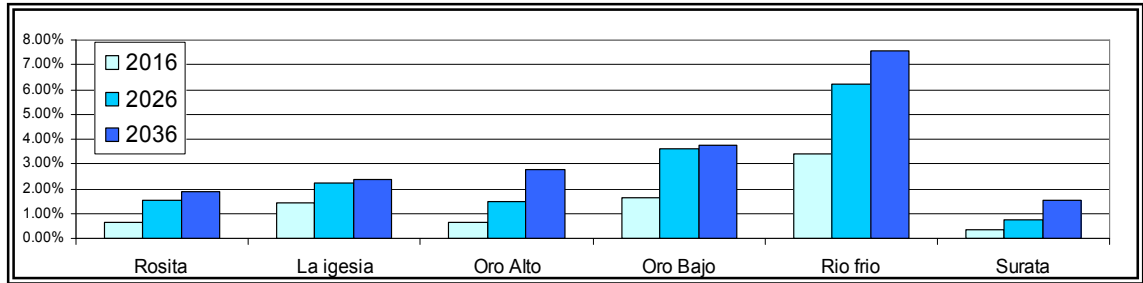


Figura 28. Variación porcentual de valores mínimos de Ce respecto al año 2005.

3.1.3 COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA A PARTIR DE HIDROGRAMAS.

Otra forma de calcular el coeficiente de escorrentía es confrontando datos de precipitación y escorrentía. Para realizar este proceso en este caso, se cuenta con la serie de datos de precipitación del evento del 7 al 12 de Febrero de 2005. Estos datos se encuentran tratados para corregir posibles errores así como espacializados de tal forma que se cuenta con la precipitación horaria promedio de cada subcuenca.

Así como los datos de precipitación para calcular el volumen de lluvia, también se cuenta con hidrogramas de respuesta de cada subcuenca para el mismo evento. Los hidrogramas de respuesta fueron calculados a partir de la aplicación de un modelo hidrológico conceptual semidistribuido (NAM) en cada una de las subcuencas. Estos datos fueron suministrados por el GPH.

(i) SEPARACIÓN DE FLUJO BASE

La separación de flujo base de un hidrograma de escorrentía consiste en indicar el punto donde la escorrentía directa empieza, donde termina y que forma tiene durante dicha escorrentía. Para realizar esta tarea, existen diversas metodologías las cuales pueden arrojar diferentes resultados de acuerdo con cada suposición.

La separación del flujo base es una tarea muy complicada debido a la incertidumbre que intrínsecamente está asociada a ella. Como en la mayoría de casos no se cuentan con mediciones suficientes de la evolución de los niveles freáticos, las decisiones a este respecto corresponden a la experiencia y el buen criterio del ingeniero si se quieren tener resultados en cierta forma acertados.

La separación del flujo base de los hidrogramas de escorrentía para cada subcuenca (obtenidos de NAM), se llevó a cabo con un algoritmo según se propone en *Chapman (1998)*. Así, la metodología utilizada es: el algoritmo de un parámetro basado en la siguiente ecuación:

$$Q_b(i) = k * Q_b(i-1) + (1-k) * Q_d(i)$$

Donde:

$Q_b(i)$ = flujo base en el intervalo i

$Q_d(i)$ = escorrentía directa en el intervalo i

k = constante de recesión durante periodos sin escorrentía directa

(ii) Resultados

La fase operativa del algoritmo de separación de flujo base se llevó a cabo con la ayuda del software Base Flow Separator – Spell Tools Versión 1.0B (Guzmán 2006) el cuál incluye el algoritmo indicado. Para cada subcuenca se obtuvo un valor de “K”, cómo se muestran en la tabla 12. Una vez calculados los volúmenes de escorrentía (ver figura 29), se calcularon los coeficientes de escorrentía como se indicó en la sección anterior. (Ver tabla 13).

Chimita	Iglesia	Oro Alto	Oro Bajo	Río Frío	Surata
0.992	0.995	0.987	0.99	0.984	0.9896

Tabla 12. Valores del parámetro K, hallado para cada subcuenca.

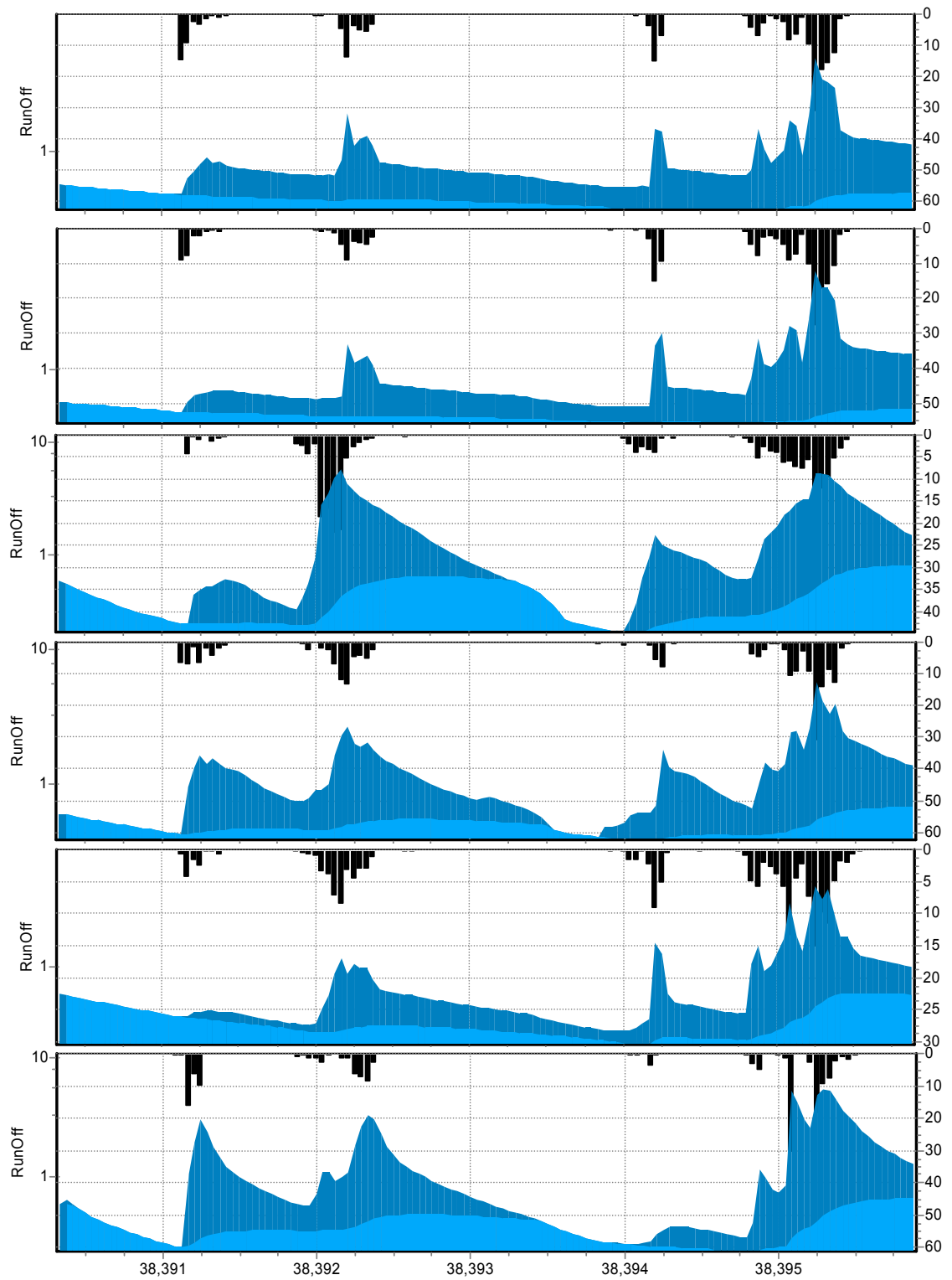


Figura 29. Separación flujo base subsecuencias.

Tabla 13. Coeficientes de escorrentía (Ce) obtenidos a partir de hidrogramas modelados por NAM

SUBCUENCA	VII (mm)	Ved (mm)	Ce
CHIMITÁ	239.78	54.10	0.226
IGLESIA	229.32	59.86	0.261
ORO ALTO	243.93	111.49	0.457
ORO BAJO	236.79	85.58	0.361
RÍO FRÍO	183.37	51.20	0.279
SURATÁ	178.09	93.35	0.524

(iii) COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Cada uno de los métodos arroja resultados diferentes que al ser comparados (ver tabla 14), pueden ofrecer información sobre el periodo de retorno y al mismo tiempo indicar que tan extremo pudo haber sido el evento presentado el 12 de Febrero de 2005.

Los coeficientes empleados para la estimación del Ce promedio para cada subcuenca, obedecen a lluvias de características extremas presentadas en la ciudad de Austin, Texas. Por ende, los valores hallados por la separación del flujo base deberían ser iguales o menores a los anteriores, partiendo de la premisa de que los coeficientes definan características similares en la cuenca del Río de Oro.

Tabla 14. Comparación coeficientes de escorrentía

SUBCUENCA	C_{NAM}	Ce
CHIMITÁ	0.226	0.652
IGLESIA	0.261	0.627
ORO ALTO	0.457	0.455
ORO BAJO	0.361	0.530
RÍO FRÍO	0.279	0.509
SURATÁ	0.524	0.469

La subcuenca de Oro Alto presenta valores muy similares entre ambas metodologías. Esto podría indicar, lo extremo del evento presentado en esa subcuenca y que su periodo de retorno asociado, puede estimarse cercano a los 25 años. Los valores para las subcuencas de Chimitá, Iglesia, Rio Frio y Oro Bajo, presentan diferencias que podrían indicar que en estas el evento no tuvo características extremas. Para la subcuenca de Suratá la diferencia puede deberse a la falta de información sobre usos del suelo en la misma, lo que implicaría en una estimación incorrecta del valor de Ce.

3.2 ESPACIALIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

El evento de estudio tuvo una distribución espacial dada, la cual produjo una respuesta hidrológica simulada y determinada. Si se llegara a presentar otro evento de intensidad y duración similares pero de distribución espacial diferente, la respuesta hidrológica de la cuenca podría variar considerablemente. Además, si se tiene en cuenta el desarrollo urbano para un evento idéntico, los caudales pico aumentarían y el tiempo al mismo se haría inferior.

Para poder determinar el efecto producido por diferentes condiciones de precipitación, era necesario extrapolar la información puntual de las estaciones en toda el área de la cuenca, para a su vez hallar los valores promedios en cada subcuenca. Para realizar la espacialización de los datos registrados en las diferentes estaciones, se utilizó un el software Surfer (Golden Software v.8.0, 2002).

El software Surfer es un potente interpolador que permite elaborar archivos en formato raster a partir de información irregularmente espaciada y con un tamaño de celda definido por el usuario. (Surfer, 2002).

El método seleccionado se explica a continuación.

3.2.1 MÉTODO DE KRIGING

El interpolador Kriging es un método geoestadístico de llenado que ha probado ser útil y popular en muchos campos. Este método produce mapas visualmente atractivos de datos irregularmente espaciados. Kriging es un método de llenado muy flexible donde los parámetros que ajusta kriging pueden ser asumidos por defecto o pueden ajustarse a un modelo apropiado mediante la modificación del variograma.

3.2.2 ESPACIALIZACIÓN EVENTO FEBRERO 2005

Con los datos corregidos de las estaciones suministradas por el GPH, se espacializaron los valores de precipitación para el evento de Febrero de 2005.

La comparación del evento con los cambios que se proponen a continuación permitirá evaluar los resultados. La siguiente figura muestra dos momentos críticos del evento, las 4 am del día 9 y las 6 am del día 12 de Febrero respectivamente.

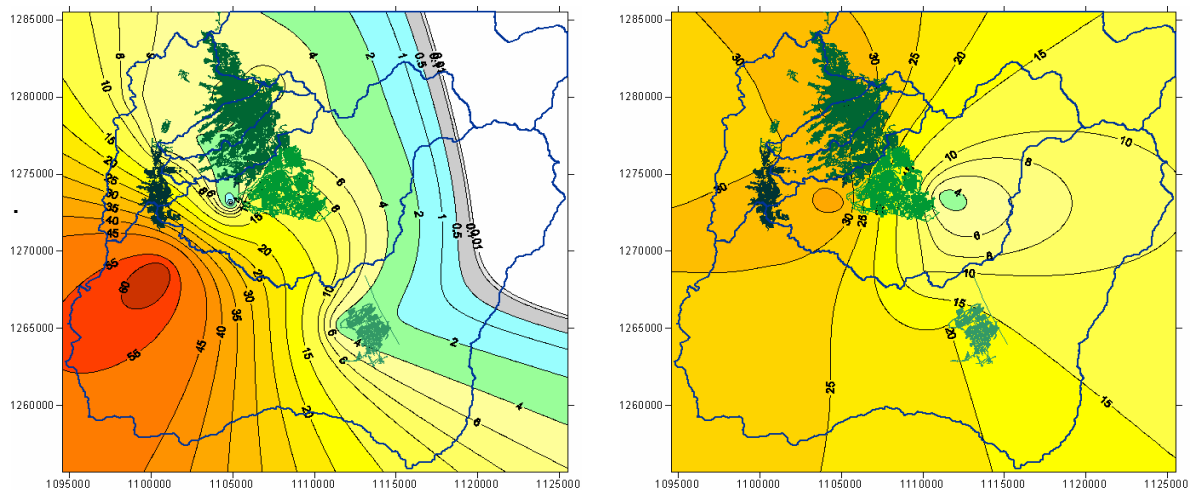


Figura 30. Espacialización 09/02/05 – 4:00 am , 12/02/05 6:00 am

3.2.3 CAMBIO DE ESPACIALIZACION

Para estimar la influencia que pudiera tener un evento de precipitación de características similares pero con una distribución espacial diferente, se utilizaron los datos registrados por las estaciones dentro de la cuenca del Río de Oro pero ubicándolos en lugares diferentes.

Se intercambiaron los datos de determinadas estaciones con las de otras, para realizar así una serie de combinaciones que representaran diferentes lluvias probables. Las estaciones que registraron los mayores valores de precipitación durante el evento fueron la de la UIS y la de Llanogrande, por ende fueron las seleccionadas para ser intercambiadas con las demás estaciones concentradas dentro de la zona urbana de la cuenca. Las estaciones seleccionadas dentro de la zona urbana fueron: IDEAM, CDMB, Centro, PTAR, Club Campestre, y La Esperanza.

Para una combinatoria de 2 datos entre 6 se obtienen 30 opciones diferentes:

$$\binom{n}{r} = \frac{r!}{(r-n)!} = \frac{6!}{(6-2)!} = 30$$

Teniendo en cuenta que la precipitación registrada el 12 de Febrero a las 6:00 am correspondía a valores críticos del evento, se realizó la combinación de valores solo para los datos registrados en ese momento. Una vez realizada esta combinación, los valores se espacializaron y se halló la precipitación promedio para cada subcuenca (Ver anexo 9.5), seleccionando luego las combinaciones críticas, como se muestra a continuación.

Tabla 15. Precipitación promedio de combinaciones.

Nº Combinación	PRECIPITACIÓN PROMEDIO (mm/h)					
	Chimitá	Iglesia	Oro Alto	Oro Bajo	Río Frío	Surata
B15	33.7	33.2	16.0	27.3	26.6	31.6
B18	28.6	28.9	22.4	26.1	19.1	10.1
B4	30.3	25.9	20.2	31.7	14.4	19.9
B13	31.5	31.5	16.4	27.8	27.0	35.3

3.2.4 ESPACIALIZACIÓN DE EVENTOS MÁXIMOS

Con el fin de tener una serie de hipótesis de espacialización que representaran no solo diferentes distribuciones de lluvia, sino al mismo tiempo combinaciones críticas, se planteo un intercambio en la escala temporal de los valores de precipitación además de los cambios de ubicación de las estaciones.

Para lograr una serie de hipótesis de precipitación máxima se intercambiaron los eventos máximos registrados durante la tormenta del día 12 de Febrero de 2004 con los de los días donde se hayan presentado esos valores máximos por estación.

Se realiza una nueva combinatoria de valores, y se le adiciona una que corresponda a la ubicación real de las estaciones. Esta serie de hipótesis fueron espacializadas y se halló la precipitación promedio por subcuenca. Nuevamente se seleccionaron los valores máximos individuales por subcuenca y se obtuvieron cinco hipótesis diferentes, como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 16. Precipitación promedio de combinaciones máximas.

N° Combinación	PRECIPITACIÓN PROMEDIO (mm/h)					
	Chimitá	Iglesia	Oro Alto	Oro Bajo	Río Frío	Surata
C29	43.0	40.5	25.1	32.2	24.7	25.9
C28	40.2	44.3	30.5	26.8	38.5	32.1
C31	32.6	30.3	35.1	37.2	24.5	29.1
C12	34.7	39.1	28.2	27.8	46.2	44.9
C11	36.4	39.2	29.5	28.7	45.8	51.6

3.3 ESTIMACIÓN DE HIDROGRAMAS DE RESPUESTA

Una vez se tienen los datos promedio de intensidad de lluvia es necesaria la aplicación de un modelo hidrológico que permita estimar los caudales que conforman el hidrograma de respuesta de cada subcuenca. Los hidrogramas generados serán utilizados como los valores de entrada dentro del modelo hidráulico del río como se explicará en el capítulo siguiente. Esto junto con los valores de C_e estimados anteriormente, permitirá realizar una estimación de la respuesta hidrológica de la cuenca, y a su vez, la respuesta hidráulica de los cauces simulados para condiciones actuales y futuras ante diferentes eventos de lluvia.

Se utilizan dos modelos hidrológicos para la construcción de estos hidrogramas. En primera instancia el modelo NAM que permitirá generar un hidrograma de respuesta de cada subcuenca, y el modelo racional, que permitirá estimar caudales pico probables para cada subcuenca teniendo en cuenta el cambio del uso del suelo.

El modelo NAM no permite de forma directa estimar la influencia del desarrollo urbano en los caudales de respuesta, por esto, es necesaria la aplicación del modelo racional.

3.3.1 MODELO NAM

NAM es una abreviación de “Nedbor Afstromnings Model” que significa modelo de precipitación escurrentía (DHI, 1999). Este modelo fue desarrollado por la sección de hidrología del Instituto de Hidrodinámica e Ingeniería Hidráulica y la Universidad Técnica de Dinamarca. El modelo hidrológico del NAM modela los procesos de precipitación escurrentía a escala de la cuenca, en el cual mediante un conjunto de funciones matemáticas se describe en una forma cuantitativa el comportamiento de la fase terrestre del ciclo hidrológico. El modelo NAM en su forma original puede considerarse como determinístico, conceptual y agregado, que trata la cuenca como una unidad, los parámetros y variables son representados por valores promedio para la totalidad de la cuenca. (Ver anexo 9.7)

NAM simula los procesos de precipitación – escurrentía mediante el almacenamiento en tres tanques diferentes y mutuamente interrelacionados que representan las componentes físicas de la cuenca. Estos almacenamientos son:

- Almacenamiento superficial
- Zona de raíces o almacenamiento inferior
- Almacenamiento subterráneo

Los datos que requiere el modelo son condiciones iniciales, parámetros del modelo, datos meteorológicos como evapotranspiración, precipitación y en el caso que intervenga la nieve, son requeridos datos de temperatura.

Los parámetros del modelo corresponden a los previamente hallados por Gonzalez & Sossa.

3.3.2 EL MÉTODO RACIONAL

El método racional aporta un valor de caudal pico esperado bajo una intensidad de lluvia efectiva dada (para un periodo de retorno asociado) utilizando el área de la cuenca de estudio y el valor promedio del coeficiente de escorrentía de la misma.

Para cuencas pequeñas el método representa de forma aproximada el caudal pico esperado para un evento dado. Cuando la cuenca de estudio empieza a tener un área considerable el método racional necesita corregir el valor de caudal pico, disminuyendo este por un coeficiente alfa que depende del área.

$$Q_p = \alpha * C * I * A$$

En el medio no se cuenta con tablas que hayan sido deducidas específicamente para la zona de estudio, por ende para la estimación del coeficiente de escorrentía se utilizaron las tablas utilizadas para la ciudad de Austin, Texas (Ven te Chow) como se explicó en el capítulo anterior. El valor del coeficiente alfa fue hallado a partir de los datos del evento como se explica a continuación.

(i) ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE ALFA:

Al igual que el coeficiente de escorrentía, el valor del coeficiente alfa debe obtenerse del tratamiento de la información que brinde una serie de tiempo de precipitaciones y caudales de escorrentía.

La relación de este coeficiente con el área es inversa, y se justifica desde el punto de vista que una lluvia de gran intensidad reduce su probabilidad de ocurrencia a medida que el área que cubra se haga cada vez mayor. (Ver anexo 9.11)

Una primera aproximación al valor de este coeficiente se obtuvo a partir de los datos del mismo evento de análisis. Para cada uno de los días donde se presentó precipitación, se elaboró una espacialización teniendo en cuenta los valores superiores a 1 mm, y se halló la precipitación promedio de la cuenca total hallando a la vez el área que cubrió la lluvia. A continuación se registró la relación entre el valor promedio de precipitación para la cuenca y el valor máximo, correspondiéndole a cada uno de estos valores un área de cobertura.

La gráfica que se muestra continuación muestra el resultado del proceso para todos los días del evento.

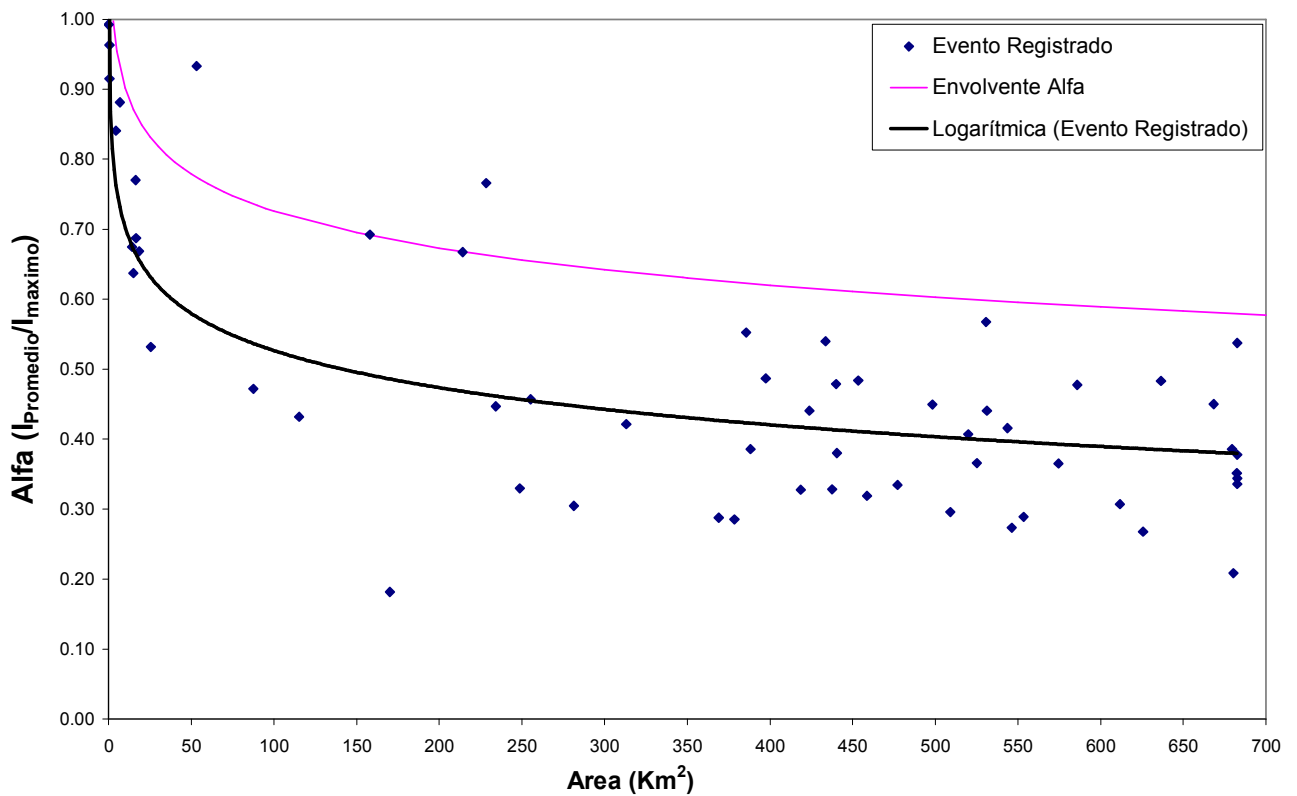


Figura 31. Variación del coeficiente alfa contra el área.

La gráfica tiene una tendencia decreciente pero la dispersión de los valores es grande. Para el caso de estudio que estamos trabajando con un método racional, necesitamos el gráfico que corresponde a los valores extremos esperados de una

intensidad de precipitación dada. Para obtener esto se debería tomar entonces la envolvente superior de los valores.

Para hallar la tendencia media de los datos primero se hizo una regresión logarítmica de los mismos. La gráfica resultante se desplazó en el eje vertical hasta obtener la envolvente buscada, localizándola a una desviación estándar.

Los valores de alfa para cada subcuenca se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 17. Valor de alfa para cada subcuenca

	Chimitá	La igesia	Oro Alto	Oro Bajo	Rio frio	Surata
Área (Km2)	15.70	20.54	347.38	54.22	135.88	108.85
Alfa	0.87	0.85	0.63	0.77	0.70	0.72

3.4 HIDROGRAMAS DE RESPUESTA

Cada una de las hipótesis de espacialización, corresponde a un escenario probable de la cuenca del Río de Oro. Para el primer escenario se tendrá en cuenta el efecto del desarrollo urbano (coeficientes a partir de cartografía) para un evento idéntico al acontecido en Febrero de 2005. Para un segundo escenario, se tendrán en cuenta diferentes eventos de duración e intensidad similar, pero con distribución espacial diferente. Un último escenario corresponde a las diferentes combinaciones de valores de precipitación que reflejen un evento de condiciones críticas en la cuenca. Para los dos últimos escenarios no se tendrá en cuenta el desarrollo urbano.

3.4.1 ESCENARIO UNO

La inclusión del efecto del desarrollo urbano en la estimación de un hidrograma de respuesta de una subcuenca debería no solo aumentar el valor del pico, sino además reducir el tiempo al mismo. La segunda premisa no fue tomada en cuenta ya que el modelo del río únicamente acepta valores de entrada horarios, y la reducción del tiempo al pico obligaría a ubicarlo en un tiempo intermedio no aceptado por el software. Por esta razón, el tiempo al pico se conservó idéntico al hidrograma original. Los valores del hidrograma fueron alterados proporcionalmente para obtener al final el caudal pico deseado y al mismo tiempo conservar el volumen de escorrentía directa.

Para valorar la respuesta frente al desarrollo urbano se escogió la hipótesis 3B (Ver tabla 11). La mayor afectación se presenta en la cuenca de Río Frío y Oro Alto para el año 2036 como se muestra a continuación.

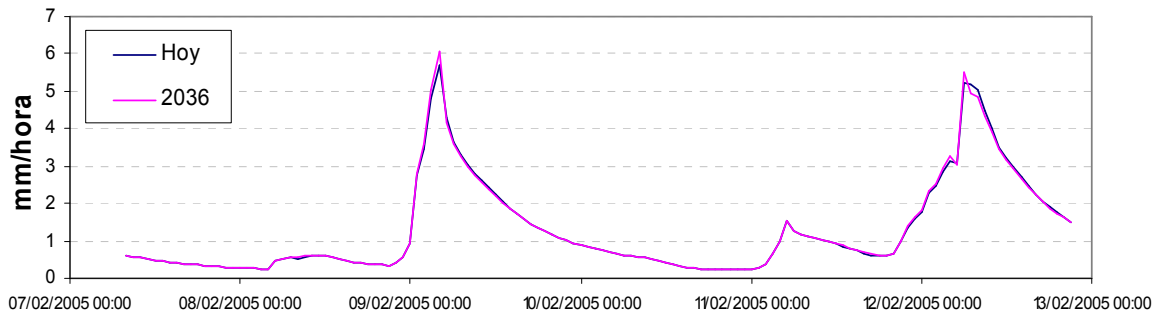


Figura 32. Comparación hidrogramas de respuesta en la subcuenca de Oro Alto

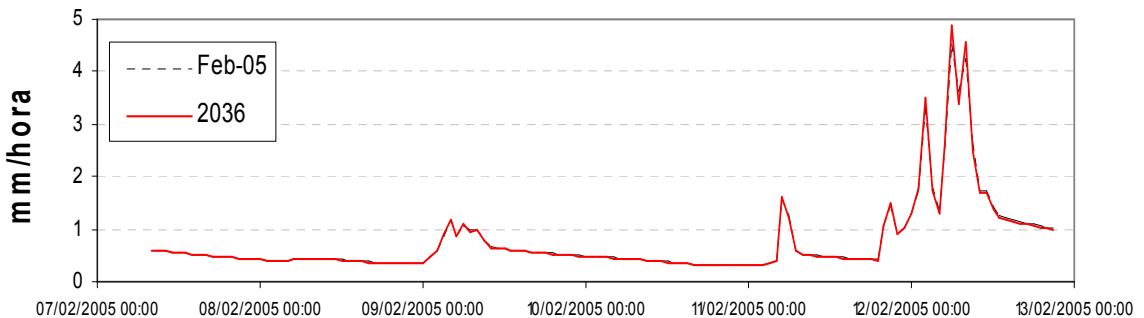


Figura 33. Comparación hidrogramas de respuesta en la subcuenca de Río Frío

3.4.2 ESCENARIO DOS - TRES

Con ayuda del modelo NAM, sus parámetros calibrados y los valores de precipitación promedio por subcuenca previamente hallados, se estimaron los diferentes hidrogramas de respuesta de cada subcuenca para ser incluidos en el modelo del río, como se explica en el capítulo siguiente.

4. MODELACIÓN DEL RIO DE ORO

Con los hidrogramas de respuesta para cada escenario, se procedió a hacer un modelamiento de la sección del río con las modificaciones que se han hecho en el cauce hasta la fecha.

El modelo hidráulico está montado sobre el software HEC-RAS y fue suministrado por el GPH quienes anteriormente lo habían calibrado con el evento de precipitación original. Los tramos del río de Oro modelados dentro del sistema son los descritos en el anexo 9.8.

4.1 SOFTWARE HEC – RAS

HEC-RAS es un sistema integrado de software, diseñado para el uso interactivo en un ambiente multitarea. El sistema se compone de una interfase del usuario gráfica (GUI), componentes de análisis hidráulicos separados, almacenamiento de datos y capacidades de dirección, gráficos y facilidades de reporte.

El sistema de HEC-RAS actualmente contiene dos componentes de análisis hidráulico unidimensional. El primero para cálculos de Perfiles de superficie de agua para Flujo Permanente y el segundo simulación de Flujo No Permanente; un tercer componente que aun no esta completo incluirá el transporte de sedimentos, este se complementará en versiones posteriores. Además de los tres componentes del análisis hidráulico, el sistema contiene varias ventajas de Diseño hidráulico que pueden ser activadas una vez los perfiles básicos de la superficie del agua han sido calculados. (HEC-RAS, 2005)

El componente de flujo no permanente del sistema de modelamiento del HEC-RAS permite simular el flujo no Permanente unidimensional a través de una red de canales abiertos. El solucionador de ecuación de flujo No Permanente se adaptó del modelo UNET del Dr. Robert L. Barkau (Barkau, 1992 y HEC, 1997). Este componente de flujo No Permanente se desarrolló principalmente para los cálculos del régimen de flujo sub.-crítico. Sin embargo, a partir de la publicación de la versión 3.1, el modelo puede realizar ahora el análisis en régimen de flujo mixto (sub-crítico, supercrítico, resaltos hidráulicos, y succiones). Actualmente se cuenta con la versión 3.1.3 publicada en mayo de 2005.

El procedimiento computacional básico está basado en la solución de la ecuación de energía unidimensional. Las pérdidas de energía son evaluadas por fricción (ecuación de Manning) y contracción/expansión (coeficiente multiplicado por el cambio en la cabeza de velocidad). La ecuación de momento adquirida se utiliza en situaciones donde el perfil de superficie de agua es rápidamente variado. Estas situaciones incluyen los cálculos de régimen de flujo mixto (es decir, resaltos hidráulicos), hidráulica de puentes, y evaluación de perdidas en confluencias del río. (HEC – RAS, 2005).

4.2 PARÁMETROS DE ENTRADA DEL MODELO EN HEC-RAS

Los parámetros de entrada para el modelo hidráulico del río son los siguientes: geometría en planta y secciones transversales, coeficientes de rugosidad Manning, condiciones iniciales de flujo, parámetros de simulación e hidrogramas de las subcuencas en el inicio y en los tributarios. Para este modelo, algunos de los parámetros de entrada ya estaban incluidos dentro del modelo calibrado y suministrado por el GPH.

4.3 GEOMETRÍA, COEFICIENTES DE RUGOSIDAD Y CONDICIONES INICIALES.

La geometría en planta del modelo ya está incluida dentro de los datos suministrados por el GPH y está compuesta por un tramo del río de Oro que inicia aguas arriba de la batea de Vado Hondo y finalizando aproximadamente un kilómetro aguas abajo de la confluencia con el río Suratá. Además de la geometría del río de Oro como tal, el modelo contiene cinco tributarios durante su recorrido los cuales se nombran así: El Río Frío, Quebrada La iglesia, Quebrada Chimitá, Quebrada Chapinero, y Río Surata (ver figura 34).

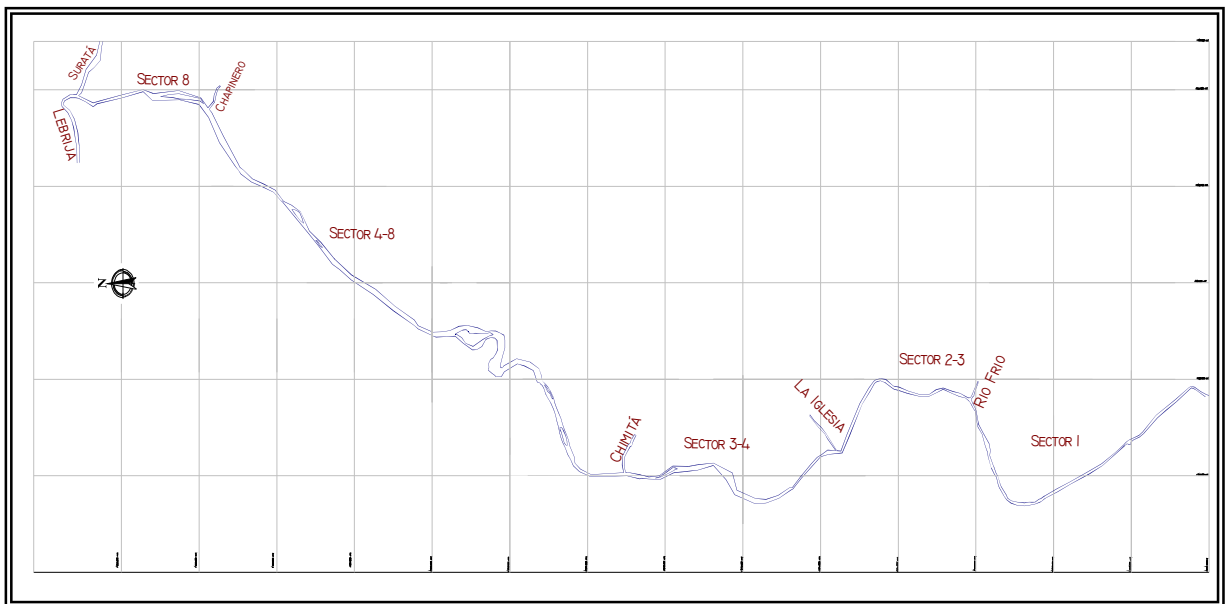


Figura 34. Esquema en planta del tramo del río de Oro modelado en HEC-RAS

Las secciones transversales del modelo también se encuentran ya incluidas en el modelo original. Estas están distribuidas en secciones principales e interpolaciones entre ellas separadas cada diez y cinco metros en algunos casos. Esto, con el propósito de brindar una mayor estabilidad al modelo evitando problemas en las zonas de expansiones y contracciones.

Además de las secciones transversales, el modelo también contiene algunas estructuras de importancia para el río y para este estudio como puentes y bateas. Estas estructuras son: Batea Bado Hondo, Puente Geo Von Lengerke, Puente Jorge Eliécer Fonseca, Puente Flandes (Palenque) y Puente Nariño.

Después de presentado el evento de Febrero de 2005, la corporación para la defensa de la meseta de Bucaramanga (CDMB) programó y ejecutó algunas modificaciones de tipo estructural sobre la geometría del cauce del río con miras a mitigar futuras inundaciones.

Entre las modificaciones realizadas por la CDMB, se encuentran la construcción de muros de gaviones y la demolición de la batea ubicada en el sector del malecón de Girón, al igual que la profundización del cauce en el mismo sector desde aproximadamente 400 metros arriba de la antigua ubicación de la batea. De estas modificaciones, el modelo incluye: muros en el sector Arenales, muros en el sector Gallineral, Muros en el sector Malecón de Girón, muros en el sector del poblado, demolición de la batea en el sector del Malecón y profundización del cauce en el mismo sitio.

Los parámetros de rugosidad del canal están incluidos de antemano en el modelo. Como parámetros de rugosidad, el modelo opera con los coeficientes de rugosidad de Manning. Estos, están distribuidos entre el canal principal y las márgenes derecha e izquierda del canal de cada sección transversal a la cual corresponden entonces tres coeficientes.

Las condiciones iniciales del modelo obedecen a los caudales mínimos de los hidrogramas de las subcuencas que se piensan modelar. Estas condiciones se encuentran también ya definidas en el modelo suministrado por el GPH.

4.4 HIDROGRAMAS DE LAS SUBCUENCAS.

Los hidrogramas de las subcuencas del modelo hidrológico son otro parámetro de entrada que viene incluido dentro del modelo. Sin embargo, estos hidrogramas corresponden a la lluvia original presentada entre el 7 de Febrero y el 12 de Febrero de 2005, los cuales fueron modelados mediante la metodología NAM anteriormente.

El modelo recibe los hidrogramas a través de sus tributarios, de tal manera que cada tributario corresponde a cada una de las subcuencas anteriormente mencionadas. En el caso del tributario Quebrada Chapinero, a este se le aplica el hidrograma correspondiente a la subcuenca del Oro bajo.

Durante el proceso de modelamiento, los hidrogramas serán los parámetros a variar para llevar a cabo el análisis de la influencia de los cambios en la configuración de la precipitación y el desarrollo urbano.

4.5 MODELACIÓN HIDRÁULICA DE HIPÓTESIS

La modelación hidráulica de las hipótesis es la fase final del proyecto y de este proceso en mayor medida se podrá concluir en la presente investigación. Con este objetivo y teniendo ya calibrado el modelo entonces se seleccionaron las secciones que iban a ser evaluadas con las diferentes hipótesis y se procedió con la modelación.

Los cálculos de los modelos en general fueron ejecutados con un intervalo de cómputo de cinco (5) minutos y la impresión de resultados con resolución de diez minutos. Sin embargo, para el caso de la hipótesis C28, no fue posible la convergencia del modelo con esa resolución de cómputo, así que esta fue

cambiada por un intervalo de un (1) minuto con condiciones iniciales correspondientes a los mínimos de sus respectivos hidrogramas.

En el caso de la hipótesis C29, no fue posible su convergencia. Esto debido posiblemente a la insuficiente información geométrica y la ocurrencia de flujos críticos de manera continua en e modelo.

La modelación de las hipótesis se llevó a cabo a partir de escenarios con cierta posibilidad de ocurrencia. Así, se agruparon todas las hipótesis anteriormente planteadas en escenarios de probabilidad organizadas de mayor a menor.

Aunque asignar probabilidades de ocurrencia absolutas para los eventos resulta imposible teniendo en cuenta la insuficiencia de datos, cabe la posibilidad de hablar de jerarquías a la hora de presentarse estos eventos. De esta manera se definieron entonces tres escenarios de modelación. En primer lugar, las hipótesis donde se considera un evento con la misma intensidad y espacialización pero con diferente respuesta debido al desarrollo urbano en los años por venir. En este escenario se incluyen las hipótesis 2016, 2026 y 2036 seleccionadas. En segundo lugar, aquellas hipótesis donde el evento corresponde al mismo medido en el desastre pero con diferente espacialización sobre la cuenca. A este escenario corresponden entonces las hipótesis tipo B seleccionadas. Por ultimo, aquellas hipótesis que consideran la concentración de los máximos registrados en las estaciones en un mismo instante y con diferentes espacializaciones. A este escenario corresponden entonces, las hipótesis tipo C seleccionadas.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Las secciones a evaluar corresponden a aquellas que la CDMB modificó con la construcción de muros. La selección de secciones de control en esta investigación, corresponden a aquellas que afectan directamente el casco urbano del municipio de Girón. Estas secciones comprenden en el sector de arenas a las secciones 9 a 11, en el sector de Parque Gallineral las secciones 14 a 28 y en el sector Malecón de Girón las secciones 30, 32 y 33^a; en el sector del Poblado las secciones 45 a 52. A lo largo de todas estas secciones están modelados los muros que han sido construidos.

Además de las secciones de los muros, también se seleccionaron las estructuras de mayor importancia construidas a lo largo del río para evaluar los niveles que se podrían presentar en las mismas. De estas estructuras se incluyen: Puente Lengerke, Puente Fonseca, Puente Palenque y Puente Nariño.

Este modelo no tiene en cuenta posibles inundaciones o desbordamientos ocurridos en los cauces de los tributarios al río dentro de las subcuencas estudiadas

5.1 ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE NIVELES EN MUROS

La evaluación de los efectos de las hipótesis en los niveles del río y las estructuras se llevaron a cabo dependiendo de la estructura. Así, para los muros a lo largo del río se tomó como referencia el borde libre mínimo que estos deben poseer para garantizar su estabilidad. De otra parte, en los puentes se tomó como referencia el concepto del gálibo mínimo.

El borde libre tiene importancia en los canales abiertos porque permiten contener los efectos del oleaje en la superficie y ocasionales desbordamientos. En este caso, el borde libre mínimo en los muros propuestos fue evaluado aplicando la siguiente ecuación:

$$BL = 2 + 0.025 * V * \sqrt[3]{Z}$$

Donde:

BL = Borde Libre mínimo en pies.

V = Velocidad media en el canal expresada en pies / segundo.

Z = Profundidad del cauce en pies.

Esta ecuación es una expresión empírica que da una indicación razonable del borde libre mínimo para canales; esta definida a partir de la relación existente entre la energía por pie de ancho, la velocidad y la profundidad del agua en el canal. (Stewart, 1957)

Las siguientes tablas muestran la verificación del borde libre con las cotas de los muros en cada una de las secciones escogidas para el análisis.

Las tablas con los valores observados en la simulación y los calculados de borde libre mínimo para cada una de las hipótesis se pueden observar en el anexo 9.9.

Tabla 18. Evaluación de borde libre muros para escenario 1.

SECTOR	SECCIÓN	VERIFICACIÓN DE BORDE LIBRE PARA HIPÓTESIS		
		2016	2026	2036
ARENALES	9	OK	OK	NO CUMPLE
	10	OK	OK	OK
	11	OK	OK	OK
PARQUE GALLINERAL	14	OK	OK	OK
	15	OK	OK	OK
	16	OK	OK	OK
	17	OK	OK	OK
	18	OK	OK	OK
	19	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	20	OK	OK	OK
	21	OK	OK	OK
	22	OK	OK	OK
	23	OK	OK	OK
	24	OK	OK	OK
	25	OK	OK	OK
	26	OK	OK	OK
	27	OK	OK	OK
28	OK	OK	OK	
MALECÓN	30	OK	OK	OK
	32	OK	OK	OK
	33 A	OK	OK	OK
EL POBLADO	45	OK	OK	NO CUMPLE
	46	OK	OK	OK
	47	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	48	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	49	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	50	OK	OK	OK
	51	OK	OK	OK
	52	OK	OK	NO CUMPLE

Tabla 19. Evaluación de borde libre muros para escenario 2.

SECTOR	SECCIÓN	VERIFICACIÓN DE BORDE LIBRE PARA HIPÓTESIS			
		B4	B13	B15	B18
ARENALES	9	OK	OK	OK	OK
	10	OK	OK	OK	OK
	11	OK	OK	OK	OK
PARQUE GALLINERAL	14	OK	OK	OK	OK
	15	OK	OK	OK	OK
	16	OK	OK	OK	OK
	17	OK	OK	OK	OK
	18	OK	OK	OK	OK
	19	OK	OK	OK	NO CUMPLE
	20	OK	OK	OK	OK
	21	OK	OK	OK	OK
	22	OK	OK	OK	OK
	23	OK	OK	OK	OK
	24	OK	OK	OK	OK
	25	OK	OK	OK	OK
	26	OK	OK	OK	OK
	27	OK	OK	OK	OK
	28	OK	OK	OK	OK
MALECÓN	30	OK	OK	OK	OK
	32	OK	OK	OK	OK
	33 A	OK	OK	OK	OK
EL POBLADO	45	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	46	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	47	NO CUMPLE	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL
	48	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	49	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	50	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	51	OK	OK	OK	OK
	52	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 20. Evaluación de borde libre muros para escenario 3.

SECTOR	SECCIÓN	VERIFICACIÓN DE BORDE LIBRE PARA HIPÓTESIS			
		C11	C12	C28	C31
ARENALES	9	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	10	OK	OK	OK	OK
	11	OK	OK	OK	OK
PARQUE GALLINERAL	14	OK	OK	OK	NO CUMPLE
	15	OK	OK	OK	NO CUMPLE
	16	OK	OK	OK	NO CUMPLE
	17	OK	OK	OK	NO CUMPLE
	18	OK	OK	OK	OK
	19	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	SOBRENIVEL
	20	OK	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	21	OK	OK	OK	NO CUMPLE
	22	OK	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	23	OK	OK	OK	OK
	24	OK	OK	OK	OK
	25	OK	OK	OK	OK
	26	OK	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	27	OK	OK	OK	OK
28	OK	OK	OK	OK	
MALECÓN	30	OK	OK	OK	OK
	32	OK	OK	OK	OK
	33 A	OK	OK	OK	OK
EL POBLADO	45	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL
	46	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL
	47	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL
	48	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL
	49	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL	SOBRENIVEL
	50	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	51	NO CUMPLE	NO CUMPLE	OK	OK
	52	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

A partir de los anteriores resultados, se puede observar el grado en que se pueden llegar a ver afectados los muros construidos ante los posibles eventos en cada uno de los sectores. La interpretación de estos resultados se puede hacer más precisa si de antemano se conoce la morfología del río en la zona. Para ello, cabe anotar que los sectores anteriores al poblado solo están influenciados por la subcuenca del Oro Alto mientras que el sector del poblado está influenciado además del Oro Alto, por la subcuenca del Río Frío pues este sector se encuentra después de la confluencia.

De los resultados se puede observar que indistintamente, en todas las hipótesis se presentan problemas con el borde libre mínimo pues en todas ellas existe por lo menos una sección donde este no se cumple.

Del escenario 1 se puede concluir que los muros construidos cumplen con el objetivo de prevenir las inundaciones en todo el trayecto evaluado, pero sin cumplir con el requerimiento de borde libre mínimo en algunas de sus secciones, especialmente en el sector de el Poblado.

En el escenario 2, el problema no parece tan acentuado aún, no obstante, en todas las hipótesis (B) que a este corresponden, existen problemas de borde libre mínimo e incluso superación las cotas de lo muros por el nivel del agua en el sector del Poblado.

Para este escenario, los sectores que se encuentran antes de la confluencia con el Río Frío (todos excepto el Poblado), tienen relativamente un buen comportamiento pues los bordes libres en la mayoría de las secciones superan el límite mínimo en buena medida.

Para el escenario 3, en los sectores de Arenales, el Malecón y Parque Gallineral, que se encuentran antes de la confluencia con el Río Frío, en general los muros

logran contener los niveles de las aguas pues en ninguna de las secciones se observa sobrepaso del nivel. Sin embargo, los bordes libres mínimos no se cumplen en la mayoría de las hipótesis de este escenario, siendo la más crítica la hipótesis C31, la cual indica problemas principalmente en el sector del Parque Gallineral.

En el sector del Poblado es el más crítico de todos. Allí, en la totalidad de las hipótesis se presentan problemas, resultando la hipótesis C12 la más problemática pues se presentan sobrepaso en el nivel de hasta 1.30 m, con la gravedad de que el sobrepaso se presenta en todas las secciones y con magnitudes similares. De esta manera, cualquiera de los eventos del escenario 3 que se llegasen a presentar, ocasionarían la desestabilización de los muros por el desbordamiento y por ende, se desencadenaría una emergencia si se tiene en cuenta el carácter urbano de esa zona en la rivera del río.

5.2 VARIACIÓN DE NIVELES EN PUENTES.

Así como se evaluó el borde libre mínimo en los muros, en los puentes se evaluaron los niveles para verificar si se cumple con un gálibo mínimo.

La altura libre o gálibo que debe existir entre el nivel de aguas máximas y el borde inferior de la superestructura debe ser como mínimo de 2 m. Esta dimensión deberá incrementarse en zonas donde las corrientes puedan arrastrar árboles de gran tamaño, con el objetivo de dar espacio suficiente para su paso sin que perjudique la estabilidad de la estructura. (Herrera, 1996)

Las siguientes tablas muestran los niveles que se podrían presentar en las diferentes estructuras ante la eventualidad de las hipótesis de especialización de precipitación seleccionadas y se analizarán también de acuerdo a los escenarios

inicialmente planteados. Para verificar los niveles observados en los puentes y las cotas de los puentes mirar el anexo 9.10

Tabla 21. Diferencias de niveles observados en puentes según escenario 1.

PUENTE	DIFERENCIA DE NIVELES ENTRE VIGA INFERIOR DEL PUENTE Y NIVEL MÁXIMO DE SIMULACIÓN			
	HOY	2016	2026	2036
LENGERKE	-2.99	-3.00	-3.02	-3.06
FONSECA	-0.10	-0.10	-0.11	-0.12
PALENQUE	3.25	3.23	3.21	3.17
NARIÑO	0.27	0.25	0.24	0.25

Tabla 22. Diferencias de niveles observados en puentes según escenario 2.

PUENTE	DIFERENCIA DE NIVELES ENTRE VIGA INFERIOR DEL PUENTE Y NIVEL MÁXIMO DE SIMULACIÓN			
	B4	B13	B15	B18
LENGERKE	-0.99	-1.01	-1	-2.96
FONSECA	-0.06	-0.61	-0.6	-0.5
PALENQUE	3.40	2.86	2.87	2.9
NARIÑO	0.39	-0.02	-0.04	-0.01

Tabla 23. Diferencias de niveles observados en puentes según escenario 3.

PUENTE	DIFERENCIA DE NIVELES ENTRE VIGA INFERIOR DEL PUENTE Y NIVEL MÁXIMO DE SIMULACIÓN			
	C11	C12	C28	C31
LENGERKE	-3.03	-3.03	-3.14	-3.26
FONSECA	-2.49	-2.55	-2.53	-0.3
PALENQUE	1.94	1.91	2.2	2.54
NARIÑO	-1.82	-1.83	-1.77	-1.63

Las diferencias negativas de nivel en los puentes indican que existe un sobrepaso del nivel máximo registrado en las simulaciones respecto de la cota mas baja del tablero del puente.

Cómo se observa en las tablas, la simulación de cualquiera de los escenarios arrojan resultados críticos para todos los puentes sobre el río de Oro con excepción del puente palenque que no registra sobreniveles.

De esta manera, estos puentes registran peligro grave en su estabilidad pues los sobre-niveles superan 1 m en la mayoría de los casos, esto indica que aún ante eventos de menor magnitud los niveles podrían entrar en contacto con los puentes afectando su integridad estructural.

En el caso del puente Palenque, este presenta un buen comportamiento ya que no registra ningún sobre-nivel, sin embargo, en la modelación del escenario 3 se registran gálibos inferiores a 2 metros en las hipótesis C11 y C12 los cuales no son suficientes para cumplir con los requisitos mínimos.

6. CONCLUSIONES

- Las subcuencas Rosita e Iglesia (Correspondientes al municipio de Bucaramanga) no son altamente susceptibles de cambio en el uso del suelo ya que en la actualidad su área libre de ocupación está prácticamente llena, dejando solo cabida al fenómeno de redensificación.
- Las subcuencas de Río Frío y Oro alto corresponden a los sectores donde el desarrollo urbano tendría influencia en la respuesta hidrológica de la cuenca del Río de Oro en los próximos 30 años.
- La influencia del desarrollo urbano del área metropolitana de Bucaramanga en los próximos 30 años en el cambio del comportamiento de la respuesta hidrológica de la cuenca del Río de Oro no es drástico, ya que el porcentaje del área urbana respecto del área total de la cuenca es inferior al 15 %.
- Las estructuras de mitigación de inundación (muros) construidas con posterioridad al evento de Febrero de 2005, presentarían un comportamiento satisfactorio ante la ocurrencia de un evento de iguales características al acontecido, teniendo en cuenta el desarrollo urbano en la respuesta hidrológica de la cuenca del Río de Oro, bajo la metodología escogida.
- Teniendo en cuenta variaciones espaciales y temporales del evento de precipitación de Febrero de 2005, las estructuras de mitigación de inundación (muros) construidas en el sector del Poblado presentan insuficiencias de borde libre, presentándose en algunos casos sobreniveles, bajo la metodología escogida.

- Los puentes Lengerke, Fonseca y Nariño evaluados dentro del modelo hidráulico del Río, presentan un comportamiento deficiente ante los escenarios simulados.
- El evento ocurrido en la Subcuenca de Oro Alto presentó condiciones extremas asociado a un periodo de retorno cercano a 25 años a la luz del método racional.
- La comparación de los coeficientes de escorrentía hallados a partir de los hidrogramas simulados por la metodología NAM en el evento de Febrero de 2005, y los hallados por la clasificación del suelo de acuerdo a los POT's, muestra un incremento en los caudales pico del orden de 180 y 140, 40 y 80% dentro de las subcuencas de la Rosita, la Iglesia, Oro Bajo y Río Frío respectivamente, si sucediera en el presente un evento de condiciones extremas asociado a un periodo de retorno de 25 años en las respectivas subcuencas.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la medición de los datos con una mayor resolución temporal de modo que se pueda verificar hasta que punto las variaciones entre intervalos de tiempo son representativas.
- Es importante contar con datos de otras estaciones que se encuentren por fuera de la cuenca con el objetivo de obtener mejores especializaciones en futuros eventos.
- Cada tributario del río de Oro debería contar con una estación limnigráfica inmediatamente antes de la confluencia con el cauce principal lo que permitiría tener mejores calibraciones en los modelos hidrológicos.
- El modelo hidráulico del río debe ser actualizado constantemente, de acuerdo con las modificaciones del cauce que se vayan realizando en el tiempo así como se deben incluir las nuevas estructuras como puentes y bateas que se construyan, pues estas pueden influir en los niveles del río.
- Es importante hacer levantamientos entre las secciones para mejorar los problemas de convergencia que actualmente existen.
- Se recomienda una actualización continua de los datos geográficos de la cuenca del río de Oro y alimentar constantemente los POT de acuerdo con los cambios observados.

8. BIBLIOGRAFIA

APARICIO MIJARES, Francisco Javier. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa Noriega Editores, 2001. 303 p.

BEVEN, Keith J. Rainfall - Runoff Modelling, The Primer. John Wiley and Sons 2001. 360 p.

CHAPMAN, Tom. A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation. Hydrological processes, Vol. 13, 701-714. John Wiley & Sons, Ltd. (1999).

CHOW, Ven Te. Hidrología aplicada. McGraw – Hill, 1994. 584 p.

DE LAAT, E. J. M., SAVENIJE, H.H.G.; 2001. Principles of Hydrology. Lecture notes, IHE-DELFT The Netherlands (1993).

ESRI inc. 1999 – 2002, ArcMap V. 8.2

Golden Software. 1999. SURFER v 8.0.

GONZALES, N. A., SOSSA, L. C., 2005. Eventos extremos de precipitación: caso de estudio Febrero 12-05 Girón. Tesis de Grado UIS.

GUZMAN, J.A., 2005; SPELL-map v 1.0.0.3. Software para el manejo de DEM. Sin publicar.

GUZMAN, J.A., NIÑO, E.V. 2005; NAM-gph v.1.0. Software para el modelamiento Hidrológico. Sin publicar.

HERRERA, J. Puentes. Universidad Católica de Colombia, Facultad de ingeniería Civil, 1996

Normas técnicas para diseño y presentación de proyectos de alcantarillado. CDMB. 1997. 60 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Código Colombiano De Diseño Sísmico De Puentes, 1995

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-RAS versión 3.1.3 (River Analysis System). 2005.

WITTENBERG, Hartmut. Baseflow recession and recharge as nonlinear storage processes. Hydrological processes, Vol. 13, 715-726. John Wiley & Sons, Ltd. (1999).

9. ANEXOS

9.1 DATOS ORIGINALES DE POBLACIÓN ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA – Fuente DANE

Tabla 24. Población del municipio de Bucaramanga.

AÑO	POBLACIÓN		
	URBANA	RURAL	TOTAL
1938	41714	9559	51283
1951	102887	9365	112252
1964	216821	12927	229748
1973	290332	6325	296657
1985	341513	10813	352326
1993	410069	4300	414365
2005	-	-	508112

Tabla 25. Población del municipio de Floridablanca.

AÑO	POBLACIÓN		
	URBANA	RURAL	TOTAL
1938	1793	5094	6887
1951	2246	5042	7280
1964	4166	10554	14720
1973	38339	5531	43870
1985	138232	5592	143824
1993	187197	5659	192856
2005	-	-	252260

Tabla 26. Población del municipio de Girón.

AÑO	POBLACIÓN		
	URBANA	RURAL	TOTAL
1938	2134	8610	10744
1951	2184	10485	12669
1964	3889	13358	17247
1973	10560	10712	21272
1985	39093	11477	50570
1993	71618	8181	79799
2005	-	-	135400

Tabla 27. Población del municipio de Piedecuesta.

AÑO	POBLACIÓN		
	URBANA	RURAL	TOTAL
1938	6974	10952	17926
1951	7720	8967	16687
1964	12278	10346	22624
1973	17234	8786	26020
1985	34972	13314	48286
1993	60057	12574	72631
2005	-	-	116569

9.2 VALOR COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA

Tabla 28. Coeficientes de escorrentía (Ven Te Chow).

Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional										
Características de la superficie			PERIODO DE RETORNO (años)							
			2	5	10	25	50	100	500	
ÁREAS DESARROLLADAS	Asfáltico		0.73	0.77	0.81	0.86	0.9	0.95	1	
	Concreto/techo		0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97	1	
	ZONAS VERDES (jardines, parques etc.)	CONDICIÓN POBRE (cubierta de pasto menor del 50% del área)	Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.58
			Promedio, 2-7%	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
			Pendiente, superior a 7%	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
		CONDICIÓN PROMEDIO (cubierta de pasto del 75 al 50% del área)	Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
			Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
			Pendiente, superior a 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
		CONDICIÓN BUENA (cubierta de pasto mayor del 75% del área)	Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
			Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
			Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51	0.58
	ÁREAS NO DESARROLLADAS	ÁREA DE CULTIVOS	Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%			0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.6	
Pendiente, superior a 7%			0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61	
PASTIZALES		Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53	
		Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58	
		Pendiente, superior a 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6	
BOSQUES		Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48	
		Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.56	
		Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58	

9.3 VARIABLES HIDROLÓGICAS REGISTRADAS

Tabla 29. Precipitación

Fecha	Hora	VALORES DE PRECIPITACIÓN MEDIDOS EN mm/hora														
		Gja. Piedecuesta	Apto. Palonegro	IDEAM	Llanogrande	Club Campestre	La Esperanza	Centro	Chimita	PTAR	UIS	CDMB	Ruitoque			
07/02/2005	08:00		0.00		0.00							0.00	0.00	0.00		0.10
07/02/2005	09:00		0.00		0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
07/02/2005	10:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
07/02/2005	11:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
07/02/2005	12:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
07/02/2005	13:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
07/02/2005	14:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
07/02/2005	15:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
07/02/2005	16:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
07/02/2005	17:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
07/02/2005	18:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
07/02/2005	19:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
07/02/2005	20:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
07/02/2005	21:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.20
07/02/2005	22:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
07/02/2005	23:00		0.00	0.00	0.00							0.00	0.00	0.00		0.00
08/02/2005	00:00	0.00	0.00	0.00	0.00					0.00		0.00	0.00	0.00		0.00
08/02/2005	01:00	0.00	0.00	0.00	0.00					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
08/02/2005	02:00	0.00	0.00	1.88	0.00					0.00	0.00	0.00	0.00	0.30		0.00
08/02/2005	03:00	0.00	1.25	6.67	1.38					0.20	0.00	32.50	5.40	5.70		0.00
08/02/2005	04:00	0.42	3.17	24.74	11.02					0.00	0.00	5.50	3.30	21.80		0.31
08/02/2005	05:00	0.42	0.38	6.72	0.00					1.84	0.00	1.50	0.30	10.00		0.10
08/02/2005	06:00	0.36	10.48	6.87	0.10					1.13	0.35	2.50	1.80	16.50		2.96
08/02/2005	07:00	0.10	2.02		0.00					0.00	0.23	2.00	4.60	0.30		1.33

VALORES DE PRECIPITACIÓN MEDIDOS EN mm/hora														
08/02/2005	08:00	0.05	7.74		4.50	0.93	0.01	0.00	4.50	0.00	0.10		0.15	
08/02/2005	09:00	0.63	0.62			0.00	1.96	0.00	5.40	0.00	0.00		0.36	
08/02/2005	10:00	0.21	0.00	0.00		0.04	0.29	0.00	3.60	0.00	0.00	0.00	0.55	
08/02/2005	11:00	0.10	0.00	0.00		0.00	0.10	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.47	
08/02/2005	12:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	
08/02/2005	13:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
08/02/2005	14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
08/02/2005	15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
08/02/2005	16:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
08/02/2005	17:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
08/02/2005	18:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
08/02/2005	19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
08/02/2005	20:00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	
08/02/2005	21:00	3.96	0.48	0.53	0.24	0.00	0.00	0.50	0.10	0.00	1.90	0.53	0.15	
08/02/2005	22:00	5.37	2.38	0.21	0.05	2.27	0.00	0.50	0.40	0.00	0.50	0.46	0.37	
08/02/2005	23:00	8.79	7.64	0.00	0.00	0.05	0.29	0.00	0.50	0.00	0.30	0.08	0.14	
09/02/2005	00:00	3.23	0.63	4.84	1.35	0.15	0.20	0.50	0.10	0.00	0.30	0.00	2.67	
09/02/2005	01:00	26.36	0.63	0.21	17.35	0.21	1.96	1.00	0.10	0.00	0.20	3.99	1.91	
09/02/2005	02:00	20.00	0.97	0.21	21.90	6.71	1.47	0.00	0.40	0.00	0.00	0.11	7.66	
09/02/2005	03:00	16.88	5.83	0.53	43.14	10.52	4.07	0.50	2.30	0.00	0.40	0.39	20.00	
09/02/2005	04:00	2.60	6.95	10.40	64.66	14.68	7.21	7.00	5.20	0.00	5.50	1.35	14.95	
09/02/2005	05:00	0.42	14.46	5.46	17.28	6.30	2.79	25.00	12.00	0.00	6.70	17.19	2.69	
09/02/2005	06:00		8.82	4.74	0.68	4.09	6.32	3.00	3.90	0.00	5.20	5.29	2.69	
09/02/2005	07:00		5.00	13.98	1.55		2.54	5.50	2.90	0.00	7.10	4.71	0.91	
09/02/2005	08:00		4.80		0.50		1.44	5.00	4.40		13.00	6.36	0.86	
09/02/2005	09:00		3.33		1.60	0.16	0.99	3.50	2.40	0.00	3.90	5.39	0.27	
09/02/2005	10:00		0.39	0.10	0.60	0.00	0.16	0.00	0.30	0.00	0.00	0.11	0.43	
09/02/2005	11:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	
09/02/2005	12:00		0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

VALORES DE PRECIPITACIÓN MEDIDOS EN mm/hora													
09/02/2005	13:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	14:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.87	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.75
09/02/2005	15:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19
09/02/2005	16:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
09/02/2005	17:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	18:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	19:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	20:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	21:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	22:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	23:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	00:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	01:00		0.00	0.00	0.20	0.16	0.00	0.00	1.80	0.00	0.00	0.00	0.22
10/02/2005	02:00		0.00	0.00	0.00	0.23	0.40	0.00	1.90	0.20	0.00	0.00	0.22
10/02/2005	03:00		0.00	0.00	0.00	0.03	0.23	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.05
10/02/2005	04:00		0.00	0.00	0.10	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
10/02/2005	05:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
10/02/2005	06:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
10/02/2005	07:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
10/02/2005	08:00	0.59	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	09:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	10:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	11:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	12:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	13:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	16:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	17:00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

VALORES DE PRECIPITACIÓN MEDIDOS EN mm/hora															
10/02/2005	18:00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	20:00	0.00	3.32	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.20	0.00	0.00
10/02/2005	21:00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.20	0.20	0.00	0.43
10/02/2005	22:00	0.10	0.09	0.85	0.08	0.79	0.13	0.50	0.10	0.40	0.10	0.40	0.70	1.01	0.22
10/02/2005	23:00	0.10	1.43	0.00	0.11	1.78	0.06	0.00	0.20	0.60	0.10	0.60	0.10	0.09	0.11
11/02/2005	00:00	0.50	1.92	0.21	2.08	1.78	0.05	0.50	1.00	0.40	0.30	0.40	0.30	0.55	1.29
11/02/2005	01:00	3.17	0.07	0.96	0.00	1.47	0.03	0.50	0.70	1.20	1.30	1.20	1.30	0.66	9.03
11/02/2005	02:00	7.08	0.52	0.96	0.00	0.00	0.01	1.50	0.20	1.80	0.20	1.80	0.20	1.29	8.04
11/02/2005	03:00	5.10	0.00	0.00	1.37	0.00	0.11	0.00	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.00	0.32
11/02/2005	04:00	5.97	0.54	10.59	0.00	0.00	0.14	6.00	0.80	0.00	3.00	0.00	3.00	4.65	6.05
11/02/2005	05:00	7.60	3.75	10.31	0.00	20.00	0.72	23.00	4.50	24.40	3.90	24.40	3.90	22.53	22.35
11/02/2005	06:00	0.20	6.19	0.71	2.04	22.04	0.40	1.50	17.40	21.80	0.00	21.80	0.00	2.73	0.27
11/02/2005	07:00	0.05	0.34	0.10	0.57	0.11	1.18	0.00	0.20	1.20	0.00	1.20	0.00	0.23	0.21
11/02/2005	08:00	0.00	0.37	0.00	2.75	0.00	0.13	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.05
11/02/2005	09:00	0.00	1.13	0.05	0.73	0.00	0.02	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	0.00
11/02/2005	10:00	0.56	0.79	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.10	0.06	0.00
11/02/2005	11:00	0.82	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00
11/02/2005	12:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	13:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	16:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00
11/02/2005	17:00	1.12	0.15	0.31	0.00	0.15	0.00	0.50	0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.06	0.11
11/02/2005	18:00	0.71	0.05	0.21	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10	0.34	1.50
11/02/2005	19:00	1.53	0.15	1.91	0.00	3.17	0.15	0.50	0.00	0.20	0.30	0.20	0.30	1.70	2.67
11/02/2005	20:00	0.82	3.16	4.12	0.64	3.49	5.79	2.00	8.30	4.20	1.80	4.20	1.80	5.11	9.47
11/02/2005	21:00	1.63	0.34	13.35	14.87	8.30	5.04	9.00	3.30	13.60	6.00	13.60	6.00	4.89	0.80
11/02/2005	22:00	2.24	0.58	0.92	5.90	0.78	2.04	8.00	0.50	10.40	1.20	10.40	1.20	1.29	2.57

VALORES DE PRECIPITACIÓN MEDIDOS EN mm/hora													
11/02/2005	23:00	3.40	0.24	1.73	8.81	17.11	0.09	0.50	0.00	0.40	1.20	0.96	0.74
12/02/2005	00:00	7.74	1.55	2.35	0.00	11.11	0.18	0.50	0.50	8.40	1.20	1.69	9.26
12/02/2005	01:00	5.10	0.97	3.06	11.19	10.56	3.09	2.00	0.60	11.40	2.70	3.26	11.81
12/02/2005	02:00	3.75	3.35	4.49	3.10	17.44	14.47	5.50	4.00	4.20	48.90	9.02	1.60
12/02/2005	03:00	7.40	8.64	1.38	13.76	4.67	1.63	5.50	11.20	24.80		3.79	2.66
12/02/2005	04:00	2.60	0.40	0.56	21.43	2.44	1.52	1.00	1.10	4.40		1.91	3.94
12/02/2005	05:00	10.00	9.90	7.45	3.43	30.00	0.85	9.00	13.40	9.40		8.09	10.00
12/02/2005	06:00	20.00	28.56	33.27	29.76	24.51	3.04	36.50	28.40	36.80		30.00	10.00
12/02/2005	07:00	11.65	15.43	15.93	17.62	5.64	2.11	16.50	11.60	19.40		31.38	17.58
12/02/2005	08:00	8.35		13.16	10.51	8.10	12.48	13.00	13.30	7.80	1.50	29.31	12.42
12/02/2005	09:00	3.71		7.40	10.89	5.26	3.22	13.00	17.50	7.00	4.00	17.37	6.00
12/02/2005	10:00	1.86		1.88	7.33	2.07	1.98	2.00	1.00	2.80	1.50	1.94	1.58
12/02/2005	11:00	0.10		1.09	2.00	0.22	4.31	1.50	0.50	1.00	1.00	0.41	0.05
12/02/2005	12:00	0.00		0.05	0.05	0.00	1.98	0.00	0.10	0.00	0.10	0.53	0.05
12/02/2005	13:00	0.00		0.42	0.00		0.64	0.50	0.00		0.10	0.06	0.00
12/02/2005	14:00	0.00		0.00	0.00		0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12/02/2005	15:00	0.00		0.31	0.00		0.04	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
12/02/2005	16:00	0.00		0.00	0.00		0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
12/02/2005	17:00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
12/02/2005	18:00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58
12/02/2005	19:00	0.00		0.00	0.00		0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
12/02/2005	20:00	0.00		0.00	0.00		0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
12/02/2005	21:00	0.00		0.00	0.00		0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

9.4 VARIABLES HIDROLÓGICAS PROMEDIO POR SUBCUENCA

Tabla 30. Evapotranspiración promedio mm/hora

Fecha - Hora	Chimita	La Iglesia	Oro Alto	Oro Bajo	Río Frio	Surata
07/02/2005 08:00	0.152	0.150	0.137	0.143	0.140	0.118
07/02/2005 09:00	0.299	0.287	0.262	0.304	0.258	0.233
07/02/2005 10:00	0.446	0.448	0.417	0.435	0.430	0.393
07/02/2005 11:00	0.505	0.472	0.354	0.447	0.414	0.474
07/02/2005 12:00	0.518	0.534	0.518	0.514	0.527	0.466
07/02/2005 13:00	0.503	0.543	0.508	0.383	0.494	0.420
07/02/2005 14:00	0.485	0.506	0.524	0.494	0.502	0.376
07/02/2005 15:00	0.379	0.396	0.371	0.305	0.388	0.280
07/02/2005 16:00	0.244	0.237	0.225	0.251	0.216	0.180
07/02/2005 17:00	0.088	0.087	0.077	0.084	0.081	0.077
07/02/2005 18:00	0.022	0.020	0.019	0.027	0.019	0.024
07/02/2005 19:00	0.017	0.016	0.016	0.024	0.015	0.019
07/02/2005 20:00	0.005	0.004	0.005	0.011	0.004	0.007
07/02/2005 21:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
07/02/2005 22:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
07/02/2005 23:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08/02/2005 00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08/02/2005 01:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08/02/2005 02:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08/02/2005 03:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08/02/2005 04:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08/02/2005 05:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08/02/2005 06:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08/02/2005 07:00	0.019	0.019	0.016	0.018	0.141	0.019
08/02/2005 08:00	0.030	0.030	0.025	0.028	0.028	0.031
08/02/2005 09:00	0.093	0.092	0.100	0.111	0.087	0.066
08/02/2005 10:00	0.206	0.198	0.186	0.224	0.127	0.168
08/02/2005 11:00	0.282	0.256	0.206	0.252	0.208	0.174
08/02/2005 12:00	0.298	0.304	0.304	0.323	0.297	0.268
08/02/2005 13:00	0.450	0.481	0.452	0.371	0.488	0.395
08/02/2005 14:00	0.283	0.292	0.276	0.269	0.288	0.257
08/02/2005 15:00	0.242	0.247	0.222	0.202	0.238	0.196
08/02/2005 16:00	0.172	0.155	0.119	0.159	0.126	0.126
08/02/2005 17:00	0.044	0.043	0.042	0.050	0.041	0.041

Fecha - Hora	Chimita	La Iglesia	Oro Alto	Oro Bajo	Río Frio	Surata
08/02/2005 18:00	0.011	0.012	0.012	0.016	0.012	0.014
08/02/2005 19:00	0.009	0.009	0.009	0.012	0.010	0.012
08/02/2005 20:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08/02/2005 21:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08/02/2005 22:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08/02/2005 23:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
09/02/2005 00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
09/02/2005 01:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
09/02/2005 02:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
09/02/2005 03:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
09/02/2005 04:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
09/02/2005 05:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
09/02/2005 06:00	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.004
09/02/2005 07:00	0.019	0.020	0.018	0.020	0.019	0.020
09/02/2005 08:00	0.051	0.052	0.049	0.049	0.052	0.048
09/02/2005 09:00	0.151	0.154	0.146	0.150	0.151	0.140
09/02/2005 10:00	0.186	0.195	0.203	0.193	0.195	0.150
09/02/2005 11:00	0.210	0.231	0.288	0.258	0.243	0.140
09/02/2005 12:00	0.174	0.187	0.202	0.182	0.193	0.141
09/02/2005 13:00	0.224	0.230	0.206	0.204	0.226	0.221
09/02/2005 14:00	0.148	0.156	0.169	0.173	0.163	0.151
09/02/2005 15:00	0.253	0.433	0.632	0.210	0.586	0.194
09/02/2005 16:00	0.133	0.136	0.129	0.123	0.132	0.110
09/02/2005 17:00	0.033	0.035	0.039	0.041	0.036	0.031
09/02/2005 18:00	0.013	0.016	0.021	0.019	0.018	0.014
09/02/2005 19:00	0.010	0.010	0.011	0.013	0.010	0.012
09/02/2005 20:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
09/02/2005 21:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
09/02/2005 22:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
09/02/2005 23:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10/02/2005 00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10/02/2005 01:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10/02/2005 02:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10/02/2005 03:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10/02/2005 04:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10/02/2005 05:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10/02/2005 06:00	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.005
10/02/2005 07:00	0.028	0.025	0.023	0.032	0.022	0.024

Fecha - Hora	Chimita	La Iglesia	Oro Alto	Oro Bajo	Río Frio	Surata
10/02/2005 08:00	0.094	0.097	0.095	0.097	0.096	0.085
10/02/2005 09:00	0.196	0.195	0.191	0.210	0.184	0.162
10/02/2005 10:00	0.336	0.320	0.288	0.358	0.290	0.298
10/02/2005 11:00	0.417	0.410	0.359	0.421	0.389	0.428
10/02/2005 12:00	0.385	0.386	0.376	0.400	0.369	0.323
10/02/2005 13:00	0.324	0.349	0.385	0.345	0.359	0.252
10/02/2005 14:00	0.207	0.223	0.277	0.278	0.233	0.163
10/02/2005 15:00	0.117	0.126	0.145	0.138	0.132	0.100
10/02/2005 16:00	0.085	0.085	0.097	0.115	0.083	0.074
10/02/2005 17:00	0.032	0.034	0.037	0.041	0.035	0.035
10/02/2005 18:00	0.012	0.013	0.017	0.018	0.015	0.015
10/02/2005 19:00	0.012	0.015	0.019	0.015	0.018	0.012
10/02/2005 20:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10/02/2005 21:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10/02/2005 22:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10/02/2005 23:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11/02/2005 00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11/02/2005 01:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11/02/2005 02:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11/02/2005 03:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11/02/2005 04:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11/02/2005 05:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11/02/2005 06:00	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
11/02/2005 07:00	0.024	0.023	0.020	0.023	0.021	0.022
11/02/2005 08:00	0.063	0.067	0.070	0.071	0.068	0.060
11/02/2005 09:00	0.081	0.089	0.101	0.091	0.094	0.070
11/02/2005 10:00	0.115	0.117	0.121	0.120	0.114	0.087
11/02/2005 11:00	0.171	0.174	0.182	0.189	0.167	0.125
11/02/2005 12:00	0.183	0.186	0.184	0.194	0.180	0.159
11/02/2005 13:00	0.224	0.228	0.213	0.200	0.218	0.169
11/02/2005 14:00	0.164	0.166	0.159	0.162	0.161	0.143
11/02/2005 15:00	0.114	0.120	0.138	0.134	0.121	0.081
11/02/2005 16:00	0.046	0.049	0.057	0.060	0.050	0.039
11/02/2005 17:00	0.036	0.036	0.041	0.047	0.035	0.030
11/02/2005 18:00	0.012	0.015	0.018	0.014	0.018	0.016
11/02/2005 19:00	0.009	0.010	0.009	0.009	0.010	0.009
11/02/2005 20:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11/02/2005 21:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fecha - Hora	Chimita	La Iglesia	Oro Alto	Oro Bajo	Río Frio	Surata
11/02/2005 22:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11/02/2005 23:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12/02/2005 00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12/02/2005 01:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12/02/2005 02:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12/02/2005 03:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12/02/2005 04:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12/02/2005 05:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12/02/2005 06:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12/02/2005 07:00	0.017	0.018	0.017	0.017	0.018	0.017
12/02/2005 08:00	0.024	0.024	0.021	0.025	0.025	0.032
12/02/2005 09:00	0.038	0.039	0.039	0.038	0.040	0.036
12/02/2005 10:00	0.112	0.117	0.121	0.118	0.118	0.106
12/02/2005 11:00	0.138	0.151	0.165	0.138	0.158	0.110
12/02/2005 12:00	0.149	0.129	0.124	0.192	0.101	0.099
12/02/2005 13:00	0.186	0.209	0.260	0.223	0.223	0.128
12/02/2005 14:00	0.200	0.219	0.253	0.214	0.228	0.135
12/02/2005 15:00	0.121	0.129	0.150	0.143	0.132	0.089
12/02/2005 16:00	0.087	0.091	0.101	0.093	0.091	0.060
12/02/2005 17:00	0.030	0.033	0.036	0.034	0.034	0.027
12/02/2005 18:00	0.013	0.016	0.022	0.016	0.019	0.011
12/02/2005 19:00	0.009	0.011	0.012	0.009	0.012	0.009
12/02/2005 20:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12/02/2005 21:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabla 31. Precipitación promedio en mm/hora por subcuenca

Fecha - Hora	Chimita	Iglesia	Oroalto	Orobajo	Río Frio	Surata
07-Feb-05 08:00	0.00	0.01	0.06	0.00	0.05	0.04
07-Feb-05 09:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07-Feb-05 10:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07-Feb-05 11:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07-Feb-05 12:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07-Feb-05 13:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07-Feb-05 14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07-Feb-05 15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07-Feb-05 16:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07-Feb-05 17:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07-Feb-05 18:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07-Feb-05 19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07-Feb-05 20:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07-Feb-05 21:00	0.01	0.02	0.13	0.00	0.09	0.07
07-Feb-05 22:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07-Feb-05 23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
08-Feb-05 00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
08-Feb-05 01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
08-Feb-05 02:00	0.48	0.50	0.08	0.05	0.24	0.68
08-Feb-05 03:00	15.04	9.17	0.11	6.68	0.97	0.82
08-Feb-05 04:00	9.38	8.06	4.58	7.16	4.50	16.25
08-Feb-05 05:00	2.68	2.36	0.73	1.98	1.72	6.65
08-Feb-05 06:00	3.61	2.45	1.21	6.65	2.55	10.29
08-Feb-05 07:00	1.96	1.31	0.15	2.32	0.36	0.08
08-Feb-05 08:00	1.02	0.69	1.54	4.30	0.37	0.13
08-Feb-05 09:00	1.23	1.09	1.11	2.06	0.96	0.45
08-Feb-05 10:00	0.78	0.60	0.52	1.27	0.25	0.00
08-Feb-05 11:00	0.28	0.21	0.23	0.46	0.13	0.00
08-Feb-05 12:00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	0.02
08-Feb-05 13:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
08-Feb-05 14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
08-Feb-05 15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
08-Feb-05 16:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
08-Feb-05 17:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
08-Feb-05 18:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fecha - Hora	Chimita	Iglesia	Oroalto	Orobajo	Río Frio	Surata
08-Feb-05 19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
08-Feb-05 20:00	0.09	0.07	0.03	0.07	0.07	0.31
08-Feb-05 21:00	0.43	0.26	2.14	0.54	0.51	1.54
08-Feb-05 22:00	0.43	0.42	2.69	0.93	0.71	0.89
08-Feb-05 23:00	0.18	0.03	4.57	2.50	0.78	1.75
09-Feb-05 00:00	0.82	0.67	2.35	0.47	1.10	1.63
09-Feb-05 01:00	1.09	1.32	18.57	2.10	3.46	3.03
09-Feb-05 02:00	0.12	0.70	16.74	2.69	4.04	1.01
09-Feb-05 03:00	0.66	1.46	22.28	7.02	7.23	0.16
09-Feb-05 04:00	4.80	4.85	21.48	12.30	8.57	1.87
09-Feb-05 05:00	13.93	9.44	5.36	13.74	3.24	1.60
09-Feb-05 06:00	4.07	4.04	2.84	4.94	4.63	6.62
09-Feb-05 07:00	5.43	4.32	1.92	4.32	3.11	7.66
09-Feb-05 08:00	5.76	4.77	1.17	5.52	3.01	8.79
09-Feb-05 09:00	3.48	2.85	0.98	2.87	1.37	3.28
09-Feb-05 10:00	0.10	0.09	0.47	0.27	0.18	0.10
09-Feb-05 11:00	0.02	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00
09-Feb-05 12:00	0.02	0.05	0.00	0.01	0.04	0.00
09-Feb-05 13:00	0.06	0.11	0.01	0.05	0.07	0.00
09-Feb-05 14:00	0.04	0.13	0.57	0.00	0.54	0.45
09-Feb-05 15:00	0.03	0.10	0.27	0.00	0.37	0.36
09-Feb-05 16:00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.03	0.03
09-Feb-05 17:00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02
09-Feb-05 18:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09-Feb-05 19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09-Feb-05 20:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09-Feb-05 21:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09-Feb-05 22:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09-Feb-05 23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Feb-05 00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Feb-05 01:00	0.40	0.30	0.14	0.59	0.09	0.00
10-Feb-05 02:00	0.44	0.40	0.14	0.60	0.25	0.05
10-Feb-05 03:00	0.07	0.08	0.07	0.09	0.11	0.08
10-Feb-05 04:00	0.00	0.00	0.07	0.01	0.03	0.02
10-Feb-05 05:00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.03	0.01
10-Feb-05 06:00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.03	0.01
10-Feb-05 07:00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.02	0.01
10-Feb-05 08:00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.04	0.08

Fecha - Hora	Chimita	Iglesia	Oroalto	Orobajo	Río Frio	Surata
10-Feb-05 09:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Feb-05 10:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Feb-05 11:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Feb-05 12:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
10-Feb-05 13:00	0.02	0.02	0.00	0.03	0.01	0.00
10-Feb-05 14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
10-Feb-05 15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Feb-05 16:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Feb-05 17:00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
10-Feb-05 18:00	0.02	0.06	0.09	0.00	0.18	0.19
10-Feb-05 19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Feb-05 20:00	0.06	0.01	0.06	1.08	0.05	0.24
10-Feb-05 21:00	0.12	0.14	0.04	0.17	0.14	0.04
10-Feb-05 22:00	0.58	0.62	0.11	0.22	0.37	0.55
10-Feb-05 23:00	0.17	0.33	0.09	0.53	0.31	0.06
11-Feb-05 00:00	0.56	0.56	0.90	1.21	0.55	0.07
11-Feb-05 01:00	0.65	0.60	2.20	0.46	1.84	0.83
11-Feb-05 02:00	0.89	0.67	4.08	0.41	1.79	0.80
11-Feb-05 03:00	0.02	0.09	2.98	0.17	0.52	0.55
11-Feb-05 04:00	4.24	3.04	3.66	1.52	2.39	4.17
11-Feb-05 05:00	15.53	15.43	4.19	6.04	9.24	1.05
11-Feb-05 06:00	7.03	9.61	1.03	8.30	5.36	0.01
11-Feb-05 07:00	0.24	0.47	0.38	0.26	0.68	0.46
11-Feb-05 08:00	0.27	0.24	0.85	0.76	0.16	0.00
11-Feb-05 09:00	0.26	0.28	0.24	0.47	0.08	0.07
11-Feb-05 10:00	0.05	0.02	0.29	0.29	0.05	0.17
11-Feb-05 11:00	0.01	0.00	0.42	0.04	0.07	0.16
11-Feb-05 12:00	0.07	0.16	0.21	0.02	0.46	0.46
11-Feb-05 13:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
11-Feb-05 14:00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02
11-Feb-05 15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
11-Feb-05 16:00	0.08	0.10	0.01	0.00	0.03	0.03
11-Feb-05 17:00	0.22	0.14	0.56	0.16	0.14	0.18
11-Feb-05 18:00	0.12	0.17	0.45	0.02	0.36	0.14
11-Feb-05 19:00	0.87	1.11	0.92	0.10	1.13	0.68
11-Feb-05 20:00	4.64	5.01	2.09	4.07	5.18	3.50
11-Feb-05 21:00	7.42	8.00	5.64	5.17	6.02	5.17
11-Feb-05 22:00	3.34	2.95	2.92	2.52	2.25	0.08

Fecha - Hora	Chimita	Iglesia	Oroalto	Orobajo	Río Frio	Surata
11-Feb-05 23:00	1.08	2.46	3.87	1.03	2.76	0.28
12-Feb-05 00:00	1.82	3.28	4.14	0.95	4.02	1.06
12-Feb-05 01:00	2.93	4.71	6.59	2.53	5.95	1.68
12-Feb-05 02:00	8.73	9.41	6.22	10.68	13.36	30.66
12-Feb-05 03:00	6.72	7.82	7.40	9.50	4.55	0.21
12-Feb-05 04:00	1.19	1.87	7.73	3.09	2.50	0.00
12-Feb-05 05:00	9.79	10.42	5.76	9.58	7.49	3.19
12-Feb-05 06:00	31.29	27.92	19.09	31.19	15.22	18.87
12-Feb-05 07:00	17.95	17.30	12.31	14.37	9.85	9.69
12-Feb-05 08:00	15.75	16.31	9.66	9.02	11.59	8.05
12-Feb-05 09:00	12.82	11.07	5.48	13.08	4.97	2.70
12-Feb-05 10:00	1.74	1.95	3.36	2.08	2.02	1.27
12-Feb-05 11:00	1.01	1.18	1.33	0.95	2.13	2.27
12-Feb-05 12:00	0.24	0.45	0.40	0.02	0.92	0.96
12-Feb-05 13:00	0.24	0.24	0.12	0.09	0.34	0.35
12-Feb-05 14:00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.05	0.04
12-Feb-05 15:00	0.06	0.05	0.02	0.02	0.05	0.15
12-Feb-05 16:00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00
12-Feb-05 17:00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00
12-Feb-05 18:00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.09	0.00
12-Feb-05 19:00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.05	0.04
12-Feb-05 20:00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.04	0.02
12-Feb-05 21:00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02

9.5 PRECIPITACIÓN PROMEDIO ESPACIALIZADA - COMBINATORIA

Tabla 32. Precipitación promedio de combinaciones.

N° Combinación	PRECIPITACIÓN PROMEDIO (mm/h)					
	Chimitá	Iglesia	Oro Alto	Oro Bajo	Río Frío	Surata
1	30.47	27.76	19.52	30.10	14.73	13.06
2	29.77	28.64	21.05	26.58	18.09	8.09
3	29.66	27.27	20.24	31.44	15.46	20.14
4	30.26	25.86	20.24	31.73	14.44	19.91
5	31.21	28.13	19.86	30.98	14.87	16.22
6	31.18	28.21	17.37	30.53	15.50	18.41
7	30.64	30.20	19.12	25.51	20.38	10.98
8	30.46	28.36	17.70	30.45	16.18	21.39
9	31.17	27.37	17.67	30.80	15.39	21.10
10	32.34	29.74	17.33	29.89	15.72	17.66
11	32.47	31.48	16.07	27.94	26.37	32.52
12	32.46	32.45	15.52	26.41	26.69	28.01
13	31.52	31.49	16.39	27.81	26.98	35.33
14	31.81	29.32	16.45	27.91	25.59	35.31
15	33.70	33.15	16.00	27.28	26.57	31.59
16	29.18	27.23	21.10	31.09	15.38	18.66
17	29.25	27.91	20.74	29.63	15.38	14.76
18	28.59	28.91	22.40	26.10	19.09	10.14
19	29.05	26.02	21.45	31.26	15.09	21.61
20	29.51	27.68	21.07	30.56	15.40	17.78
21	30.42	26.42	21.10	31.67	14.54	18.03
22	30.26	26.49	20.89	30.28	13.99	14.26
23	29.75	28.02	22.37	26.68	18.18	9.34
24	29.60	26.55	21.44	31.55	15.23	21.06
25	31.48	27.84	21.05	31.05	14.74	17.24
26	30.90	27.52	19.08	31.22	14.99	18.20
27	30.92	28.16	18.71	29.76	14.97	14.20
28	30.26	29.15	20.37	26.23	18.67	9.58
29	30.14	27.68	19.42	31.11	15.69	21.26
30	30.68	26.18	19.43	31.36	14.64	21.07

Tabla 33. Precipitación promedio de combinaciones.

N° Combinación	PRECIPITACIÓN PROMEDIO (mm/h)					
	Chimitá	Iglesia	Oro Alto	Oro Bajo	Río Frío	Surata
1	36.71	36.35	25.96	30.55	27.28	29.12
2	36.79	38.72	31.88	27.95	39.07	37.63
3	39.54	34.92	26.46	33.41	25.22	31.47
4	37.35	36.39	26.67	32.42	26.81	33.03
5	40.27	39.41	26.68	30.58	26.52	32.06
6	35.23	36.07	24.15	30.43	27.81	26.15
7	33.59	38.4	28.85	26.99	40.01	28
8	36.34	34.6	23.42	32.44	26.16	21.84
9	34.15	36.07	23.63	31.45	27.74	23.4
10	37.06	39.09	23.65	29.61	27.46	22.43
11	36.44	39.17	29.47	28.67	45.8	51.57
12	34.71	39.13	28.24	27.82	46.21	44.91
13	37.54	37.7	28.74	30.68	44.15	47.25
14	35.36	39.17	28.95	29.68	45.73	48.81
15	38.27	42.19	28.97	27.84	45.44	47.85
16	41.1	33.45	26.31	35.16	22.95	23.09
17	39.37	33.41	25.08	34.31	23.36	16.43
18	39.45	35.77	31.01	31.72	35.14	24.94
19	40.01	33.45	25.79	36.18	22.88	20.34
20	42.93	36.47	25.81	34.34	22.59	19.37
21	36.12	36.85	26.84	32.84	26.52	26.25
22	34.39	36.81	25.62	31.99	26.93	19.59
23	34.48	39.18	31.54	29.4	38.72	28.1
24	37.22	35.38	26.12	34.85	24.87	21.94
25	37.95	39.87	26.34	32.02	26.17	22.53
26	41.88	41.97	25.78	30.2	26.31	30.24
27	40.15	41.93	24.55	29.35	26.71	23.58
28	40.24	44.3	30.48	26.75	38.5	32.09
29	42.98	40.5	25.05	32.21	24.65	25.93
30	40.8	41.97	25.26	31.21	26.24	27.49
31	32.56	30.33	35.14	37.23	24.51	29.12

9.6 COMBINACIONES ESPACIALIZADAS

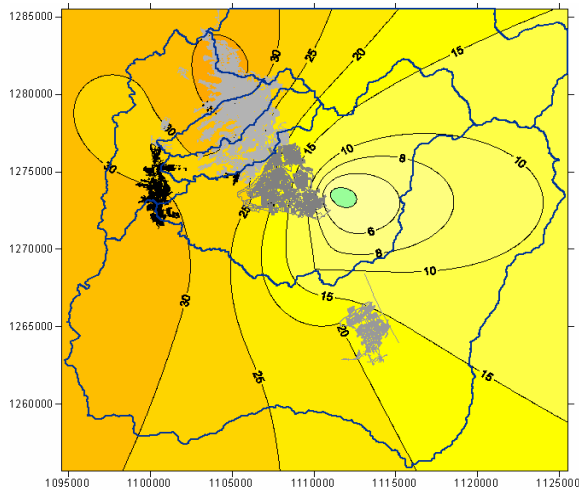


Figura 35. Combinación B

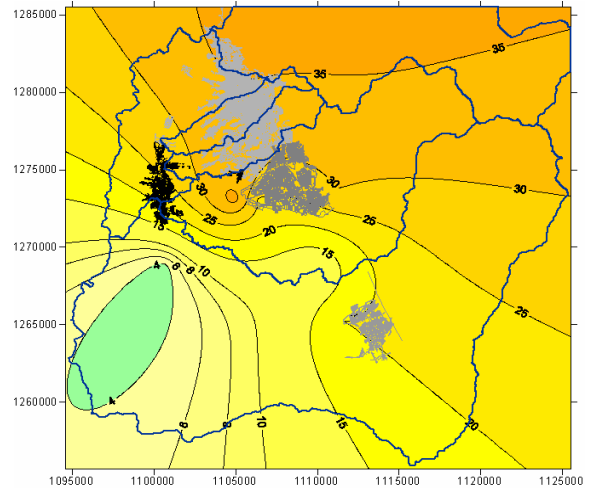


Figura 37. Combinación B

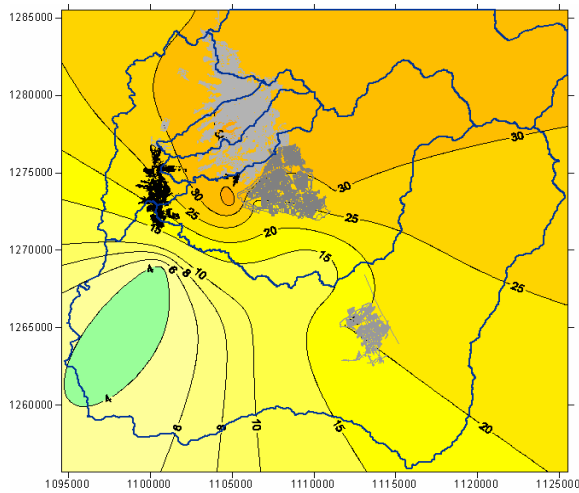


Figura 36. Combinación B15

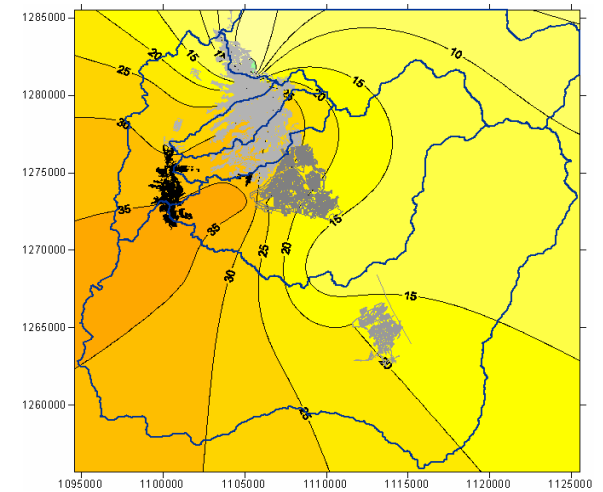


Figura 38. Combinación B18

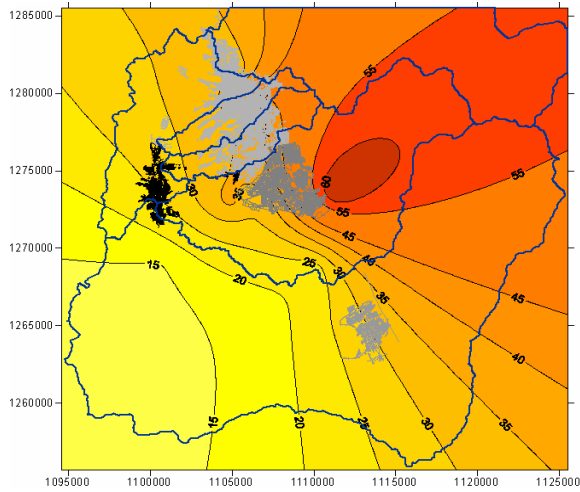


Figura 39. Combinación A11

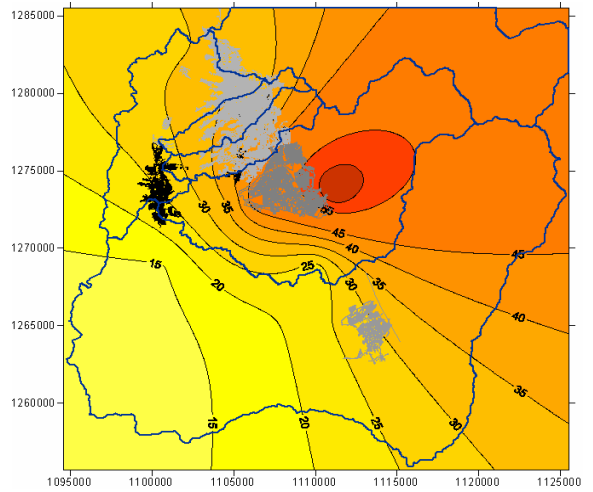


Figura 42. Combinación A12

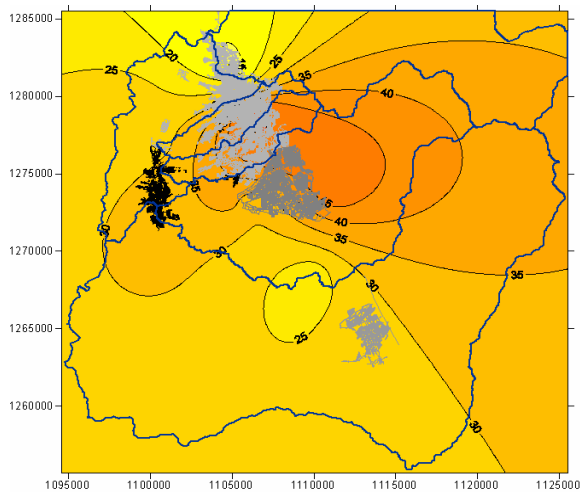


Figura 40. Combinación A28

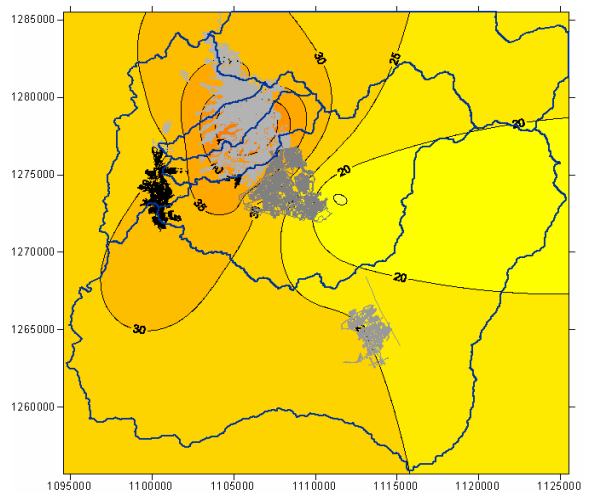


Figura 43. Combinación A29

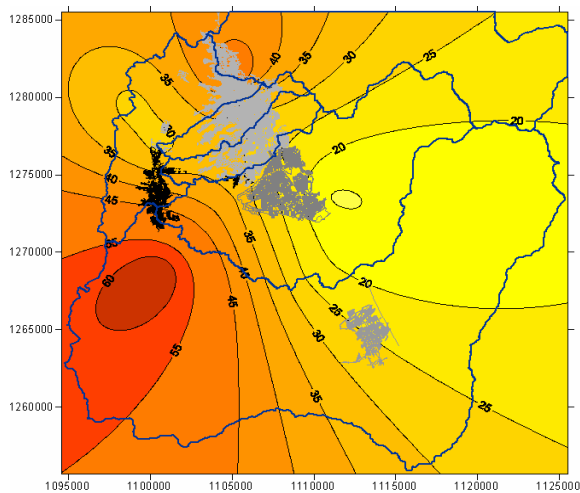


Figura 41. Combinación A31

9.7.1 Almacenamiento superficial U

La humedad interceptada por la vegetación, el agua retenida en las depresiones y en la parte cultivada superior del suelo es representada por el tanque superficial, donde U_{max} da el límite superior para la cantidad de agua en el almacenamiento superficial.

$$\begin{aligned} \text{Si } Temp_{p_i} < 0 &\Rightarrow U_i = U_{i-1} + P_{i-1} - Ep_{i-1} - QIF_{i-1} - P\eta_{i-1} + Ps_{i-1} \\ \text{Si } Temp_{p_i} > 0 &\Rightarrow U_i = U_{i-1} - Ep_{i-1} - QIF_{i-1} - P\eta_{i-1} \end{aligned}$$

9.7.2 Almacenamiento inferior o zona de raíces L

La humedad del suelo en la zona de raíces, corresponde a la capa de suelo bajo la superficie de la cual la vegetación puede extraer agua por transpiración, es representado como la zona de almacenamiento inferior; L_{max} corresponde al límite superior para la cantidad de agua en este tanque. La humedad en el tanque inferior, L , esta expuesta a perdidas por transpiración, y también controla la cantidad de agua que entra al almacenamiento subterráneo como recarga.

$$L_i = L_{i-1} + DL_{i-1} - Ea_{i-1}$$

Contribución del almacenamiento de nieve al sistema Ps

Toma el valor mínimo entre:

Ss

y

$$\text{Si } Temp_{i-1} > 0 \Rightarrow C_{melt} \times Temp$$

$$\text{Si } Temp_{i-1} < 0 \Rightarrow 0$$

donde,

C_{melt} coeficiente de derretimiento de nieve = 2 mm/día/K

Evapotranspiración potencial calculada E_p

Toma el valor mínimo entre:

$$U + P_s + P$$
$$y$$
$$E_{pot}$$

9.7.3 Aporte de flujo subsuperficial QIF

La contribución del flujo subsuperficial, QIF se supone proporcional a la U y varía linealmente con la humedad contenida en la zona de almacenamiento inferior.

Toma el valor mínimo entre:

$$U + P_s - E_p + P$$

y

$$\text{Si } L/L_{max} > CLIF \Rightarrow \frac{CQIF \times U \times (L/L_{max} - CLIF)}{1 - CLIF}$$

$$\text{Si } L/L_{max} \leq CLIF \Rightarrow 0$$

Donde,

$CQIF$ es el coeficiente para el flujo subsuperficial

$CLIF$ es el valor límite de la zona de raíces para el flujo subsuperficial

$$(0 \leq CLIF \leq 1)$$

Exceso de agua P_n

Este se presenta cuando se excede el almacenamiento superficial. Toma el valor máximo entre

$$\text{Si } Temp > 0 \Rightarrow U + P + Ps - Ep - QIF - U_{\max}$$

$$\text{Si } Temp < 0 \Rightarrow U - Ep - QIF - U_{\max}$$

y

0

9.7.4 Flujo superficial QOF

Cuando el almacenamiento superficial es excedido, $U \geq U_{\max}$, el exceso de agua, P_n aporta al flujo superficial como también a la infiltración. QOF representa la parte de P_n que contribuye al flujo superficial. Esta es asumida como proporcional a P_n y varía linealmente con el contenido de humedad en el suelo, L , en la zona de almacenamiento inferior. Toma el valor mínimo entre:

P_n

y

$$\text{Si } L/L_{\max} > CLOF \Rightarrow \frac{P_n \times CQOF \times (L/L_{\max} - CLOF)}{1 - CLOF}$$

$$\text{Si } L/L_{\max} < CLOF \Rightarrow 0$$

donde,

CQOF es el coeficiente de escorrentía de flujo superficial ($0 \leq CQOF \leq 1$)

CLOF es el valor limite para que se produzca flujo superficial ($0 \leq CLOF \leq 1$)

La parte de precipitación neta que no escurre como flujo superficial se infiltra hacia la zona de almacenamiento inferior que representa la zona de raíces. Una parte, DL , de la cantidad de infiltración, $(P_n - QOF)$ incrementa el contenido de humedad, L en la zona de almacenamiento inferior. La cantidad restante de la humedad infiltrada, G percola en profundidad y recarga el almacenamiento subterráneo.

9.7.5 Evapotranspiración actual E_a

Las demandas de evapotranspiración son asumidas inicialmente por la tasa potencial del almacenamiento. Si el contenido de humedad U , en el almacenamiento superficial es inferior al requerido, se asume que la parte restante es drenada por la actividad de las raíces desde el tanque inferior y a una tasa actual E_a , donde E_a es proporcional a la evapotranspiración potencial, E_p . El algoritmo usa el valor mínimo entre:

$$E_a = E_p \frac{L}{L_{max}}$$

y

$$E_{pot} - E_p$$

Aporte al almacenamiento subterráneo G

El algoritmo utiliza la siguiente condición

$$\text{Si } L/L_{max} > CLG \Rightarrow \frac{(P_n - QOF) \times (L/L_{max} - CLG)}{1 - CLG}$$
$$\text{Si } L/L_{max} < CLG \Rightarrow 0$$

9.7.6 Infiltración en la zona de raíces DL

La cantidad de infiltración que aporta humedad a la zona de raíces es calculada de la siguiente forma. El algoritmo toma el valor máximo entre:

$$P_n - QOF - G$$

y

$$0$$

9.7.7 Salida resultante de la unión del flujo superficial y subsuperficial QR1

Para el cálculo de las salidas se utiliza una simplificación de tránsito por tanque lineal de la siguiente forma:

$$QR1 = QR1_{i-1} \times e^{-\frac{1}{CK1}} + (QOF + QIF) \times (1 - e^{-\frac{1}{CK1}})$$

Componente superior del flujo subterráneo BFU1

$$BFU1_i = BFU1_{i-1} \times \left(e^{-\frac{1}{CKBFU}} \right) + \left(G \times (1 - CBFL) \times \left(1 - e^{-\frac{1}{CKBFU}} \right) \right)$$

9.7.8 Componente inferior del flujo subterráneo BFL1

$$BFL1_i = BFL1_{i-1} \times \left(e^{-\frac{1}{CKBFL}} \right) + \left(G \times CBFL \times \left(1 - e^{-\frac{1}{CKBFL}} \right) \right)$$

Flujo total QR2

Es la salida final del modelo, en donde se integran los distintos aportes hechos por los almacenamientos.

$$QR2_i = QR2_{i-1} \times \left(e^{-\frac{1}{CK2}} \right) + \left((QR1 \times BFU1 + BFL1) \times \left(1 - e^{-\frac{1}{CK2}} \right) \right)$$

9.7.9 Parámetros Usados en NAM.

El modelo NAM posee 13 parámetros que son utilizados para el proceso de calibración y validación. En la tabla 10 se presenta una caracterización de cada uno de los parámetros así como del rango de valores que puede tomar.

Es importante tener en cuenta que estos parámetros son definidos inicialmente a partir de las características propias de la cuenca pero que luego pueden ser modificados a fin de lograr un mejor ajuste entre los datos medidos y los obtenidos con el modelo.

En la Tabla 10 se presenta una descripción de los parámetros que hacen parte de las funciones del modelo NAM.

Tabla 34. Parámetros usados por NAM para modelo usado

Parámetro	Chimita	La Iglesia	Oro Alto	Oro Bajo	Río Frío	Suratá
Lmax	200.00	200.00	186.53	160.00	240.95	120
Umax	30.00	30.00	12.08	12.00	12.79	12
Cmelt	0.20	0.20	0.00	0.20	0.00	0.2
CQOF	0.15	0.20	0.17	0.20	0.60	0.3
CQIF	0.02	0.02	0.09	0.10	0.05	0.025
CBFL	0.80	0.30	0.34	0.90	0.56	0.4
CLIF	0.10	0.10	0.00	0.00	0.33	0
CLOF	0.10	0.10	0.08	0.50	0.41	0.2
CLG	0.20	0.20	0.20	0.20	0.13	0.2
CK1	0.10	0.10	0.00	0.20	0.00	1
CK2	0.10	0.10	0.56	0.40	0.27	0.9
CKBFU	80.00	80.00	9.36	40.00	30.74	10
CKBFL	200.00	200.00	49.66	80.00	68.73	50

Tabla 35. Condiciones iniciales modelo NAM, por subcuenca.

Condición inicial	Chimita	La Iglesia	Oro Alto	Oro Bajo	Río Frío	Suratá
Ss	0	0	0	0	0	0
U	0	0	0	0	0	0
L	110	110	110	110	110	110
QR1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
BFU1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
BFL1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
QR2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

9.8 MORFOLOGÍA DEL RÍO DE ORO BASE DEL MODELO HIDRÁULICO (Sossa, Gonzalez 2005)

9.8.1 MORFOLOGÍA RÍO DE ORO

El Río de Oro nace a una altura de 3500 m.s.n.m. con aportes de cauces conocidos como La Máquina, Cola de pato y La Lejía entre otros. Sobresale como punto de referencia (divisoria de aguas) el sitio conocido como El Picacho, localizado en el kilómetro 50 de la vía Bucaramanga – Pamplona. El Río de Oro corre inicialmente al sur, gira en herradura cambiando su dirección al norte en cercanías a Piedecuesta. Inicialmente presenta un cauce estrecho propio de un río de montaña para luego pasar a un valle amplio con un cauce entre trenzado y un acho que varía entre 70 y 300 metros. Recibe las aguas de los ríos Frío y Lato y se une con el río Suratá para formar el río Lebrija.

Se realizara una descripción un poco mas detallada desde aproximadamente 2.5 Km. aguas arriba de Girón hasta la confluencia con el río Surata. Para esto se subdividirá este tramo del río en ocho sectores de acuerdo a la ubicación de puntos conocidos. La descripción del río se realizara tomando como partida un punto ubicado aguas arriba de Girón y siguiendo el curso de la corriente.

9.8.2 Sector 1. Bahondo – Parque Gallineral.

En este sector el río es semi-recto controlado en la margen izquierda por la presencia de muros y rellenos. En esta parte el cauce del río tiene una pendiente que varía entre 0.33 y 0.7%. Entre las principales obstrucciones que presenta el río en este sector encontramos los rellenos y los muros del sector de Arenales y la vía a Zapatoca, además de los muros y rellenos en el lote de trefilco que han influido notoriamente en la evolución geomorfológica del río. El análisis histórico permite establecer que el río se ha movido hacia la izquierda aproximadamente 10 mts en los últimos 30 años. (Geotecnología 2005).

La principal estructura hidráulica que se encuentra en este sector es la batea de Vado Hondo. Esta presenta obstrucción por la maleza lo que reduce el cauce del río, además la geometría que posee permite la acumulación de sedimentos aguas arriba, lo que puede generar una especie de remanso elevando los niveles del río.



Figura 45. Fotografía Batea Vado Hondo.

9.8.3 Sector 2. Parque Gallineral – Poblado.

Se presentan dos tramos semi-rectos separados por una curva bastante pronunciada en el sector de Castilla Real. En este sector se presenta la confluencia del Río Frío con el Río de Oro, luego de la cual se presenta un giro fuerte hacia el occidente en el sector del poblado.

En restituciones anteriores de este sector del río, se puede observar un cauce mucho más amplio. Además se ha podido establecer que el cauce del río se ha profundizado entre Río Frío y la batea. (Geotecnología 2005).

El comportamiento hidráulico del río se ve afectado por la presencia de la batea en el sector del malecón de Girón, el Puente GEO Von Lenguerke y el Puente Jorge Eliécer Fonseca los cuales alteran el flujo. Además se presentan estructuras de contención como muros y rellenos que limitan la sección del río.

La batea en el sector del malecón al igual que en el caso anterior, ha generado una acumulación masiva de sedimentos aguas arriba produciéndose una diferencia de niveles de más de un metro entre la salida de la batea y el fondo del río inmediatamente aguas abajo de la misma.



Figura 46. Fotografía Puente GEO Von Lenguerke.

El Puente GEO Von Lenguerke presenta una geometría que puede resultar ineficiente para el caso de grandes avenidas. El galibo de este puente es demasiado bajo para permitir el paso de grandes avenidas por lo que resultó

afectado durante la creciente del 12 de febrero de 2005. Como se puede observar en la Figura 46 ajo del puente se encuentran algunas obstrucciones que disminuyen la capacidad hidráulica durante la ocurrencia de grandes avenidas.

El Puente Fonseca no presenta ningún tipo de pila central, pero los estribos no presentan protección por lo que se vieron afectados durante la crecida del 12 de febrero. Aguas arriba del puente se presenta una reducción de aproximadamente un 50% de la sección del río debido a la presencia de muros de contención. (Geotecnología, 2005).

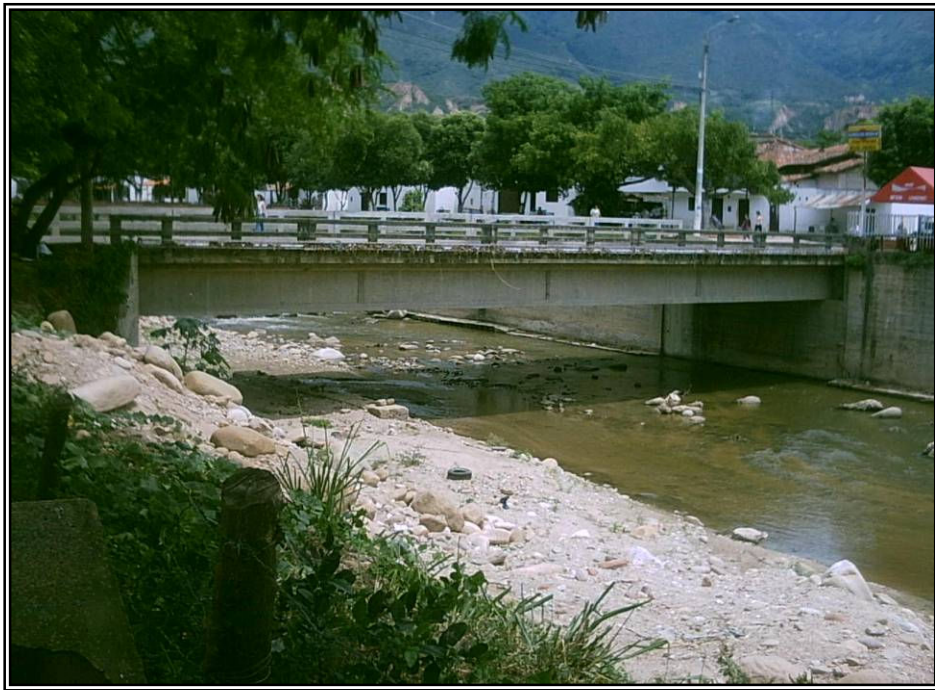


Figura 47. Fotografía Puente Jorge Eliécer Fonseca.

En este sector y sobre el costado occidental se ubican los barrios de El Poblado y El Carmen unos de los más afectados durante la inundación de Febrero 12.

9.8.4 Sector 3. El poblado – Saceites.

En este sector el río presenta tres giros bastante fuertes, el primero es hacia el occidente frente al sector del portal y luego hacia el oriente en el sector de Las Brisas, y por ultimo gira nuevamente hacia el occidente inmediatamente aguas arriba del puente Palenque. Después de este punto el cauce es aproximadamente rectilíneo hasta el barrio El Carrizal donde nuevamente hace un giro hacia el oriente. Las pendientes del río en este tramo varían entre 0.41 y 0.74%.

En este sector se presenta la confluencia de la quebrada la Iglesia con el Río de Oro aproximadamente 100 mts aguas arriba del Puente Palenque. La orilla izquierda se encuentra controlada por el relleno en el sector las brisas y la orilla derecha por el relleno ubicado aguas abajo del Puente Palenque. (Geotecnología, 2005).

El Puente Flandes, mas conocido como Puente Palenque, es otra de las estructuras sobre el Río de Oro que genera problemas para el río, ya que genera una contracción en el cauce del río. Durante la creciente del 12 de febrero los estribos de este puente sufrieron procesos de erosión. Este puente presenta una pila central que durante las crecientes genera acumulación de todo tipo de malezas y objetos que flotan sobre el agua disminuyendo notoriamente la sección del puente. (Ver Figura 48



Figura 48. Fotografía Puente Palenque.

9.8.5 Sector 4. Saceites - Parque industrial I.

En este sector el río presenta una mayor cantidad de curvas, aunque no tan pronunciadas como en los sectores anteriores, exceptuando un giro fuerte hacia el occidente en el sector del barrio el carrizal.

En el sitio de cruce de la falla geológica de Río de Oro retoma un alineamiento semi-recto en dirección suroeste-noroeste hacia el parque industrial I, la pendiente en este sector es aproximadamente de 0.53%. (Geotecnología, 2005)

En este sector entrega sus aguas la Quebrada Chimitá al Río de Oro. Esta quebrada es de gran importancia ya que reúne las Quebradas la Joya, Quebrada Seca, y La Rosita las cuales drenan gran parte del área central de Bucaramanga.

Las líneas de cauces anteriores muestran que los barrios Convivir, José Antonio Galán, Pizarro y 5 de Mayo se encuentran construidos sobre rellenos ubicados en el cauce del río. (Geotecnología, 2005)

9.8.6 Sector 5. Parque industrial – Escuela Río de Oro.

Este sector del río se caracteriza por presentar isla dentro de su cauce, además dado que la pendiente es baja se presenta una acumulación masiva de sedimentos. Evidencias históricas muestran que el sector donde actualmente se encuentra el parque industrial I hacía parte del cauce del Río. (Geotecnología, 2005)

El cauce de l río se encuentra controlado por el relleno en el sector del parque industrial I y en la orilla izquierda por la explotación intensiva de materiales por parte de Cementos Diamante. (Geotecnología, 2005)

9.8.7 Sector 6. Escuela Río de Oro- Parque industrial II.

En este tramo el río presenta un comportamiento muy similar al del tramo anterior, presentando grandes islas dentro del cauce del río. En el sector de confluencia de la quebrada las navas, el río hace un giro fuerte hacia el occidente y reduce su ancho a aproximadamente 70 mts. Además de esta quebrada en el sector también se presenta la confluencia de la quebrada Chapinero con el río de Oro.

Entre los principales controles y obstrucciones antrópicas del río encontramos el relleno en el sector de la Incubadora de Santander y el dique construido en el parque industrial II. (Geotecnología, 2005).

9.8.8 Sector 7. Parque industrial II – Puente Nariño.

En este sector el río presenta curvas aunque no muy pronunciadas y su cauce es relativamente angosto controlado por la presencia de Rocas en sus márgenes.

En este sector no existen controles antrópicos en las márgenes del río, el río se encuentra controlado por las formaciones rocosas ubicadas tanto en la margen derecha como izquierda.

La estructura del Puente Nariño resulto gravemente afectada durante la creciente del 12 de febrero ya que los estribos no presentaban protección y al paso de la creciente se presento el colapso del estribo derecho (Ver Figura 49) Este puente genera problemas ya que se encuentra ubicado sobre antiguos cauces del Río de Oro.



Figura 49. Fotografía Puente Nariño

9.8.9 Sector 8. Puente Nariño- Río Suratá.

En este sector el río tiene un cauce mas angosto, y es más evidente la presencia y el control impuesto por las formaciones rocosas sobre el cauce del río. En la parte baja de este sector se encuentran ubicados los barrios La Playa y La Playita.

En restituciones anteriores se puede notar que estos barrios están contruidos sobre trenzas antiguas del río de Oro. (Geotecnología, 2005)

El estudio parte de un evento de precipitación ocurrido en el periodo comprendido entre los días 7 al 12 de Febrero de 2005, evento que causó un impacto devastador sobre las comunidades e industrias aledañas al cauce del Río de Oro.

9.9 VERIFICACIÓN DE BORDES LIBRES EN MUROS

Tabla 36. Simulación de precipitación original del 7 al 12 de Febrero de 2005.

SECTOR	SECCIÓN	COTA MURO	NIVEL MÁXIMO AGUAS	V	Z	BORDE LIBRE MÍNIMO	BORDE LIBRE	VERIFICACIÓN
		(m)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	
ARENALES	9	705.20	704.25	3.49	6.05	0.85	0.95	OK
	10	705.05	703.16	4.10	5.37	0.88	1.89	OK
	11	703.90	702.33	3.75	5.60	0.86	1.57	OK
PARQUE GALLINERAL	14	701.25	700.11	2.53	5.05	0.77	1.14	OK
	15	701.35	700.10	2.31	5.06	0.76	1.25	OK
	16	701.35	700.00	2.37	5.14	0.76	1.35	OK
	17	701.15	699.96	2.35	5.16	0.76	1.19	OK
	18	701.15	699.64	3.44	5.10	0.83	1.51	OK
	19	700.20	699.61	2.85	5.21	0.79	0.59	NO CUMPLE
	20	700.60	699.63	2.23	5.25	0.75	0.97	OK
	21	700.60	699.43	2.72	5.06	0.78	1.17	OK
	22	700.10	699.07	3.05	4.72	0.80	1.03	OK
	23	699.80	697.81	5.05	3.83	0.90	1.99	OK
	24	700.40	697.73	3.94	4.54	0.85	2.67	OK
	25	699.90	697.30	3.55	4.45	0.83	2.60	OK
	26	698.35	697.38	2.76	4.66	0.78	0.97	OK
	27	698.55	697.11	2.83	4.77	0.79	1.44	OK
28	698.50	696.42	4.48	4.25	0.88	2.08	OK	
MALECÓN	30	698.90	696.46	3.38	4.63	0.82	2.44	OK
	32	697.50	695.31	3.93	4.20	0.85	2.19	OK
	33 A	697.50	695.51	2.46	4.68	0.76	1.99	OK
EL POBLADO	45	693.20	692.29	2.86	6.86	0.81	0.91	OK
	46	693.20	692.33	1.76	6.92	0.73	0.87	OK
	47	692.40	692.05	2.52	6.67	0.79	0.35	NO CUMPLE
	48	692.21	691.70	2.73	6.33	0.80	0.51	NO CUMPLE
	49	692.40	691.56	2.48	6.65	0.78	0.84	OK
	50	692.00	690.75	4.22	6.33	0.90	1.25	OK
	51	692.20	690.40	2.97	6.18	0.81	1.80	OK
	52	690.50	689.56	4.20	5.53	0.89	0.94	OK

Tabla 37. Simulación de hipótesis 2016.

SECTOR	SECCIÓN	COTA MURO	NIVEL MÁXIMO AGUAS	V	Z	BORDE LIBRE MÍNIMO	BORDE LIBRE	VERIFICACIÓN
		(m)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	
ARENALES	9	705.20	704.28	3.50	6.08	0.85	0.92	OK
	10	705.05	703.18	4.12	5.40	0.88	1.87	OK
	11	703.90	702.35	3.77	5.62	0.86	1.55	OK
PARQUE GALLINERAL	14	701.25	700.14	2.53	5.07	0.77	1.11	OK
	15	701.35	700.13	2.32	5.09	0.76	1.22	OK
	16	701.35	700.03	2.38	5.17	0.76	1.32	OK
	17	701.15	699.99	2.36	5.19	0.76	1.16	OK
	18	701.15	699.67	3.45	5.13	0.83	1.48	OK
	19	700.20	699.64	2.86	5.24	0.79	0.56	NO CUMPLE
	20	700.60	699.66	2.24	5.28	0.75	0.94	OK
	21	700.60	699.46	2.73	5.09	0.78	1.14	OK
	22	700.10	699.09	3.07	4.74	0.80	1.01	OK
	23	699.80	697.83	5.07	3.85	0.90	1.97	OK
	24	700.40	697.75	3.96	4.56	0.85	2.65	OK
	25	699.90	697.32	3.56	4.47	0.83	2.58	OK
	26	698.35	697.41	2.76	4.69	0.78	0.94	OK
	27	698.55	697.13	2.84	4.79	0.79	1.42	OK
28	698.50	696.43	4.51	4.26	0.88	2.07	OK	
MALECÓN	30	698.90	696.48	3.40	4.65	0.82	2.42	OK
	32	697.50	695.34	3.94	4.23	0.85	2.16	OK
	33 A	697.50	695.55	2.46	4.72	0.76	1.95	OK
EL POBLADO	45	693.20	692.31	2.88	6.89	0.81	0.89	OK
	46	693.20	692.36	1.77	6.95	0.74	0.84	OK
	47	692.40	692.08	2.53	6.70	0.79	0.32	NO CUMPLE
	48	692.21	691.73	2.75	6.36	0.80	0.48	NO CUMPLE
	49	692.40	691.59	2.49	6.68	0.78	0.81	OK
	50	692.00	690.77	4.23	6.35	0.90	1.23	OK
	51	692.20	690.42	2.98	6.20	0.81	1.78	OK
	52	690.50	689.57	4.22	5.54	0.89	0.93	OK

Tabla 38. Simulación de hipótesis 2026.

SECTOR	SECCIÓN	COTA MURO	NIVEL MÁXIMO AGUAS	V	Z	BORDE LIBRE MÍNIMO	BORDE LIBRE	VERIFICACIÓN
		(m)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	
ARENALES	9	705.20	704.33	3.53	6.13	0.85	0.87	OK
	10	705.05	703.23	4.15	5.44	0.88	1.82	OK
	11	703.90	702.40	3.79	5.67	0.86	1.50	OK
PARQUE GALLINERAL	14	701.25	700.18	2.55	5.12	0.77	1.07	OK
	15	701.35	700.17	2.33	5.13	0.76	1.18	OK
	16	701.35	700.07	2.39	5.21	0.76	1.28	OK
	17	701.15	700.03	2.37	5.23	0.76	1.12	OK
	18	701.15	699.71	3.46	5.17	0.83	1.44	OK
	19	700.20	699.68	2.88	5.28	0.80	0.52	NO CUMPLE
	20	700.60	699.70	2.26	5.32	0.76	0.90	OK
	21	700.60	699.49	2.75	5.12	0.79	1.11	OK
	22	700.10	699.13	3.12	4.78	0.80	0.97	OK
	23	699.80	697.86	5.11	3.88	0.91	1.94	OK
	24	700.40	697.78	3.99	4.59	0.86	2.62	OK
	25	699.90	697.35	3.59	4.50	0.83	2.55	OK
	26	698.35	697.43	2.78	4.71	0.78	0.92	OK
	27	698.55	697.16	2.86	4.82	0.79	1.39	OK
28	698.50	696.44	4.58	4.27	0.89	2.06	OK	
MALECÓN	30	698.90	696.52	3.40	4.69	0.82	2.38	OK
	32	697.50	695.37	3.97	4.26	0.85	2.13	OK
	33 A	697.50	695.59	2.47	4.76	0.76	1.91	OK
EL POBLADO	45	693.20	692.35	2.90	6.92	0.81	0.85	OK
	46	693.20	692.39	1.78	6.98	0.74	0.81	OK
	47	692.40	692.11	2.55	6.73	0.79	0.29	NO CUMPLE
	48	692.21	691.76	2.76	6.39	0.80	0.45	NO CUMPLE
	49	692.40	691.62	2.51	6.71	0.79	0.78	NO CUMPLE
	50	692.00	690.80	4.25	6.38	0.90	1.20	OK
	51	692.20	690.45	2.99	6.23	0.81	1.75	OK
	52	690.50	689.59	4.25	5.56	0.89	0.91	OK

Tabla 39. Simulación de hipótesis 2036.

SECTOR	SECCIÓN	COTA MURO	NIVEL MÁXIMO AGUAS	V	Z	BORDE LIBRE MÍNIMO	BORDE LIBRE	VERIFICACIÓN
		(m)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	
ARENALES	9	705.20	704.41	3.56	6.21	0.85	0.79	NO CUMPLE
	10	705.05	703.30	4.19	5.51	0.88	1.75	OK
	11	703.90	702.47	3.83	5.74	0.86	1.43	OK
PARQUE GALLINERAL	14	701.25	700.25	2.57	5.19	0.77	1.00	OK
	15	701.35	700.24	2.35	5.20	0.76	1.11	OK
	16	701.35	700.15	2.41	5.29	0.77	1.20	OK
	17	701.15	700.10	2.40	5.30	0.77	1.05	OK
	18	701.15	699.78	3.49	5.24	0.83	1.37	OK
	19	700.20	699.75	2.91	5.35	0.80	0.45	NO CUMPLE
	20	700.60	699.77	2.29	5.39	0.76	0.83	OK
	21	700.60	699.56	2.78	5.19	0.79	1.04	OK
	22	700.10	699.19	3.15	4.84	0.81	0.91	OK
	23	699.80	697.92	5.15	3.94	0.91	1.88	OK
	24	700.40	697.83	4.05	4.64	0.86	2.57	OK
	25	699.90	697.41	3.61	4.56	0.83	2.49	OK
	26	698.35	697.50	2.79	4.78	0.78	0.85	OK
	27	698.55	697.23	2.87	4.89	0.79	1.32	OK
28	698.50	696.50	4.62	4.33	0.89	2.00	OK	
MALECÓN	30	698.90	696.58	3.42	4.75	0.82	2.32	OK
	32	697.50	695.44	4.01	4.33	0.85	2.06	OK
	33 A	697.50	695.68	2.49	4.85	0.77	1.82	OK
EL POBLADO	45	693.20	692.40	2.93	6.97	0.82	0.80	NO CUMPLE
	46	693.20	692.45	1.79	7.04	0.74	0.75	OK
	47	692.40	692.16	2.56	6.78	0.79	0.24	NO CUMPLE
	48	692.21	691.81	2.79	6.44	0.80	0.40	NO CUMPLE
	49	692.40	691.67	2.53	6.76	0.79	0.73	NO CUMPLE
	50	692.00	690.84	4.28	6.42	0.91	1.16	OK
	51	692.20	690.49	3.02	6.27	0.82	1.71	OK
	52	690.50	689.62	4.30	5.59	0.89	0.88	NO CUMPLE

Tabla 40. Simulación de hipótesis B4.

SECTOR	SECCIÓN	COTA MURO	NIVEL MÁXIMO AGUAS	V	Z	BORDE LIBRE MÍNIMO	BORDE LIBRE	VERIFICACIÓN
		(m)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	
ARENALES	9	705.20	703.82	3.28	5.62	0.83	1.38	OK
	10	705.05	702.76	3.83	4.97	0.85	2.29	OK
	11	703.90	701.97	3.46	5.24	0.83	1.93	OK
PARQUE GALLINERAL	14	701.25	699.72	2.41	4.66	0.76	1.53	OK
	15	701.35	699.70	2.20	4.66	0.75	1.65	OK
	16	701.35	699.61	2.25	4.75	0.75	1.74	OK
	17	701.15	699.57	2.21	4.77	0.75	1.58	OK
	18	701.15	699.26	3.31	4.72	0.82	1.89	OK
	19	700.20	699.24	2.68	4.84	0.78	0.96	OK
	20	700.60	699.25	2.05	4.87	0.74	1.35	OK
	21	700.60	699.06	2.54	4.69	0.77	1.54	OK
	22	700.10	698.72	2.84	4.37	0.78	1.38	OK
	23	699.80	697.51	4.83	3.53	0.88	2.29	OK
	24	700.40	697.44	3.64	4.25	0.83	2.96	OK
	25	699.90	696.99	3.37	4.14	0.81	2.91	OK
	26	698.35	697.05	2.63	4.33	0.77	1.30	OK
	27	698.55	696.77	2.72	4.43	0.78	1.78	OK
28	698.50	696.19	4.11	4.02	0.85	2.31	OK	
MALECÓN	30	698.90	696.09	3.29	4.26	0.81	2.81	OK
	32	697.50	694.96	3.66	3.85	0.82	2.54	OK
	33 A	697.50	695.09	2.34	4.26	0.75	2.41	OK
EL POBLADO	45	693.20	692.13	2.79	6.70	0.80	1.07	OK
	46	693.20	692.16	1.73	6.75	0.73	1.04	OK
	47	692.40	691.89	2.47	6.51	0.78	0.51	NO CUMPLE
	48	692.21	691.55	2.66	6.18	0.79	0.66	NO CUMPLE
	49	692.40	691.41	2.42	6.50	0.78	0.99	OK
	50	692.00	690.60	4.15	6.18	0.89	1.40	OK
	51	692.20	690.26	2.89	6.04	0.81	1.94	OK
	52	690.50	689.46	4.04	5.43	0.87	1.04	OK

Tabla 41. Simulación de hipótesis B13.

SECTOR	SECCIÓN	COTA MURO	NIVEL MÁXIMO AGUAS	V	Z	BORDE LIBRE MÍNIMO	BORDE LIBRE	VERIFICACIÓN
		(m)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	
ARENALES	9	705.20	703.72	3.24	5.52	0.82	1.48	OK
	10	705.05	702.67	3.75	4.88	0.85	2.38	OK
	11	703.90	701.89	3.39	5.16	0.83	2.01	OK
PARQUE GALLINERAL	14	701.25	699.62	2.39	4.56	0.76	1.63	OK
	15	701.35	699.61	2.17	4.57	0.74	1.74	OK
	16	701.35	699.52	2.22	4.66	0.75	1.83	OK
	17	701.15	699.48	2.18	4.68	0.75	1.67	OK
	18	701.15	699.16	3.28	4.62	0.81	1.99	OK
	19	700.20	699.14	2.61	4.74	0.77	1.06	OK
	20	700.60	699.15	2.01	4.77	0.74	1.45	OK
	21	700.60	698.97	2.50	4.60	0.76	1.63	OK
	22	700.10	698.63	2.79	4.28	0.78	1.47	OK
	23	699.80	697.43	4.78	3.45	0.88	2.37	OK
	24	700.40	697.37	3.54	4.18	0.82	3.03	OK
	25	699.90	696.91	3.33	4.06	0.81	2.99	OK
	26	698.35	696.96	2.61	4.24	0.77	1.39	OK
	27	698.55	696.68	2.70	4.34	0.77	1.87	OK
28	698.50	696.12	4.03	3.95	0.85	2.38	OK	
MALECÓN	30	698.90	695.99	3.27	4.16	0.80	2.91	OK
	32	697.50	694.88	3.58	3.77	0.82	2.62	OK
	33 A	697.50	694.99	2.31	4.16	0.75	2.51	OK
EL POBLADO	45	693.20	692.80	3.16	7.37	0.84	0.40	NO CUMPLE
	46	693.20	692.87	1.87	7.46	0.75	0.33	NO CUMPLE
	47	692.40	692.57	2.73	7.19	0.81	-0.17	NO CUMPLE
	48	692.21	692.19	2.98	6.82	0.82	0.02	NO CUMPLE
	49	692.40	692.05	2.70	7.14	0.80	0.35	NO CUMPLE
	50	692.00	691.19	4.48	6.77	0.92	0.81	NO CUMPLE
	51	692.20	690.86	3.17	6.64	0.83	1.34	OK
	52	690.50	689.92	4.57	5.89	0.92	0.58	NO CUMPLE

Tabla 42. Simulación de hipótesis B15.

SECTOR	SECCIÓN	COTA MURO	NIVEL MÁXIMO AGUAS	V	Z	BORDE LIBRE MÍNIMO	BORDE LIBRE	VERIFICACIÓN
		(m)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	
ARENALES	9	705.20	703.76	3.26	5.56	0.82	1.44	OK
	10	705.05	702.71	3.79	4.92	0.85	2.34	OK
	11	703.90	701.92	3.42	5.19	0.83	1.98	OK
PARQUE GALLINERAL	14	701.25	699.67	2.40	4.61	0.76	1.58	OK
	15	701.35	699.65	2.19	4.61	0.75	1.70	OK
	16	701.35	699.56	2.23	4.70	0.75	1.79	OK
	17	701.15	699.52	2.20	4.72	0.75	1.63	OK
	18	701.15	699.20	3.29	4.66	0.81	1.95	OK
	19	700.20	699.18	2.63	4.78	0.77	1.02	OK
	20	700.60	699.19	2.03	4.81	0.74	1.41	OK
	21	700.60	699.00	2.52	4.63	0.77	1.60	OK
	22	700.10	698.67	2.81	4.32	0.78	1.43	OK
	23	699.80	697.47	4.80	3.49	0.88	2.33	OK
	24	700.40	697.40	3.60	4.21	0.83	3.00	OK
	25	699.90	696.95	3.35	4.10	0.81	2.95	OK
26	698.35	697.00	2.62	4.28	0.77	1.35	OK	
27	698.55	696.72	2.71	4.38	0.77	1.83	OK	
28	698.50	696.15	4.06	3.98	0.85	2.35	OK	
MALECÓN	30	698.90	696.04	3.28	4.21	0.81	2.86	OK
	32	697.50	694.92	3.61	3.81	0.82	2.58	OK
	33 A	697.50	695.04	2.32	4.21	0.75	2.46	OK
EL POBLADO	45	693.20	692.77	3.14	7.34	0.84	0.43	NO CUMPLE
	46	693.20	692.84	1.87	7.43	0.75	0.36	NO CUMPLE
	47	692.40	692.54	2.72	7.16	0.80	-0.14	NO CUMPLE
	48	692.21	692.16	2.96	6.79	0.82	0.05	NO CUMPLE
	49	692.40	692.02	2.69	7.11	0.80	0.38	NO CUMPLE
	50	692.00	691.17	4.47	6.75	0.92	0.83	NO CUMPLE
	51	692.20	690.83	3.16	6.61	0.83	1.37	OK
	52	690.50	689.91	4.53	5.88	0.91	0.59	NO CUMPLE

Tabla 43. Simulación de hipótesis B18.

SECTOR	SECCIÓN	COTA MURO	NIVEL MÁXIMO AGUAS	V	Z	BORDE LIBRE MÍNIMO	BORDE LIBRE	VERIFICACIÓN
		(m)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	
ARENALES	9	705.20	704.17	3.44	5.97	0.84	1.03	OK
	10	705.05	703.08	4.05	5.29	0.87	1.97	OK
	11	703.90	702.25	3.69	5.52	0.85	1.65	OK
PARQUE GALLINERAL	14	701.25	700.03	2.50	4.97	0.77	1.22	OK
	15	701.35	700.02	2.29	4.98	0.75	1.33	OK
	16	701.35	699.93	2.34	5.07	0.76	1.42	OK
	17	701.15	699.89	2.32	5.09	0.76	1.26	OK
	18	701.15	699.57	3.41	5.03	0.83	1.58	OK
	19	700.20	699.54	2.81	5.14	0.79	0.66	NO CUMPLE
	20	700.60	699.56	2.18	5.18	0.75	1.04	OK
	21	700.60	699.36	2.68	4.99	0.78	1.24	OK
	22	700.10	699.00	3.01	4.65	0.80	1.10	OK
	23	699.80	697.76	5.01	3.78	0.90	2.04	OK
	24	700.40	697.68	3.88	4.49	0.85	2.72	OK
	25	699.90	697.25	3.52	4.40	0.82	2.65	OK
	26	698.35	697.33	2.72	4.61	0.78	1.02	OK
	27	698.55	697.05	2.81	4.71	0.78	1.50	OK
28	698.50	696.39	4.40	4.22	0.87	2.11	OK	
MALECÓN	30	698.90	696.40	3.35	4.57	0.82	2.50	OK
	32	697.50	695.27	3.86	4.16	0.84	2.23	OK
	33 A	697.50	695.46	2.42	4.63	0.76	2.04	OK
EL POBLADO	45	693.20	692.69	3.08	7.27	0.83	0.51	NO CUMPLE
	46	693.20	692.76	1.85	7.35	0.74	0.44	NO CUMPLE
	47	692.40	692.46	2.70	7.08	0.80	-0.06	NO CUMPLE
	48	692.21	692.08	2.93	6.71	0.81	0.13	NO CUMPLE
	49	692.40	691.94	2.66	7.03	0.80	0.46	NO CUMPLE
	50	692.00	691.09	4.41	6.67	0.92	0.91	NO CUMPLE
	51	692.20	690.76	3.11	6.54	0.83	1.44	OK
	52	690.50	689.85	4.46	5.82	0.91	0.65	NO CUMPLE

Tabla 44. Verificación de Simulación de hipótesis C11.

SECTOR	SECCIÓN	COTA MURO	NIVEL MÁXIMO AGUAS	V	Z	BORDE LIBRE MÍNIMO	BORDE LIBRE	VERIFICACIÓN
		(m)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	
ARENALES	9	705.20	704.40	3.56	6.20	0.85	0.80	NO CUMPLE
	10	705.05	703.29	4.20	5.50	0.89	1.76	OK
	11	703.90	702.45	3.84	5.72	0.86	1.45	OK
PARQUE GALLINERAL	14	701.25	700.23	2.56	5.17	0.77	1.02	OK
	15	701.35	700.23	2.35	5.18	0.76	1.12	OK
	16	701.35	700.13	2.41	5.27	0.77	1.22	OK
	17	701.15	700.09	2.39	5.29	0.76	1.06	OK
	18	701.15	699.77	3.48	5.23	0.83	1.38	OK
	19	700.20	699.74	2.90	5.34	0.80	0.46	NO CUMPLE
	20	700.60	699.76	2.28	5.38	0.76	0.84	OK
	21	700.60	699.55	2.77	5.18	0.79	1.05	OK
	22	700.10	699.18	3.15	4.83	0.81	0.92	OK
	23	699.80	697.91	5.13	3.93	0.91	1.89	OK
	24	700.40	697.82	4.02	4.63	0.86	2.58	OK
	25	699.90	697.40	3.60	4.55	0.83	2.50	OK
	26	698.35	697.49	2.79	4.77	0.78	0.86	OK
27	698.55	697.22	2.86	4.88	0.79	1.33	OK	
28	698.50	696.50	4.55	4.33	0.89	2.00	OK	
MALECÓN	30	698.90	696.59	3.39	4.76	0.82	2.31	OK
	32	697.50	695.56	3.84	4.46	0.84	1.94	OK
	33 A	697.50	695.78	2.40	4.95	0.76	1.72	OK
EL POBLADO	45	693.20	693.82	3.57	8.39	0.88	-0.62	NO CUMPLE
	46	693.20	693.97	2.17	8.56	0.77	-0.77	NO CUMPLE
	47	692.40	693.60	3.19	8.22	0.85	-1.20	NO CUMPLE
	48	692.21	693.13	3.57	7.76	0.87	-0.92	NO CUMPLE
	49	692.40	692.98	3.26	8.07	0.85	-0.58	NO CUMPLE
	50	692.00	691.91	5.28	7.49	0.99	0.09	NO CUMPLE
	51	692.20	691.56	3.95	7.34	0.89	0.64	NO CUMPLE
	52	690.50	690.21	5.12	6.18	0.96	0.29	NO CUMPLE

Tabla 45. Simulación de hipótesis C12.

SECTOR	SECCIÓN	COTA MURO	NIVEL MÁXIMO AGUAS	V	Z	BORDE LIBRE MÍNIMO	BORDE LIBRE	VERIFICACIÓN
		(m)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	
ARENALES	9	705.20	704.41	3.56	6.21	0.85	0.79	NO CUMPLE
	10	705.05	703.30	4.20	5.51	0.89	1.75	OK
	11	703.90	702.46	3.84	5.73	0.86	1.44	OK
PARQUE GALLINERAL	14	701.25	700.24	2.56	5.18	0.77	1.01	OK
	15	701.35	700.23	2.35	5.19	0.76	1.12	OK
	16	701.35	700.14	2.41	5.28	0.77	1.21	OK
	17	701.15	700.09	2.39	5.29	0.76	1.06	OK
	18	701.15	699.77	3.48	5.23	0.83	1.38	OK
	19	700.20	699.75	2.90	5.35	0.80	0.45	NO CUMPLE
	20	700.60	699.76	2.28	5.38	0.76	0.84	OK
	21	700.60	699.56	2.77	5.19	0.79	1.04	OK
	22	700.10	699.19	3.15	4.84	0.81	0.91	OK
	23	699.80	697.91	5.15	3.93	0.91	1.89	OK
	24	700.40	697.82	4.05	4.63	0.86	2.58	OK
	25	699.90	697.40	3.61	4.55	0.83	2.50	OK
	26	698.35	697.49	2.79	4.77	0.78	0.86	OK
	27	698.55	697.21	2.87	4.87	0.79	1.34	OK
28	698.50	696.49	4.56	4.32	0.89	2.01	OK	
MALECÓN	30	698.90	696.57	3.38	4.74	0.82	2.33	OK
	32	697.50	695.54	3.85	4.43	0.84	1.96	OK
	33 A	697.50	695.76	2.40	4.93	0.76	1.74	OK
EL POBLADO	45	693.20	693.93	3.62	8.50	0.88	-0.73	NO CUMPLE
	46	693.20	694.09	2.21	8.68	0.78	-0.89	NO CUMPLE
	47	692.40	693.71	3.25	8.33	0.85	-1.31	NO CUMPLE
	48	692.21	693.23	3.63	7.86	0.88	-1.02	NO CUMPLE
	49	692.40	693.08	3.33	8.17	0.86	-0.68	NO CUMPLE
	50	692.00	691.98	5.38	7.56	1.00	0.02	NO CUMPLE
	51	692.20	691.63	4.02	7.41	0.90	0.57	NO CUMPLE
	52	690.50	690.24	5.35	6.21	0.97	0.26	NO CUMPLE

Tabla 46. Simulación de hipótesis C28.

SECTOR	SECCIÓN	COTA MURO	NIVEL MÁXIMO AGUAS	V	Z	BORDE LIBRE MÍNIMO	BORDE LIBRE	VERIFICACIÓN
		(m)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	
ARENALES	9	705.20	704.55	3.62	6.35	0.86	0.65	NO CUMPLE
	10	705.05	703.44	4.28	5.65	0.89	1.61	OK
	11	703.90	702.61	3.91	5.88	0.87	1.29	OK
PARQUE GALLINERAL	14	701.25	700.39	2.62	5.33	0.78	0.86	OK
	15	701.35	700.39	2.39	5.35	0.76	0.96	OK
	16	701.35	700.29	2.45	5.43	0.77	1.06	OK
	17	701.15	700.25	2.46	5.45	0.77	0.90	OK
	18	701.15	699.93	3.53	5.39	0.84	1.22	OK
	19	700.20	699.90	2.97	5.50	0.80	0.30	NO CUMPLE
	20	700.60	699.92	2.34	5.54	0.76	0.68	NO CUMPLE
	21	700.60	699.70	2.86	5.33	0.80	0.90	OK
	22	700.10	699.32	3.23	4.97	0.81	0.78	NO CUMPLE
	23	699.80	698.04	5.23	4.06	0.92	1.76	OK
	24	700.40	697.95	4.14	4.76	0.87	2.45	OK
	25	699.90	697.54	3.67	4.69	0.84	2.36	OK
	26	698.35	697.64	2.82	4.92	0.79	0.71	NO CUMPLE
	27	698.55	697.37	2.90	5.03	0.79	1.18	OK
28	698.50	696.61	4.74	4.44	0.90	1.89	OK	
MALECÓN	30	698.90	696.72	3.48	4.89	0.83	2.18	OK
	32	697.50	695.69	4.05	4.58	0.86	1.81	OK
	33 A	697.50	695.94	2.48	5.11	0.77	1.56	OK
EL POBLADO	45	693.20	693.43	3.40	8.01	0.86	-0.23	NO CUMPLE
	46	693.20	693.55	2.06	8.14	0.76	-0.35	NO CUMPLE
	47	692.40	693.21	3.02	7.83	0.83	-0.81	NO CUMPLE
	48	692.21	692.77	3.35	7.40	0.85	-0.56	NO CUMPLE
	49	692.40	692.62	3.06	7.71	0.83	-0.22	NO CUMPLE
	50	692.00	691.64	4.94	7.22	0.96	0.36	NO CUMPLE
	51	692.20	691.30	3.54	7.08	0.86	0.90	OK
	52	690.50	690.11	5.27	6.08	0.97	0.39	NO CUMPLE

Tabla 47. Simulación de hipótesis C31.

SECTOR	SECCIÓN	COTA MURO	NIVEL MÁXIMO AGUAS	V	Z	BORDE LIBRE MÍNIMO	BORDE LIBRE	VERIFICACIÓN
		(m)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	
ARENALES	9	705.20	704.95	3.81	6.75	0.88	0.25	NO CUMPLE
	10	705.05	703.79	4.53	6.00	0.92	1.26	OK
	11	703.90	702.89	4.20	6.16	0.90	1.01	OK
PARQUE GALLINERAL	14	701.25	700.75	2.72	5.69	0.79	0.50	NO CUMPLE
	15	701.35	700.75	2.49	5.71	0.77	0.60	NO CUMPLE
	16	701.35	700.65	2.58	5.79	0.78	0.70	NO CUMPLE
	17	701.15	700.61	2.57	5.81	0.78	0.54	NO CUMPLE
	18	701.15	700.27	3.69	5.73	0.85	0.88	OK
	19	700.20	700.24	3.15	5.84	0.82	-0.04	NO CUMPLE
	20	700.60	700.27	2.49	5.89	0.78	0.33	NO CUMPLE
	21	700.60	700.04	3.02	5.67	0.81	0.56	NO CUMPLE
	22	700.10	699.64	3.42	5.29	0.83	0.46	NO CUMPLE
	23	699.80	698.28	5.47	4.31	0.94	1.52	OK
	24	700.40	698.18	4.42	4.99	0.89	2.22	OK
	25	699.90	697.79	3.86	4.94	0.85	2.11	OK
	26	698.35	697.92	2.93	5.20	0.80	0.43	NO CUMPLE
	27	698.55	697.63	3.06	5.29	0.81	0.92	OK
28	698.50	696.74	5.06	4.57	0.92	1.76	OK	
MALECÓN	30	698.90	696.97	3.69	5.14	0.85	1.93	OK
	32	697.50	695.92	4.21	4.81	0.87	1.58	OK
	33 A	697.50	696.21	2.59	5.38	0.78	1.29	OK
EL POBLADO	45	693.20	693.22	3.33	7.80	0.85	-0.02	NO CUMPLE
	46	693.20	693.33	2.01	7.92	0.76	-0.13	NO CUMPLE
	47	692.40	693.00	2.93	7.62	0.82	-0.60	NO CUMPLE
	48	692.21	692.58	3.23	7.21	0.84	-0.37	NO CUMPLE
	49	692.40	692.43	2.95	7.52	0.82	-0.03	NO CUMPLE
	50	692.00	691.49	4.82	7.08	0.95	0.51	NO CUMPLE
	51	692.20	691.16	3.37	6.94	0.85	1.04	OK
	52	690.50	690.11	4.98	6.08	0.95	0.39	NO CUMPLE

9.10 NIVELES PRESENTADOS EN PUENTES

Tabla 48. Simulación de precipitación original del 7 al 12 de febrero de 2005.

PUENTE	NIVEL INFERIOR VIGA	NIVEL SIMULADO	DIFERENCIA
LENGERKE	692.39	695.38	-2.99
FONSECA	688.95	689.05	-0.10
PALENQUE	688.09	684.84	3.25
NARIÑO	620.14	619.87	0.27

Tabla 49. Simulación de hipótesis 2016.

PUENTE	NIVEL INFERIOR VIGA	NIVEL SIMULADO	DIFERENCIA
LENGERKE	692.39	695.39	-3.00
FONSECA	688.95	689.05	-0.10
PALENQUE	688.09	684.86	3.23
NARIÑO	620.14	619.89	0.25

Tabla 50. Simulación de hipótesis 2026.

PUENTE	NIVEL INFERIOR VIGA	NIVEL SIMULADO	DIFERENCIA
LENGERKE	692.39	695.41	-3.02
FONSECA	688.95	689.06	-0.11
PALENQUE	688.09	684.88	3.21
NARIÑO	620.14	619.90	0.24

Tabla 51. Simulación de hipótesis 2036.

PUENTE	NIVEL INFERIOR VIGA	NIVEL SIMULADO	DIFERENCIA
LENGERKE	692.39	695.45	-3.06
FONSECA	688.95	689.07	-0.12
PALENQUE	688.09	684.92	3.17
NARIÑO	620.14	619.89	0.25

Tabla 52. Simulación de hipótesis B4.

PUENTE	NIVEL INFERIOR VIGA	NIVEL SIMULADO	DIFERENCIA
LENGERKE	692.39	693.38	-0.99
FONSECA	688.95	689.01	-0.06
PALENQUE	688.09	684.69	3.40
NARIÑO	620.14	619.75	0.39

Tabla 53. Simulación de hipótesis B13.

PUENTE	NIVEL INFERIOR VIGA	NIVEL SIMULADO	DIFERENCIA
LENGERKE	692.39	693.40	-1.01
FONSECA	688.95	689.56	-0.61
PALENQUE	688.09	685.23	2.86
NARIÑO	620.14	620.16	-0.02

Tabla 54. Simulación de hipótesis B15.

PUENTE	NIVEL INFERIOR VIGA	NIVEL SIMULADO	DIFERENCIA
LENGERKE	692.39	693.39	-1.00
FONSECA	688.95	689.55	-0.60
PALENQUE	688.09	685.22	2.87
NARIÑO	620.14	620.18	-0.04

Tabla 55. Simulación de hipótesis B18.

PUENTE	NIVEL INFERIOR VIGA	NIVEL SIMULADO	DIFERENCIA
LENGERKE	692.39	695.35	-2.96
FONSECA	688.95	689.45	-0.50
PALENQUE	688.09	685.19	2.90
NARIÑO	620.14	620.15	-0.01

Tabla 56. Simulación de hipótesis C11.

PUENTE	NIVEL INFERIOR VIGA	NIVEL SIMULADO	DIFERENCIA
LENGERKE	692.39	695.42	-3.03
FONSECA	688.95	691.44	-2.49
PALENQUE	688.09	686.15	1.94
NARIÑO	620.14	621.96	-1.82

Tabla 57. Simulación de hipótesis C12.

PUENTE	NIVEL INFERIOR VIGA	NIVEL SIMULADO	DIFERENCIA
LENGERKE	692.39	695.42	-3.03
FONSECA	688.95	691.50	-2.55
PALENQUE	688.09	686.18	1.91
NARIÑO	620.14	621.97	-1.83

Tabla 58. Simulación de hipótesis C28.

PUENTE	NIVEL INFERIOR VIGA	NIVEL SIMULADO	DIFERENCIA
LENGERKE	692.39	695.53	-3.14
FONSECA	688.95	691.48	-2.53
PALENQUE	688.09	685.89	2.20
NARIÑO	620.14	621.91	-1.77

Tabla 59. Simulación de hipótesis C31.

PUENTE	NIVEL INFERIOR VIGA	NIVEL SIMULADO	DIFERENCIA
LENGERKE	692.39	695.65	-3.26
FONSECA	688.95	689.25	-0.30
PALENQUE	688.09	685.55	2.54
NARIÑO	620.14	621.77	-1.63

9.11 FACTOR DE REDUCCION DE AREA PARA DIFERENTES CUENCAS

Figura 50. Relaciones alfa para diferentes cuencas (DE LAAT, E. J. M., SAVENIJE, H.H.G.; 2001)

