

**EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACION:  
CASO DE ESTUDIO FEBRERO 12 – 05 GIRON**

**NESTOR ALI GONZALEZ BERNAL  
LIANA CELMIRA SOSSA MALAGON**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2005**

**EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACION:  
CASO DE ESTUDIO FEBRERO 12 – 05 GIRON**

**NESTOR ALI GONZALEZ BERNAL  
LIANA CELMIRA SOSSA MALAGON**

**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 FISICOMECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2005**

*A Dios,  
A mis padres,  
A mis hermanos.*

***Nestor Ali***

*A Dios, por brindarme esta oportunidad,  
A mis padres, por su gran apoyo y colaboración,  
A mis hermanos y sobrinos por su confianza,  
A Nelson, por su comprensión.*

***Liana Celmira***

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro director, Ing. MSc Jorge Alberto Guzmán, por su amistad, confianza, apoyo y respaldo.

A la CDMB por que suministro los datos de series de tiempo de algunas estaciones. Además por facilitarnos la información topográfica del Río de Oro y de las modificaciones estructurales que se realizaron.

A URBANAS. Por facilitarnos las series de tiempo de la estación Ruitoque Alto.

Al IDEAM, Instituto de Hidrología, meteorología y Estudios Ambientales, quien suministro la información de las series de tiempo de algunas estaciones.

A la empresa GEOTECNOLOGIA, por facilitarnos la información procesada para la elaboración del modelo de Río.

Al grupo en predicción y Modelamiento hidroclimático (GPH), por todo el apoyo brindado; en especial al Ing. Edward Niño, por sus orientaciones.

A nuestros familiares por estar siempre dispuestos a brindarnos el apoyo y el ánimo para culminar este proyecto. En especial a nuestros padres por brindarnos la posibilidad de continuar con nuestros estudios.

A nuestros amigos por su paciencia, entendimiento y colaboración.

## CONTENIDO

1. ASPECTOS GENERALES .....	19
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	21
1.3 GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA .....	23
1.4 MORFOLOGÍA RÍO DE ORO.....	24
1.4.1. Sector 1. Bahondo – Parque Gallineral.....	24
1.4.2. Sector 2. Parque Gallineral – Poblado .....	26
1.4.3. Sector 3. El poblado – Saceites.....	28
1.4.4. Sector 4. Saceites - Parque industrial I. ....	30
1.4.5. Sector 5. Parque industrial – Escuela Río de Oro.....	30
1.4.6. Sector 6. Escuela Río de Oro- Parque industrial II. En.....	30
1.4.7. Sector 7. Parque industrial II – Puente Nariño.....	31
1.4.8. Sector 8. Puente Nariño- Río Suratá.....	32
1.5 RED METEOROLÓGICA EN LA CUENCA .....	33
2. PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE INFORMACION .....	35
2.1 DATOS CLIMATOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS .....	35
2.1.1 Precipitación.....	37
2.1.2 Variables climáticas.....	42
2.1.3 Registros Limnigráficos.....	45
2.2 INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA.....	47
2.2.1 Cartografía DEM.....	47

2.2.2 Información Topo batimétrica.....	47
3. MODELO HIDROLÓGICO.....	50
3.1 CÁLCULO EVAPOTRANSPIRACIÓN .....	52
3.2 ESPACIALIZACIÓN VARIABLES .....	53
3.3 SUBCUENCAS DE ESTUDIO.....	55
3.3.1 Modelo de Subcuencas.....	56
3.3.2 Precipitación Subcuencas de Estudio .....	58
3.3.3. Evapotranspiración Subcuencas de Estudio.....	60
3.4 MODELO HIDROLÓGICO SEMIDISTRIBUIDO NAM.....	61
3.4.1. Estructura del modelo .....	62
3.5 HIDROGRAMAS SUBCUENCAS DE ESTUDIO .....	63
3.6 MODELO DE RÍO .....	65
3.7 SOFTWARE HEC - RAS .....	66
3.7.1 Simulación de Flujo No Permanente .....	67
3.8 PARÁMETROS Y DATOS DE ENTRADA DEL MODELO .....	68
3.8.1 Datos geométricos .....	68
3.8.2 Hidrogramas Subcuencas.....	71
3.8.3 Parámetros de rugosidad del cauce (n de Manning).....	71
3.8.4 Condiciones de Iniciales .....	74
3.8.5. Parámetros de Simulación.....	74
3.9 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN .....	75
3.9.1 Niveles en Estructuras Hidráulicas .....	79
3.9.2 Velocidades a lo largo del Río de Oro .....	81

3.9.3. Caudales estimados en el Río de Oro.....	85
4. ANALISIS RESULTADOS MODIFICACIONES ESTRUCTURALES REALIZADAS EN EL RIO DE ORO .....	87
4.1 SECCIÓN TÍPICA DE MUROS .....	88
4.2 MUROS SECTOR ARENALES .....	89
4.3 MUROS SECTOR PARQUE EL GALLINERAL .....	89
4.4 MUROS SECTOR MALECÓN.....	89
4.5 BATEA SECTOR MALECÓN DE GIRÓN .....	90
4.6 MUROS SECTOR EL POBLADO .....	91
4.7 RESULTADOS SIMULACIÓN .....	92
4.7.1 Comparación caudales máximos registrados.....	92
4.7.2 Análisis variación de niveles .....	92
4.7.3 Análisis variación de Velocidades .....	95
5. ANÁLISIS RESULTADOS MODIFICACIONES ESTRUCTURALES PROPUESTAS EN EL RIO DE ORO .....	101
5.1 MODIFICACIONES PUENTE GEO VON LENGUERKE .....	102
5.1.1 Comparación caudales máximos registrados.....	103
5.1.2 Niveles simulados .....	105
5.1.3 Variaciones en velocidades. ....	108
5.2 MODIFICACIONES PUENTE FONSECA.....	109
5.2.1 Resultados simulación .....	110
5.2.2 Niveles simulados .....	110
5.2.3 Análisis velocidades simuladas .....	112
5.3 MODIFICACIONES PUENTE PALENQUE.....	114

5.3.1 Resultados de la simulación .....	114
5.3.2 Niveles simulados .....	115
5.3.3 Análisis velocidades simuladas .....	116
5.4. MODIFICACIÓN DEL PICO DEL HIDROGRAMA.....	118
5.4.1 Resultados de la simulación .....	119
5.4.2 Análisis caudales Máximos registrados.....	120
5.4.3 Niveles simulados .....	121
6. CONCLUSIONES .....	126
7. RECOMENDACIONES.....	129
BIBLIOGRAFIA .....	130

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación estaciones en la cuenca del Río de Oro .....	33
Tabla 2. Listado de estaciones seleccionadas .....	37
Tabla 3. Porcentajes de Datos Faltantes de precipitación.....	39
Tabla 4. Estaciones automáticas CDMB.....	43
Tabla 5. Porcentajes de Datos Faltantes de variables climáticas. ....	43
Tabla 6. Secciones transversales tomadas en campo. ....	48
Tabla 7. Secciones generadas a partir de cartografía 1:2000.....	49
Tabla 8. Subcuencas Modelo Hidrológico .....	56
Tabla 9. Valores de Rugosidad calculados para el Río de Oro.....	73
Tabla 10. Niveles Registrados, Simulados y Error para algunos sectores sobre el Río de Oro.....	78
Tabla 11. Velocidades Máximas en algunos sectores del Río de Oro. ....	84
Tabla 12. Niveles máximos simulados y borde libre para algunas secciones del Río de Oro.....	94
Tabla 13. Comparación de Niveles simulados antes y después de las modificaciones en el Puente Lenguerke.....	106
Tabla 14. Comparación de Niveles simulados antes y después de las modificaciones en el Puente Fonseca. ....	111
Tabla 15. Comparación de Niveles simulados antes y después de las modificaciones en el Puente Palenque.....	115
Tabla 16. Comparación de cotas de muros y niveles máximos simulados.....	123

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca del Río de Oro. Ubicación Espacial.....	22
Figura 2. Cuenca Río de Oro. Subcuencas Hidrográficas.....	23
Figura 3. Fotografía Batea Vado Hondo. ....	25
Figura 4. Fotografía Puente GEO Von Lenguerke.....	27
Figura 5. Fotografía Puente Jorge Eliécer Fonseca. ....	28
Figura 6. Fotografía Puente Palenque. ....	29
Figura 7. Fotografía Puente Nariño .....	32
Figura 8. Ubicación estaciones seleccionadas .....	36
Figura 9. Series de tiempo de precipitación para cada una de las estaciones. ....	40
Figura 10. Serie de tiempo Niveles estación Café Madrid.....	46
Figura 11. Serie de tiempo Niveles estación Palogordo.....	47
Figura 12. Esquema general del modelo usado para el Río de Oro. ....	51
Figura 13. Comparación de Métodos de Interpolación.....	54
Figura 14. Subdivisión de cuencas para el modelo hidrológico.....	57
Figura 15. Series de Tiempo de Precipitación promedio por Subcuenca. ....	58
Figura 16. Serie de Tiempo de Evapotranspiración promedio por Subcuenca.....	60
Figura 17. Estructura del modelo NAM .....	63
Figura 18. Series de tiempo de los Hidrogramas generados por NAM-gph para cada subcuenca.....	64
Figura 19. Esquema del Modelo de Río.....	66
Figura 20. Esquema Río de Oro y Tributarios.....	69

Figura 21. Niveles Simulados y Registrados en la Estación Café Madrid.....	75
Figura 22. Comparación línea de inundación simulada y registrada.....	77
Figura 23. Niveles Máximos Simulados en las Estructuras Hidráulicas y Estación Café Madrid. ....	79
Figura 24 – a. Distribución velocidades sección transversal Puente Lenguerke .....	82
Figura 24 – b. Distribución velocidades sección transversal Puente Fonseca. ....	82
Figura 24 – c. Distribución velocidades sección transversal puente Palenque.....	83
Figura 25. Caudales Máximos Simulados a lo largo del Río de Oro.....	85
Figura 26. Sección transversal típica de Muro. ....	88
Figura 27. Sección longitudinal sector Malecón antes y después de retirada la batea .....	91
Figura 28. Comparación de Hidrogramas en el Puente Palenque con modificaciones por muros.....	92
Figura 29. Comparación de perfiles de velocidades máximas simuladas Sector Arenales a Puente Palenque.....	96
Figura 30.- a. Comparación del perfil longitudinal velocidades sector Arenales antes y después de colocar muros.....	97
Figura 30 - b. Comparación del perfil longitudinal velocidades sector Gallineral antes y después de colocar muros.....	98
Figura 30 - c. Comparación del perfil longitudinal velocidades sector Malecón antes y después de colocar muros.....	99
Figura 30 - d. Comparación del perfil longitudinal velocidades sector Poblado antes y después de colocar muros.....	99
Figura 31. Geometría Puente GEO VON Lenguerke antes y después de realizadas modificaciones. ....	102
Figura 32. Secciones modificadas aguas arriba y aguas abajo del puente Lenguerke...	103
Figura 33. Comparación Hidrogramas sección Puente Palenque con Modificaciones en el Puente Lenguerke.....	104
Figura 34. Nivel máximo del agua antes y después de modificaciones del Puente Lenguerke .....	105

Figura 35. Comparación niveles máximos estimados simulados antes y después de modificaciones en el Puente Lenguerke .....	107
Figura 36. Velocidades antes y después de modificado el Puente Lenguerke.....	108
Figura 37. Perfil Sector Puente Fonseca, antes y después de modificaciones de fondo.	109
Figura 38. Comparación niveles simulados antes y después de modificaciones en el Puente Fonseca .....	110
Figura 39 - a. Distribución de Velocidades antes de ser modificado el Puente Fonseca	113
Figura 39 - b. Distribución de Velocidades después de ser modificado el Puente Fonseca .....	113
Figura 40. Sección Transversal Puente Palenque después de modificaciones.....	114
Figura 41. Distribución de Velocidades antes y después de ser modificado el Puente Palenque .....	117
Figura 42. Hidrogramas Modificados subcuencas Oro Alto y Río Frío. ....	118
Figura 43. Comparación Hidrogramas sección Puente Palenque con Modificaciones a los hidrogramas. ....	120
Figura 44. Niveles máximos simulados en las principales estructura hidráulicas con modificaciones en los hidrogramas .....	120
Figura 45. Comparación de niveles máximos simulados en el sector de Arenales a Puente Palenque.....	122
Figura 46. Niveles máximos simulados en algunas secciones transversales después de modificado el hidrograma.....	124

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A .....	134
ANEXO B .....	146
ANEXO C .....	158
ANEXO D .....	163
ANEXO E .....	172
ANEXO F .....	183
ANEXO G .....	194
ANEXO H .....	203

## RESUMEN

**TITULO: EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN: CASO DE ESTUDIO FEBRERO 12 -05 GIRÓN.\***

**AUTORES:**

Nestor Ali González Bernal  
Liana Celmira Sossa Malagón.\*\*

**PALABRAS CLAVES:**

Cuenca Río de Oro, Modelo hidrológico, Modelo hidráulico, Flujo no permanente, Modelo de subcuencas, Espacialización.

**DESCRIPCION:**

En el presente proyecto se realiza la modelación hidrológica del evento de precipitación que se presentó sobre la cuenca del río de oro, para el periodo del 9 al 12 de febrero de 2005, a fin de estimar los caudales y niveles máximos que se presentaron. Además, se analiza la viabilidad de realizar modificaciones estructurales en el cauce del río de oro por el tramo de arenales a puente palenque.

Para el desarrollo del proyecto, el área de estudio se subdivide en seis subcuencas, cinco de las cuales conforman la cuenca del río de oro y la sexta corresponde a la parte baja de la cuenca del río surata. En estas subcuencas se aplica el modelo hidrológico semi-distribuido NAM, para luego pasar a un modelo hidráulico de río analizado con flujo no permanente desarrollado sobre 17 kilómetros del río de oro, a efecto de simular la respuesta de la cuenca en sus componentes de niveles, caudales y tránsito de la onda para el periodo de análisis.

En los sectores de Arenales, Parque Gallineral, Malecón y el Poblado se ejecutaron algunas modificaciones estructurales tendientes a disminuir el riesgo de inundación para los asentamientos humanos ubicados en las riberas; el efecto que producen estas obras sobre el funcionamiento hidráulico del río se analiza suponiendo un evento de la misma magnitud al del análisis y teniendo en cuenta que los procesos antrópicos en la parte alta de la cuenca pueden acelerar la respuesta de la cuenca y aumentar el pico del hidrograma. Las principales estructuras hidráulicas ubicadas en el tramo son analizadas a fin de establecer su influencia en los niveles ocurridos y las posibles modificaciones que requieren.

---

\* Proyecto de Grado

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

## ABSTRACT

**TITLE: EXTREME EVENTS OF PRECIPITATION: CASE OF STUDY FEBRUARY 12 -05 GIRÓN.\***

### **AUTHORS:**

Nestor Ali González Bernal  
Liana Celmira Sossa Malagón.\*\*

### **KEY WORDS:**

Gold River Catchment, Hydrological model, Hydraulic model, Flow non permanent, Catchments model, Space distribution.

### **DESCRIPTION:**

Presently project is carried the hydrological model of the precipitation event that you presents on the basin of the river of gold, for the period of the 9 at 12 of February of 2005, in order to estimate the flows and maximum levels that were presented. Also, the viability is analyzed of carrying out structural modifications in the bed of the river of gold the tract of Arenales to bridge Palenque.

For the development of the project, the study area is subdivided in six basins, five of those which conform the basin of the river of gold and the sixth corresponds to the low part of the basin of the river Suratá; In these basins the semi-distributed hydrological pattern NAM is applied, it stops then to pass a hydraulic model of river analyzed with non permanent flow developed on 17 kilometers of the river of gold, to effect of simulating the answer of the basin in their components of levels, flows and traffic of the wave for the period of analysis.

In the sectors of Arenales, Gallineral Park , Pier and the Town some structural modifications were executed in order to diminish the flood risk for the human establishments located in the riversides; the effect that produce these works on the hydraulic operation of the river is analyzed supposing an event from the same magnitude to that of the analysis and keeping in mind that the antrópica processes in the high part of the basin can accelerate the answer of the basin and to increase the pick of the hydrograph. The main structures hydraulics located in the tract are analyzed in order to establish their influence in the happened levels and the possible modifications that require.

---

\* Project of Grade

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

## INTRODUCCIÓN

En el periodo del 7 al 14 de Febrero del 2005 se presentaron eventos climáticos del 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 condición climática que se presento genero un patrón especial en el régimen de precipitación, dentro del ciclo hidrológico anual característico de nuestra región, sin embargo, este fenómeno climático especial se han venido presentando con recurrencia medianamente corta (30 a 50 años) en el ciclo hidrológico multianual. En los registros hidrológicos que actualmente poseen las entidades que operan la red hidrológica y climática en el Área Metropolitana de Bucaramanga así como la información histórica, se puede apreciar la ocurrencia de eventos similares caracterizados por la ocurrencia de una alta precipitación con cobertura geográfica amplia en épocas secas (Dic-Mar., Jul-Sep). (Guzmán y Otros, 2005).

Múltiples estudios se han llevado a cabo sobre el Río de Oro y con diferentes propósitos entre los que se destacan el “Estado de riesgo de los asentamientos humanos en la ribera del cauce del río de oro en el sector comprendido entre Bahondo y el Café Madrid” realizado por el consorcio Rió de Oro – CDMB y el “Estudio de caudales en el *río de oro* hasta la confluencia de la quebrada Chimitá” por Jaime Roa Martínez, sin embargo en ninguno de ellos se llego a una respuesta hidrológica de la cuenca como la que se presento entre el 9 y 12 de Febrero del 2005.

En este documento se resumen los trabajos realizados a fin de simular la respuesta del Río de Oro para el evento del 12 de febrero en cuanto a niveles y caudales a lo largo de 17 kilómetros de río. Las restricciones de información (hidroclimática, topográfica) y su calidad fueron y siguen siendo los principales obstáculos que no permitan llevar a cabo un modelamiento con altos niveles de certidumbre. Además se presenta un análisis de las modificaciones estructurales que se realizarán sobre el río al igual que algunas planteadas por los autores.

En el primer capítulo se presenta una descripción general de la situación haciendo especial énfasis en las causas de estas inundaciones, y además se realiza una ubicación espacial de la zona de estudio junto con una descripción del cauce principal de la cuenca. Luego se pasa a explicar los procesos aplicados a los datos base a fin de obtener la información necesaria para el desarrollo del proyecto (Cap.2). En el capítulo 3 se describe el modelo aplicado a la cuenca junto con los resultados obtenidos durante el proceso de simulación al igual que las limitaciones que se tuvieron durante su elaboración.

Las modificaciones estructurales planteadas por la CDMB como la construcción de muros y las modificaciones del cauce en algunos sectores del río se incluyeron en el modelo a fin de determinar su eficacia en el control de las inundaciones. La simulación de estas modificaciones junto con algunas propuestas por los autores fueron analizadas durante el desarrollo del proyecto (Cap. 4 y 5).

Este análisis se realiza teniendo en cuenta la variación de los niveles máximos alcanzados por el río y los efectos de las modificaciones en el régimen de velocidades. Los resultados de las simulaciones realizadas permitirán tomar decisiones con un mayor grado de seguridad sobre el tipo de soluciones más apropiadas para minimizar el riesgo de inundación en sectores aledaños al río.

## **1. ASPECTOS GENERALES**

El desarrollo del presente proyecto esta orientado a modelar hidrológicamente el evento extremo de precipitación que se presentó para el periodo del 9 al 12 de febrero de 2005 en la cuenca del Río de Oro. En especial se orienta a realizar un análisis de la influencia de las estructuras hidráulicas que se encuentran sobre el Río de Oro desde el sector de Arenales hasta el Puente Palenque.

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).

### **DESCRIPCION DEL EVENTO**

En los días del 9 al 12 de febrero de 2005 se presento un evento extremo de precipitación que se extendió por todo el nororiente Colombiano y algunos estados de Venezuela. Esta precipitación causo el desbordamiento de muchos ríos y la falla de taludes que generaron grandes pérdidas económicas y humanas para los dos países. En Colombia uno de los sectores que resulto más afectado por este evento fue el municipio de Girón y algunos barrios de la parte baja de Bucaramanga. El sector del poblado en el municipio de Girón resulto inundado por causa del desbordamiento del Río de Oro al igual que algunos barrios ubicados sobre la ribera del río y gran parte de la zona industrial de Bucaramanga.

Las precipitaciones ocurridas en la cuenca del Río de Oro en febrero de 2005, aunque superan los valores mensuales medios estimados para la zona, son

inferiores a las que han ocurrido en otras regiones del Piedemonte de la Cordillera Oriental y los Andes Venezolanos, con características meteorológicas de alguna similitud. Esto permite proyectar que la catástrofe ocurrida es relativamente pequeña comparada con la catástrofe que podría ocurrir, de acuerdo al análisis de las características meteorológicas de la zona de Bucaramanga. (Geotecnología, 2005).

La catástrofe fue ocasionada no solamente por el evento de lluvias, sino por la acción antrópica realizada sobre el cauce del río. El área de sección disponible del cauce fue disminuida en promedio en más del 50%, por la acción de rellenos sobre el cauce, en las orillas y la construcción de estructuras como puentes y bateas. (Geotecnología, 2005)

Los procesos antrópicos se pueden sintetizar como el proceso urbanizador que se ha desarrollado y su interrelación con el sistema río. La dinámica urbanizadora en esta parte de la cuenca no solo ha impulsado el crecimiento acelerado de áreas impermeabilizadas sino que a lo largo de los últimos años ha concentrado sus actividades en la reducción y ocupación de zonas que pertenecen al cauce del río.

La capacidad de control de los entes estatales, la legislación y regulación existente relativamente flexible y la complacencia de los actores políticos hacia el desarrollo urbano en las riberas del Río de Oro, han potenciado la respuesta hidrológica de la cuenca así como su capacidad de afectación. La sección del río actual en el sector urbano de Girón y en algunos sitios del sector industrial de Girón y de Bucaramanga no es suficiente para el paso normal de caudales extraordinarios como los ocurridos en febrero de 2005. (Guzmán y Otros, 2005).

En el presente proyecto se realizará un análisis de la respuesta de la cuenca ante este evento y la influencia de las estructuras hidráulicas presentes en el río. Para ello se realizó el modelamiento hidrológico del evento mediante la aplicación de un

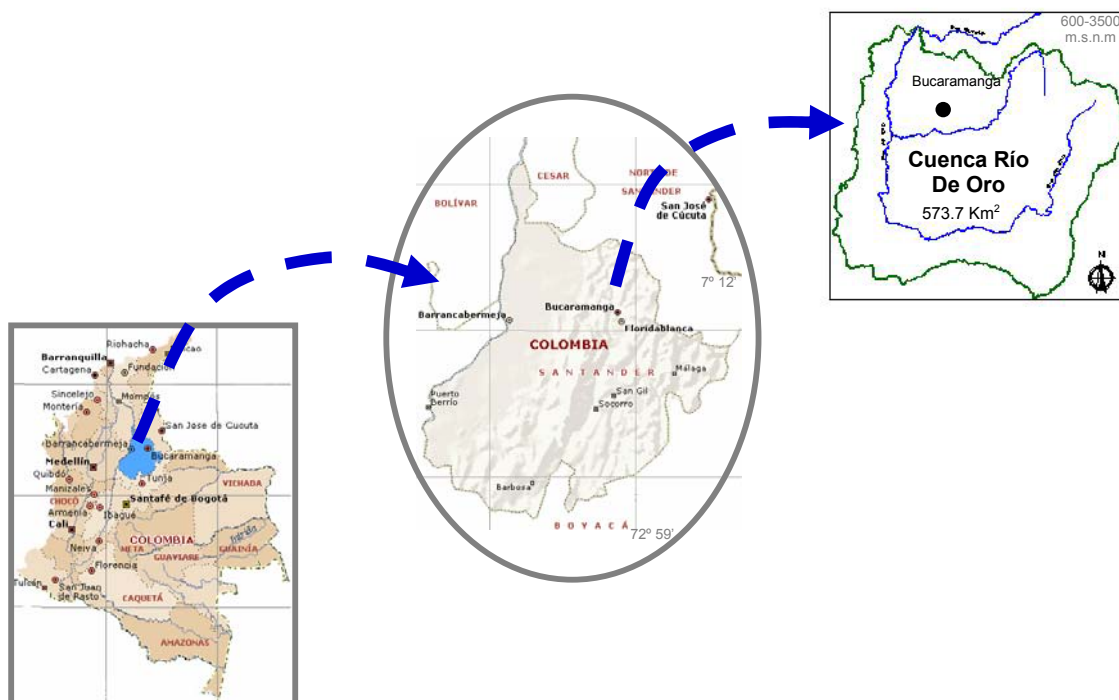
modelo hidrológico semidistribuido acompañado de un modelo hidráulico de río con flujo no permanente a fin de estimar los niveles y caudales que se presentaron para el periodo comprendido entre el 7 y el 12 de febrero de 2005. La información utilizada en el desarrollo de estos modelos se obtuvo a partir del procesamiento de datos de variables climáticas medidas dentro de la cuenca y extrapoladas a fin de obtener valores promedio para la cuenca.

Entre las medidas para mitigar el riesgo de los asentamientos humanos en las riberas del río que ha planteado la CDMB, se encuentran una serie de modificaciones estructurales sobre el cauce del río las cuales serán incluidas en el desarrollo del modelo a fin de simular cuales serian los niveles que se obtendrían en el río si se presentara un evento de la misma magnitud luego de haber ejecutado las obras proyectadas. Además se tratara la implementación de algunas modificaciones para las estructuras más relevantes existentes, a fin de encontrar una posible geometría de las estructuras que no altere el funcionamiento hidráulico del río. El desarrollo de las metodologías aplicadas se verá en detalle en capítulos siguientes.

## **1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

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 (Ver Figura 1). 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. Cuenca del Río de Oro. Ubicación Espacial



La cuenca del Río de Oro tiene un área aproximada de 573.72 Km<sup>2</sup> (cerca del 45% del área de la CSRL); dentro de esta cuenca se ubican las cabeceras municipales de los municipios de Bucaramanga, Piedecuesta, Floridablanca, y Girón los cuales conforman el área metropolitana de Bucaramanga; La cuenca puede dividirse en 5 subcuencas hidrográficas (Ver Figura 2) llamadas Oro alto, Oro medio, Lato, Frío y Oro Bajo (POAT, 2004).



El sector occidental está dividido, a su vez, en dos subsectores separados por la falla denominada de Girón o Suárez - Río de Oro. El primer sector esta al occidente de la cuenca y corresponde a la Mesa de Lebrija; el segundo sector corresponde al oriente y allí se encuentra la terraza de Bucaramanga, que incluye además del área de la meseta de Bucaramanga, la mesa de Ruitoque y el valle del río de Oro.

#### **1.4 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 varia 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.

**1.4.1. 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. (Ver Figura 3).

Figura 3. Fotografía Batea Vado Hondo.



Fuente Geotecnología

**1.4.2. 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.

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 4 debajo del puente se encuentran algunas obstrucciones que disminuyen la capacidad hidráulica durante la ocurrencia de grandes avenidas.

Figura 4. Fotografía Puente GEO Von Lenguerke.



Fuente Geotecología

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. (Geotecología, 2005).

Figura 5. Fotografía Puente Jorge Eliécer Fonseca.



Fuente Geotecnología

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.

**1.4.3. 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 6).

Figura 6. Fotografía Puente Palenque.



Fuente Geotecnología

**1.4.4. 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 contruidos sobre rellenos ubicados en el cauce del río. (Geotecnología, 2005)

**1.4.5. 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)

**1.4.6. 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).

**1.4.7. 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 7). Este puente genera problemas ya que se encuentra ubicado sobre antiguos cauces del Río de Oro.

Figura 7. Fotografía Puente Nariño



Fuente Geotecnología

**1.4.8. 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 construidos sobre trenzas antiguas del río de Oro. (Geotecnología, 2005)

## 1.5 RED METEOROLÓGICA EN LA CUENCA

Con el objeto de determinar la cantidad de datos para realizar el modelamiento hidrológico del evento de creciente del 12 de febrero, se investigó sobre la totalidad de las estaciones que se encuentran funcionando dentro de la cuenca de Río de Oro. En la Tabla 1 se muestra la totalidad de las estaciones que se ubican dentro de la zona de estudio.

Tabla 1. Ubicación estaciones en la cuenca del Río de Oro

NOMBRE ESTACION	TE	COORDENADAS	
		Norte	Este
El conquistador	LM	1265433.50	1114520.50
Puente Nariño	LM	1281671.25	1102530.82
La Esperanza	LM	1274921.67	1111298.14
La Valdivieso	LM	1272579.05	1102779.05
El Picacho	PM	1277985.03	1122470.25
La Galvicia	PM	1279170.35	1112596.15
El Rasgón	LG	1270292.08	1119922.98
Proandes	LM	1264138.33	1108998.98
Sevilla	PM	1276674.40	1119345.47
La Flora	PG	1280797.89	1107476.96
La Floresta	PM	1275698.27	1105802.71
Gja Piedecuesta	PG	1265228.44	1111558.92
Apto. Palonegro	PG	1279868.90	1098742.90
IDEAM	PG	1280115.37	1106165.91
Llanogrande	PG	1268739.27	1100571.11
Club Campestre	PG	1273071.53	1106398.82
La Esperanza	PG	1273581.60	1111228.36
Centro	Autom.	1279145.60	1104976.11
Chimita	Autom.	1276795.85	1100617.85
PTAR	Autom.	1273104.76	1104883.23
UIS	Autom.	1281493.52	1105534.11
CDMB	PG	1279070.65	1105857.40
Ruitoque	PG	1268701.86	1110037.82
Palogordo	LG	1263882.19	1102165.01
Café Madrid	LG	1284359.66	1102861.31
El Pantano	PM	1265729.51	1094303.99
Caneyes	LM	1273086.41	1100848.18

De las estaciones mencionadas en la Tabla 1 se seleccionaron las que cumplen las características en cuanto a resolución temporal y periodo de registro para ser analizadas y procesadas de acuerdo a los procedimientos estipulados en el capítulo 2.

## **2. PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE INFORMACION**

La información necesaria para el desarrollo del proyecto consiste principalmente en información topográfica e hidroclimática de la cuenca del río de oro. La información topográfica se obtuvo a partir de cartografía 1:25000 y también de levantamientos topo-batimétricos realizados por la CDMB en fechas inmediatamente posteriores a la ocurrencia del evento extremo.

La información hidroclimática se obtuvo a partir de investigación sobre las estaciones que se encuentran en la cuenca del río de oro, para lo cual se consultó con las entidades operadoras a fin de determinar cuales de estas contaban con registro a una resolución temporal de una hora o menor y que se encontraran en funcionamiento para el periodo comprendido entre el 7 de febrero de 2005 y el 12 de febrero del mismo año. De estas estaciones se tomaron los datos a la escala temporal estipulada anteriormente y se procesaron a fin de obtener valores promedios para cada una de las subcuencas seleccionadas.

Es importante tener en cuenta que los datos de precipitación se obtuvieron mediante lectura directa de los pluviogramas y fueron sometidos a proceso de corrección y de transformación a fin de obtener la información extrapolada para cada una de las zonas requeridas en el modelo. En este procesamiento de datos se presentaron limitaciones en cuanto a la calidad y veracidad de los datos las cuales tienen influencia en los resultados arrojados por el modelo.

### **2.1 DATOS CLIMATOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS**

Los datos hidrológicos y climatológicos utilizados para el desarrollo del estudio se obtuvieron de las entidades CDMB, IDEAM y Urbanas. Constan del registro pluviográfico de 8 estaciones y los datos tabulados de 4 estaciones automáticas,

en la Tabla 2 se relaciona el nombre de las estaciones utilizadas junto con las coordenadas geográficas con origen en Bogotá; además se obtuvieron los datos registrados por los limnógrafos de las estaciones Palogordo y Café Madrid. En la Figura 8 se muestra la ubicación de las estaciones seleccionadas dentro de la cuenca del Río de Oro.

Figura 8. Ubicación estaciones seleccionadas

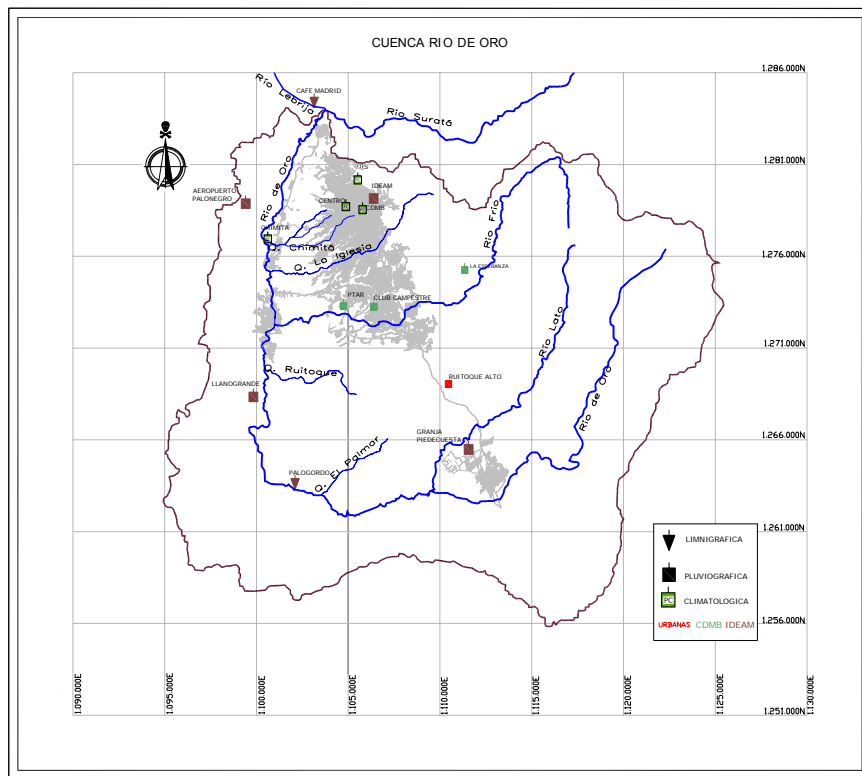


Tabla 2. Listado de estaciones seleccionadas

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.

**2.1.1 Precipitación.** Se realizó una inspección visual de los registros pluviográficos para las 8 estaciones recolectadas a fin de establecer los posibles errores sistemáticos, ya que es frecuente que el pluviógrafo presente fallas que generen resultados erróneos que dependiendo del tipo de falla pueden ser recuperables o no. (Aparicio, 1999). Las estaciones automáticas están menos expuestas a errores de este tipo y los que se presentan son difíciles de identificar y en la totalidad de los casos son irrecuperables.

Los errores mas comunes identificados en los pluviogramas son fallas de calibración, fallas de suministro de tinta, sifón obstruido, obstrucciones en la

plumilla o varilla del flotador, además de algunos casos atípicos como una misma tirilla de papel puesta varios días; en el Anexo A se relaciona la totalidad de datos obtenidos en el proceso de lectura de pluviogramas y tabulación de datos automáticos. Se determinó cuales de ellos podrían ser recuperables y se investigó con las entidades que suministraron los datos primarios sobre las posibles causas de estos errores y la forma como los manejan a fin de determinar los procedimientos mas adecuados para su corrección.

Los conceptos recopilados con los operadores, así como los procedimientos específicos aplicados en la corrección de datos se presentan en el Anexo B. Es importante destacar que las correcciones se aplicaron a la escala temporal original del registro.

Al aplicar los procedimientos antes mencionados se generaron periodos de registro con información dudosa y además se establecieron periodos con registros inexistentes, que para todos los casos se dejaron como datos faltantes (DF). En la Tabla 3 podemos observar que la mayoría de las estaciones presentan un porcentaje de datos faltantes mínimo lo cual permite establecer que se tiene continuidad en la información, exceptuando la estación Granja Piedecuesta la cual presenta un 22.03 % de datos faltantes.

Para algunos periodos de registro de las estaciones automáticas no existe dato y de acuerdo a la entidad operadora, en este caso la CDMB, se debe a fallas en el suministro de energía en la estación y son irrecuperables por lo que para todos los casos se llenaron como datos faltantes (DF).

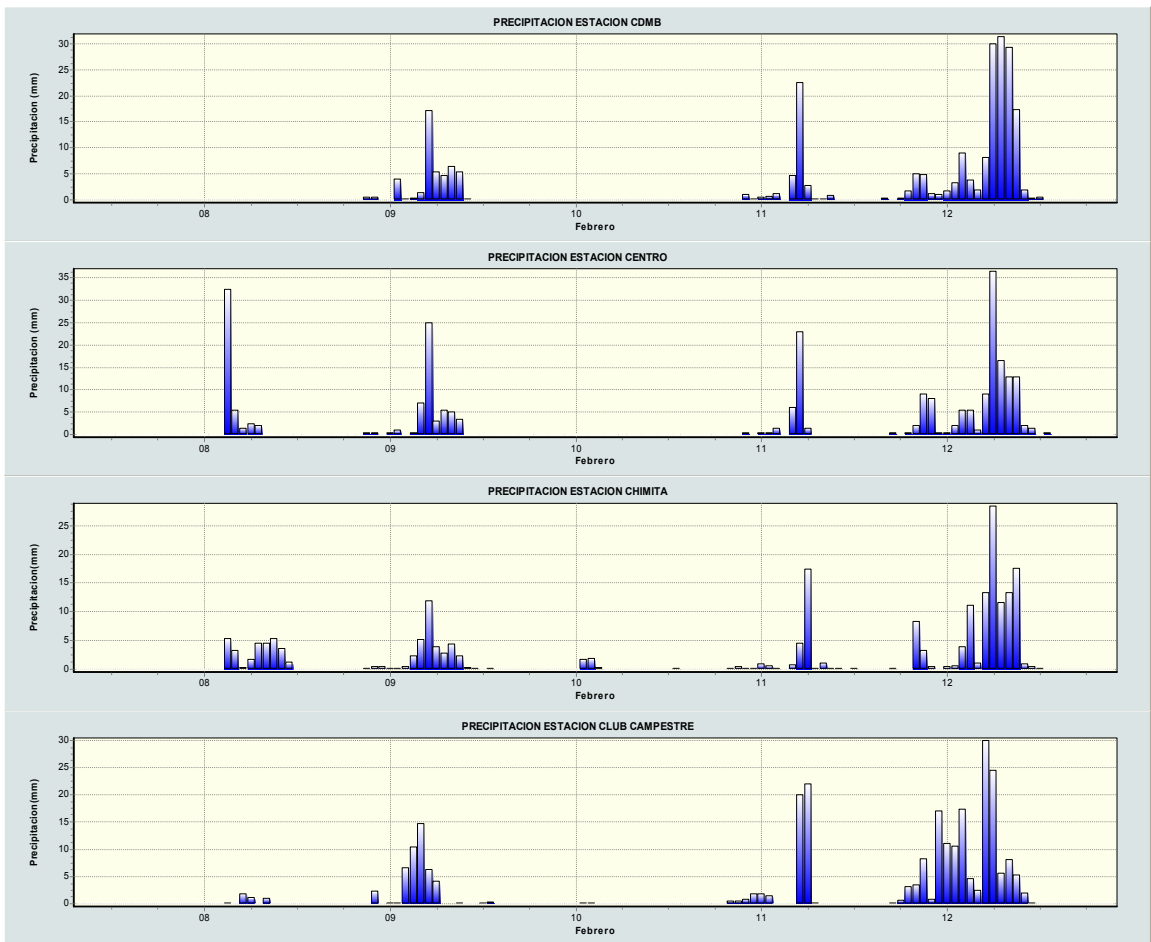
Tabla 3. Porcentajes de Datos Faltantes de precipitación.

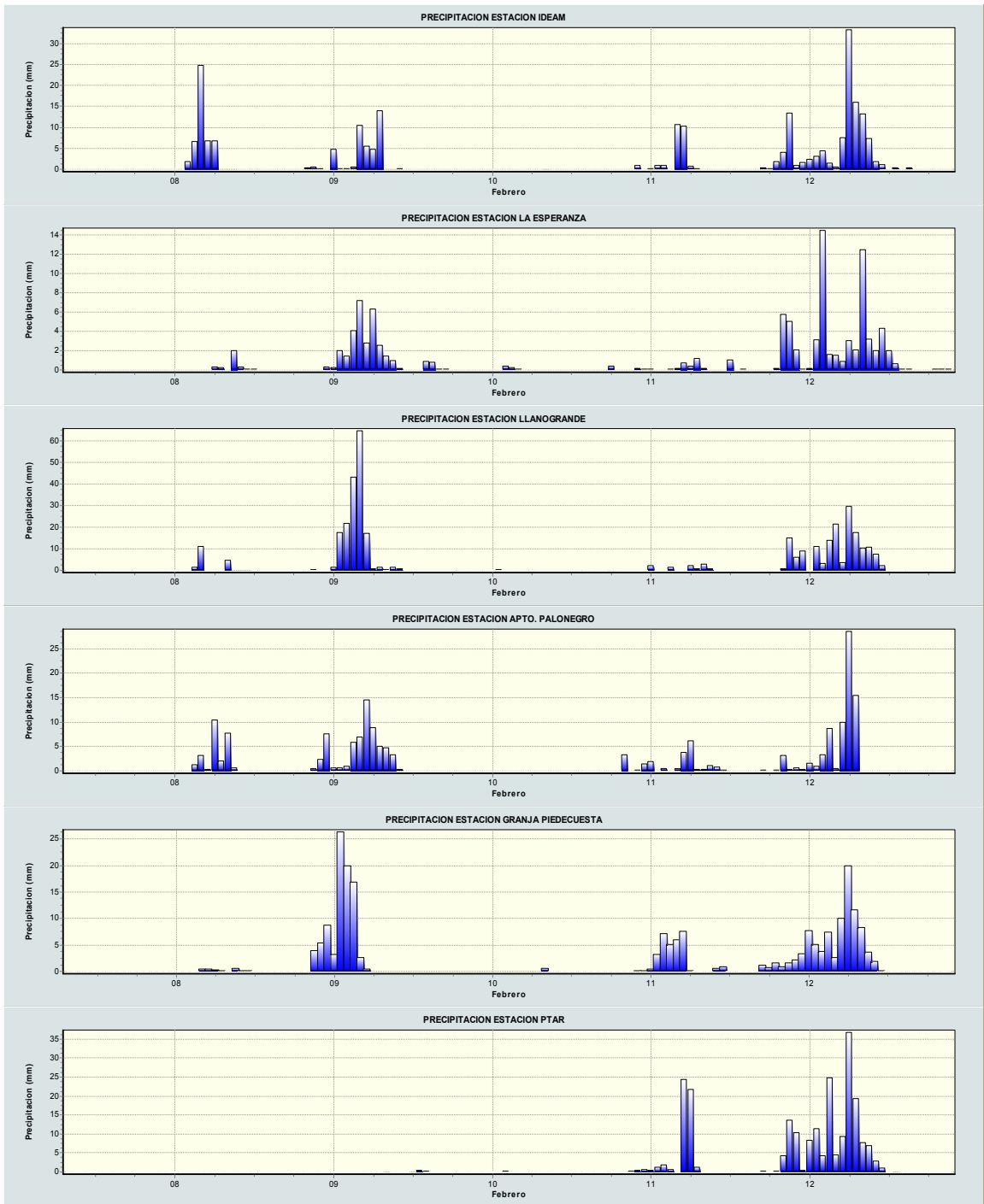
ESTACION	DATOS	
Apto. Palonegro	Observados	726
	Faltantes	0
	<b>% Faltantes</b>	<b>0</b>
IDEAM	Observados	797
	Faltantes	35
	<b>% Faltantes</b>	<b>4.39</b>
Llanogrande	Observados	805
	Faltantes	22
	<b>% Faltantes</b>	<b>2.73</b>
Gja. Piedecuesta	Observados	118
	Faltantes	26
	<b>% Faltantes</b>	<b>22.03</b>
Club Campestre	Observados	109
	Faltantes	2
	<b>% Faltantes</b>	<b>1.83</b>
La Esperanza	Observados	117
	Faltantes	0
	<b>% Faltantes</b>	<b>0</b>
CDMB	Observados	100
	Faltantes	0
	<b>% Faltantes</b>	<b>0</b>
Ruitoque	Observados	134
	Faltantes	0
	<b>% Faltantes</b>	<b>0</b>
Centro	Observados	134
	Faltantes	0
	<b>% Faltantes</b>	<b>0</b>
Chimita	Observados	134
	Faltantes	0
	<b>% Faltantes</b>	<b>0</b>
PTAR	Observados	134
	Faltantes	3
	<b>% Faltantes</b>	<b>2.23</b>
UIS	Observados	134
	Faltantes	5
	<b>% Faltantes</b>	<b>3.73</b>

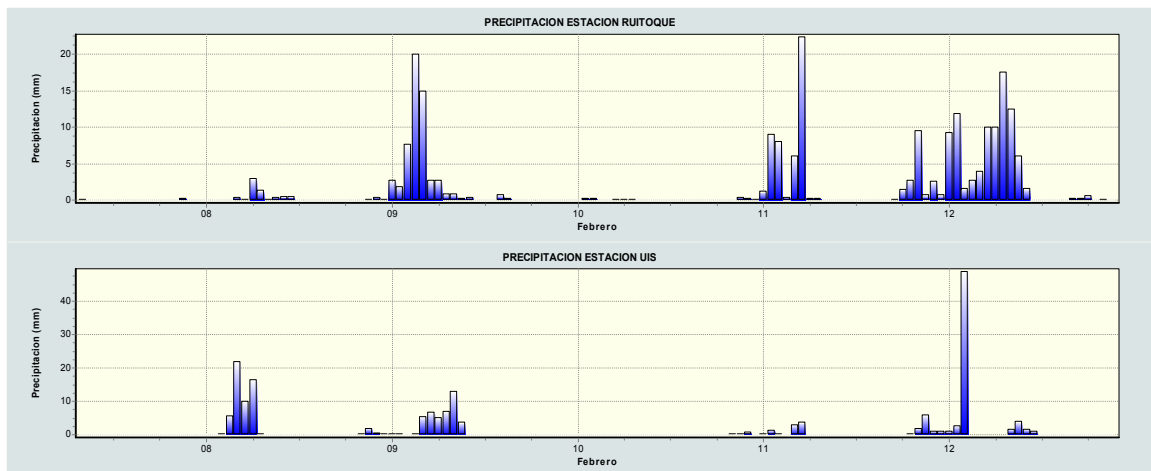
En la Figura 9, se pueden observar los datos obtenidos luego de aplicar los procesos de corrección de errores los cuales se convierten en la información de precipitación definitiva a utilizar en el análisis del evento.

En el Anexo C se relacionan los datos obtenidos luego de aplicar los procesos de corrección los cuales se convierten en la información de precipitación definitiva a utilizar en el análisis del evento extremo.

Figura 9. Series de tiempo de precipitación para cada una de las estaciones.







En la grafica se puede notar que 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. También 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 C se presentan los datos tabulados donde se pueden observar los periodos sin información de precipitación.

**2.1.2 Variables climáticas.** Para calcular la evapotranspiración en la cuenca para el periodo de análisis, se recolectaron datos de 6 variables climatológicas con resolución temporal horaria, estas variables son:

- Temperatura (°C)
- Presión Atmosférica (mbar)
- Humedad Relativa (%)
- Radiación solar (W/m<sup>2</sup>)
- Velocidad del viento (m/s)
- Dirección del viento

Estos datos pertenecen a 4 estaciones automáticas operadas por la CDMB que se encuentran dentro de la cuenca del Río de Oro. En la Tabla 4 se presentan las estaciones junto con el periodo de análisis procesado a fin de obtener valores de correlación.

Tabla 4. Estaciones automáticas CDMB.

ESTACION	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m)	REGISTRO OBTENIDO
	NORTE	ESTE		
Chimitá	1.276.795,85	1.100.617,85	685.84	07/02/2005 8:00 - 12/02/2005 21:00
Centro	1.279.145,60	1.104.976,11	971.43	07/02/2005 8:00 - 12/02/2005 21:00
PTAR	1.273.104,76	1.104.883,23	764.00	07/02/2005 8:00 - 12/02/2005 21:00
UIS	1.281.493,52	1.105.534,11	995.28	07/02/2005 8:00 - 12/02/2005 21:00

Para cada una de las estaciones se realizó un análisis preliminar a fin de identificar la continuidad de la información de cada una de las variables y la consistencia de la misma. En la Tabla 5 se presenta un resumen de la cantidad de datos recolectados así como del porcentaje de datos faltantes para cada una de las variables a analizar.

Tabla 5. Porcentajes de Datos Faltantes de variables climáticas.

ESTACION	DATOS	T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m <sup>2</sup> )	Pa (mbar)	Vv (m/s)	Dv
Centro	Observados	134	134	134	134	134	134
	Faltantes	0	0	0	0	0	0
	<b>% Faltantes</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Chimita	Observados	134	134	134	134	134	134
	Faltantes	0	0	0	0	43	43
	<b>% Faltantes</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>32.1</b>	<b>32.1</b>
PTAR	Observados	134	134	134	134	134	134
	Faltantes	29	57	1	1	1	1
	<b>% Faltantes</b>		<b>42.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>
UIS	Observados	134	134	134	134	134	134
	Faltantes	6	6	6	6	6	6
	<b>% Faltantes</b>	<b>4.4</b>	<b>4.4</b>	<b>4.4</b>	<b>4.4</b>	<b>4.4</b>	<b>4.4</b>

**2.1.2.1. Generación de datos faltantes variables climáticas.** Para la obtención de los datos faltantes, se realizaron correlaciones de variables múltiples para ajustar la siguiente ecuación al error mínimo.

$$Y_{est} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 \quad \text{[Ecuación 1]}$$

El ajuste se realizó aplicando tres metodologías diferentes y seleccionando la que presentara un mejor ajuste; las metodologías aplicadas se describen a continuación:

- Raíz del Error Cuadrático Medio (Root Mean Square Error (RMSE)): Esta metodología utiliza la raíz del promedio del error entre el valor modelado y el calculado al cuadrado de los datos. Valores cercanos a cero indican un buen ajuste de la correlación.

$$RMSE : \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Z_i - Z_j)^2}{N}} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

$Z_i$  = Valor real

$Z_j$  = Valor calculado

$N$  = Numero total de datos.

- Coeficiente fitness (Coeficiente de Ajuste): Se basa en el RMSE, y se expresa como indica la ecuación, valores cercanos a 1000 demuestran un buen ajuste de la correlación.

$$CF = \frac{1000}{1 + RMSE} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

- Coeficiente de Nash & Sutcliffe (N&S): Metodología que indica el ajuste de la forma entre la serie original y la calculada. Valores cercanos a la unidad indican un buen ajuste.

$$N \& S : 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Z_i - Z_j)^2}{\sum_{i=1}^N (Z_i - \bar{Z}_i)^2} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

$Z_i$  = Valor real

$\bar{Z}_i$  = Valor real promedio

$Z_j$  = Valor calculado

$N$  = Numero total de datos.

Se correlaciono cada una de las estaciones con las tres restantes, siempre y cuando estas tuvieran registro para el periodo seleccionado.

De los resultados de las correlaciones se concluyó que las mejores correlaciones se encontraron utilizando la metodología del coeficiente de Nash & sutcliffe, debido a que se ajusto mejor a la forma de distribución de los datos. A partir de estas correlaciones se generaron los datos faltantes y se obtuvo la información definitiva a utilizar en el estudio. En el Anexo D se presentan estos datos en tablas y mediante el uso de graficas.

**2.1.3 Registros Limnigráficos.** La única información de niveles de registro continuo para el periodo de análisis, que se tiene en la cuenca del Río de Oro, consiste en los registros limnigráficos de las estaciones Palogordo y Café Madrid las cuales son operadas por el IDEAM.

La estación Palogordo se encuentra ubicada en la subcuenca hidrográfica Oro medio, aguas arriba del casco urbano del municipio de Girón. La estación Café Madrid está ubicada sobre el río Lebrija, aproximadamente 500 metros aguas abajo de la confluencia del Río de Oro y el Río Suratá. Estas dos estaciones son del tipo Thalimedes y registran los niveles con una resolución temporal de 15 minutos.

La estación Café Madrid debido a su ubicación se convierte en la información de niveles mas confiable que se tiene para la cuenca, no obstante el instrumento presenta problemas de funcionamiento.

En la Figura 10 podemos observar los niveles registrados en la estación Café Madrid para el periodo de análisis. Cabe destacar que de acuerdo a la entidad que maneja la estación, esta se encontraba funcionando para el periodo comprendido entre el 7 de febrero de 2005 y el 12 de febrero del mismo año, pero que luego de la creciente ocurrida el 12 de febrero la estación quedo fuera de servicio por lo que es posible inferir que los niveles registrados por esta estación a partir del paso del pico de la creciente no son muy confiables.

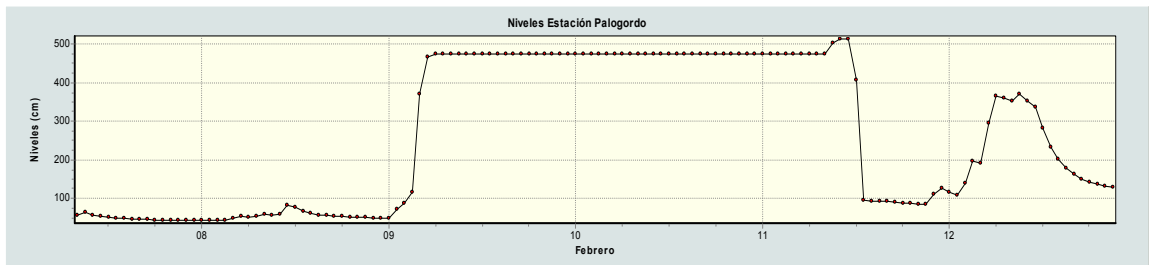
Figura 10. Serie de tiempo Niveles estación Café Madrid



Los niveles registrados en la estación Palogordo se muestran en la Figura 11, en ella se puede observar que para el periodo comprendido del 9 de febrero a las 6:00 al 11 de febrero a las 11:00 los niveles registrados son constantes, y de acuerdo a la información suministrada por el IDEAM para este lapso de tiempo la

estación presentó taponamiento debido a la presencia de sedimentos por lo que esta información se debe tomar como faltante.

Figura 11. Serie de tiempo Niveles estación Palogordo



## 2.2 INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA

La información topográfica utilizada para el desarrollo del presente estudio se puede clasificar en dos tipos, información cartográfica a escala 1:2000 del área de la cuenca del Río de Oro e información de secciones transversales del Río de Oro y de sus principales afluentes. La primera información será utilizada en la elaboración de un modelo digital de elevación (DEM) de la cuenca; la información topo batimétrica se utilizara en la elaboración del modelo de Río.

**2.2.1 Cartografía DEM.** Para la elaboración del modelo digital de elevación, se partió de un modelo del área metropolitana de Bucaramanga elaborado en el GPH (López y Osorio, 2005) pero que no cubría la totalidad de la cuenca. Con cartografía 1:2000 suministrada por la CDMB, se complemento la información necesaria para cubrir toda el área perteneciente a la cuenca del Río de oro.

**2.2.2 Información Topo batimétrica.** Esta información fue suministrada por la CDMB y consta de secciones transversales del río, tomadas entre tres semanas y tres meses después de ocurrido el evento, las cuales se resumen en la Tabla 6.

Las secciones fueron tomadas en el Río de Oro desde la batea ubicada aguas arriba de Girón, hasta 500 mts aguas abajo de la estación limnigráfica de Café Madrid en el Río Suratá.

Las estructuras hidráulicas como puentes, bateas y muros fueron tenidos en cuenta durante el proceso de levantamiento topográfico del río, al igual los niveles máximos alcanzados por el río durante las crecientes de los días inmediatamente anteriores.

Tabla 6. Secciones transversales tomadas en campo.

<b># SECCIONES</b>	<b>CAUCE</b>	<b>SECTOR</b>	<b>KILOMETRAJE APROXIMADO</b>
163	RIO DE ORO	Entre Bahondo y el Túnel	16
4	RIO FRIO	Aguas arriba de la confluencia con el río de Oro	0.3
1	RIO SURATA	Aguas arriba de la confluencia con el río de Oro	0.06
21	RIO LEBRIJA	Entre su nacimiento y 1 km aguas abajo	1

Para complementar la información topográfica del río, se tomaron secciones de un estudio anterior realizado en la quebrada la iglesia (Flórez y Uribe, 2005). De este estudio se tomaron 19 secciones transversales que van desde la confluencia de la quebrada la iglesia con el río de oro hasta aproximadamente 300 mts aguas arriba de esta. Para complementar la información topográfica de otros afluentes de Río de Oro se obtuvo información a partir de Cartografía 1:2000. El total de las secciones generadas para cada uno de los tributarios se resume en la Tabla 7.

Tabla 7. Secciones generadas a partir de cartografía 1:2000.

<b>CAUCE</b>	<b># SECCIONES GENERADAS</b>
Q. Chapinero	9
Q. Chimitá	8
Río Frío	1
Río Suratá	11

A la información de secciones transversales obtenidas de la CDMB, se le realizaron cambios ya que se encontraron algunas incongruencias en el perfil topográfico a lo largo del río. Además dado que el río presenta un trazado entre trezado y meándrico, fue necesario interpolar entre las secciones y complementar algunas de ellas con ayuda de la cartografía 1:2000 para obtener una mejor representación del río.

### 3. MODELO HIDROLÓGICO

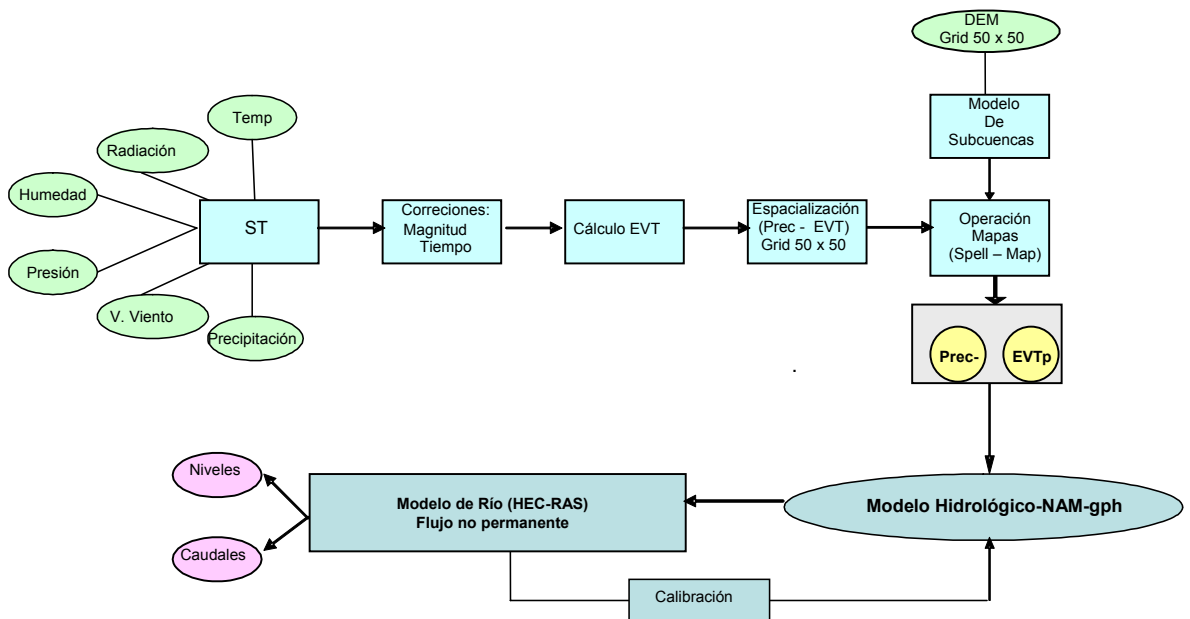
El proceso de modelar consiste en aplicar medios de extrapolación de una información dada a fin de obtener resultados sobre una o varias variables dentro de una cuenca. Es importante tener en cuenta que para realizar un buen proceso de modelamiento se debe contar con información de buena calidad y tener un conocimiento amplio de las técnicas a aplicar dentro del modelo ya que de esto dependerá la calidad de los resultados. (Beven 2004).

Los procesos de modelación ayudan al hidrólogo en la toma de decisiones en situaciones particulares como riesgos de inundación, aprovechamiento del agua mitigación de problemas de contaminación, selección de zonas de inundación, etc.

Para el análisis del evento de creciente del 12 de febrero se optó por un modelo hidrológico conceptual semidistribuido (NAM) aplicado a seis subcuencas y un modelo Hidráulico de flujo no permanente desarrollado sobre 17 kilómetros de río en donde se incorpora la llegada de los ríos Frío y Surata, y de las quebradas Chimitá, La Iglesia y Chapinero. El objetivo principal del modelo es reproducir en condiciones de flujo no permanente los niveles alcanzados por el río para el periodo comprendido entre el 7 y el 12 de febrero de 2005 tomando como referencia para la calibración los niveles registrados en la estación Café Madrid.

En la figura 12 se muestra un esquema general del modelo aplicado en la estimación el transito de la onda de creciente para el periodo del 7 al 12 de febrero de 2005.

Figura 12. Esquema general del modelo usado para el Río de Oro.



El primer paso en el desarrollo del modelo consiste en la recolección y procesamiento de las series de tiempo de las estaciones ubicadas dentro de la cuenca a fin de estimar la precipitación y evapotranspiración en la cuenca. El cálculo de la evapotranspiración se realizará mediante la metodología ASCE Penman-Monteith (ASCE-PM).

El segundo paso consiste en la espacialización de estas variables sobre la zona de estudio en un formato raster y la elaboración de un modelo de sub-cuencas para la cuenca del Río de Oro. Se realizarán operaciones entre mapas con la ayuda del software Spell-Map (Guzmán, 2005) a fin de obtener las variables de entrada del modelo hidrológico NAM-gph ((Guzmán y Niño, 2005). Este modelo permite obtener los hidrogramas de salida para cada una de las subcuencas del estudio los cuales se convertirán en entrada para el modelo hidráulico.

El modelo hidráulico a aplicar consiste en un modelo de río de 17 kilómetros de longitud elaborado a partir de información topográfica y de secciones tomadas inmediatamente después de ocurrido el evento. Este modelo será desarrollado en el software HEC-RAS, el cual fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros de la armada de los estados unidos (U.S. Army Corps of Engineers) en su versión 3.1.3 de mayo de 2005, el cual es de uso libre. HEC-RAS permite simular el tránsito de la onda y obtener los niveles máximos para el periodo de análisis, además de la variación de velocidad tanto longitudinal como transversalmente.

### 3.1 CÁLCULO EVAPOTRANSPIRACIÓN

El cálculo de la evapotranspiración se realizó mediante la aplicación de la metodología propuesta por Penman-Monteith. La ecuación propuesta para el cálculo se basa en el balance de energía (Aparicio, 1987).

La metodología denominada ASCE Penman-Monteith (ASCE-PM) está basada en el método de la ASCE Manual 70, el cual es aplicado para dos tipos de superficies de referencia: pastos y alfalfa. La superficie de referencia utilizada es la de pasto corto con una altura aproximada de 12 cm. denominada como  $ET_{05}$ .

La ecuación estandarizada para superficie de pastos cortos y a resolución temporal horaria es la siguiente:

$$ET_{05} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Donde:

$ET_{05}$  = Evapotranspiración potencial para superficie de pasto corto ( $\text{mm h}^{-1}$ )

- $R_n$  = Radiación neta calculada ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )  
 $G$  = Densidad de flujo de calor del suelo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )  
 $T$  = Temperatura media horaria a 1.5-2.5 m de altura ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $u_2$  = Velocidad media horaria del viento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ )  
 $e_s$  = Presión de vapor de saturación a 1.5-2.5 m de altura (kPa)  
 $e_a$  = Presión de vapor media actual a 1.5-2.5 m de altura (kPa)  
 $\Delta$  = Pendiente curva Presión vapor de saturación–Temperatura ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ )  
 $C_n$  = Constante del numerador de cambio de tipo de superficie y escala temporal ( $\text{K mm s}^3 \text{Mg}^{-1} \text{h}^{-1}$ )  
 $C_d$  = Constante del denominador de cambio de tipo de superficie y escala temporal ( $\text{s m}^{-1}$ )

Las unidades para el coeficiente 0.408 son  $\text{m}^2 \text{mm MJ}^{-1}$

En el Anexo E se presenta en detalle la metodología aplicada y las ecuaciones utilizadas en la definición de cada uno de los parámetros al igual los coeficientes utilizados en el cálculo de la evapotranspiración para cada una de las estaciones del estudio.

Los requerimientos mínimos para el cálculo de la ecuación son mediciones o estimaciones para la temperatura del aire, humedad, radiación solar y velocidad del viento los cuales se obtuvieron durante el proceso de análisis de datos expuesto en el capítulo anterior.

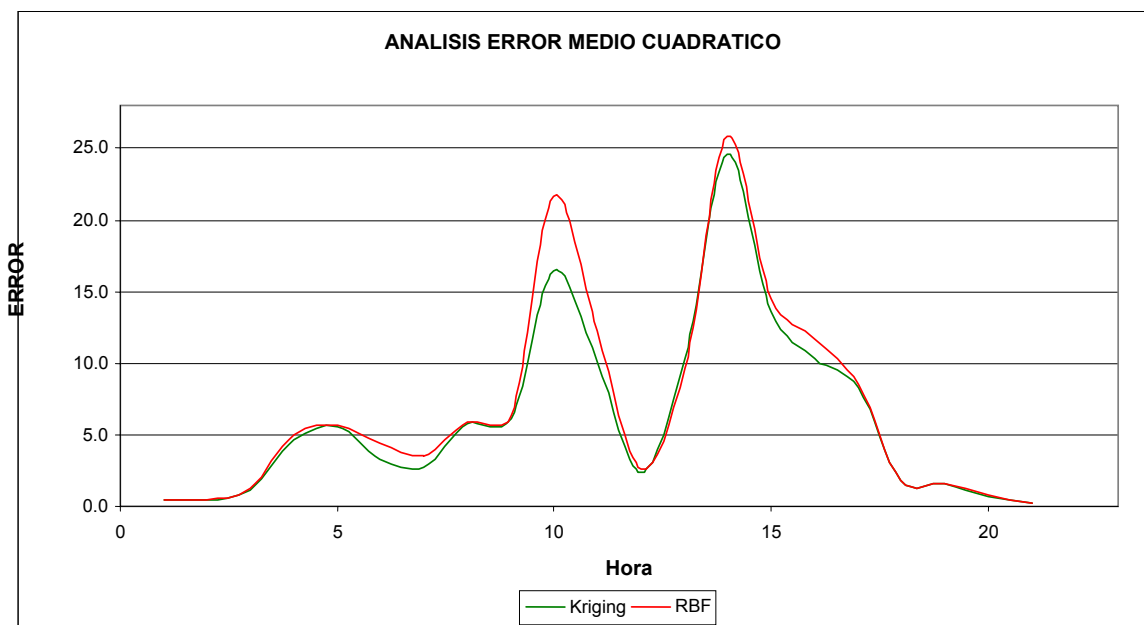
### **3.2 ESPACIALIZACIÓN VARIABLES**

La información de precipitación con resolución temporal horaria obtenida luego del proceso de análisis de información recolectada y la información de evapotranspiración calculada a la misma escala se espacializaron mediante 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).

Entre los métodos de interpolación que ofrece Surfer para realizar el proceso de llenado de la grilla están el inverso de la distancia, mínima curvatura, Kriging, función de Base Radial, y regresión polinomial entre otros. Para seleccionar el método de interpolación a utilizar se tomó un evento de lluvia en el periodo de análisis, y se aplicaron los dos métodos de interpolación que presentaban una mejor distribución de la información, a fin de observar cuales de ellos generaban un menor error medio cuadrático. Los métodos aplicados fueron Radial Basic Fuction (RBV) y Kriging; la variación del error medio cuadrático en cada uno de ellos se puede observar en la Figura 13.

Figura 13. Comparación de Métodos de Interpolación.



Se concluyo que el método que mejor representaba los datos, era kriging por lo que se utilizó este método de interpolación en la espacialización de la precipitación y la evapotranspiración. En el Anexo F se presenta la espacialización horaria de la precipitación para el periodo del 7 al 12 de febrero.

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 usted puede aceptar los parámetros que ajusta kriging por defecto o puede definir un modelo apropiado mediante la modificación del variograma. (Surfer, 2002).

La definición del variograma apropiado durante la utilización de Kriging es muy importante ya que permite definir las tendencias de distribución de la información y los parámetros para que el interpolador le asigne pesos durante el proceso de llenado. Kriging puede clasificarse como un interpolador exacto que produce un suavizado en la superficie generada de acuerdo a los parámetros de anisotropía que le defina el usuario. (Surfer, 2002).

### **3.3 SUBCUENCAS DE ESTUDIO**

La subdivisión de las cuencas de estudio se realizó sobre un modelo digital de elevación que contenía la totalidad de la cuenca del Río de Oro y parte de la cuenca baja del Río Surata. Para elaborar el modelo digital de elevación de la cuenca del Río de Oro se partió del estudio “Modelo Digital de Elevación del Área metropolitana de Bucaramanga. (López y Osorio, 2005) y se completo el área de la cuenca a partir de cartografía 1:25000 del IGAC. Este modelo se realizo en el software Surfer (Golden Software v. 8.0) utilizando el interpolador Kriging y los parámetros definidos en el estudio anteriormente mencionado con un tamaño de celda de 50 x 50 mts.

El modelo completo de la cuenca se opero con el software Spell-Map (Guzmán, 2005) para subdividir la cuenca total en 5 microcuencas y calcular el área de las mismas. Las subcuencas seleccionadas para el Río de Oro y la parte baja de la cuenca del Río Suratá, así como el área de las mismas se puede observar en la Tabla 8.

Tabla 8. Subcuencas Modelo Hidrológico

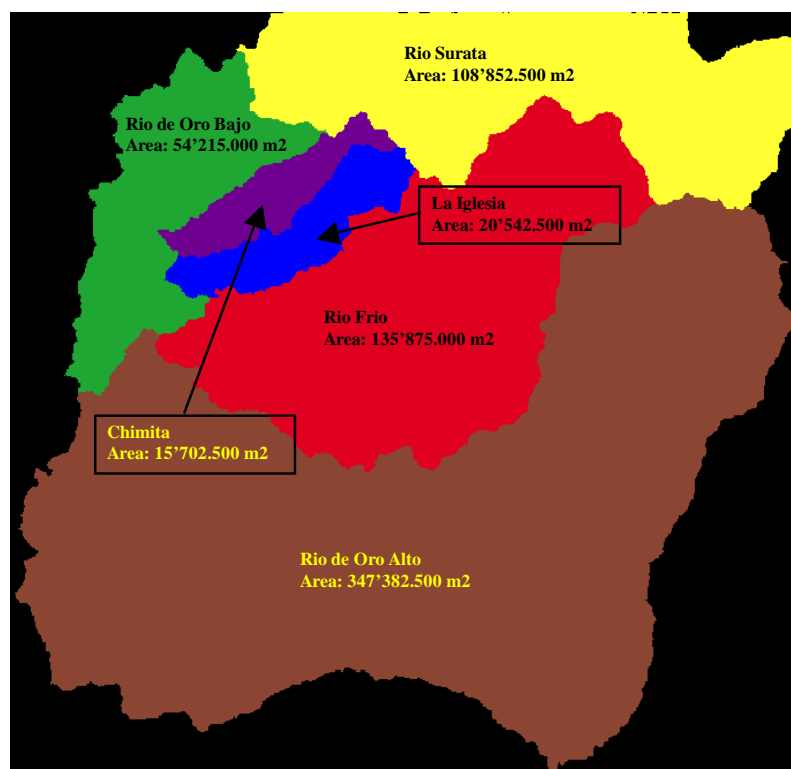
SUBCUENCA	AREA (m2)	OBSERVACIONES
Río de Oro Alto	347,382,500	Incluye la subcuenca del Río Lato y las quebradas Ruitoque y el Palmar. El punto de cierre se ubica en la confluencia con el Río Frío
Río Frío	135,875,500	Corresponde a toda la cuenca del Río de frío.
La Iglesia	20,542,500	Corresponde a la 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, limites en el costado norte y oriente definidos de acuerdo al area analizada.

**3.3.1 Modelo de Subcuencas.** Para modelar el evento se subdividió el área total de la zona de estudio en 6 microcuencas, cinco de las cuales corresponden al área de la cuenca del Río de Oro y la sexta que pertenece a la parte baja de la cuenca del Río Surata. En la Figura 14 se muestra la subdivisión de cuencas

realizada a partir del modelo digital de elevación y mediante la utilización de Spell-Map.

Se cree que la parte alta de la cuenca del Río Suratá no tuvo mayor influencia en el evento analizado por lo que solo se tomo la parte cercana a la cuenca del Río de Oro. (Guzmán y Otros, 2005).

Figura 14. Subdivisión de cuencas para el modelo hidrológico.

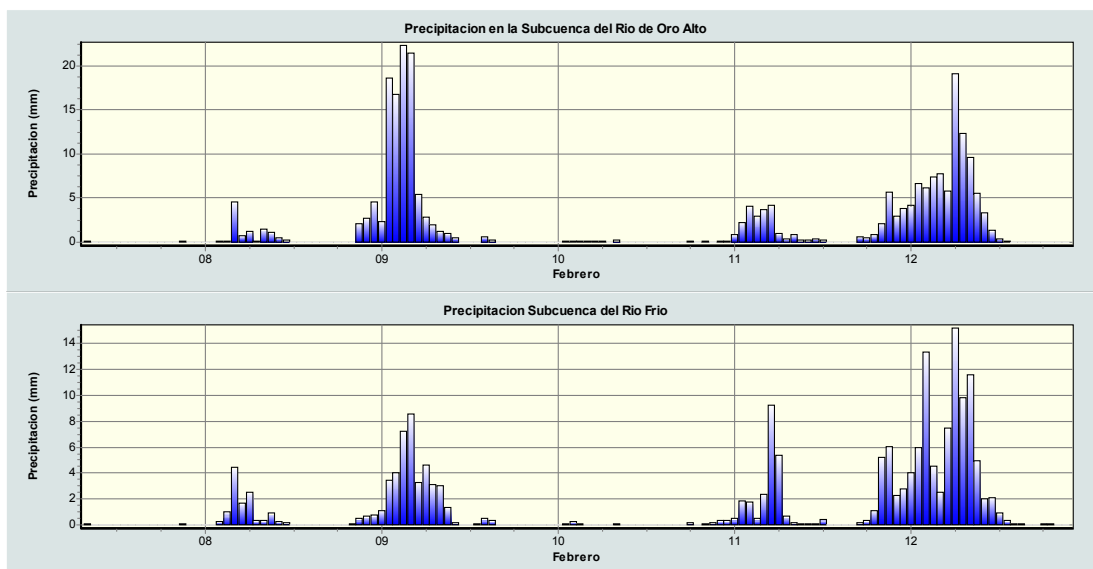


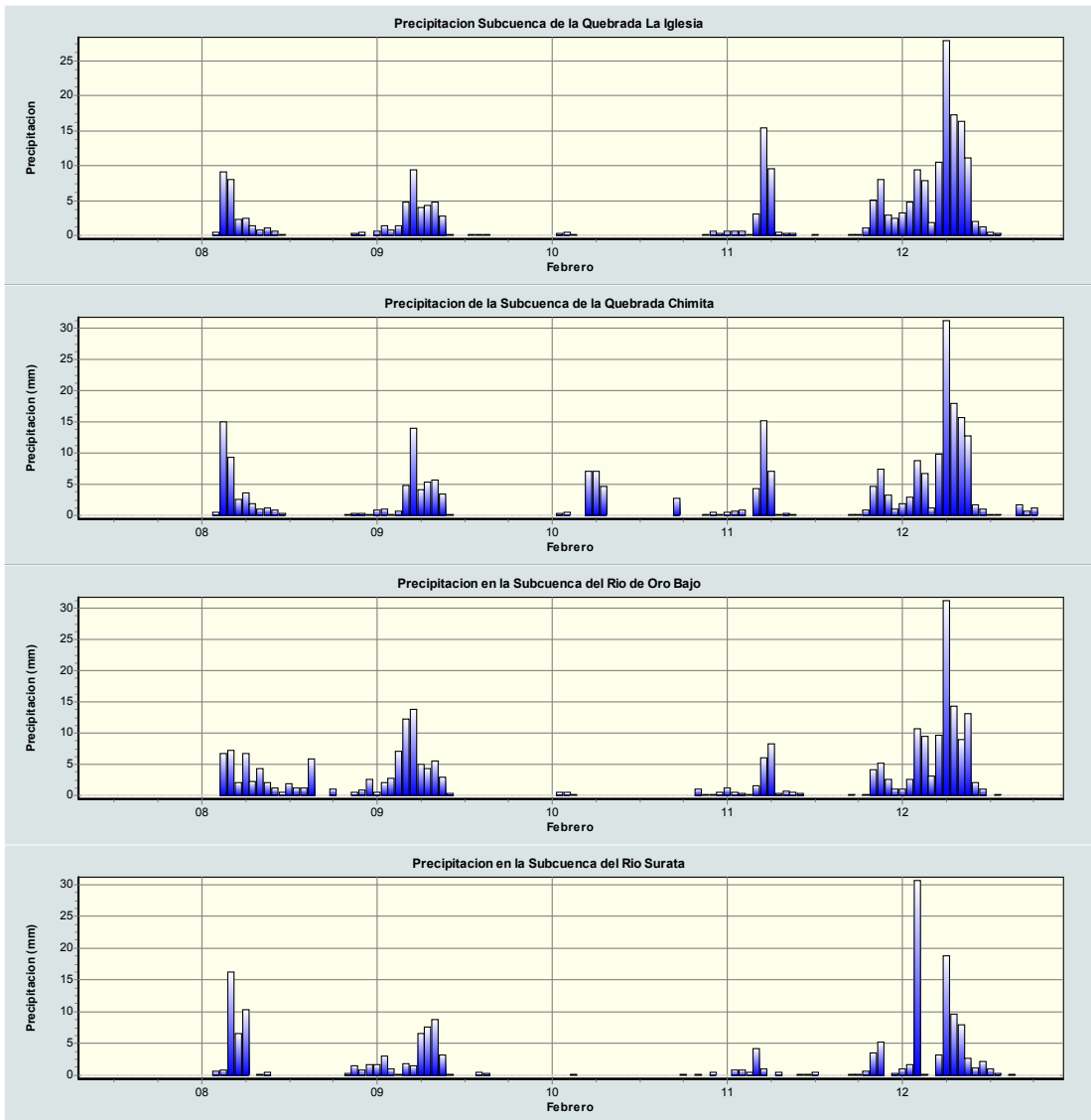
Con las mascararas elaboradas de cada una de las subcuencas y con las espacializaciones horarias realizadas, tanto a la precipitación como a la evapotranspiración, se obtuvo el valor promedio horario de cada variable en las subcuencas del estudio. Esto se realizo mediante operación de mapas en Spell-Map (Guzmán, 2005)

**3.3.2 Precipitación Subcuencas de Estudio.** En la Figura 15 se muestra la precipitación promedio horaria de cada una de las subcuencas para el periodo comprendido del 7 al 12 de febrero de 2005. En esta figura se puede observar que las mayores intensidades de precipitación se obtuvieron para los días 9 y 12 de febrero en las horas de la madrugada.

El evento de precipitación que se presentó el 9 de febrero comenzó aproximadamente a las 10 de la noche del día 8 y terminó aproximadamente a las 9 a.m. con una intensidad máxima de 22.5 mm/h para la subcuenca Río de Oro Alto, mientras que el evento del 12 de febrero, que fue el que causó la inundación de una vasta zona de Girón y algunos barrios de Bucaramanga, tuvo una duración de aproximadamente 11 horas comenzando más o menos a las 10 de la noche del 11 y terminando aproximadamente a las 9 a.m. del día 12. Para este evento se presenta una de las intensidades más altas registradas en la estación UIS. (48.3 mm/h).

Figura 15. Series de Tiempo de Precipitación promedio por Subcuenca.



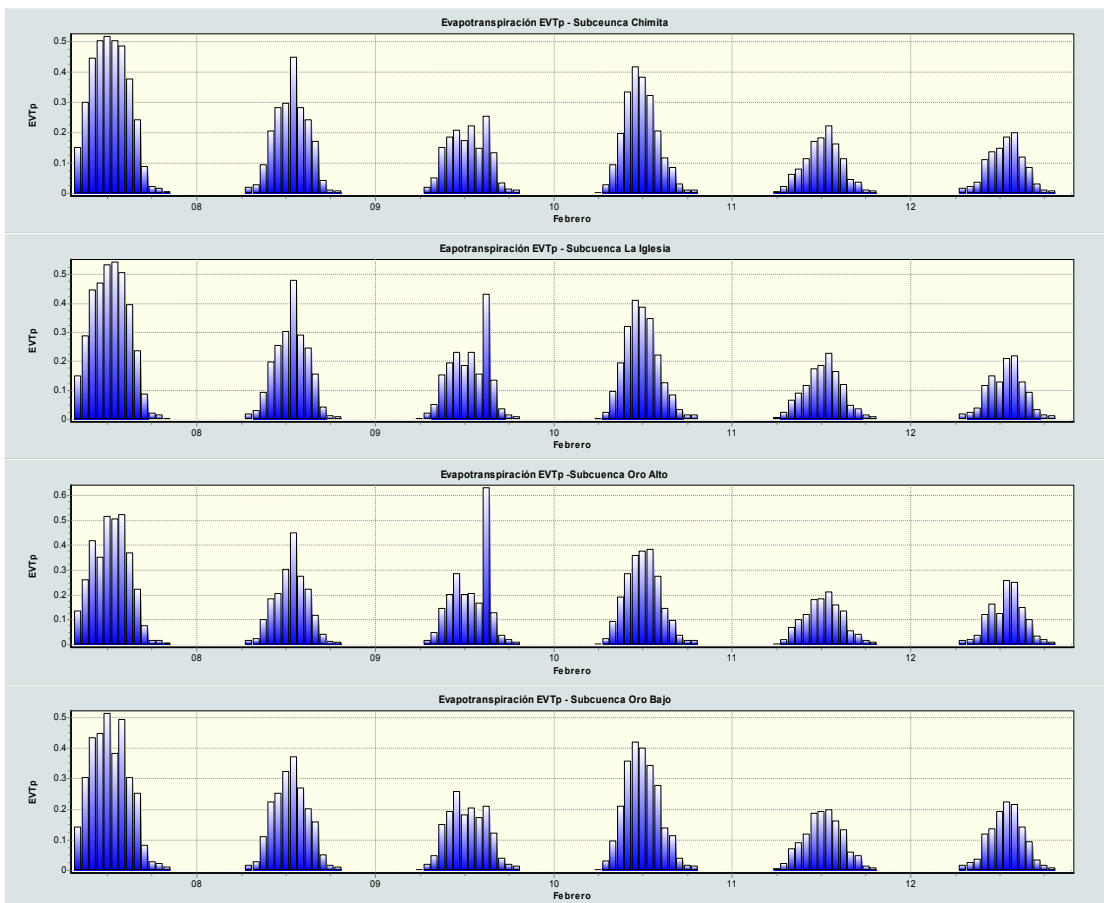


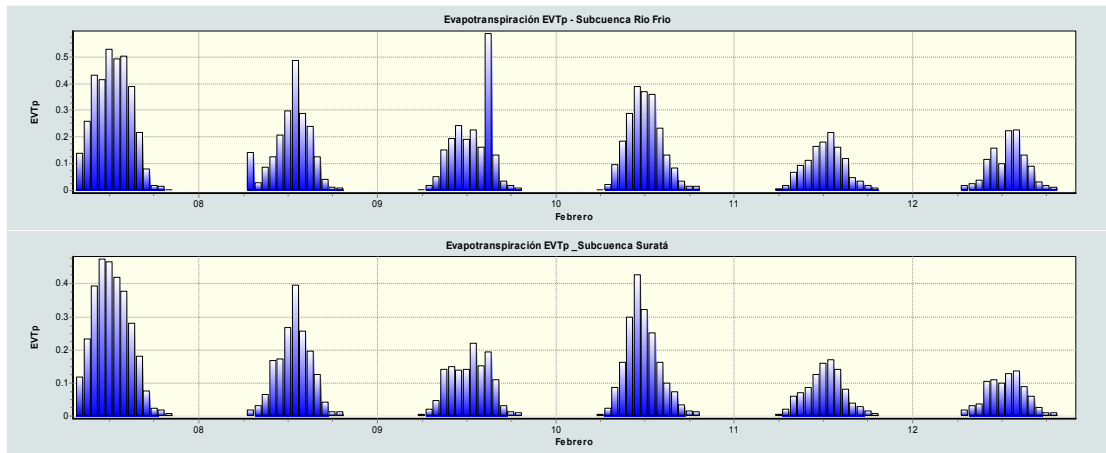
Durante el periodo de análisis también se presentaron algunos eventos de precipitación aislados, pero que dada su corta duración e intensidad no causaron problemas de inundación.

**3.3.3. Evapotranspiración Subcuencas de Estudio.** La máxima cantidad de evapotranspiración en la cuenca durante el periodo de análisis, se presentó al medio día y hacia la tarde durante los días 7 y 10 de febrero.

En la Figura 16 se puede observar que los valores máximos de evapotranspiración promedio para cada subcuenca son menores que 0.7 mm/h, presentándose los mayores valores en la subcuenca de la quebrada Chimitá. El día 9 se presenta un valor de EVTp alto para la subcuenca Oro Alto el cual parece se debe a un registro erróneo del sistema.

Figura 16. Serie de Tiempo de Evapotranspiración promedio por Subcuenca.





### 3.4 MODELO HIDROLÓGICO SEMIDISTRIBUIDO NAM.

El modelamiento hidrológico del evento se realizó con el software NAM-gph (Guzmán y Niño, 2005) el cual es una implementación del modelo original desarrollado en el instituto DHI (Danish Hydraulic Institute).

NAM es una abreviación de “Nedbor Afstromnings Model” que significa modelo de precipitación escorrentía (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 escorrentía 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. (DHI, 1999).

NAM simula los procesos de precipitación–escorrentía 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

Existe un cuarto almacenamiento que corresponde a la nieve, el cual es opcional ya que solo trabaja si hay temperaturas menores a cero.

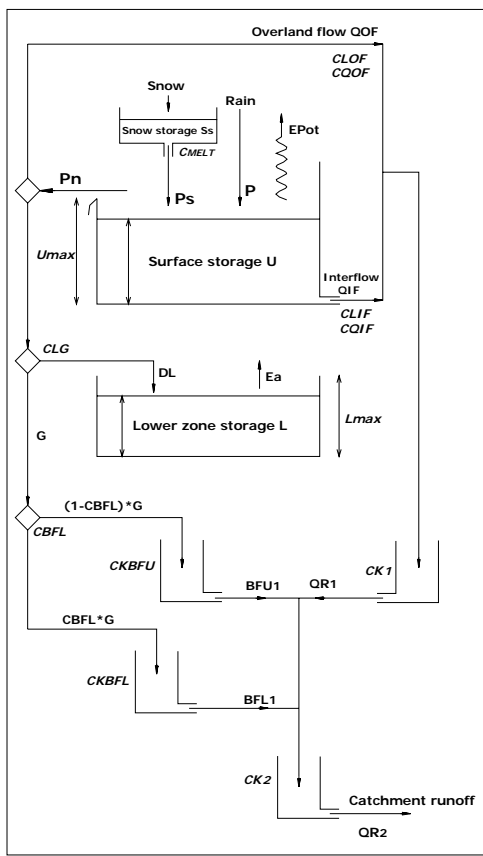
Los datos que requiere el modelo son condiciones iniciales, parámetros del modelo, datos meteorológicos como EVT<sub>p</sub>, precipitación y en el caso que intervenga la nieve, son requeridos datos de temperatura.

Adicionalmente se requieren datos de caudales en la salida de la cuenca, los cuales se utilizan para calibrar y validar el modelo. En el caso específico de la cuenca del Río de Oro el proceso de calibración se realizó contra los niveles y caudales medidos en la estación Café Madrid ya que no se contaba con información limnigráfica a la salida de cada una de las subcuencas del modelo.

**3.4.1. Estructura del modelo.** NAM está basado en ecuaciones físicas y ecuaciones semi-empíricas. De esta forma algunos parámetros del modelo pueden ser inicialmente evaluados de las condiciones físicas de la cuenca, pero estos deben ser mejorados por procesos de calibración, teniendo en cuenta las salidas del modelo. La estructura del modelo aplicado y los almacenamiento mencionados se muestra en la Figura 17.

En el Anexo G se presenta una descripción más detallada de las ecuaciones y el funcionamiento matemático del Software NAM.

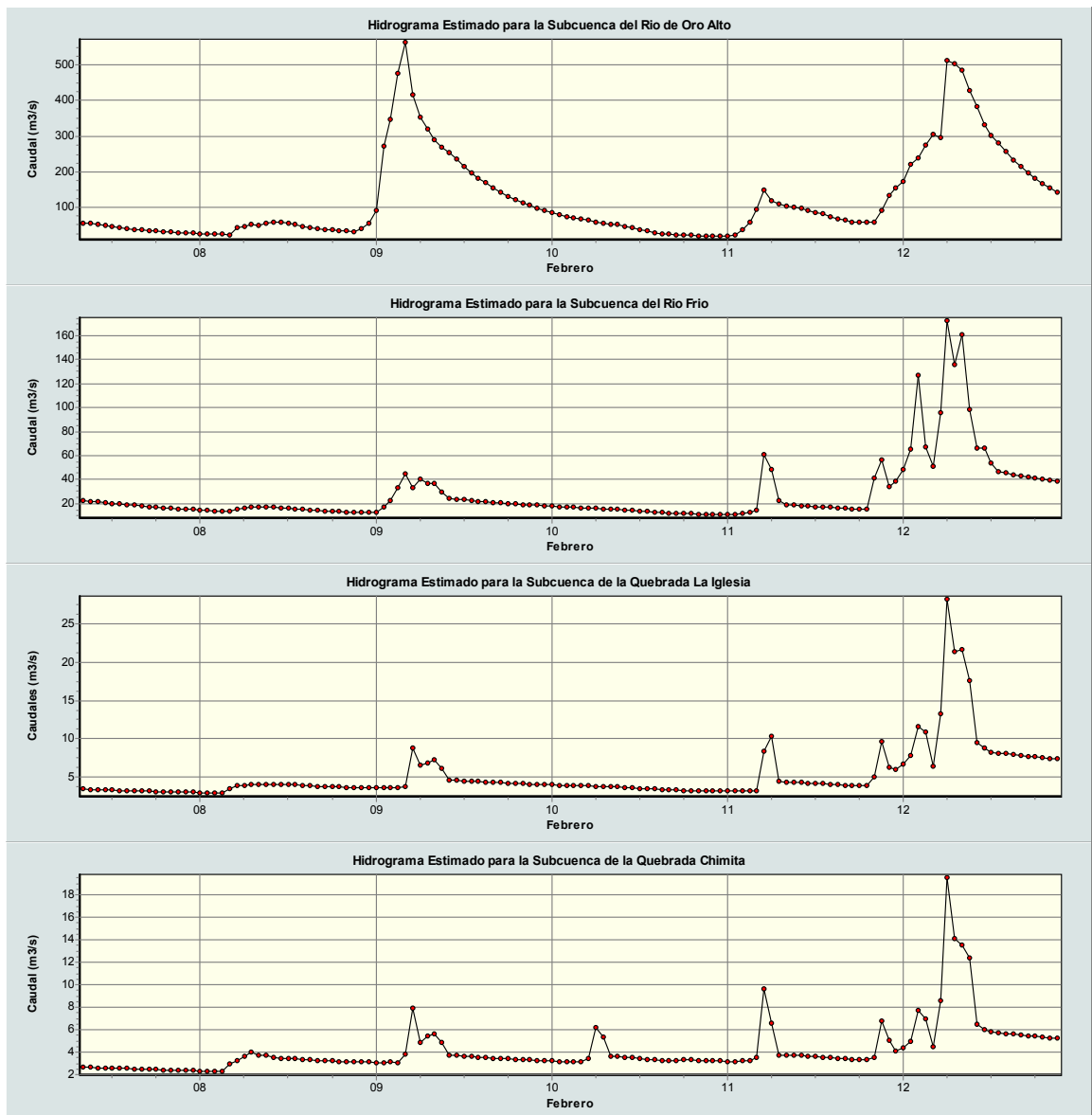
Figura 17. Estructura del modelo NAM

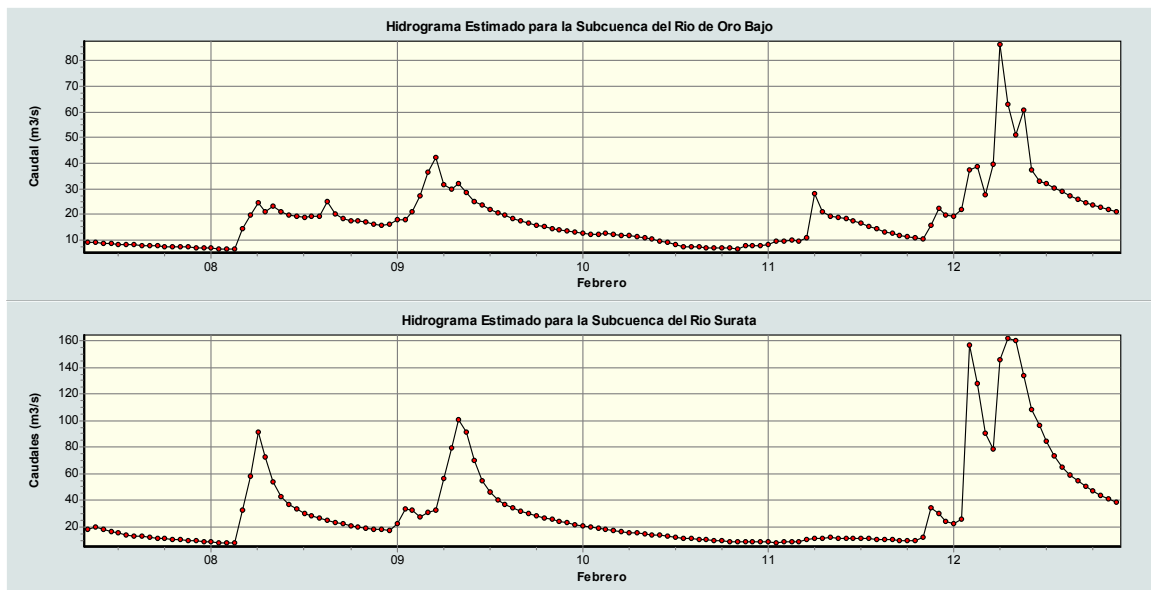


### 3.5 HIDROGRAMAS SUBCUENCAS DE ESTUDIO

Los hidrogramas estimados mediante el modelo NAM en  $\text{m}^3/\text{s}$  para las seis subcuencas del estudio se muestran en la Figura 18. Es importante aclarar que no se contaba con información de niveles o caudales a la salida de cada una de las subcuencas que permitiera llevar a cabo una calibración y validación de los parámetros usados. Los parámetros fueron seleccionados tomando como referencia la estación de café Madrid, es decir, que luego de aplicar el modelo de río al área total de estudio, los niveles máximos obtenidos presentarían concordancia con los registrados por la estación ubicada en el mismo punto.

Figura 18. Series de tiempo de los Hidrogramas generados por NAM-gph para cada subcuenca.





En la figura 18 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.

Los hidrogramas así definidos serán parte de los datos de entrada para el modelo de río que se discutirá en secciones posteriores.

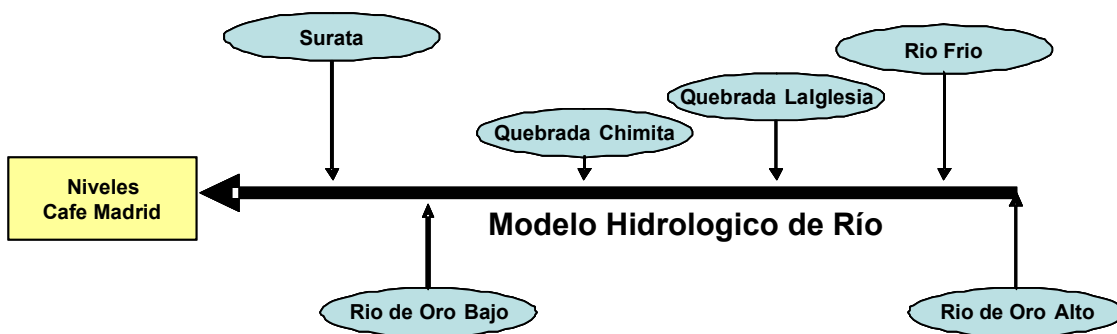
### 3.6 MODELO DE RÍO

Para el análisis del evento de creciente del 12 de febrero se elaboro un modelo hidráulico del Río de Oro para el tramo correspondiente al tramo desde la batea Vado Hondo aguas arriba de Girón hasta aproximadamente un kilómetro aguas abajo de la confluencia de los Ríos Oro y Suratá. Este modelo se elaboró en el software HEC-RAS el cual permite simular el transito de la onda a partir de los

hidrogramas de creciente calculados para el punto de inicio y para cada uno de los tributarios que incluya el modelo.

El modelo de Río aplicado consta del cauce principal del Río de Oro y de cinco tributarios. El esquema general del modelo aplicado se muestra en la Figura 19. El Software HEC-RAS permite analizar el tránsito de la onda de una manera aceptable y además permite comparar los niveles obtenidos con los registrados por la estación Limnigráfica de Café Madrid.

Figura 19. Esquema del Modelo de Río.



### 3.7 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)

**3.7.1 Simulación de Flujo No Permanente.** Este componente 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 (subcrítico, 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).

Los efectos de varias obstrucciones como los puentes, alcantarillas, vertederos, y estructuras en planicies de inundación pueden ser considerados en los cálculos.

### 3.8 PARÁMETROS Y DATOS DE ENTRADA DEL MODELO

Los datos de entrada que se deben proporcionar al software HEC-RAS se pueden resumir en:

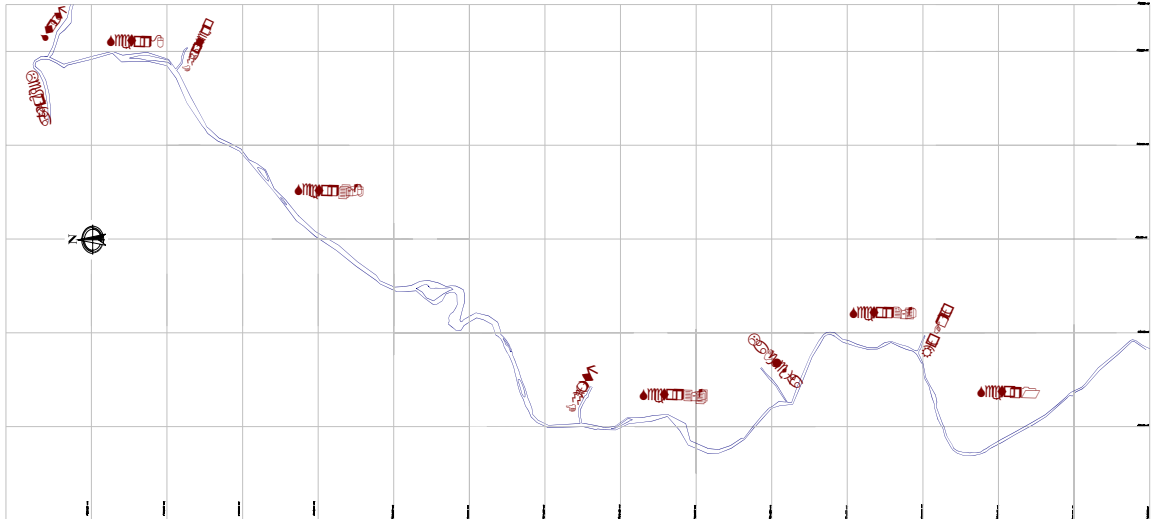
- Definición geométrica y secciones transversales.
- Coeficiente de Manning
- Condiciones Iniciales
- Parámetros de simulación
- Hidrogramas de las subcuencas.

**3.8.1 Datos geométricos.** Los datos geométricos con que se debe alimentar el HEC-RAS están compuestos por las secciones transversales, y la geometría en planta del cauce principal, ubicación de las uniones con cada uno de los tributarios y secciones transversales tanto del canal principal como de los afluentes.

**3.8.1.1 Modelo en planta.** En el caso específico del modelamiento del Río de Oro se diseñó un modelo compuesto por el Río de Oro iniciando aguas arriba de la batea de Vado Hondo y terminando aproximadamente un kilómetro aguas debajo de la confluencia con el Río Suratá y colocándole 5 tributarios que corresponden a El Río Frío, Quebrada La iglesia, Quebrada Chimitá, Quebrada Chapinero, y Río Surata. (Ver Figura 20).

Cada uno de estos tributarios corresponde a la entrada del hidrograma de cada una de las cuencas seleccionadas en el modelo de cuencas. En el tributario que corresponde a la quebrada Chapinero se colocó como entrada el hidrograma correspondiente a la Subcuenca Río de Oro Bajo.

Figura 20. Esquema Río de Oro y Tributarios.



**3.8.1.2 Secciones transversales a lo largo del río.** Las secciones transversales de río se tomaron de la información suministrada por la CDMB a las cuales se le hicieron múltiples correcciones y de información obtenida de estudios anteriores y de restitución mediante cartografía tal como se define en el capítulo 2. Las estructuras hidráulicas como puentes, bateas y muros fueron tenidos en cuenta para la modelación.

Las secciones hidráulicas incluidas en el modelo corresponden a 4 puentes y dos bateas ubicadas sobre el Río de Oro denominados así:

- Batea Vado Hondo.
- Batea El Malecón
- Puente GEO Von Lenguerke
- Puente Jorge Eliécer Fonseca
- Puente Flandes (Puente Palenque)
- Puente Nariño.

Aparentemente pareciera que existe una buena densidad de información sobre todo el cauce del río de Oro, sin embargo esta es deficiente si se quiere obtener una buena simulación y aproximación de la realidad del evento.

Las secciones transversales del Río de Oro presentaron algunas deficiencias debido a los cambios abruptos en el cauce y a su trazado entre trezado y meándrico. Entre los principales inconvenientes con las secciones cabe destacar:

- Mucha separación entre secciones generándose problemas en las zonas donde existen contracciones o expansiones, cambios abruptos de pendiente y del trazado, teniéndose que interpolar linealmente entre secciones cada 10 mts y en algunos sectores cada 5 mts.
- Incongruencias en el perfil topográfico a lo largo del cauce, por lo que hubo que ajustar la elevación de algunas secciones.
- Deficiente información de las secciones en sus planos de inundación, originándose sobre-elevaciones en el modelo, teniendo que ajustarse las secciones ubicadas en los sectores críticos de la inundación como: Santa Cruz, El Poblado, Parque Industrial I y II, y entre Puente Nariño y Puente Túnel. El procedimiento utilizado en este caso fue continuar con el perfil de las secciones en sus márgenes de acuerdo a la pendiente del terreno con ayuda de las planchas de restitución 1:2000 de la zona.
- Deficiente información detallada de las estructuras hidráulicas presentes en el río, así como de secciones transversales aguas arriba y aguas abajo de las mismas. En este caso se recurrió a copiar la misma sección donde esta ubicada la estructura algunos metros aguas abajo y aguas arriba para evitar la inestabilidad del modelo.

**3.8.2 Hidrogramas Subcuencas.** Los hidrogramas de entrada corresponden a las series de tiempo de caudales en el cauce principal y en cada uno de los tributarios para el periodo de análisis. Estos hidrogramas se obtuvieron a partir de los resultados del modelo NAM.

**3.8.3 Parámetros de rugosidad del cauce (n de Manning).** Seleccionar el coeficiente de Manning significa estimar la resistencia al flujo de un canal determinado. “Para ingenieros veteranos significa utilizar profundos criterios de ingeniería y experiencia, para principiantes no pasa de ser un proceso de adivinanza”. (Ven Te Chow, 1994). Para la determinación del coeficiente de manning no existe un método exacto.

Los valores para este parámetro se obtuvieron a partir del estudio “Documento de Diagnóstico: Amenazas de Inundación y Erosión en el Río de Oro” (Geotecnología 2005), el cual hace parte de una serie de estudios contratados por la CDMB para realizar el análisis de este evento. A continuación se describe la metodología empleada en dicho estudio.

A partir del reconocimiento de varios factores primordiales que afectan el coeficiente de rugosidad Cowan (1956) desarrollo un procedimiento para estimar el coeficiente de rugosidad. Mediante este procedimiento el valor de  $n$  se puede obtener como:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Donde:

$n_b$  = Valor básico de  $n$  para un canal recto uniforme y suave compuesto por materiales iguales a los del canal estudiado.

$n_1$  = Factor de corrección para tener en cuenta el efecto de las irregularidades de la superficie tanto del fondo como de los taludes laterales.

- $n_2$  = Factor de para tener en cuenta las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal.
- $n_3$  = Factor de acuerdo a las obstrucciones en el fondo del canal (puentes, bateas, etc.).
- $n_4$  = Un valor para tener en cuenta la vegetación.
- $m$  = Factor de corrección de acuerdo a la sinuosidad del canal.

El valor de  $n_b$  ( $n$  básico) se obtuvo de acuerdo a las tablas propuestas por Benson & Dalrymple (1967) y Aldridge & Garret (1973).

Para obtener el diámetro de las partículas se utilizaron dos procedimientos complementarios así:

- Se realizó un análisis en campo de los porcentajes de partículas de tamaño grande: bloques, guijarros, gravas y arenas gruesas.
- Se tomaron muestras de la matriz del suelo aluvial y se realizaron ensayos de granulometría.

Con los resultados de la estimación de tamaño de partículas se obtuvo el valor de  $n_b$ .

Teniendo en cuenta que en las avenidas del río de Oro se ha observado un porcentaje muy alto de sedimentos y para tener en cuenta este fenómeno, se tomaron los valores máximos de  $n$  de acuerdo a las tablas de Aldridge y Garrett (1973).

Una vez obtenido el valor de  $n_b$  se obtuvieron los factores de corrección en un análisis de campo sección por sección utilizando las tablas propuestas por la FHWA y el USGS. Las cuales corresponden a las modificadas por Aldridge y

Garrett (1973). Cada sección del canal se dividió en sub.-secciones con un valor n característico.

A fin de aplicar estos resultados en el modelamiento hidráulico del río se determinaron coeficientes de rugosidad, diferenciando el canal principal de planos de inundación derecho e izquierdo.

De acuerdo a la granulometría de los materiales, la geometría del canal o planos de inundación, las obstrucciones, irregularidades, variaciones en sección transversal y demás elementos de relevancia para la rugosidad se realizó una sectorización de los 17 kilómetros analizados de río, encontrando zonas con relativa uniformidad en sus condiciones geométricas, geológicas, morfológicas y antrópicas.

En la Tabla 9 se relacionan los coeficientes de Manning para el canal principal y los planos de inundación para cada uno de las 20 zonas en que se subdividió el tramo de río modelado.

Tabla 9. Valores de Rugosidad calculados para el Río de Oro.

ZONA	ABSCISA		RUGOSIDAD		
	DESDE	HASTA	M. IZQUIERDA	CANAL	M. DERECHA
1	0-200	0+000	0.0514	0.0619	0.0544
2	0+000	0+460	0.0539	0.0577	0.0446
3	0+460	0+650	0.0435	0.0597	0.0661
4	0+650	1+620	0.0476	0.0593	0.0658
5	1+620	2+050	0.0480	0.0593	0.0658
6	2+050	2+530	0.0480	0.0559	0.0658
7	2+530	2+950	0.0454	0.0562	0.0662
8	2+950	3+720	0.0687	0.0647	0.0617
9	3+720	4+870	0.0611	0.0530	0.0671
10	4+870	6+250	0.0567	0.0520	0.0624
11	6+250	6+850	0.0551	0.0512	0.0621
12	6+850	7+750	0.0537	0.0512	0.0604
13	7+750	8+450	0.0493	0.0514	0.0555
14	8+450	9+450	0.0528	0.0535	0.0585
15	9+450	10+800	0.0508	0.0522	0.0538

16	10+800	12+100	0.0569	0.0527	0.0617
17	12+100	13+900	0.0452	0.0544	0.0595
18	13+900	14+280	0.0567	0.0555	0.0594
19	14+280	15+500	0.0494	0.0520	0.0587
20	15+500	16+500	0.0402	0.0490	0.0642

**3.8.4 Condiciones de Iniciales.** Las condiciones de frontera son requeridas para realizar los cálculos. Si el análisis que se va a realizar es con flujo sub.-crítico, se requieren únicamente las condiciones de frontera del río aguas abajo. Si el análisis es de flujo super-crítico entonces se requieren solo las condiciones de frontera aguas arriba. Si el modelador va a realizar un cálculo de régimen de flujo mixto, entonces se requieren las condiciones de frontera del río aguas arriba y aguas abajo.

En el modelo realizado estas condiciones se definieron de acuerdo a los caudales mínimos que ocurrían en cada una de las subcuencas incluidas en el modelo.

**3.8.5. Parámetros de Simulación.** El modelo hidráulico de Río aplicado se realizó mediante simulación de flujo No permanente, en un régimen de flujo mixto, es decir permitiendo que el software simulara procesos de flujo sub.-crítico, súper-crítico y la ocurrencia de resaltos hidráulicos si los llegaran a haber. Esto permite simular los niveles alcanzados por el agua para intervalos de tiempo definido por el usuario en cada uno de los puntos donde se ubicaron secciones transversales y además analizar la variación temporal de fenómeno durante el periodo de análisis. El intervalo de cómputo seleccionado fue de 5 minutos y se seleccionaron hidrogramas de salida con una resolución temporal de 10 minutos. La definición de intervalo de cómputo así como del intervalo de salida para los hidrogramas se realizó teniendo en cuenta dar estabilidad al modelo.

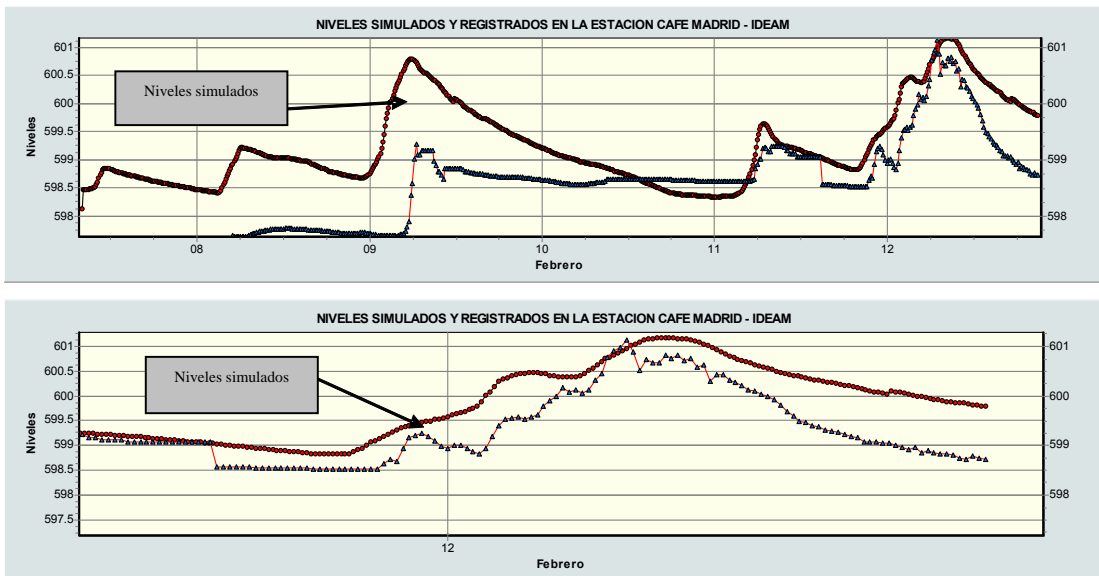
HEC-RAS también permite definir el tipo de balance que se realiza en el punto de convergencia de dos ríos, en este caso se optó por utilizar la ecuación de momento para realizar el tránsito de la creciente en las uniones.

### 3.9 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Los resultados están representados principalmente por los niveles obtenidos en cada una de las secciones incluidas en el modelo. A fin de determinar la correspondencia de los niveles se realizó la comparación de los registros obtenidos y los simulados para la sección ubicada en el punto donde se encuentra la estación limnigráfica de Café Madrid los cuales se presentan en la Figura 21.

En esta grafica se puede observar que existe un alto grado de correspondencia entre los datos registrados por la estación de café Madrid y los simulados para el evento del 12 de febrero de 2005 al igual que para el tiempo de ocurrencia de los hidrogramas. Es importante notar que para el periodo del 9 y días anteriores se nota una alta discordancia, la cual se cree es debida a un proceso de taponamiento del instrumento de registro ubicado en la estación Café Madrid.

Figura 21. Niveles Simulados y Registrados en la Estación Café Madrid.



Adicionalmente a los niveles en la estación Café Madrid se presenta la Tabla 10 donde se realiza una comparación entre los niveles obtenidos y los registrados para el evento en cada una de las secciones. Esta comparación se realiza para cada una de las principales estructuras hidráulicas presentes en el río y para algunas secciones ubicadas desde los sectores de arenales, aguas arriba de Girón hasta unos 200 metros aguas abajo del puente Palenque.

En la Figura 22 se muestra el plano en planta del Río de Oro para el sector mencionado anteriormente, en esta figura se puede ver que existe un alto grado de correspondencia entre las zonas de inundación registradas y las zonas simuladas por el modelo. La zona correspondiente al sector de arenales no presenta inundación ya que de acuerdo a la forma como ocurrió el fenómeno esta zona se inundo por el desbordamiento del río aguas arriba de este sector.

Figura 22. Comparación línea de inundación simulada y registrada.

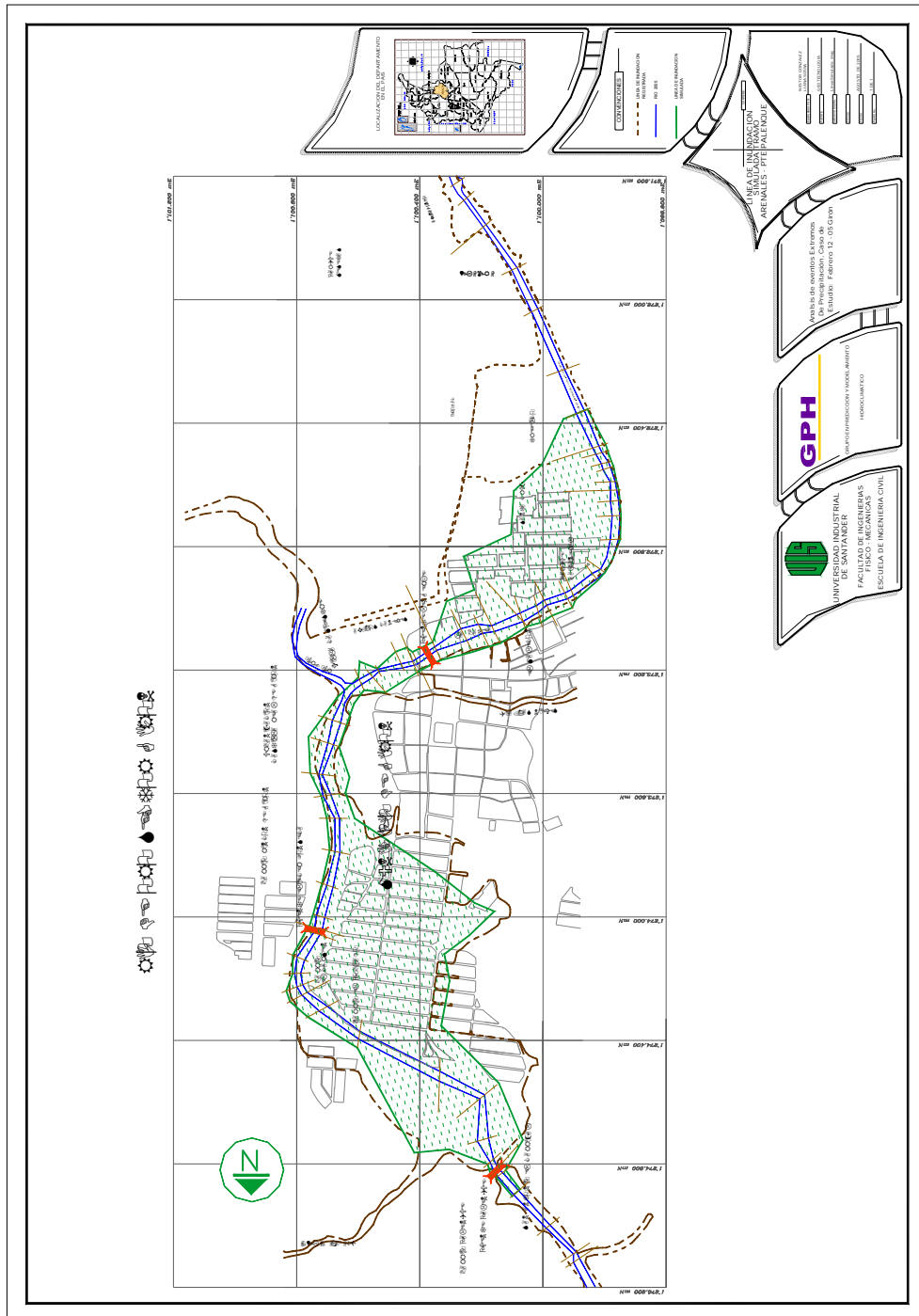


Tabla 10. Niveles Registrados, Simulados y Error para algunos sectores sobre el Río de Oro.

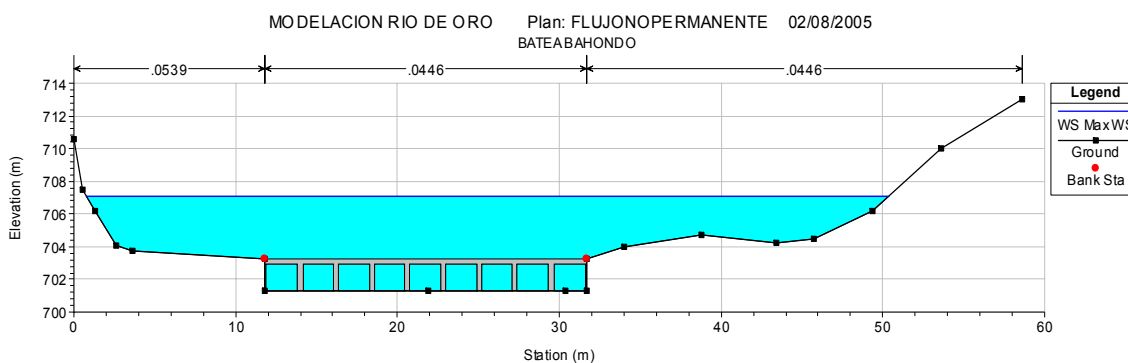
SECCION	NIVELES		Error (m)
	Registro	Simulado	
Batea Bahondo	706.10	707.09	0.99
Batea Malecon	696.30	696.85	0.55
Punte Lenguerke	695.04	695.40	0.36
Puente Fonseca	689.88	689.05	-0.83
Puente Palenque	686.87	684.82	-2.05
Puente Nariño	620.05	619.91	-0.14
Estacion Café Madrid	601.14	601.17	0.03
<b>SECTOR ARENALES</b>			
SECCION 9	704.49	704.53	0.04
SECCION 10	703.63	703.63	0.00
SECCION 11	702.75	702.62	-0.13
<b>SECTOR PARQUE GALLINERAL</b>			
SECCION 14	700.35	701.01	0.66
SECCION 15	700.07	700.87	0.80
SECCION 16	700.04	700.66	0.62
SECCION 17	699.97	700.56	0.59
SECCION 18	699.94	699.84	-0.10
SECCION 19	699.79	699.90	0.11
SECCION 20	699.60	699.94	0.34
SECCION 21	699.53	699.93	0.40
SECCION 22	699.05	699.59	0.54
SECCION 23	698.74	698.49	-0.25
SECCION 24	698.45	698.19	-0.26
SECCION 25	697.37	698.09	0.72
SECCION 26	696.88	698.14	1.26
SECCION 27	697.22	698.00	0.78
SECCION 28	697.19	697.91	0.72
<b>SECTOR MALECON</b>			
SECCION 30	697.56	697.74	0.18
SECCION 32	697.08	696.87	-0.21
SECCION 33	696.30	696.85	0.55
<b>SECTOR EL POBLADO</b>			
SECCION 45	692.21	692.51	0.30
SECCION 46	692.20	692.33	0.13
SECCION 48	691.21	691.48	0.27
SECCION 49	691.11	691.22	0.11
SECCION 50	690.87	690.69	-0.18
SECCION 51	690.20	690.22	0.02

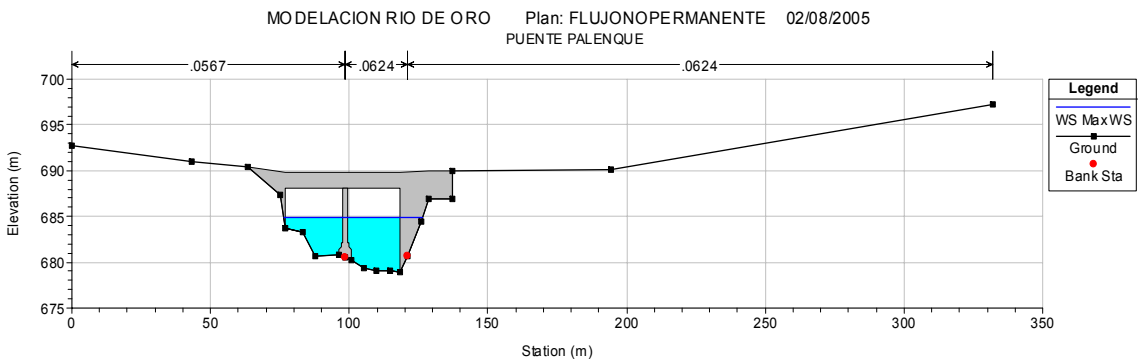
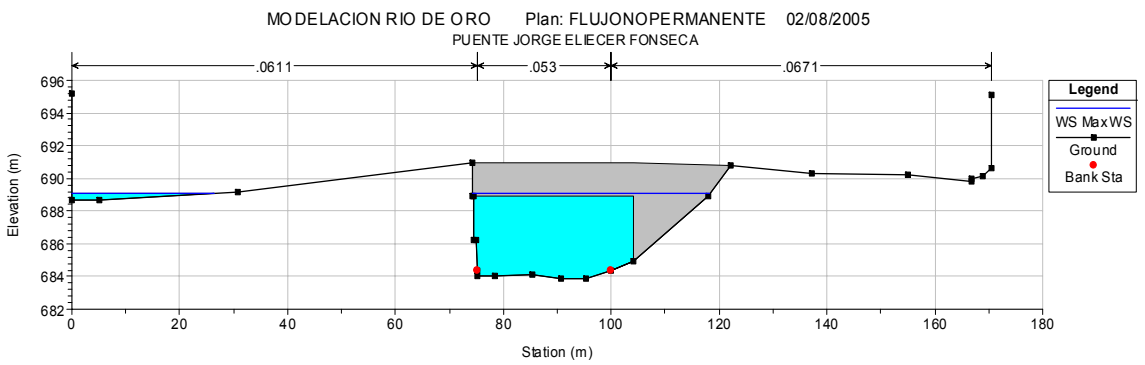
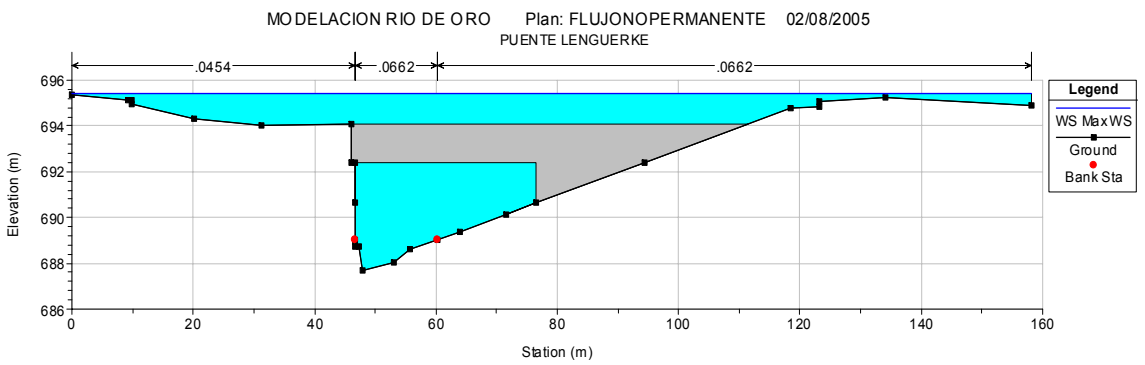
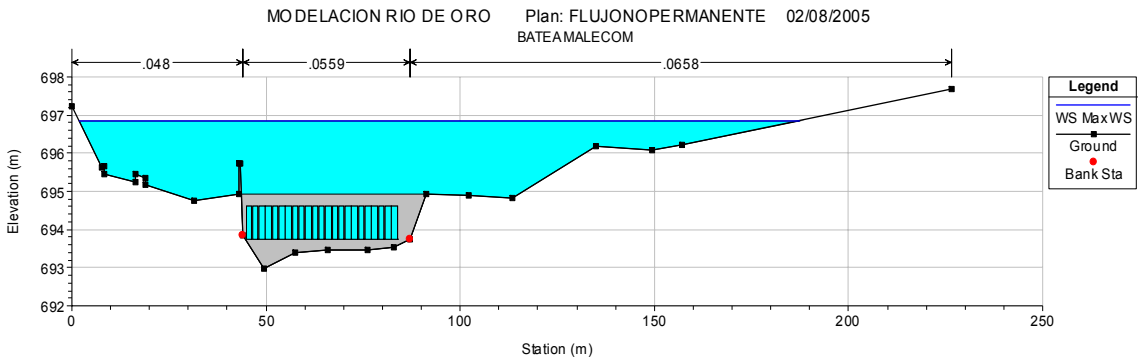
Se observa que existe un alto valor de discrepancia entre los niveles registrados y los simulados para el Puente Palenque, esto podría ser explicado por procesos de obstrucción en la sección del puente o por fallas en la valoración de los niveles registrados. Se cree que el paso de la tracto mula arrastrada por la creciente genero estos incrementos en los niveles.

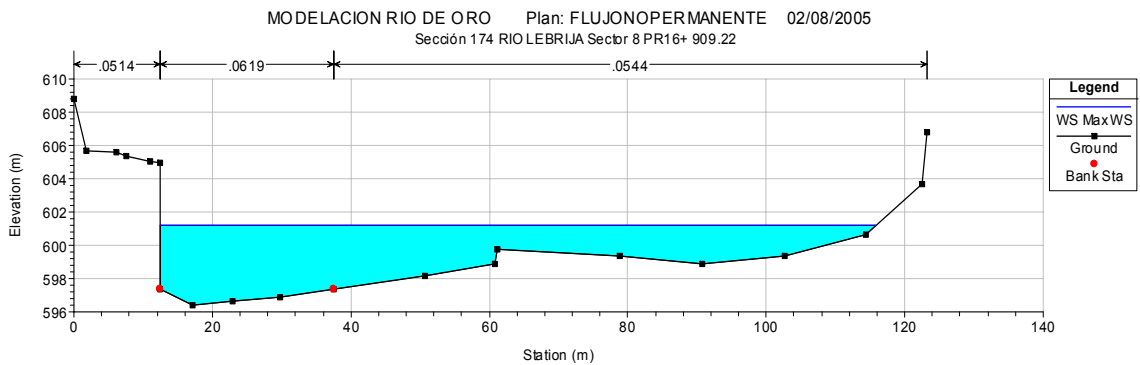
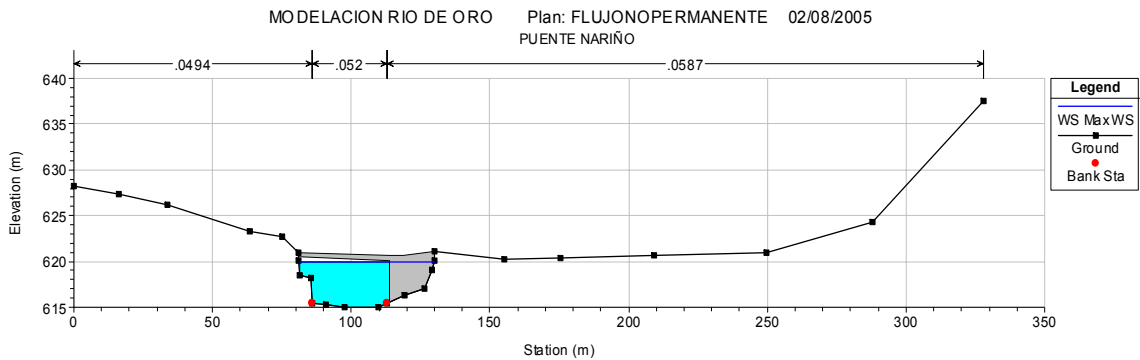
Además se observan algunas discrepancias en los niveles para otras secciones los cuales se deben posiblemente a errores en el registro de los niveles de inundación o a errores generados por el proceso de extrapolación de algunas secciones transversales en estos sectores.

**3.9.1 Niveles en Estructuras Hidráulicas.** En la Figura 23 se presenta los niveles alcanzados por el agua durante las simulaciones en las principales estructuras ubicadas en el río. En estas figuras se pueden observar la batea el Vado hondo, El malecón, los Puentes Lenguerke, Fonseca, Palenque y la sección ubicada en la estación Café Madrid.

Figura 23. Niveles Máximos Simulados en las Estructuras Hidráulicas y Estación Café Madrid.







En la figura correspondiente al Puente Lenguerke se puede observar que la cota superior del puente es rebasada por el agua, esto permite establecer que la geometría del puente es insuficiente para el paso de grandes avalanchas, o simplemente que el puente no fue diseñado con las especificaciones mínimas requeridas de galibo para el tránsito de eventos extremos.

**3.9.2 Velocidades a lo largo del Río de Oro.** Otro resultado de la simulación nos permite analizar como se distribuye la velocidad en el cauce del río y en cada una de las bancas. En las Figuras 24-a y la Figura 24-c, se puede observar la distribución de velocidades en la sección transversal donde se ubican las estructuras.

Figura 24 – a. Distribución velocidades sección transversal Puente Lenguerke

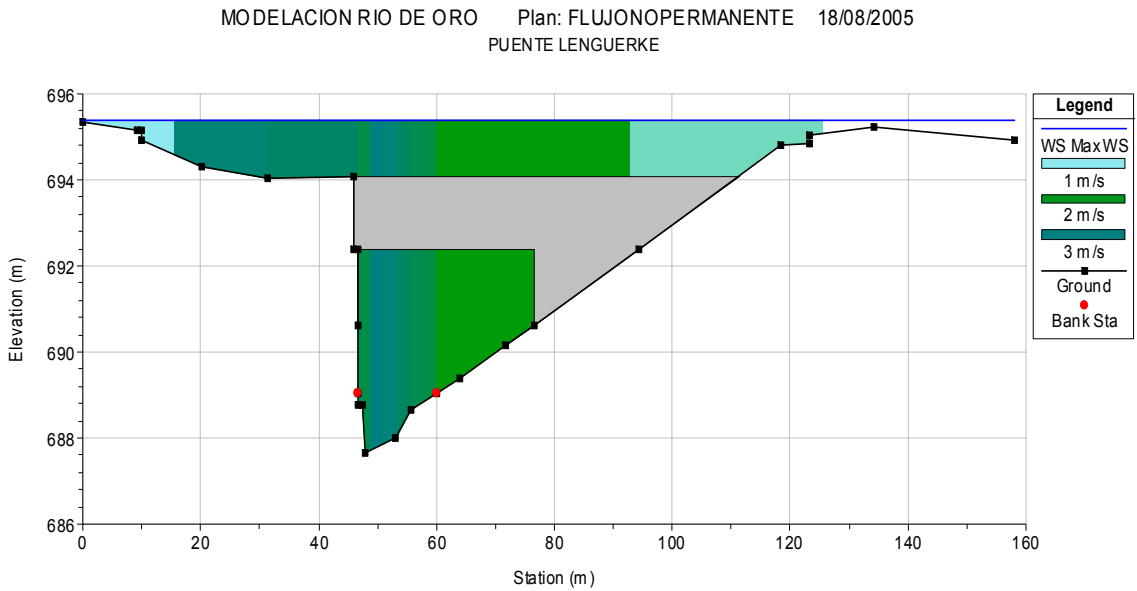


Figura 24 – b. Distribución velocidades sección transversal Puente Fonseca.

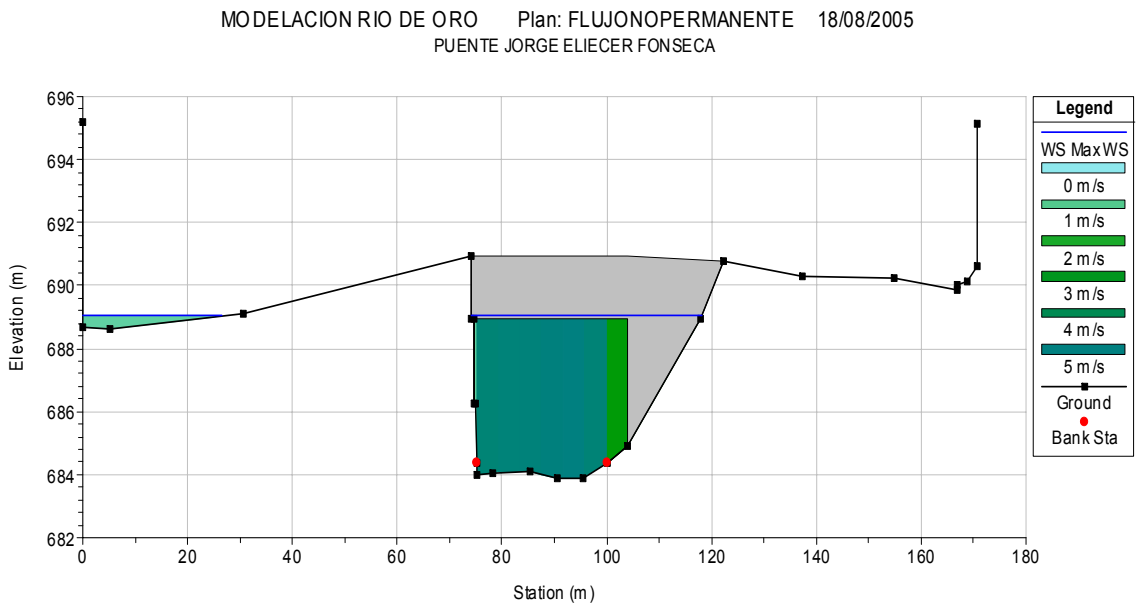
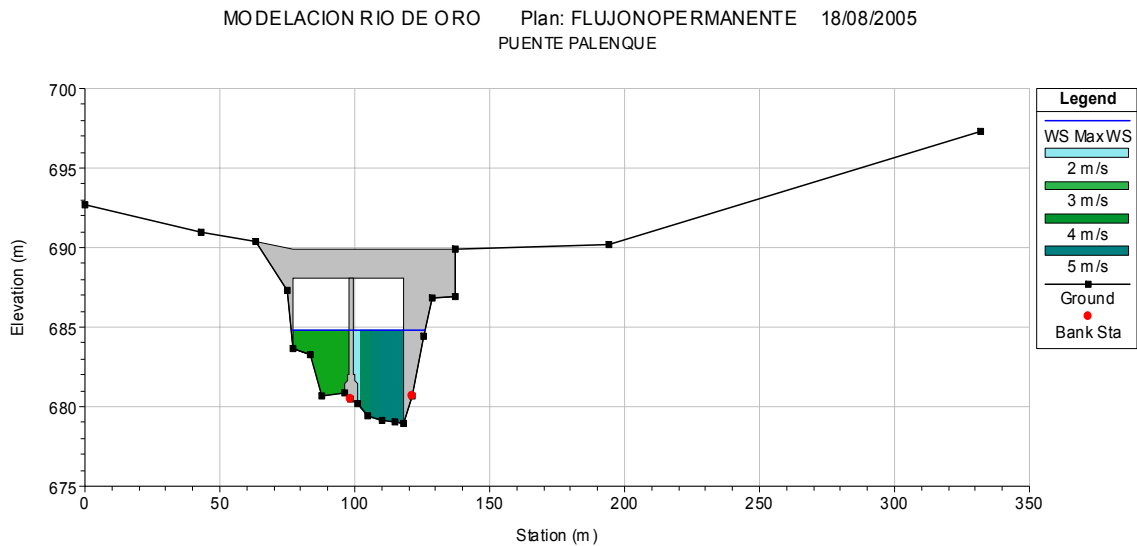


Figura 24 – c. Distribución velocidades sección transversal puente Palenque.



En la Figura 24 – a se puede ver que luego de los 15 metros se presenta un aumento significativo de la velocidad, hasta aproximadamente los 30 metros lo cual corresponde a zonas ubicadas fuera del cauce normal del río. En el cauce natural del río se observa una concentración de las máximas velocidades hacia el costado derecho, lo cual podría explicar los procesos erosivos en el estribo. La distribución de las velocidades en el Puente Fonseca (Figura 24 – b), no presenta variaciones abruptas.

En la Figura 24 -c se puede observar que la distribución de velocidades en el Puente Palenque presenta un aumento gradual en el costado derecho, y una disminución abrupta de la velocidad hacia el centro del puente, esta disminución se debe a la presencia de la pila la cual genera un cambio en las condiciones hidráulicas del puente.

El análisis de resultados en cuanto a las variaciones en el comportamiento hidráulico del río se centrará en el sector comprendido entre Arenales, aguas

arriba de Girón y unos 100 metros aguas abajo del Puente Palenque. En la Tabla 11 se muestran las velocidades máximas en algunas de estas secciones.

Tabla 11. Velocidades Máximas en algunos sectores del Río de Oro.

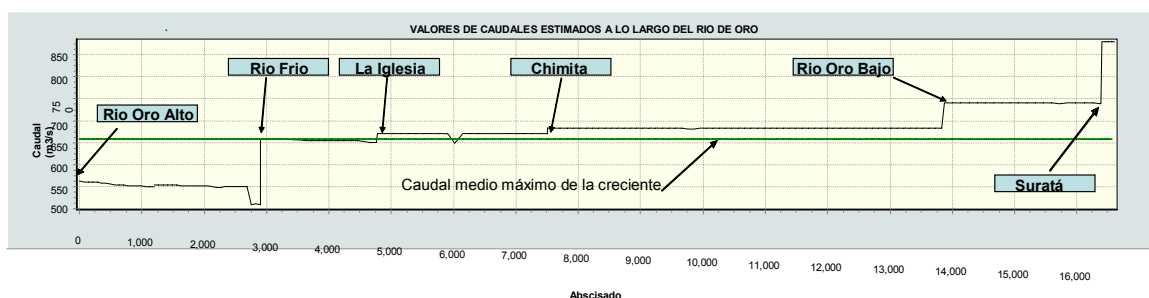
SECCION #	ABSCISA	VEL (m/s)
<b>SECTOR ARENALES</b>		
8	K0 + 695.50	4.12
9	K0 + 803.60	3.62
10	K0 + 974.00	4.04
11	K1 + 123.80	4.49
12	K1 + 337.60	3.32
<b>SECTOR GALLINERAL</b>		
13	K1 + 485.40	3.37
15	K1 + 633.20	3.09
17	K1 + 687.10	3.37
19	K1 + 761.40	4.13
21	K1 + 848.40	2.57
23	K2 + 030	6.22
25	K2 + 142.60	3.07
27	K2 + 235.40	2.14
28	K2 + 268.40	2.43
30	K2 + 330.80	2.39
<b>SECTOR MALECON</b>		
31	K2 + 428.70	3.22
32	K2 + 466.20	3.55
33	K2 + 525.00	2.37
33-B	K2 + 530.00	4.03
34	K2 + 628.80	3.76
<b>SECTOR POBLADO</b>		
45	K3 + 053.20	3.16
46	K3 + 128.80	3.27
47	K3 + 232.00	3.44
48	K3 + 297.20	2.63
49	K3 + 373.90	2.92
50	K3 + 483.30	4.48
51	K3 + 596.90	2.97
52	K3 + 700.00	3.56

Se puede notar que los valores máximos de velocidad alcanzados por el río para las secciones ubicadas en el sector del poblado corresponden los valores más bajos, esto se puede explicar como una consecuencia del aumento de la sección que el río utilizó para el paso de la creciente, ya que en este sector se presentó la inundación de una gran zona.

Estas velocidades nos permitirán realizar comparaciones a fin de determinar la influencia de las modificaciones estructurales que se realizarán sobre el río para disminuir el riesgo de inundación de los asentamientos humanos ubicados en las riberas de este.

**3.9.3. Caudales estimados en el Río de Oro.** Con base en los resultados mencionados anteriormente, se elaboró la Figura 25 donde se muestran los valores de caudales máximos alcanzados para todas las secciones del río. En esta figura se pueden observar los procesos de amortiguación de la onda así como los procesos de inundación presentados. Se observa que en los primeros 3 kilómetros los niveles decrecen lo cual tiene explicación en los procesos de inundación que se presentaron para sobre los barrios de Santa Cruz y el Poblado, en el Municipio de Girón.

Figura 25. Caudales Máximos Simulados a lo largo del Río de Oro.



Como resultados concretos del modelo se estimó el caudal medio máximo entre el 8 y el 12 de febrero en  $676 \text{ m}^3/\text{s}$  y un máximo de  $879 \text{ m}^3/\text{s}$  en la estación de

Café Madrid. De acuerdo a los estudios realizados con anterioridad es posible que se presenten eventos extremos superiores al de este estudio.

#### **4. ANALISIS RESULTADOS MODIFICACIONES ESTRUCTURALES REALIZADAS EN EL RIO DE ORO**

El modelo hidráulico de río elaborado de acuerdo a los parámetros estipulados en el capítulo 3, se realizó con la geometría que tenía el río en días inmediatamente siguientes a la ocurrencia del evento de creciente del 12 de febrero. Como una medida para evitar la ocurrencia de nuevas inundaciones 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. La información sobre las modificaciones realizadas a cada una de las secciones se obtuvo de la CDMB y fue utilizada para modificar el modelo.

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.

En el presente capítulo se muestra en detalle las modificaciones realizadas al modelo de acuerdo a la ubicación de los muros sobre las riberas del río. Estas modificaciones se realizan a fin de establecer cuál es la influencia de estas estructuras en el río y además determinar cuáles hubiesen sido los niveles obtenidos si para el evento del 12 de febrero el río contara con las modificaciones que se le han realizado.

Las obras planteadas por la corporación se desarrollan a lo largo de todo el río, pero para efectos del presente análisis se tomarán únicamente los muros ubicados en el sector del río que pasa por Girón. De las obras programadas por la corporación se tomaron las siguientes a fin de realizar la simulación de su efecto sobre el río:

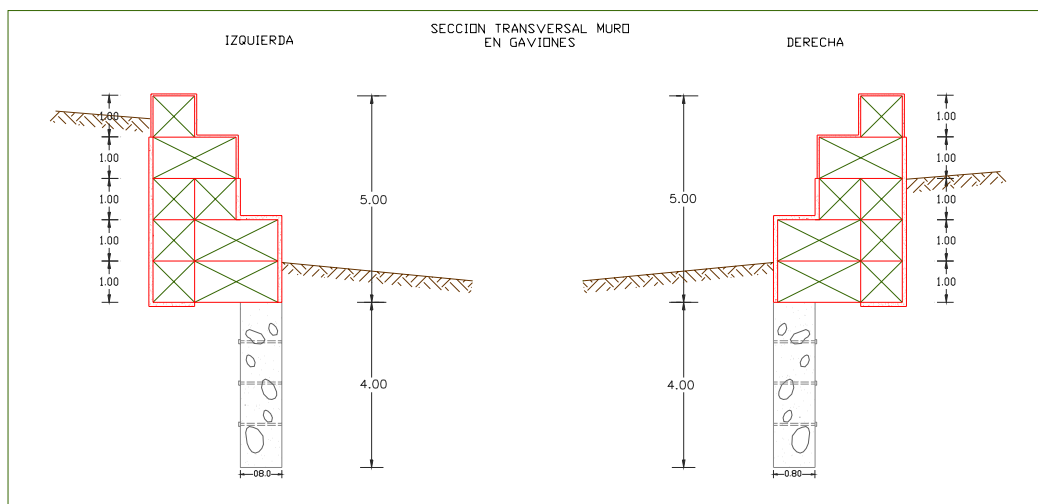
- Muros sector Arenales
- Muros sector Parque El Gallineral
- Muros sector El Malecón de Girón
- Batea Sector Malecón de Girón
- Muros sector El poblado.

#### 4.1 SECCIÓN TÍPICA DE MUROS

Los muros diseñados para construirse son elaborados en gaviones con diferentes alturas pero con una misma geometría básica. En la Figura 26 se muestra la sección transversal típica del muro. Los muros presentan un ancho máximo de tres metros en su parte baja y de uno en la corona, y se encuentran anclados al terreno mediante un muro en concreto ciclópeo de aproximadamente 4 metros.

Longitudinalmente los muros se desarrollan tratando de seguir los alineamientos del río.

Figura 26. Sección transversal típica de Muro.



Fuente CDMB.

## **4.2 MUROS SECTOR ARENALES**

Este muro se ubica en el costado derecho y tiene una longitud de aproximadamente 350 mts. Para su inclusión en el modelo fue necesaria la modificación de 3 secciones como se muestra en el Anexo H de la ubicación en planta. La corona de este muro en el sector mas alto se encuentra en la cota 705.4 y en la parte mas baja en la cota 704 lo que permite que actúe como una barrera que evita la inundación de este sector.

## **4.3 MUROS SECTOR PARQUE EL GALLINERAL**

Este sector es objeto de una amplia modificación, como primera medida se construye un muro de 660 metros de largo en el costado derecho. El muro propuesto tiene su corona en la cota 701.35 y luego desciende siguiendo el curso del río para terminar con la corona en la cota 698.

Adicionalmente en el sector se realizara una ampliación del cauce hacia el costado derecho, estableciendo un área de recuperación que tiene un ancho medio de 16 metros. Esta recuperación del río se realiza mediante el retiro del material que se encuentra en el sector. La ubicación en planta de estos muros así como el área de recuperación que se diseño se presentan en el Anexo H. Estas modificaciones se realizan sobre aproximadamente 670 metros del río.

## **4.4 MUROS SECTOR MALECÓN**

En este sector se ubican dos muros; el muro ubicado en la orilla izquierda consta de dos sectores que prolongan un muro existente. El muro existente fue recalzado elevando su cota máxima en 0.7 metros. El muro completo tiene una longitud aproximada de 300 metros y tiene su corona ubicada en la cota 698.9. Este muro fue incluido en el modelo mediante la modificación de 4 secciones. En

el Anexo H se muestra la ubicación en planta de estos muros. El muro ubicado en la margen derecha tiene una longitud aproximada de 70 metros y tiene su corona en la cota 697.5.

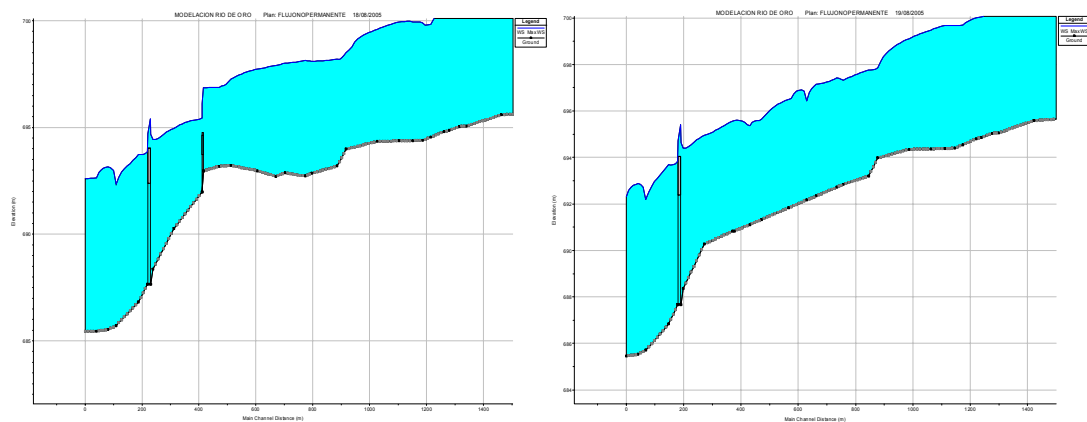
Estos dos muros pretenden proteger la zona del malecón de posibles inundaciones actuando como diques al paso de las grandes avenidas. Con la colocación de estos dos muros y el retiro de la batea se modificaron aproximadamente 400 metros del cauce del río, lo cual también fue realizado en el modelo.

#### **4.5 BATEA SECTOR MALECÓN DE GIRÓN**

La batea ubicada en el sector del malecón de Girón ha generado un proceso de acumulación de sedimentos aguas arriba por lo que fue retirada y se profundizó el cauce del río en un tramo de aproximadamente unos 400 metros aguas arriba de esta.

El cauce del río en este sector fue profundizado entre 1.14 y 2.14 metros. Adicionalmente a estas modificaciones se colocaron los muros laterales descritos en la sección 4.4. En la Figura 27 se muestra un perfil del río en el sector de la batea antes y después de realizar las modificaciones. Es importante destacar que el sector modificado corresponde a la sección de la batea y unos 400 metros aguas arriba de esta.

Figura 27. Sección longitudinal sector Malecón antes y después de retirada la batea



#### 4.6 MUROS SECTOR EL POBLADO

El sector del poblado uno de los que resulto más afectado con las inundaciones del 12 de febrero se plantea proteger mediante la construcción de dos muros.

El primer muro se ubica al lado derecho aguas abajo de la confluencia del río Frío; tiene una longitud aproximada de 310 metros y tiene su cota más alta en 693.2 m.s.n.m y la más baja en 692.7 m.s.n.m.

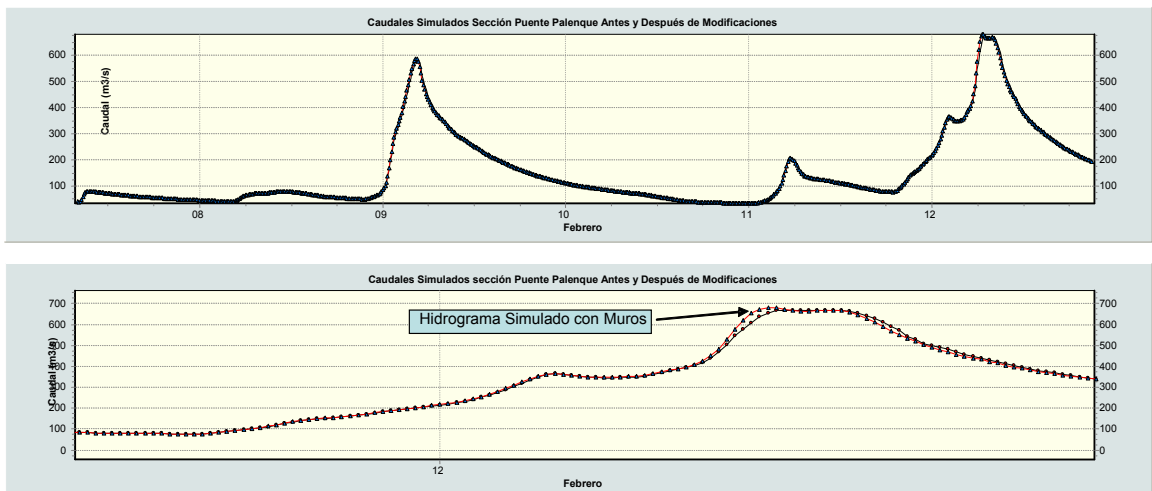
En el costado izquierdo se ubica otro muro que tiene una longitud de 600 metros y se traslapa con el muro ubicado en el costado derecho formando un canal para el cauce del río.

En el Anexo H se presenta la ubicación en planta de estos muros. Es importante tener en cuenta que los muros se ubican siguiendo el cauce del río por lo que longitudinalmente estos muros presentan curvas.

## 4.7 RESULTADOS SIMULACIÓN

**4.7.1 Comparación caudales máximos registrados.** A fin de comparar el efecto que produce la colocación de estos muros se compara el hidrograma para un punto en particular. Se seleccionó como punto de control la sección ubicada en el puente Palenque. En la Figura 28 se puede observar el hidrograma que pasa por esta sección junto con el hidrograma simulado antes de realizar las modificaciones al modelo y un detalle de la parte que corresponde al periodo del máximo caudal.

Figura 28. Comparación de Hidrogramas en el Puente Palenque con modificaciones por muros.



En el detalle de la figura podemos observar que el pico del hidrograma se incrementa luego de la colocación de los muros. Este incremento es de  $13 \text{ m}^3/\text{s}$  lo que corresponde aproximadamente al 2% del caudal pico que pasa por esta sección. Además se puede observar que la ocurrencia del pico se acelera.

**4.7.2 Análisis variación de niveles.** Debido a la colocación de los muros se produce una elevación de los niveles en la mayoría de las secciones. A fin de determinar si los muros poseen la suficiente altura para contener la creciente se

realizó un análisis para determinar si se cumple con un borde libre mínimo; el análisis se realizó mediante la aplicación de la ecuación 7.

$$BL = 2 + 0.025 * V * \sqrt[3]{Z} \quad \text{[Ecuación 7]}$$

Donde:

$BL$  = Borde Libre expresado en pies.

$V$  = Velocidad media en el canal expresada en pies/s.

$Z$  = Profundidad en el cauce.

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)

En la Tabla 12 se observan los niveles simulados junto con el análisis de borde libre mínimo. Es importante notar que existen algunos tramos donde el borde libre no se cumple.

Tabla 12. Niveles máximos simulados y borde libre para algunas secciones del Río de Oro.

Sección #	Nivel Max Agua (m)	COTA MURO	Borde Libre (m)	Borde libre mínimo (m)	Verificación
<b>SECTOR ARENALES</b>					
9	704.31	705.20	0.89	0.85	OK
10	703.21	705.05	1.84	0.89	OK
11	702.38	703.90	1.52	0.86	OK
<b>SECTOR PARQUE GALLINERAL</b>					
14	700.16	701.25	1.09	0.78	OK
15	700.15	701.35	1.20	0.77	OK
16	700.06	701.35	1.29	0.77	OK
17	700.01	701.15	1.14	0.77	OK
18	699.69	701.15	1.46	0.83	OK
19	699.67	700.20	0.53	0.80	No cumple
20	699.68	700.60	0.92	0.76	OK
21	699.48	700.60	1.12	0.79	OK
22	699.11	700.10	0.99	0.81	OK
23	697.85	699.80	1.95	0.92	OK
24	697.76	700.40	2.64	0.86	OK
25	697.33	699.90	2.57	0.84	OK
26	697.42	698.35	0.93	0.79	OK
27	697.14	698.55	1.41	0.79	OK
28	696.43	698.50	2.07	0.90	OK
<b>SECTOR EL MALECON DE GIRON</b>					
30	696.5	698.90	2.40	0.82	OK
32	695.36	697.50	2.14	0.84	OK
33 A	695.58	697.50	1.92	0.75	OK
<b>SECTOR EL POBLADO</b>					
45	692.32	693.20	0.88	0.82	OK
46	692.36	693.20	0.84	0.73	OK
47	692.08	692.40	0.32	0.78	No cumple
48	691.73	692.21	0.48	0.80	No cumple
49	691.59	692.40	0.81	0.78	OK
50	690.77	692.00	1.23	0.90	OK
51	690.42	692.20	1.78	0.81	OK
52	689.58	690.50	0.92	0.89	OK

En el sector del Poblado para algunas secciones los niveles simulados se encuentran a menos de 50 centímetros de la corona del muro. A partir de esto se

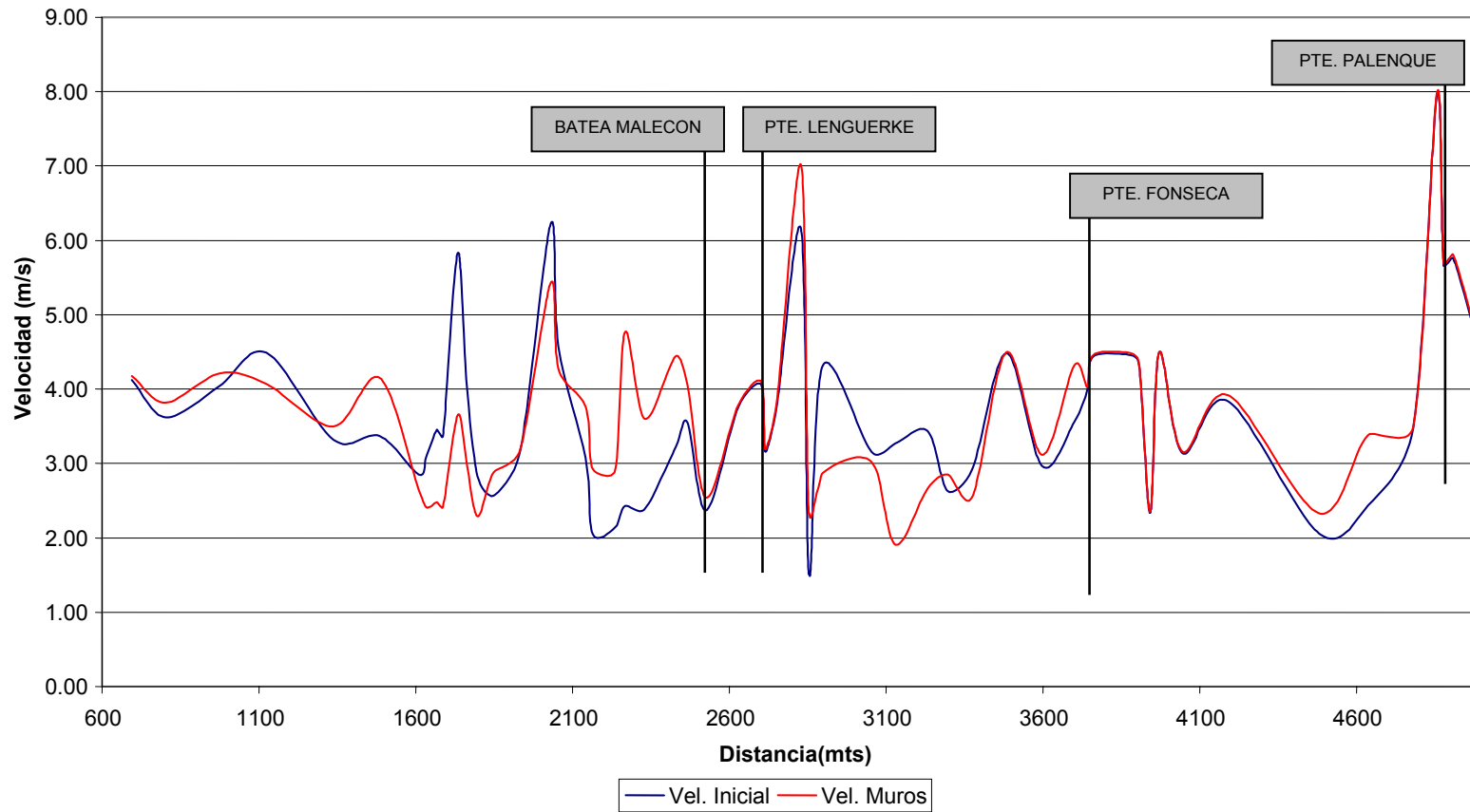
puede establecer que si el hidrograma se incrementa, como muy posiblemente lo haga, se producirán nuevamente procesos de inundación debido a que el agua supera los niveles de los muros o a que estos fallan.

**4.7.3 Análisis variación de Velocidades.** En la Figura 29 se puede ver un perfil de las velocidades máximas para el río entre el sector de arenales y unos 100 metros aguas abajo del Puente Palenque. En esta figura es importante analizar los sectores donde se presenta aumentos y disminuciones de la velocidad ya que estos pueden indicar donde se pueden presentar cambios en el cauce del río luego de las modificaciones realizadas.

La velocidad en los sectores correspondientes a los muros e inmediatamente después de estos resulta afectada debido a que estos producen un efecto de canalización en el río que modifica el régimen de velocidades en el mismo. En la Figura 30–a se puede observar que la velocidad máxima en el sector la cual corresponde aproximadamente a la abscisa 1100 disminuyó luego de la colocación de los muros, esto se puede explicar ya que en el sector luego de las modificaciones, la sección que el río utiliza en el caso de grandes avenidas aumentó aproximadamente en un 15%, mientras que en los otros tramos disminuyó entre un 2% y un 20%.

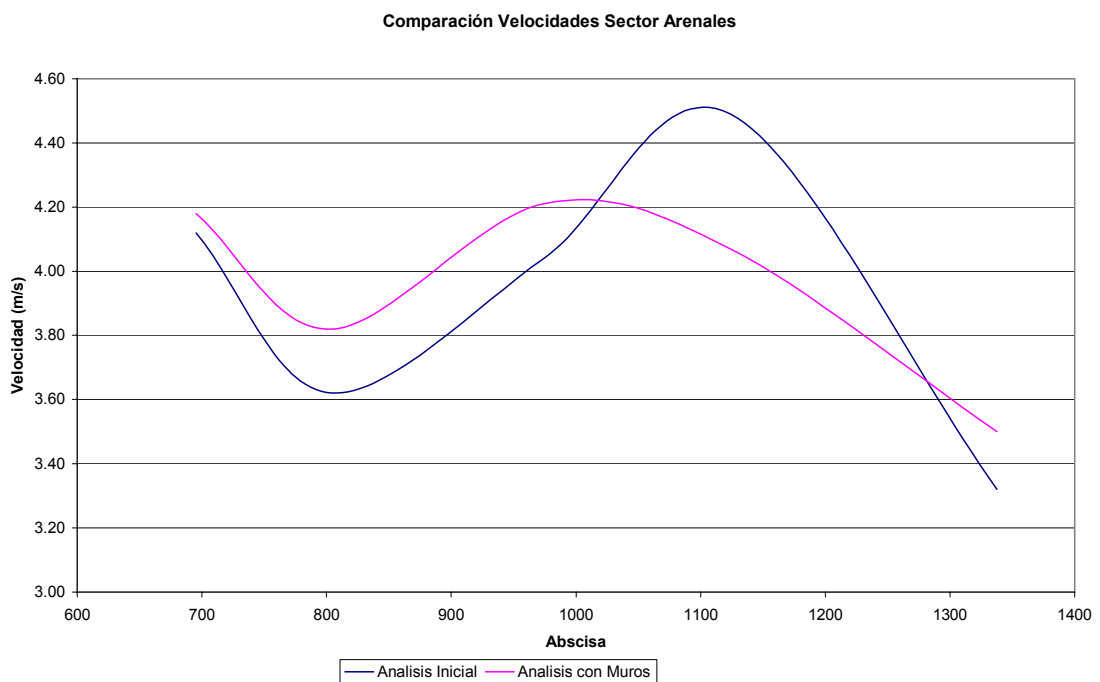
Figura 29. Comparación de perfiles de velocidades máximas simuladas Sector Arenales a Puente Palenque.

### Perfil de Velocidades Máximas Simuladas Sector Arenales a Puente Palenque



Cabe notar que aunque con la colocación de los muros se logro el beneficio de la disminución de la velocidad máxima, también se presenta el inconveniente del incremento de la misma, el cual en algunos sectores alcanza el 10%.

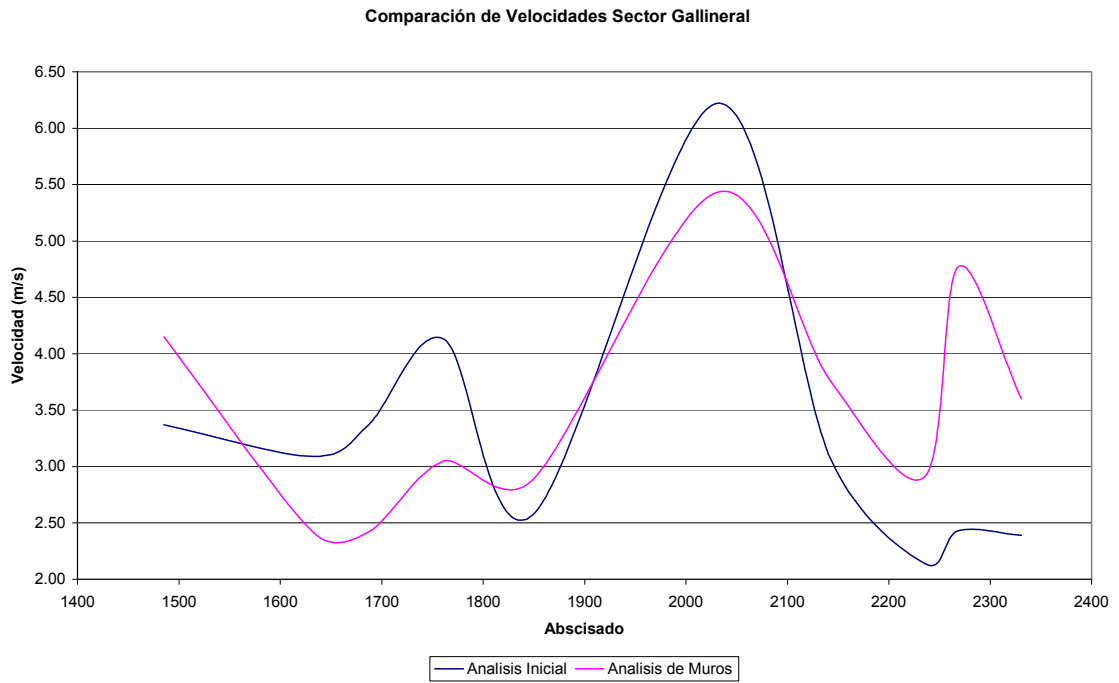
Figura 30.- a. Comparación del perfil longitudinal velocidades sector Arenales antes y después de colocar muros.



En el sector del parque el Gallineral, se ubica un muro de aproximadamente 600 metros de largo; con la colocación de este muro y la implementación de un área de recuperación se genera una disminución de las velocidades entre las abscisas 1630 a 1760 (Ver Figura 30-b) y en el tramo de velocidad máxima en el sector.

Esta disminución contrasta con el aumento de velocidades que se presenta a partir de la abscisa 2100 donde aumenta entre un 12% y un 96%. Este aumento podría llegar a generar procesos de socavación que profundicen el cauce del río.

Figura 30 - b. Comparación del perfil longitudinal velocidades sector Gallineral antes y después de colocar muros



En la batea en el sector del malecón se presenta un cambio abrupto de la velocidad esto se debe a la presencia de la estructura la cual actúa como un obstáculo al paso de la creciente y acelera las velocidades a la salida de esta (ver Figura 30-c). Con el retiro de la batea, la profundización del cauce y la colocación de los muros, se logra que el cambio de velocidades no sea tan drástico, pero sin embargo se presenta un aumento gradual de las velocidades que puede generar otro tipo de inconvenientes aguas abajo.

Figura 30 - c. Comparación del perfil longitudinal velocidades sector Malecón antes y después de colocar muros.

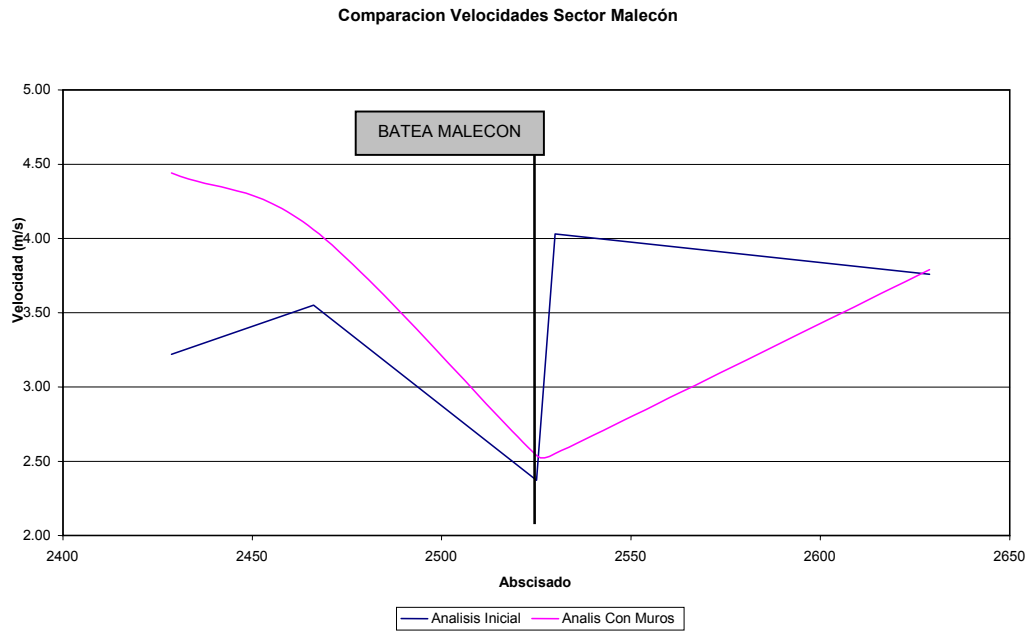
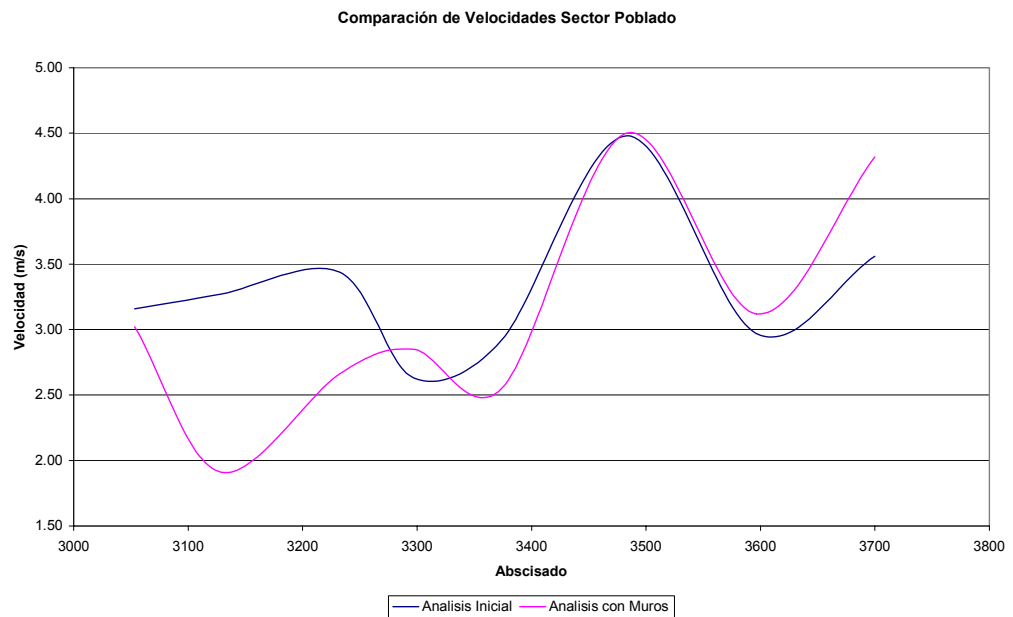


Figura 30 - d. Comparación del perfil longitudinal velocidades sector Poblado antes y después de colocar muros.



Los cambios en el régimen de velocidades por la colocación del muro en el sector del Poblado no es muy notoria (Ver Figura 30 - d), sin embargo se puede ver que entre las abscisas 3050 a 3250 se presenta una disminución de la velocidad la cual se puede atribuir al aumento del área transversal por la cual pasaría el río en caso de eventos extremos.

## **5. ANÁLISIS RESULTADOS MODIFICACIONES ESTRUCTURALES PROPUESTAS EN EL RIO DE ORO**

Las estructuras hidráulicas en un río producen variaciones en el régimen de flujo en el cauce, en algunas ocasiones pueden generar remanso que redundan en elevación de los niveles aguas arriba y en otras ocasiones aumento de las velocidades que genera socavación del cauce en secciones aguas abajo del mismo.

Sobre el cauce del Río de Oro en el sector comprendido entre Arenales y el Puente Palenque se encuentran ubicadas 3 estructuras que se cree están interfiriendo en el régimen de flujo en el canal. Estas estructuras corresponden al Puente GEO VON Lengerke, el Puente Jorge Eliécer Fonseca y el Puente Palenque.

Durante el evento de creciente del 12 de febrero, la sección del Puente Lengerke no fue suficiente para el paso de la corriente generando un represamiento en el sector, los otros dos puentes aunque no fueron rebasados por los niveles del agua si generan obstrucción al paso de la creciente.

Teniendo en cuenta estos aspectos en el presente capítulo se plantean algunas modificaciones a estos puentes que pueden ayudar a mejorar las condiciones hidráulicas de los mismos. Entre las modificaciones planteadas se establece el aumento de la distancia entre estribos y el aumento del gálibo para el Puente Lengerke, la modificación del fondo del río para el Puente Fonseca y el retiro de la pila central en el caso del Puente Palenque.

Estas modificaciones se realizaron sobre las secciones correspondientes en el modelo de río y se simuló el tránsito de la creciente utilizando los mismos datos de

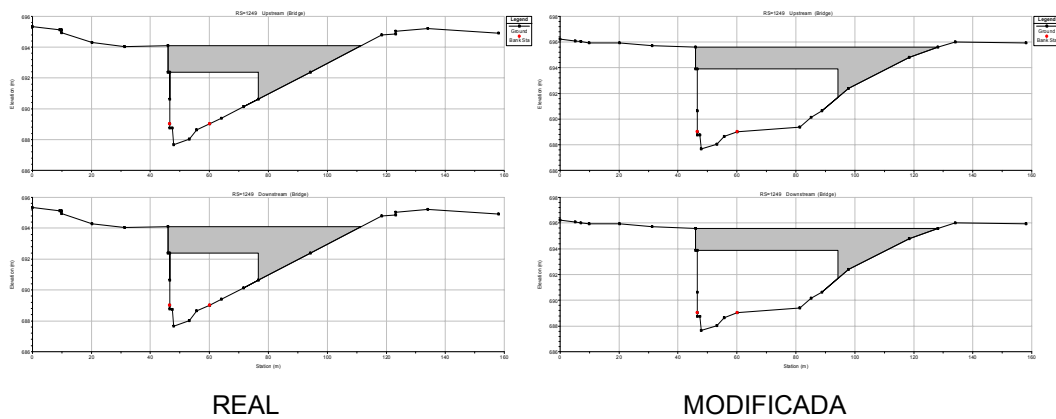
entrada que en el modelo inicial, es decir suponiendo los mismos hidrogramas de entrada para cada uno de los tributarios y con los mismos parámetros de simulación. Los resultados obtenidos se discuten en secciones siguientes.

Además, teniendo en cuenta las condiciones antrópicas que influyen en el Río de Oro, se plantea la posibilidad de que el hidrograma se incremente, analizando los efectos sobre las estructuras ejecutadas por la CDMB.

### 5.1 MODIFICACIONES PUENTE GEO VON LENGUERKE

En la Figura 31 se muestra el esquema de este puente en el modelo hidráulico de río aplicado para la simulación; se puede observar que este puente no presenta pilas centrales, sin embargo genera bastante inconvenientes debido a su escaso galibo el cual es de aproximadamente 3.40 metros, y a la poca distancia entre estribos la cual es de 30 metros aproximadamente.

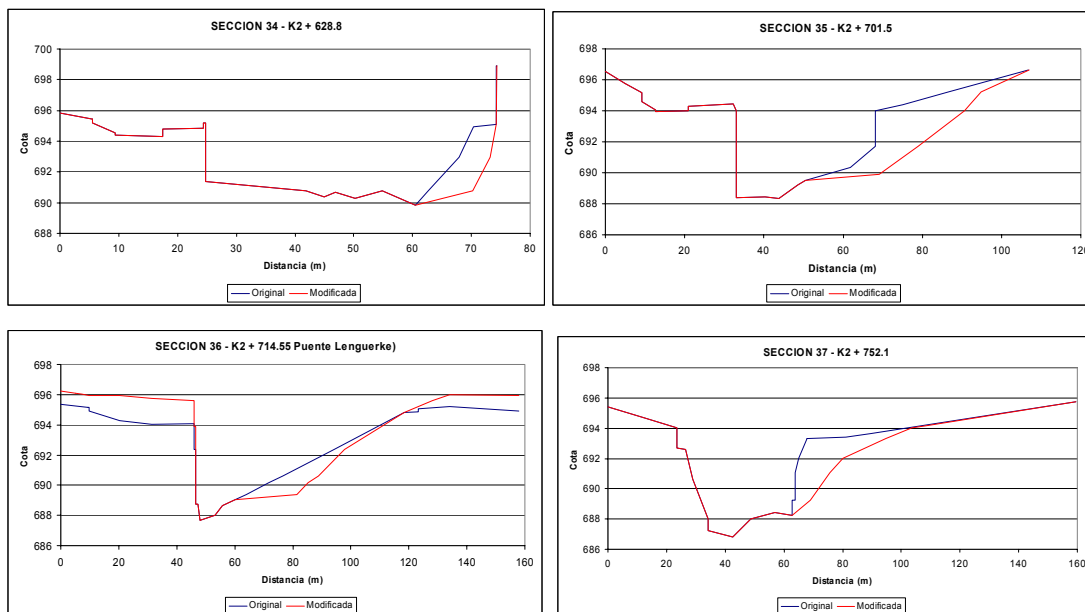
Figura 31. Geometría Puente GEO VON Lenguerke real y después de realizadas modificaciones.



A fin de disminuir la obstrucción que produce este puente durante el paso de grandes avenidas se plantea la ampliación del puente a uno de una luz de 50 metros y un aumento en el galibo de 1.5 metros. A fin de incorporar la nueva geometría del puente al río se realizaron modificaciones sobre las secciones ubicadas inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del puente. Las

modificaciones realizadas se muestran en la Figura 32. Podemos observar que las secciones fueron ampliadas hacia el costado izquierdo a fin de mantener la geometría en el costado derecho ya que allí se encuentra construido un muro.

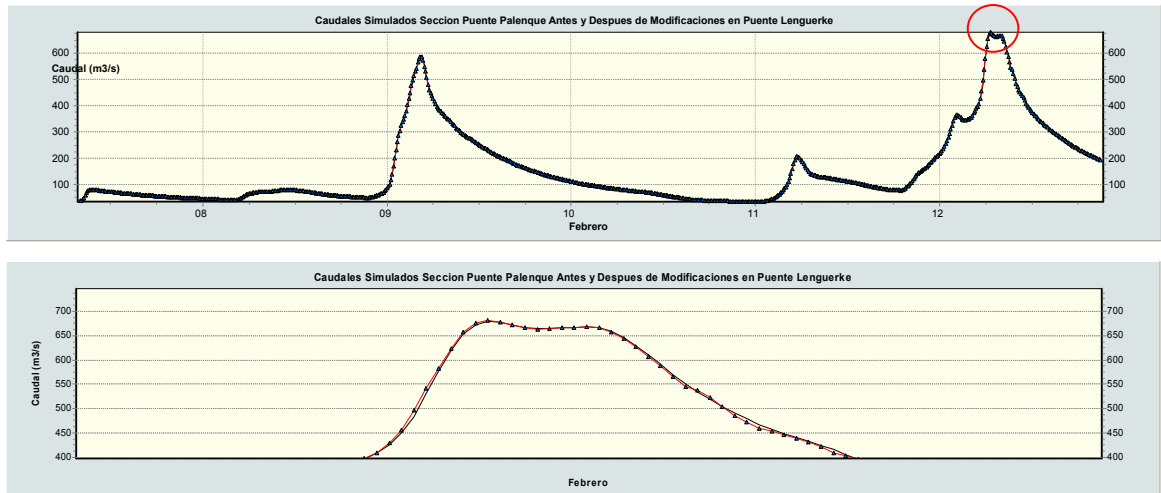
Figura 32. Secciones modificadas aguas arriba y aguas abajo del puente Lenguerke.



Las condiciones hidráulicas de entrada al modelo no se modificaron, se realizó la simulación con esta geometría y los resultados obtenidos se presentan a continuación. Es importante tener en cuenta que las modificaciones estructurales planteadas en el capítulo 4, también se incluyen en este modelo ya que de ocurrir un nuevo evento extremo el río va a contar con esa geometría.

**5.1.1 Comparación caudales máximos simulados.** La comparación de los caudales máximos registrados se realizó en la sección ubicada en el puente Palenque. En la Figura 33 se puede observar el hidrograma que pasa por esta sección antes y después de las modificaciones.

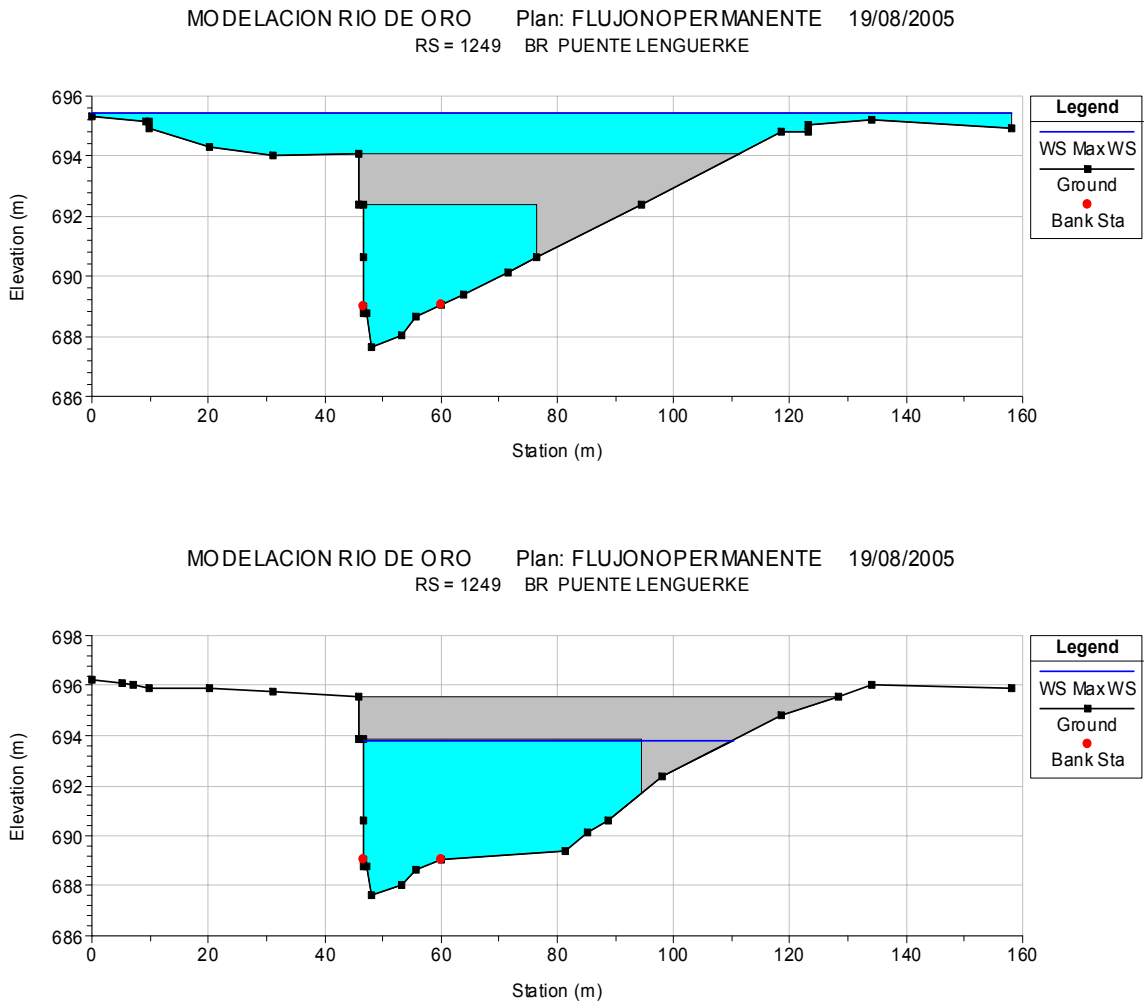
Figura 33. Comparación Hidrogramas sección Puente Palenque con Modificaciones en el Puente Lenguerke.



Las variaciones de los caudales máximos producto de las modificaciones realizadas al Puente Lenguerke corresponden a un incremento de aproximadamente  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  del caudal pico lo cual corresponde a un porcentaje inferior al 1%.

Un resultado importante de las modificaciones realizadas al Puente Lenguerke se puede ver en la Figura 34. Se puede establecer que con las modificaciones realizadas el nivel del agua no sobrepasa la cota del puente, de esta manera se estarían disminuyendo los problemas de inundación, pero aun así se puede notar que el problema del gálibo persiste, ya que este seguiría siendo insuficiente, lo cual genera que durante el paso de grandes avenidas la viga vuelva a ser golpeada lo que podría causar el colapso del puente.

Figura 34. Nivel máximo del agua antes y después de modificaciones del Puente Lenguerke



El nivel máximo simulado luego de las modificaciones se encuentra demasiado cerca de la cota inferior de la viga del puente por lo que se considera que es necesario realizar modificaciones de otro tipo como un mayor dragado del cauce del río a fin de dar un margen de seguridad a los niveles simulados.

**5.1.2 Niveles simulados.** Los niveles obtenidos luego de la simulación de las modificaciones en el Puente Lenguerke se pueden observar en la Tabla 13. En esta tabla se puede ver que se presenta un descenso considerable de los niveles para las secciones ubicadas aguas arriba de esta estructura.

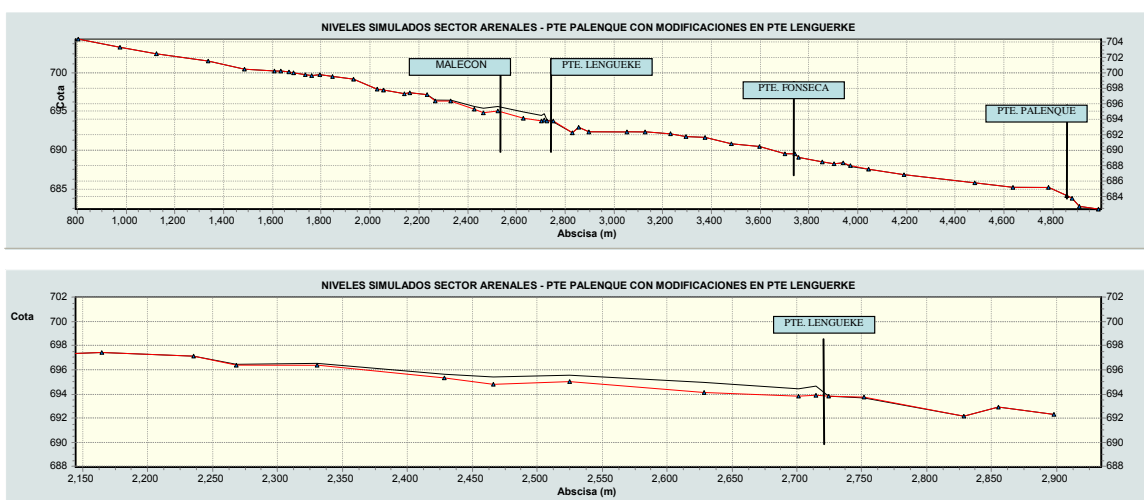
Tabla 13. Comparación de Niveles simulados antes y después de las modificaciones en el Puente Lenguerke

SECCION	NIVELES SIMULADOS (m)			Variacion por modificaciones
	Sin Muros	Con muros	Lenguerke	
Batea Bahondo	707.09	707.10	707.10	0.00
Batea Malecon	696.85	695.58	695.00	<b>-0.58</b>
Punte Lenguerke	695.40	695.41	693.83	<b>-1.58</b>
Puente Fonseca	689.05	689.05	689.06	0.01
Puente Palenque	684.82	684.86	684.86	0.00
<b>LAS MARIAS Y ARENALES</b>				
SECCION 9	704.53	704.31	704.31	0.00
SECCION 10	703.63	703.21	703.21	0.00
SECCION 11	702.62	702.38	702.38	0.00
<b>SANTA CRUZ Y BARRIOS ALEDAÑOS</b>				
SECCION 23	698.49	697.85	697.84	-0.01
SECCION 24	698.19	697.76	697.75	-0.01
SECCION 25	698.09	697.33	697.31	-0.02
SECCION 26	698.14	697.42	697.40	-0.02
SECCION 27	698.00	697.14	697.11	<b>-0.03</b>
SECCION 28	697.91	696.43	696.37	<b>-0.06</b>
SECCION 30	697.74	696.50	696.39	<b>-0.11</b>
<b>MALECON</b>				
SECCION 31	697.27	695.65	695.33	<b>-0.32</b>
SECCION 32	696.87	695.36	694.83	<b>-0.53</b>
SECCION 33	696.85	695.58	695.00	<b>-0.58</b>
SECCION 34	694.96	694.95	694.14	<b>-0.81</b>
SECCION 35	694.44	694.41	693.80	<b>-0.61</b>
SECCION 36 A	694.67	694.65	693.86	<b>-0.79</b>
SECCION 36 B	693.86	693.83	693.79	-0.04
SECCION 37	693.72	693.68	693.77	0.09
SECCION 40	692.64	692.32	692.32	0.00
<b>RINCON DE GIRON</b>				
SECCION 45	692.51	692.32	692.32	0.00
SECCION 46	692.33	692.36	692.36	0.00
SECCION 47	691.73	692.08	692.09	0.01
SECCION 48	691.48	691.73	691.73	0.00
SECCION 49	691.22	691.59	691.59	0.00
SECCION 50	690.69	690.77	690.78	0.01
SECCION 51	690.22	690.42	690.43	0.01
SECCION 52	689.75	689.58	689.58	0.00
<b>EL POBLADO Y EL CARMEN</b>				

SECCION 53	689.46	689.48	689.48	0.00
SECCION 54	689.08	689.09	689.10	0.01
SECCION 54-B	688.28	688.29	688.29	0.00
SECCION 54-C	688.31	688.32	688.32	0.00
SECCION 55	687.94	687.95	687.96	0.01
SECCION 56	687.57	687.59	687.59	0.00
SECCION 58	685.97	685.74	685.74	0.00
<b>PALENQUE</b>				
SECCION 59	685.68	685.19	685.19	0.00
SECCION 60	685.15	685.19	685.19	0.00

En la tabla se puede notar que se presenta una disminución considerable de los niveles para las secciones donde se ubicaba la batea el Malecón y para el Puente Lenguerke en el cual el descenso es de 1.58 metros en el nivel máximo del agua. Además, si comparamos los resultados obtenidos con los de antes y después de las modificaciones por muros se puede establecer que una modificación en este puente genera mayores descensos en los niveles.

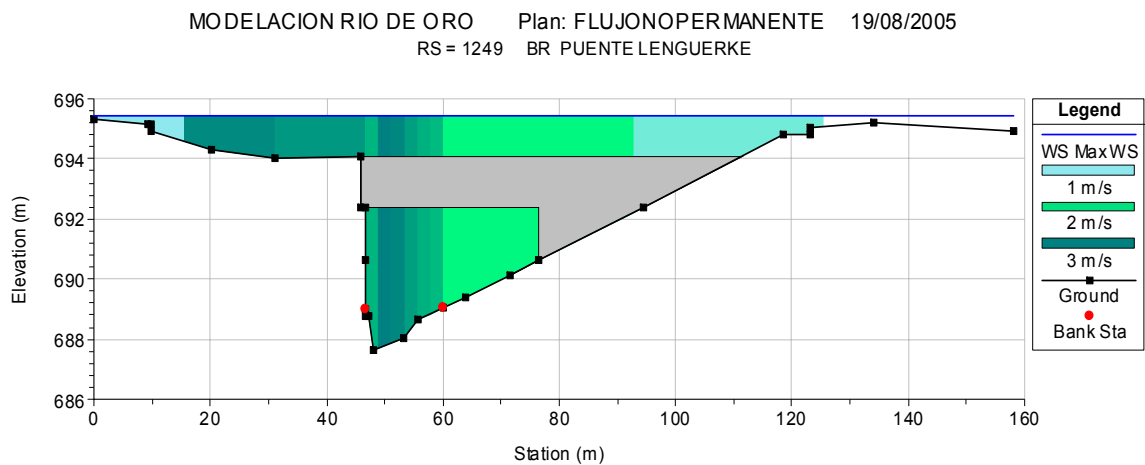
Figura 35. Comparación niveles máximos estimados simulados antes y después de modificaciones en el Puente Lenguerke

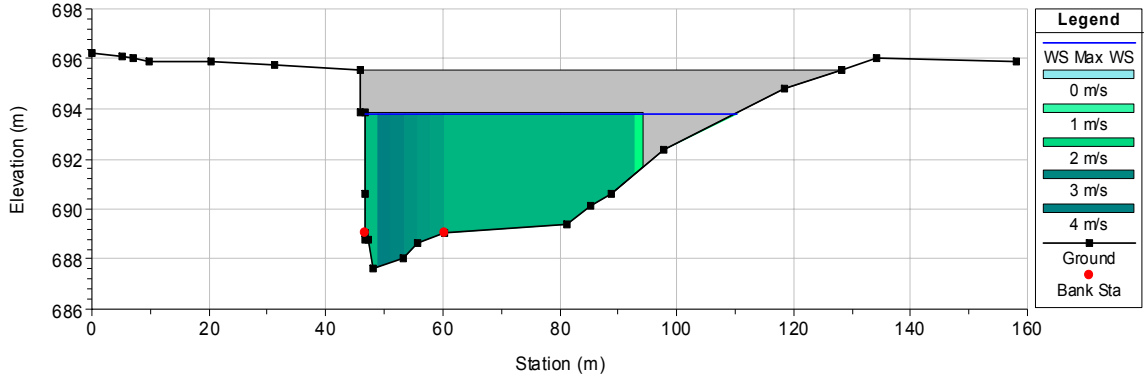


En la Figura 35 se puede notar que los niveles varían hasta una longitud aproximada de 600 metros aguas arriba del puente iniciando con descenso de 0.8 metros en el nivel del agua. Esto puede indicar que si se aumenta el gálibo de este puente, se disminuye el efecto de remanso que se produce durante el paso de grandes avenidas, con lo que se generarían menos problemas de inundación en los asentamientos humanos ubicados en la ribera inmediatamente aguas arriba del puente.

**5.1.3 Variaciones en velocidades.** Con el aumento de la sección transversal del puente Lenguerke se genera un aumento en las velocidades el cual no supera el 15% (Ver Figura 36). Es necesario realizar un estudio más detallado a fin de establecer si este aumento podría generar problemas de socavación o de cimentación para el puente.

Figura 36. Velocidades antes y después de modificar el Puente Lenguerke.

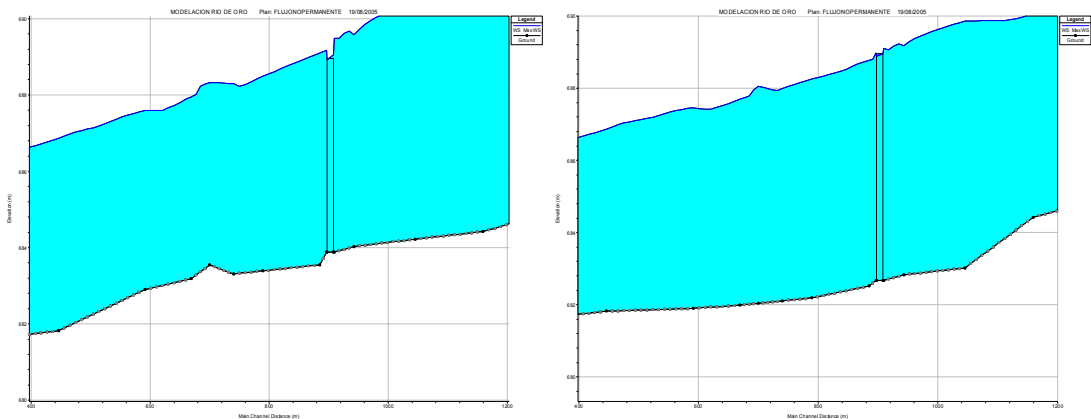




## 5.2 MODIFICACIONES PUENTE FONSECA

Este puente no presenta pilas centrales, sin embargo se puede observar que en el sector aguas abajo de este se presenta una profundización del cauce, por lo que se propone una modificación del fondo inmediatamente aguas arriba y aguas abajo a fin de dar continuidad al perfil de río para el sector. En la Figura 37 se puede observar el perfil del río antes y después de realizadas las modificaciones al fondo.

Figura 37. Perfil Sector Puente Fonseca, antes y después de modificaciones de fondo.



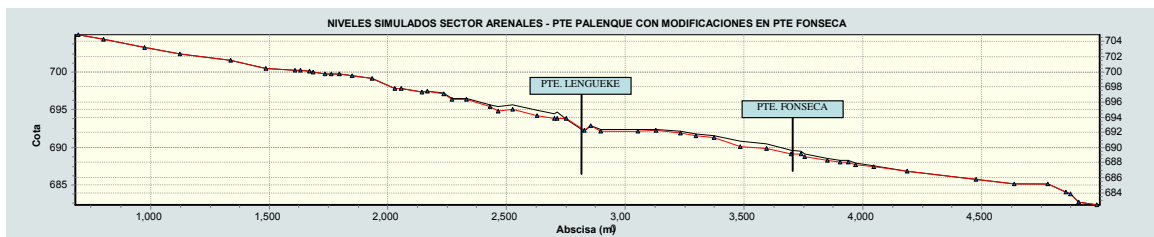
El fondo del río se bajó 1.2 metros en la sección donde se ubica el puente y entre 1.0 y 1.5 metros para las secciones inmediatamente aguas arriba y aguas abajo. Con esta modificación se pretende aumentar la sección del río a fin de disminuir el efecto de remanso que causa el puente durante el paso de grandes avenidas.

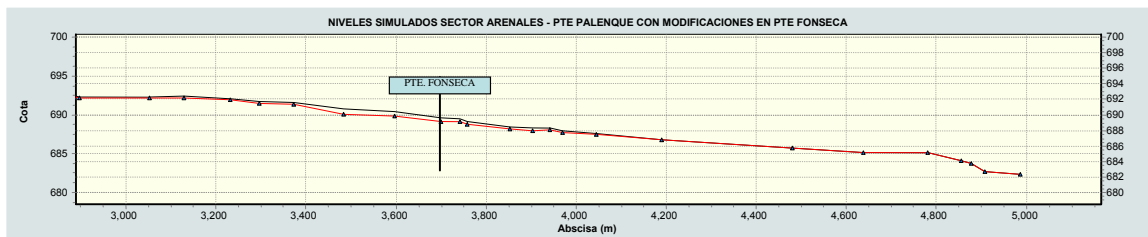
Estas modificaciones se adicionaron en el modelo a las ya realizadas sobre la geometría del Puente Lenguerke, y se realizó la simulación aplicando las mismas condiciones iniciales usadas luego de modificar las secciones de los muros. Los resultados se muestran en las secciones siguientes.

**5.2.1 Resultados simulación.** Con las modificaciones en el Puente Fonseca se logra una disminución de las velocidades, con lo que se estaría disminuyendo los problemas de erosión que se han venido presentando en los estribos de este. Los caudales que pasan por el puente no presentan variaciones significativas con las modificaciones realizadas, las principales variaciones se presentan en la disminución de niveles en los sectores aguas arriba y aguas abajo de este como se mostrará en la siguiente sección.

**5.2.2 Niveles simulados.** Las modificaciones en el fondo del río en el sector de Puente Fonseca generan disminuciones de los niveles máximos del agua en secciones tanto aguas arriba como aguas abajo, en la Figura 38 se puede ver que se logran disminuciones considerables en una longitud aproximada de 900 metros.

Figura 38. Comparación niveles simulados antes y después de modificaciones en el Puente Fonseca





La disminución en los niveles generada por las modificaciones en el fondo del río van desde los 17 centímetros aguas bajo hasta los 68 centímetros en secciones aguas arriba (Ver Tabla 14). Esto permite establecer que esta solución podría ser muy útil a fin de disminuir los problemas de inundación en zonas aledañas al río, además de que podría ser muy viable ya que no requiere de mayores recursos económicos para su ejecución.

Tabla 14. Comparación de Niveles simulados antes y después de las modificaciones en el Puente Fonseca.

SECCION	NIVELES SIMULADOS (m)		
	Con muros	Fonseca	Diferencia
Batea Bahondo	707.10	707.10	0.00
Batea Malecón	695.58	695.00	-0.58
Punte Lenguerke	695.41	693.83	-1.58
Puente Fonseca	689.05	688.95	-0.10
Puente Palenque	684.86	684.86	0.00
<b>LAS MARIAS Y ARENALES</b>			
SECCION 9	704.31	704.31	0.00
SECCION 10	703.21	703.21	0.00
SECCION 11	702.38	702.38	0.00
<b>SECTOR PARQUE GALLINERAL</b>			
SECCION 23	697.85	697.84	-0.01
SECCION 24	697.76	697.75	-0.01
SECCION 25	697.33	697.31	-0.02
SECCION 26	697.42	697.40	-0.02
SECCION 27	697.14	697.11	-0.03
SECCION 28	696.43	696.37	-0.06

SECCION 30	696.50	696.39	-0.11
<b>MALECON</b>			
SECCION 31	695.65	695.34	-0.31
SECCION 32	695.36	694.83	-0.53
SECCION 33	695.58	695.00	-0.58
SECCION 34	694.95	694.14	-0.81
SECCION 35	694.41	693.80	-0.61
SECCION 36 A	694.65	693.86	-0.79
SECCION 36 B	693.83	693.79	-0.04
SECCION 37	693.68	693.77	0.09
SECCION 38	692.19	692.20	0.01
SECCION 39	692.89	692.80	-0.09
SECCION 40	692.32	692.18	-0.14
<b>RINCON DE GIRON</b>			
SECCION 45	692.32	692.18	-0.14
SECCION 46	692.36	692.22	-0.14
SECCION 47	692.08	691.91	-0.17
SECCION 48	691.73	691.51	-0.22
SECCION 49	691.59	691.34	-0.25
SECCION 50	690.77	690.10	<b>-0.67</b>
SECCION 51	690.42	689.86	<b>-0.56</b>
SECCION 52	689.58	689.18	<b>-0.40</b>
<b>EL POBLADO Y EL CARMEN</b>			
SECCION 53	689.48	689.10	<b>-0.38</b>
SECCION 54	689.09	688.77	<b>-0.32</b>
SECCION 54-B	688.29	687.99	<b>-0.30</b>
SECCION 54-C	688.32	688.05	<b>-0.27</b>
SECCION 55	687.95	687.69	<b>-0.26</b>
SECCION 56	687.59	687.46	-0.13
SECCION 57	686.85	686.86	0.01
SECCION 58	685.74	685.74	0.00
<b>PALENQUE</b>			
SECCION 59	685.19	685.19	0.00
SECCION 60	685.19	685.19	0.00

**5.2.3 Análisis velocidades simuladas.** En la Figura 39 - a se puede ver la distribución de las velocidades en la sección transversal aguas arriba del Puente Fonseca, los colores más claros en la figura 39-b nos indican que se produjo una disminución de las velocidades.

Figura 39 - a. Distribución de Velocidades antes de ser modificado el Puente Fonseca

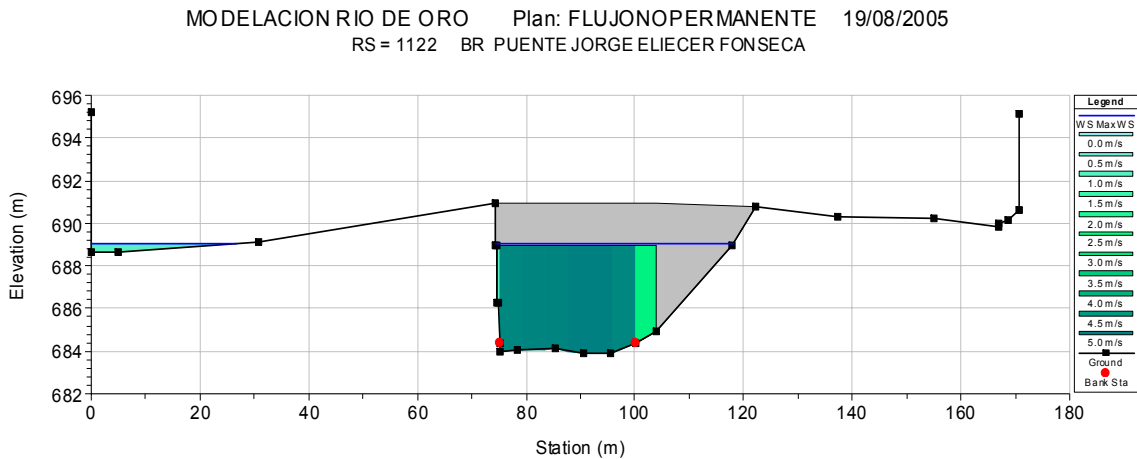
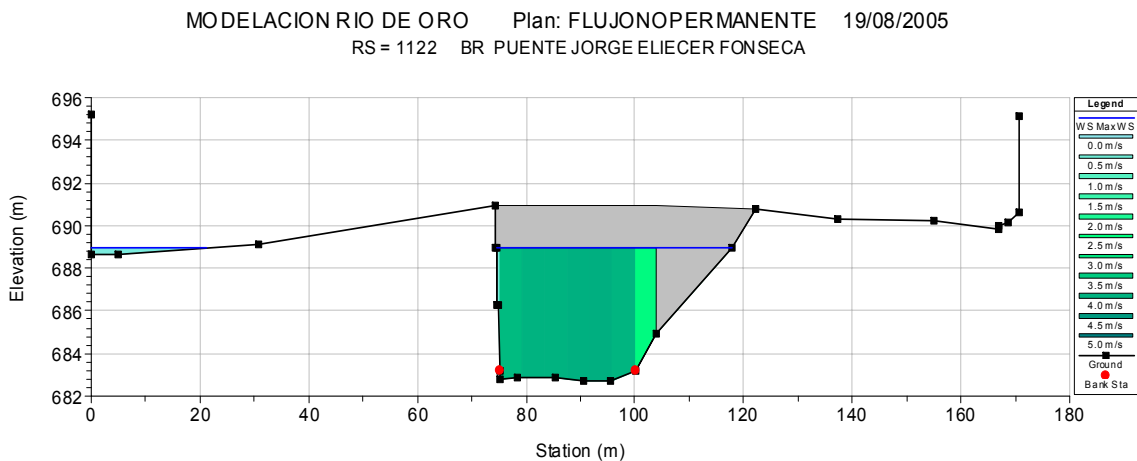


Figura 39 - b. Distribución de Velocidades después de ser modificado el Puente Fonseca

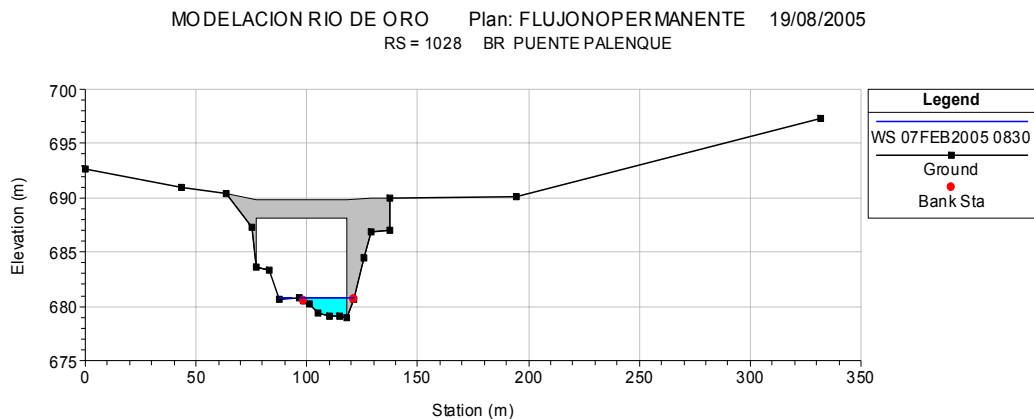


Las mayores disminuciones de velocidades se presentan en el canal principal del río, y oscilan entre valores que van desde el 5% al 56%. Estas disminuciones son considerables por lo que se puede afirmar que la modificación del cauce del río en el sector de Puente Fonseca sería una buena solución para disminuir los niveles y también para mejorar el funcionamiento hidráulico del río.

### 5.3 MODIFICACIONES PUENTE PALENQUE

El Puente Palenque es el único que presenta una pila central, la cual actúa como un obstáculo para el paso de materiales flotantes durante las crecientes disminuyendo la sección transversal del río. Una obstrucción de este tipo disminuye la sección transversal del puente y genera dos aberturas para el tránsito del flujo (Chow, 1994). Como una forma de disminuir el efecto de represamiento que causa esta pila, se propone retirarla. En la figura 40 se muestra la sección del puente después de retirada la pila central.

Figura 40. Sección Transversal Puente Palenque después de modificaciones



**5.3.1 Resultados de la simulación.** Con el retiro de esta pila se logra una disminución de las velocidades; los caudales máximos que pasan por la sección no presentan grandes variaciones. Los niveles máximos simulados registran algunas variaciones que se discutirán en la sección siguiente. De los resultados de esta simulación es posible inferir que el Puente Palenque no genera mayores problemas al paso de crecientes.

**5.3.2 Niveles simulados.** En la Tabla 15 se muestran los niveles simulados luego de realizar las modificaciones, es importante notar que estos no presentan mayores variaciones.

Tabla 15. Comparación de Niveles simulados antes y después de las modificaciones en el Puente Palenque.

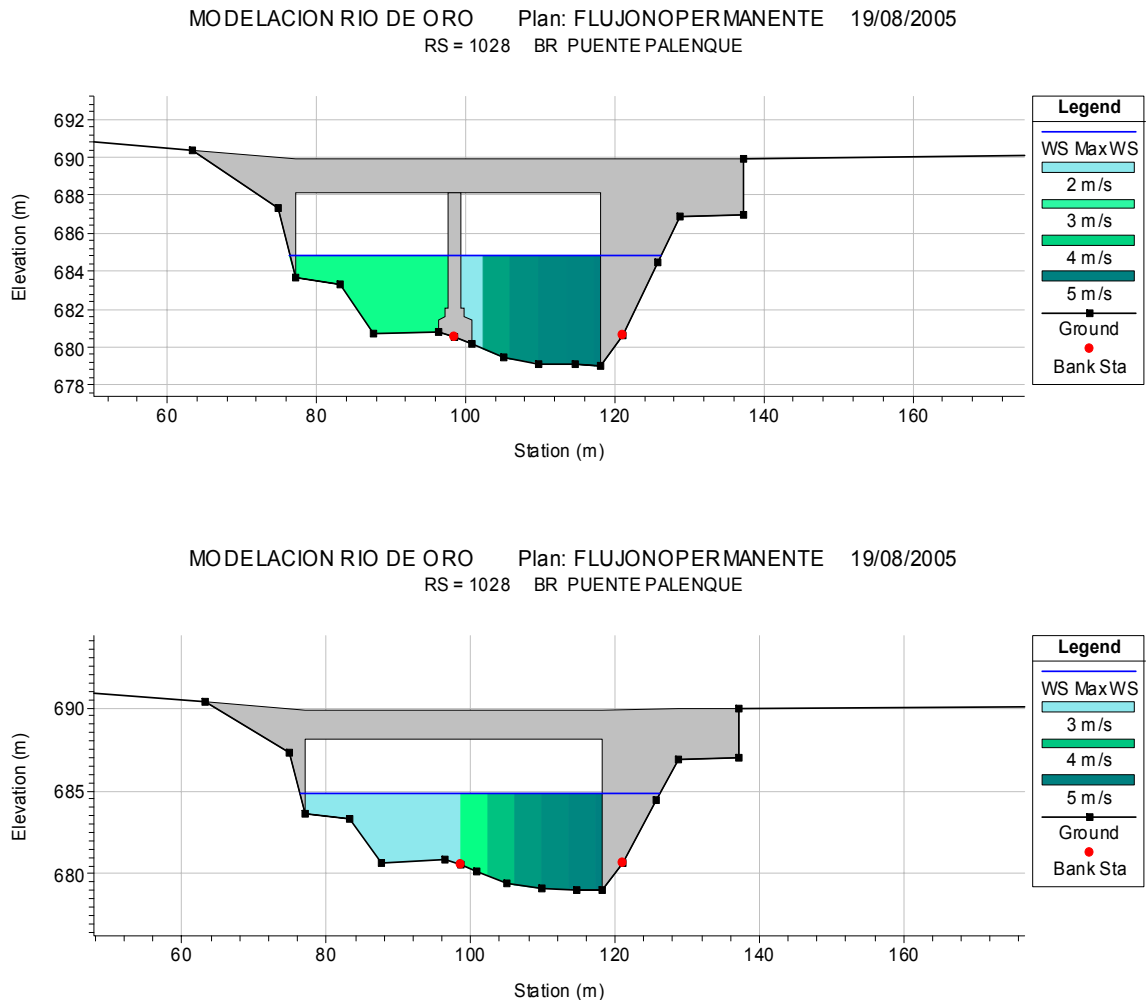
SECCION	NIVELES SIMULADOS (m)		
	Con muros	Palenque	Diferencia
Batea Bahondo	707.10	707.10	0.00
Batea Malecón	695.58	694.99	-0.59
Punte Lenguerke	695.41	693.80	<b>-1.61</b>
Puente Fonseca	689.05	688.94	-0.11
Puente Palenque	684.86	684.85	-0.01
<b>LAS MARIAS Y ARENALES</b>			
SECCION 9	704.31	704.31	0.00
SECCION 10	703.21	703.21	0.00
SECCION 11	702.38	702.38	0.00
<b>SECTOR PARQUE GALLINERAL</b>			
SECCION 23	697.85	697.84	-0.01
SECCION 24	697.76	697.75	-0.01
SECCION 25	697.33	697.31	-0.02
SECCION 26	697.42	697.4	-0.02
SECCION 27	697.14	697.11	-0.03
SECCION 28	696.43	696.36	-0.07
SECCION 30	696.50	696.39	-0.11
<b>MALECON</b>			
SECCION 31	695.65	695.33	-0.32
SECCION 32	695.36	694.83	-0.53
SECCION 33	695.58	694.99	-0.59
SECCION 34	694.95	694.12	-0.83
SECCION 35	694.41	693.77	-0.64
SECCION 36 A	694.65	693.83	-0.82
SECCION 36 B	693.83	693.76	-0.07
SECCION 37	693.68	693.74	0.06
SECCION 38	692.19	692.12	-0.07
SECCION 39	692.89	692.8	-0.09
SECCION 40	692.32	692.18	-0.14
<b>RINCON DE GIRON</b>			
SECCION 45	692.32	692.18	-0.14
SECCION 46	692.36	692.22	-0.14

SECCION 47	692.08	691.91	-0.17
SECCION 48	691.73	691.51	-0.22
SECCION 49	691.59	691.33	-0.26
SECCION 50	690.77	690.1	-0.67
SECCION 51	690.42	689.86	-0.56
SECCION 52	689.58	689.18	-0.40
<b>EL POBLADO Y EL CARMEN</b>			
SECCION 53	689.48	689.1	-0.38
SECCION 54	689.09	688.77	-0.32
SECCION 54-B	688.29	687.99	-0.30
SECCION 54-C	688.32	688.05	-0.27
SECCION 55	687.95	687.69	-0.26
SECCION 56	687.59	687.46	<b>-0.13</b>
SECCION 58	685.74	685.71	<b>-0.03</b>
<b>PALENQUE</b>			
SECCION 61	684.09	683.98	<b>-0.11</b>
SECCION 62	683.80	683.65	<b>-0.15</b>

Con el retiro de la pila central del Puente Palenque se logra un descenso en los niveles de aproximadamente 11 cm., lo cual no es muy significativo. Se puede establecer que el efecto de esta pila durante el paso de grandes avenidas no está dado por las variaciones en el régimen de flujo.

**5.3.3 Análisis velocidades simuladas.** La pila central del puente actúa como un obstáculo al paso del flujo, lo que puede generar que se acumule el material flotante alrededor de esta que disminuye la capacidad hidráulica del puente. En la Figura 41 se puede ver que antes de retirar la pila se prestan velocidades pequeñas en el centro del canal, las cuales se aumentan luego de que esta es retirada, sin embargo se puede decir que la influencia de la pila no se debe a la disminución que genera en las velocidades, sino a la acumulación de material flotante que genera.

Figura 41. Distribución de Velocidades antes y después de ser modificado el Puente Palenque



Es posible que dado que durante el paso de la crecida del 12 de febrero se acumulara gran cantidad del material flotante alrededor de la pila disminuyendo la sección del puente, lo que genera que el nivel del agua se eleve en el sector.

En esta estructura es donde se presenta mayor discrepancia entre los niveles de inundación registrados y los niveles simulados por lo que es posible inferir que la exagerada elevación de los niveles no se debe a la sección del puente sino a la obstrucción generada por objetos flotantes al intentar pasar bajo el puente. Con el

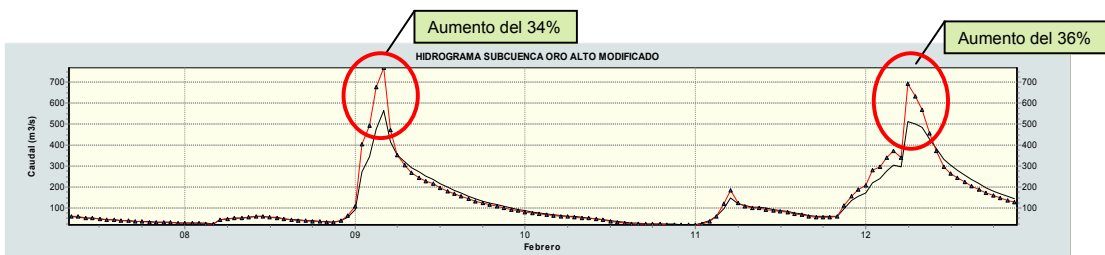
desarrollo de este modelo no es posible analizar este fenómeno por lo que se plantea esta opción como una hipótesis.

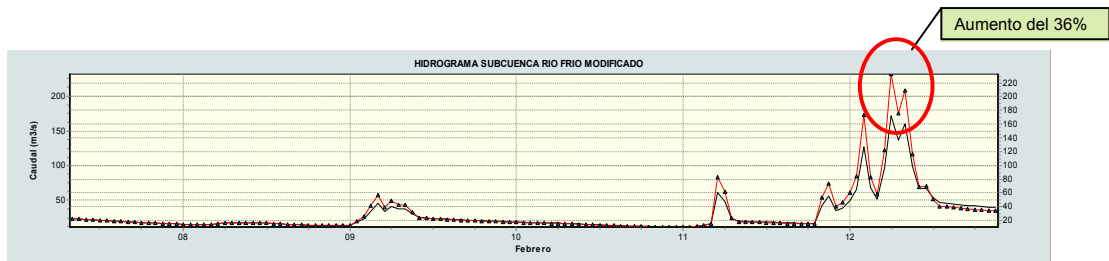
#### 5.4. MODIFICACIÓN DEL PICO DEL HIDROGRAMA

Los procesos de urbanización futuros en el valle del Río Frío así como la expansión sobre el Río de oro y Piedecuesta muy probablemente aumentaran la magnitud de los caudales pico de crecientes y disminuirán el tiempo de respuesta de la cuenca (Guzmán et al, 2005). Como una forma de establecer la influencia de este fenómeno sobre las obras que se adelantan en el Río de Oro se busco el porcentaje de incremento en el caudal pico que generaría nuevamente problemas de inundación en el municipio de Girón luego de realizadas las modificaciones estructurales con muros.

A fin de simular los procesos de disminución del tiempo de transito del agua hasta los cauces, se modifico el coeficiente del flujo superficial en los parámetros del modelo hidrológico NAM. Dado que se esta analizando el sector correspondiente desde Arenales hasta el Puente Palenque solo se modificaron los hidrogramas correspondientes a las subcuencas Oro Alto y Río Frío. En la Figura 42 se pueden observar los hidrogramas con las modificaciones.

Figura 42. Hidrogramas Modificados subcuencas Oro Alto y Río Frío.





Es importante notar que las modificaciones se realizaron teniendo en cuenta únicamente en aumentar el pico. Los hidrogramas modificados se incluyeron en el modelo hidráulico y se realizó la simulación. Se determinó que con un aumento del 36% en el pico de los hidrogramas para estas dos subcuencas se presentaban nuevamente problemas de inundación en algunos sectores. Los resultados de la simulación se discuten en detalle en secciones siguientes.

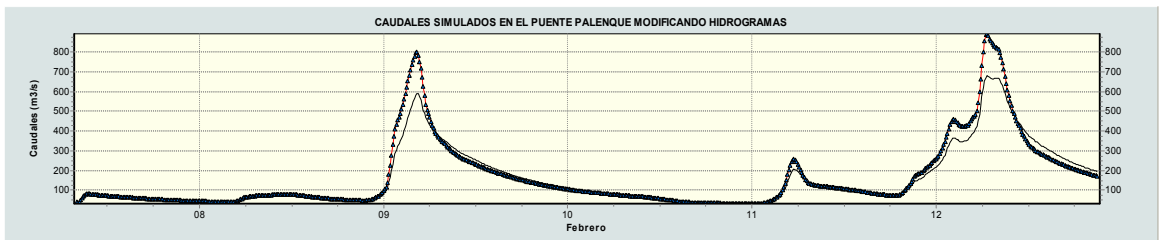
**5.4.1 Resultados de la simulación.** El objetivo principal de realizar las modificaciones de los hidrogramas es de analizar la influencia que pueden tener los procesos antropicos que se presentan en la parte alta de la cuenca sobre los caudales máximos del río.

Se pudo establecer que si el pico del hidrograma para las subcuencas de oro alto y río frío se aumentan en un 36 % se presentarían nuevamente procesos de inundación. Vale la pena aclarar que debido a los procesos urbanizadores y a la modificación de las condiciones del suelo en la parte alta de la cuenca el pico del hidrograma podría incrementarse en más de un 100 %.

El análisis de niveles y caudales máximos simulados que se presenta en las secciones siguientes permite establecer que las modificaciones estructurales que se realizaron sobre el río de oro funcionan para los caudales que se presentaron para el evento de febrero 12, pero podrían fallar de presentarse eventos de mayor magnitud como es muy posible suceda.

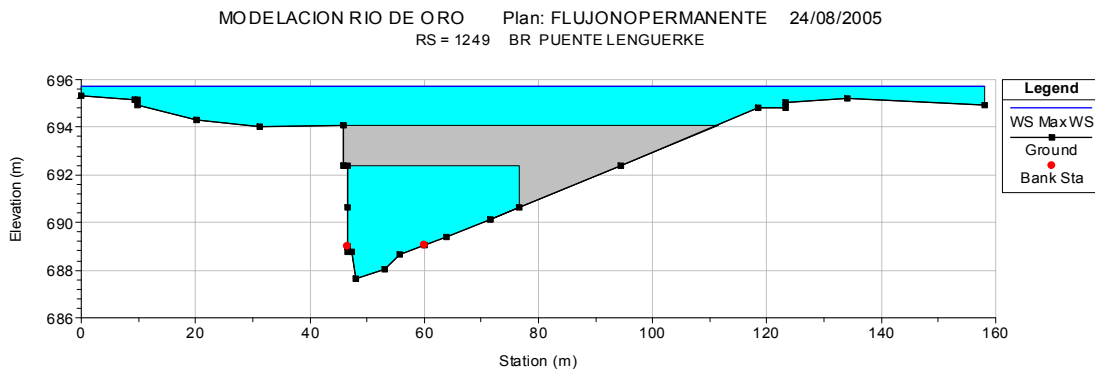
**5.4.2 Análisis caudales Máximos registrados.** En la Figura 43 se muestra el hidrograma en la sección del Puente Palenque antes y después de incrementar los picos de los hidrogramas para las subcuencas oro alto y río frío. Se puede observar que los caudales máximos se aumentan considerablemente. El caudal pico que se presenta en esta sección se incrementa en un 32 % pasando de 680 m<sup>3</sup>/s a 893 m<sup>3</sup>/s.

Figura 43. Comparación Hidrogramas sección Puente Palenque con Modificaciones a los hidrogramas.

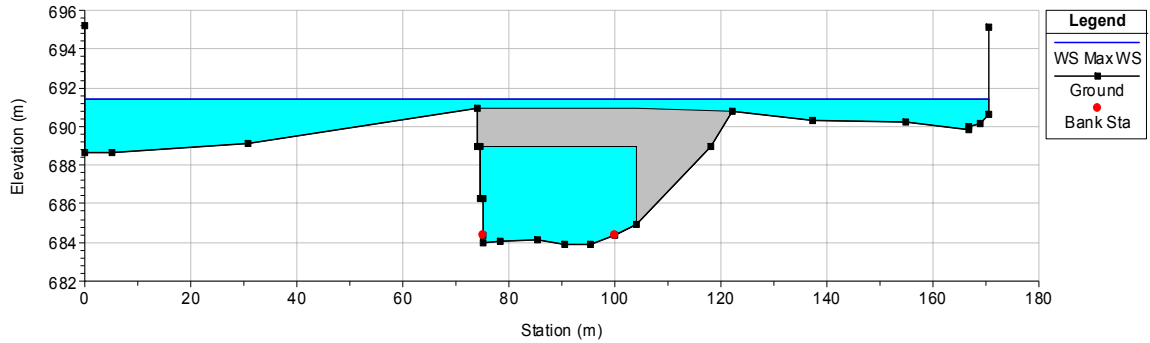


Además como se muestra en la Figura 44 el aumento del nivel en las principales estructuras hidráulicas es considerable. En la sección correspondiente al Puente Fonseca este es rebasado por el agua lo cual no ocurrió para la crecida de febrero 12.

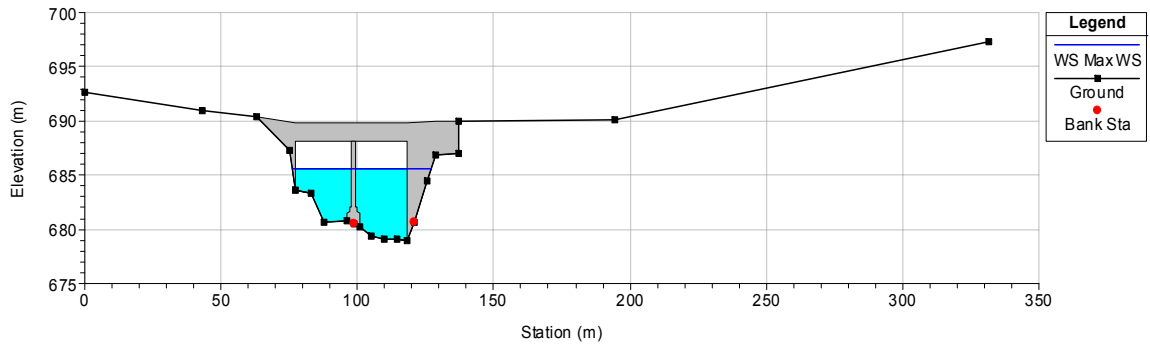
Figura 44. Niveles máximos simulados en las principales estructura hidráulicas con modificaciones en los hidrogramas.



MODELACION RIO DE ORO Plan: FLUJONOPERMANENTE 24/08/2005  
RS = 1122 BR PUENTE JORGE ELIECER FONSECA



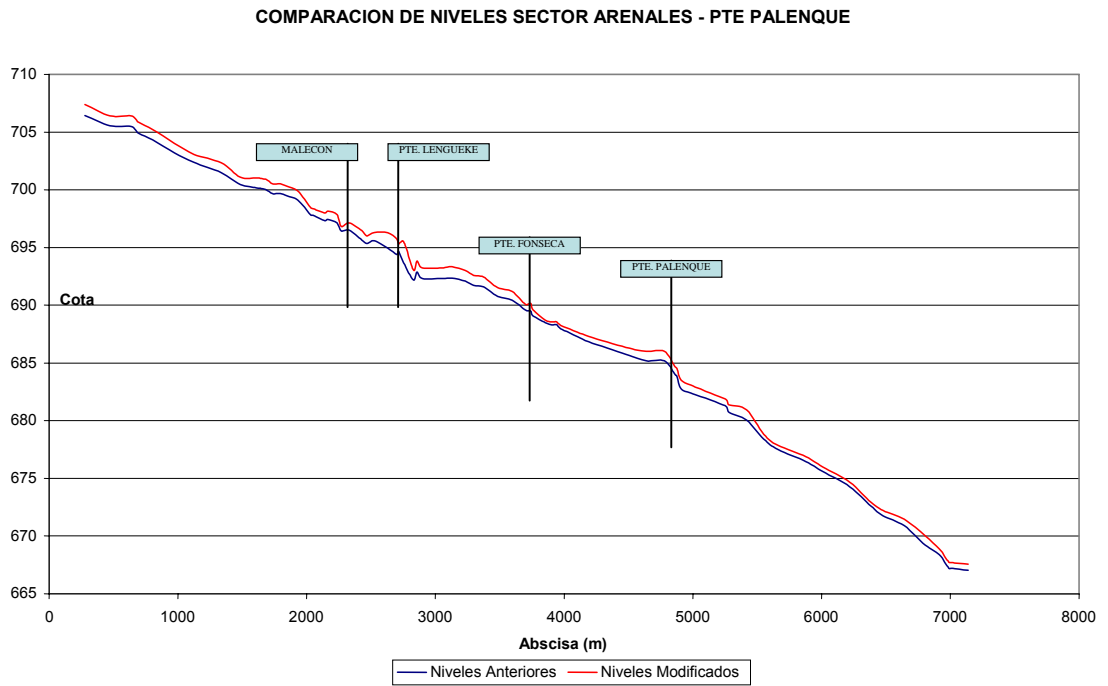
MODELACION RIO DE ORO Plan: FLUJONOPERMANENTE 24/08/2005  
RS = 1028 BR PUENTE PALENQUE



De acuerdo a estos resultados es posible inferir que de presentarse un evento como el planteado las perdidas serian mucho mayores que las presentadas para el evento de febrero 12, ya que las zonas que se inundan son mayores.

**5.4.3 Niveles simulados.** La importancia del análisis de los niveles máximos simulados radica en que permite establecer los sectores donde se generaría desbordamiento. En la Figura 45 se muestra un perfil de los niveles máximos simulados para el tramo desde Arenales hasta Puente Palenque.

Figura 45. Comparación de niveles máximos simulados en el sector de Arenales a Puente Palenque.



En esta grafica es posible ver que los niveles para todas las secciones se incrementan. Lo cual indica que el río se desborda en algunos sectores generando nuevamente procesos de inundación. En la Tabla 16 se presenta una comparación entre los niveles máximos simulados y la cota de los muros a fin de determinar en que sectores los niveles del agua superan los muros.

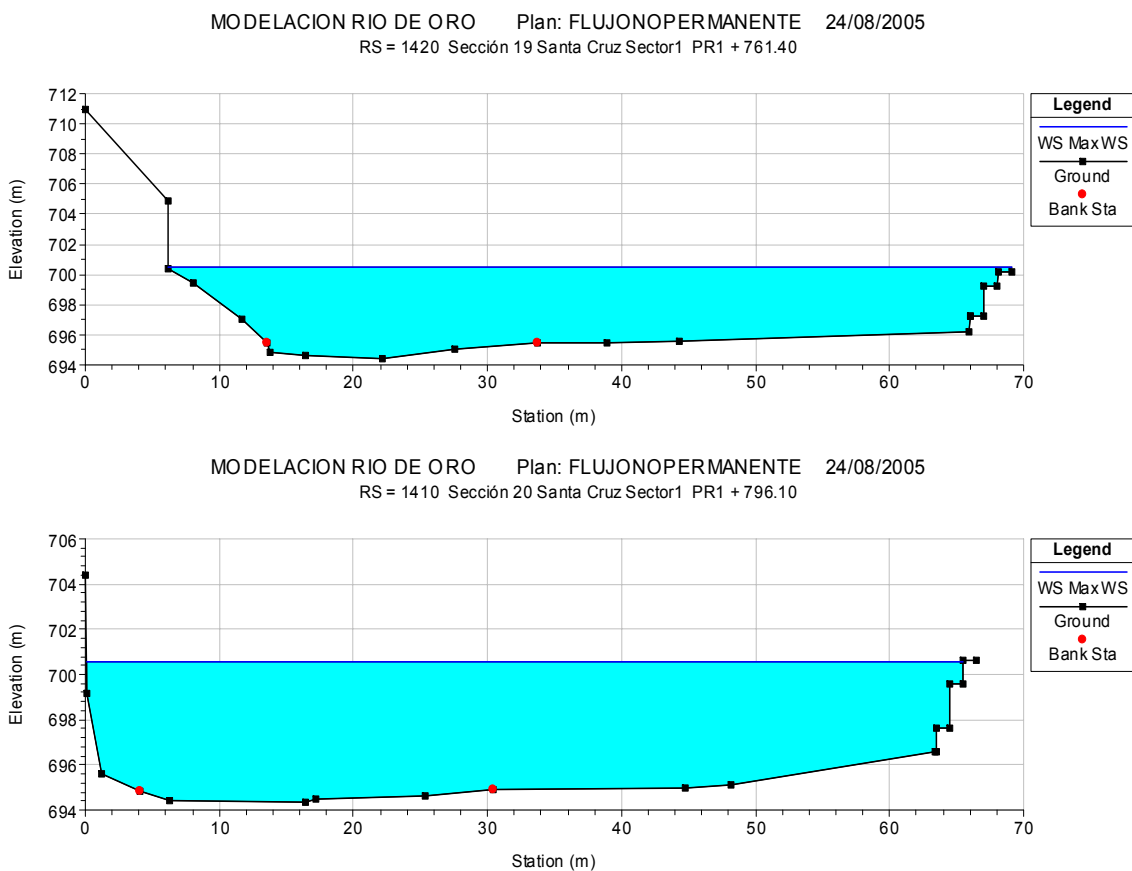
Tabla 16. Comparación de cotas de muros y niveles máximos simulados.

SECCION #	NIVEL HIDROGRAMA	COTA MUROS	BORDE LIBRE
<b>SECTOR ARENALES</b>			
9	705.21	705.20	-0.01
10	704.03	705.05	1.02
11	703.07	703.90	0.83
12	702.33		
13	701.08		
<b>SECTOR PARQUE GALLINERAL</b>			
14	701.03	701.25	0.22
15	701.02	701.35	0.33
16	700.93	701.35	0.42
17	700.88	701.15	0.27
18	700.54	701.15	0.61
19	700.51	700.20	-0.31
20	700.54	700.60	0.06
21	700.3	700.60	0.30
22	699.89	700.10	0.21
23	698.49	699.80	1.31
24	698.37	700.40	2.03
25	698	699.90	1.90
26	698.15	698.35	0.20
27	697.85	698.55	0.70
28	696.84	698.50	1.66
30	697.14	698.90	1.76
31	696.46		
<b>SECTOR MALECON</b>			
32	696.01	697.50	1.49
33 A	696.3	697.50	1.20
34	696.28		
35	695.74		
36-A	695.33		
37	695.51		
<b>SECTOR EL POBLADO</b>			
45	693.23	693.20	-0.03
46	693.34	693.20	-0.14
47	693.01	692.40	-0.61
48	692.59	692.21	-0.38
49	692.45	692.40	-0.05
50	691.52	692.00	0.48
51	691.19	692.20	1.01
52	690.08	690.50	0.42

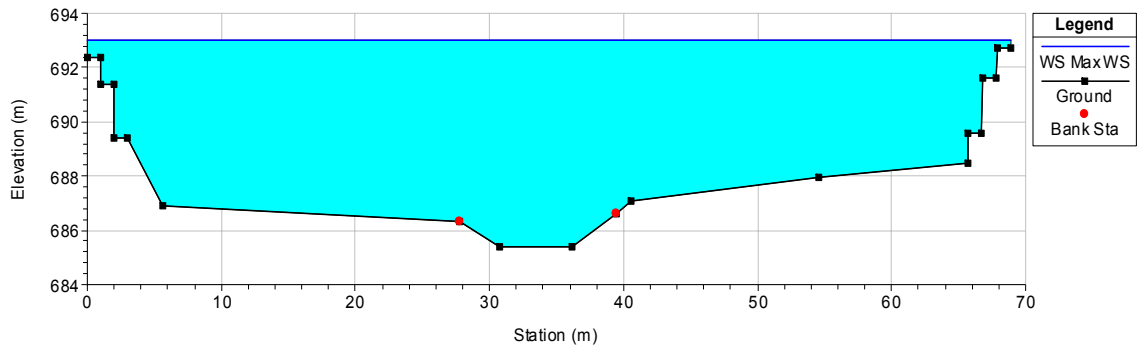
De acuerdo a los niveles simulados se puede establecer que el sector mas afectado seria el Poblado ya que los niveles del agua rebasan los muros en mas de 30 centímetros. Además la fuerza que ejerce el agua sobre los muros aumenta lo que podría generar el volcamiento de estos.

En la figura 46 se pueden observar los niveles máximos simulados luego de las modificaciones en los Hidrogramas, para algunas secciones ubicadas en el sector del Parque Gallineral y el Poblado. Es posible ver que los niveles del agua rebasan los muros.

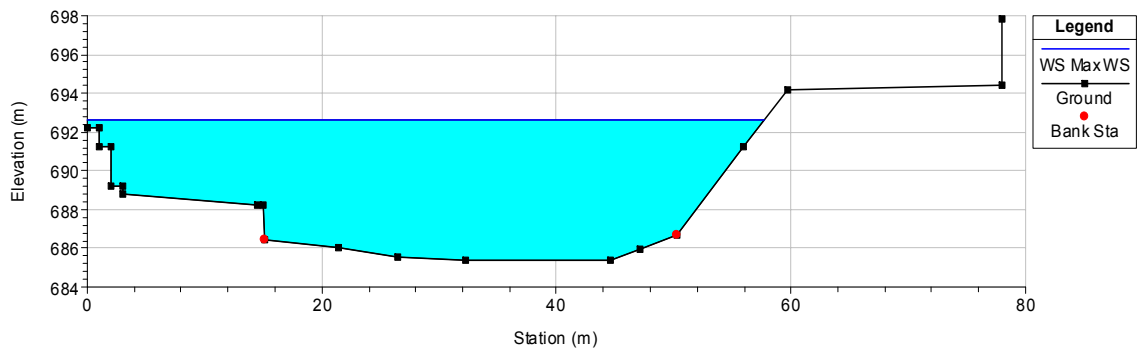
Figura 46. Niveles máximos simulados en algunas secciones transversales después de modificar el hidrograma.



MODELACION RIO DE ORO Plan: FLUJONOPERMANENTE 24/08/2005  
RS = 1180 Sección 47 Castilla Real Sector2 PR3 + 232.00



MODELACION RIO DE ORO Plan: FLUJONOPERMANENTE 24/08/2005  
RS = 1170 Sección 48 Castilla Real Sector2 PR3 + 297.20



En el sector del Malecón la cota del agua supera al muro por más de 10 centímetros. Es posible pensar que dadas las fuerzas que el río ejerce sobre los muros, estos colapsen ante de alcanzar estas cotas y aumenten los efectos de la inundación.

## 6. CONCLUSIONES

- En el análisis de eventos extremos de precipitación es importante contar con información con la mayor resolución temporal posible, ya que se presentan variaciones importantes en lapsos de tiempo muy cortos. Para el desarrollo de este modelo hubiese sido ideal una resolución temporal de 10 minutos, pero dado que todas las estaciones no se encontraban a esta resolución se trabajó con una horaria. Sin embargo se logró un buen nivel de correspondencia con los datos medidos.
- La principal limitante a la hora de elaborar un modelo hidrológico para un evento es contar con la información hidrológica y topográfica necesaria. El desarrollo de este modelo se vio limitado por la cantidad de información disponible, ya que en algunas zonas de la cuenca no se cuenta con instrumentos que registren información a la escala temporal requerida para las cuales fue necesario extrapolar la información a partir de datos de estaciones cercanas.
- Se logró una buena correspondencia entre los niveles registrados por la estación Café Madrid y los simulados para el evento de creciente máxima del 12 de febrero; existen discrepancias en la recesión la cual puede ser causada por fallas en el instrumento registrador, o porque durante el evento máximo de precipitación el 12 de febrero la estación UIS quedó fuera de servicio y fue necesario extrapolar información de estaciones muy lejanas para la subcuenca del Río Suratá.

- A partir de los resultados del modelo hidráulico, se estimó el caudal medio máximo presentado entre el 8 y 12 de Febrero en 673 m<sup>3</sup>/s con un mínimo de 515 m<sup>3</sup>/s en Girón y un máximo de 879 m<sup>3</sup>/s en la Estación de Café Madrid.
- Los procesos urbanizadores y el cambio de las condiciones del suelo en la parte alta de la cuenca puede generar que el caudal pico se incremente en más de un 100%. De acuerdo a los análisis realizados se pudo establecer que con la colocación de los muros y el retiro de la batea al incrementar los caudales pico en un 36% se generan nuevamente procesos de inundación en algunos sectores aledaños al río, por esta razón se puede afirmar que las modificaciones estructurales realizadas a lo largo del Río de Oro pueden llegar a ser insostenibles para un futuro ya que cada vez serán necesarias nuevas y más grandes estructuras.
- Se pudo concluir que la colocación de los muros en los sectores Arenales, Parque Gallineral, El Malecón y El Poblado, no aumenta las velocidades máximas en estos sectores, pero si lo hacen para algunos tramos por lo cual se plantea la posibilidad de que se generen problemas de erosión de fondo.
- De la simulación para diferentes modificaciones para el Río de Oro, se pudo establecer que realizando cambios sobre las estructuras hidráulicas como puentes, se logra mayor disminución en los niveles que con la construcción de Muros laterales. Esto permite establecer soluciones más efectivas y menos costosa ya que como en el caso del puente Fonseca, solo se requieren modificaciones en el fondo del río para disminuir considerablemente los niveles.
- De acuerdo a los análisis obtenidos de las modificaciones a las principales estructuras hidráulicas, se pudo establecer que la estructura correspondiente al Puente Lenguerke es la que más afecta el régimen de velocidades y niveles

en el Río de Oro. Además se estableció que de aumentarse la sección transversal y elevar el gálibo de este puente se logran disminuciones considerables en los niveles máximos aguas arriba de esta.

- Con la simulación de niveles realizada para las modificaciones en el Puente Palenque se pudo establecer que la pila central de este puente no causa mayor interferencia en el desarrollo del flujo en el canal, la única ventaja que se logra con el retiro de la pila es eliminar la obstrucción que puede llegar a generar al paso de material flotante durante la ocurrencia de grandes avenidas.
- Las modificaciones estructurales como muros, que se desarrollaron a fin de mitigar el riesgo de inundación de los asentamientos humanos ubicados sobre el Río de Oro son una solución acertada para afrontar el problema de forma inmediata, pero deben acompañarse de soluciones de tipo no estructural que ayuden a solucionar el problema a largo plazo.

## 7. RECOMENDACIONES

- A fin de elaborar un modelo que se ajuste mas a la realidad y que pueda utilizarse con mayor seguridad se recomienda aumentar la densidad de las secciones transversales del río y ampliar las existentes de tal forma que el modelo represente fielmente las características topográficas del cauce del río y de las zonas de inundación.
- Es necesario instalar instrumentos de medición que permitan medir las diferentes variables para estimar la respuesta de la cuenca ante eventos de este tipo con resolución horaria menor a la hora a fin de tener datos que permitan analizar la variación temporal de los eventos con un mayor grado de detalle.
- Se recomienda se estudie la posibilidad de generar soluciones de largo plazo mediante la implementación de obras civiles que puedan amortiguar el pico del hidrograma en los sectores aguas arriba de Girón.
- Para completar el estudio de las modificaciones al Río de Oro, se recomienda se analicen en detalle las variaciones de velocidad producto de las modificaciones, a fin de establecer si existen o no problemas de socavación e fondo.

## 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.

CDMB. Series de tiempo de las estaciones La Esperanza, CDBM, Centro, Club Campestre, PTAR, Chimitá, UIS.

CHANSON, Hubert. Hidráulica de flujo en canales abiertos. McGraw – Hill, 2002. 560 p.

CHOW, Ven Te. Hidráulica de canales abiertos. McGraw – Hill, 1997. 647 p.

DHI, 1999. NAM - Nedbor Afstromnings Model. Simplified spreadsheet version. Instruction Manual. IHE

DUARTE REYES, Daniel Ricardo. Estudio de valores extremos de precipitación en la cuenca del Río de Oro. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2002. 213 p.

Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers, (Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration) Final Report. January, 2005

GARCIA, S.F., OTERO, J.D., 2005. Estimación de la Evapotranspiración real en la cuenca Superior del Río Lebrija. Tesis de Grado UIS.

Golden Software. 1999. SURFER v 8.0.

GRADEX, Ingeniería S.A. – CDMB. Estudio Hidráulico Río de Oro sector Quebrada La Iglesia – Café Madrid. Informe Preliminar sector – entre Nariño- Café Madrid. 1999.

GUZMAN, J.A., CHU, Ma. L. 2005; SPELL-Stat v.1.7.5.38. Software para el análisis de Series de Tiempo. Sin publicar.

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.

GUZMAN, Jorge A, SALAZAR, Sergio A, GOMEZ Sully. Modelación Hidrológica del Río de Oro, Creciente del 12 de febrero de 2005. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Grupo en Predicción y Modelamiento Hidroclimático GPH, 2005. 38 p.

IDEAM. Series de tiempo de la estaciones IDEAM, Café Madrid, Palogordo, Palo Negro, Llano Grande, Granja Piedecuesta.

ISAZA MEJIA, Oscar Mauricio. Estudio de estimación de la Recarga Mensual en la cuenca del río de Oro por Medio de un Modelo Hidrológico Distribuido. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2004. 91 p.

Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. *Journal of hydrology*, 10: 282-290.

POLO GOMEZ, M.J. y LOSADA RODRIGUEZ, M.A. y LÓPEZ MARTOS, J. Bases de un modelo estocástico de gestión integral de la cuenca del Guadalfeo. \*Grupo de Hidrología e Hidráulica Agrícola, ETSIAM, Universidad de Córdoba. Universidad de Granada Instituto del Agua de Andalucía, Sevilla. 10 p.

ROA MARTINEZ, Jaime. Calculo de cotas de inundaciones en el Rió de Oro Zona Río Frío – Río Surata. Estudio preliminar. 2000.

STEWART, L. Udall. Diseño de presas pequeñas. United Status Departament of Interior. Bureau of reclamation, Floyd, E dominy commissioner. 1957.

URBANAS. Series de tiempo de la estación Ruitoque Alto.

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

# **ANEXOS**

**ANEXO A**

**DATOS ORIGINALES DE**

**PRECIPITACION**



Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
08/02/2005	01:50	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	02:00	0.00	1.80	0.00
08/02/2005	02:10	0.00	5.70	0.00
08/02/2005	02:20	0.00	0.50	0.00
08/02/2005	02:30	0.00	0.05	0.00
08/02/2005	02:40	0.00	0.05	0.00
08/02/2005	02:50	0.30	0.05	0.00
08/02/2005	03:00	1.00	0.05	1.50
08/02/2005	03:10	0.65	0.10	7.30
08/02/2005	03:20	0.35	0.00	3.75
08/02/2005	03:30	0.35	1.30	0.40
08/02/2005	03:40	1.45	9.90	0.05
08/02/2005	03:50	0.40	9.90	0.00
08/02/2005	04:00	0.10	3.25	0.00
08/02/2005	04:10	0.10	0.35	0.00
08/02/2005	04:20	0.00	0.10	0.00
08/02/2005	04:30	0.15	0.10	0.00
08/02/2005	04:40	0.05	0.60	0.00
08/02/2005	04:50	0.00	0.20	0.00
08/02/2005	05:00	0.10	5.30	0.00
08/02/2005	05:10	0.00	0.80	0.02
08/02/2005	05:20	0.00	0.60	0.02
08/02/2005	05:30	1.80	0.25	0.02
08/02/2005	05:40	2.80	0.05	0.02
08/02/2005	05:50	2.40	1.40	0.02
08/02/2005	06:00	3.50	3.70	0.00
08/02/2005	06:10	1.00	0.70	0.00
08/02/2005	06:20	0.50	0.10	0.00
08/02/2005	06:30	0.20	0.05	0.00
08/02/2005	06:40	0.10	0.05	0.00
08/02/2005	06:50	0.10	DF	0.00
08/02/2005	07:00	0.20	DF	0.00
08/02/2005	07:10	3.80	DF	0.50
08/02/2005	07:20	3.20	DF	0.50
08/02/2005	07:30	0.35	DF	3.50
08/02/2005	07:40	0.55	DF	DF
08/02/2005	07:50	0.15	DF	DF
08/02/2005	08:00	0.05	DF	DF
08/02/2005	08:10	0.00	DF	DF

Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
08/02/2005	08:20	0.05	DF	DF
08/02/2005	08:30	0.45	0.00	DF
08/02/2005	08:40	0.10	0.00	DF
08/02/2005	08:50	0.05	0.00	DF
08/02/2005	09:00	0.00	0.00	DF
08/02/2005	09:10	0.00	0.00	DF
08/02/2005	09:20	0.00	0.00	DF
08/02/2005	09:30	0.00	0.00	DF
08/02/2005	09:40	0.00	0.00	DF
08/02/2005	09:50	0.00	0.00	DF
08/02/2005	10:00	0.00	0.00	DF
08/02/2005	10:10	0.00	0.00	DF
08/02/2005	10:20	0.00	0.00	DF
08/02/2005	10:30	0.00	0.00	DF
08/02/2005	10:40	0.00	0.00	DF
08/02/2005	10:50	0.00	0.00	DF
08/02/2005	11:00	0.00	0.00	DF
08/02/2005	11:10	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	11:20	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	11:30	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	11:40	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	11:50	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	12:00	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	12:10	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	12:20	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	12:30	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	12:40	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	12:50	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	13:00	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	13:10	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	13:20	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	13:30	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	13:40	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	13:50	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	14:00	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	14:10	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	14:20	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	14:30	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	14:40	0.00	0.00	0.00

Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
08/02/2005	14:50	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	15:00	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	15:10	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	15:20	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	15:30	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	15:40	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	15:50	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	16:00	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	16:10	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	16:20	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	16:30	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	16:40	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	16:50	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	17:00	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	17:10	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	17:20	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	17:30	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	17:40	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	17:50	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	18:00	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	18:10	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	18:20	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	18:30	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	18:40	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	18:50	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	19:00	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	19:10	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	19:20	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	19:30	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	19:40	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	19:50	0.00	0.20	0.00
08/02/2005	20:00	0.00	0.20	0.00
08/02/2005	20:10	0.00	0.05	0.00
08/02/2005	20:20	0.10	0.05	0.00
08/02/2005	20:30	0.15	0.00	0.00
08/02/2005	20:40	0.10	0.10	0.00
08/02/2005	20:50	0.10	0.20	0.15
08/02/2005	21:00	0.05	0.10	0.10
08/02/2005	21:10	0.00	0.01	0.05

Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
08/02/2005	21:20	0.00	0.09	0.00
08/02/2005	21:30	0.00	0.06	0.00
08/02/2005	21:40	1.00	0.02	0.00
08/02/2005	21:50	0.80	0.02	0.00
08/02/2005	22:00	0.70	0.00	0.00
08/02/2005	22:10	1.50	0.00	0.00
08/02/2005	22:20	2.90	0.00	0.00
08/02/2005	22:30	1.50	0.00	0.00
08/02/2005	22:40	1.15	0.00	0.00
08/02/2005	22:50	0.55	0.00	0.00
08/02/2005	23:00	0.30	0.00	0.00
08/02/2005	23:10	0.15	0.00	0.00
08/02/2005	23:20	0.10	0.00	0.00
08/02/2005	23:30	0.05	1.10	0.05
08/02/2005	23:40	0.00	2.50	0.05
08/02/2005	23:50	0.20	0.90	0.05
09/02/2005	00:00	0.15	0.10	1.25
09/02/2005	00:10	0.15	0.00	0.30
09/02/2005	00:20	0.20	0.02	1.30
09/02/2005	00:30	0.10	0.03	1.70
09/02/2005	00:40	0.10	0.04	3.50
09/02/2005	00:50	0.05	0.05	4.10
09/02/2005	01:00	0.05	0.06	7.20
09/02/2005	01:10	0.00	0.00	10.50
09/02/2005	01:20	0.10	0.00	4.30
09/02/2005	01:30	0.40	0.00	3.80
09/02/2005	01:40	0.15	0.10	1.10
09/02/2005	01:50	0.15	0.05	1.30
09/02/2005	02:00	0.20	0.05	2.00
09/02/2005	02:10	0.00	0.00	2.80
09/02/2005	02:20	0.05	0.00	10.00
09/02/2005	02:30	1.35	0.07	11.00
09/02/2005	02:40	0.80	0.13	7.50
09/02/2005	02:50	2.10	0.15	5.30
09/02/2005	03:00	1.70	0.15	8.70
09/02/2005	03:10	1.30	0.15	15.70
09/02/2005	03:20	2.20	0.15	15.30
09/02/2005	03:30	1.45	0.10	6.40
09/02/2005	03:40	0.45	2.50	9.60

Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
09/02/2005	03:50	0.60	5.90	10.30
09/02/2005	04:00	1.15	1.30	10.30
09/02/2005	04:10	2.15	2.80	6.30
09/02/2005	04:20	3.30	0.50	5.30
09/02/2005	04:30	1.80	0.40	4.25
09/02/2005	04:40	1.70	0.65	0.95
09/02/2005	04:50	3.10	0.65	0.60
09/02/2005	05:00	2.70	0.35	0.50
09/02/2005	05:10	4.30	0.45	0.25
09/02/2005	05:20	2.70	0.10	0.10
09/02/2005	05:30	0.95	1.00	0.05
09/02/2005	05:40	0.55	1.00	0.10
09/02/2005	05:50	0.30	0.80	0.15
09/02/2005	06:00	0.20	1.30	0.05
09/02/2005	06:10	0.40	0.95	0.30
09/02/2005	06:20	1.30	1.95	0.70
09/02/2005	06:30	0.65	3.30	0.25
09/02/2005	06:40	1.05	4.20	0.10
09/02/2005	06:50	0.40	1.90	0.15
09/02/2005	07:00	1.30	1.40	0.10
09/02/2005	07:10	0.50	2.60	0.00
09/02/2005	07:20	1.20	DF	0.00
09/02/2005	07:30	0.55	DF	0.10
09/02/2005	07:40	0.65	DF	0.05
09/02/2005	07:50	1.42	DF	0.05
09/02/2005	08:00	0.58	DF	0.30
09/02/2005	08:10	1.36	DF	0.40
09/02/2005	08:20	0.59	DF	0.05
09/02/2005	08:30	0.20	DF	0.05
09/02/2005	08:40	0.60	0.20	0.00
09/02/2005	08:50	0.05	0.05	0.10
09/02/2005	09:00	0.60	0.05	1.00
09/02/2005	09:10	0.27	0.05	0.15
09/02/2005	09:20	0.03	0.05	0.30
09/02/2005	09:30	0.06	0.00	0.10
09/02/2005	09:40	0.04	0.00	0.05
09/02/2005	09:50	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	10:00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	10:10	0.00	0.00	0.00

Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
09/02/2005	10:20	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	10:30	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	10:40	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	10:50	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	11:00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	11:10	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	11:20	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	11:30	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	11:40	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	11:50	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	12:00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	12:10	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	12:20	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	12:30	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	12:40	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	12:50	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	13:00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	13:10	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	13:20	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	13:30	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	13:40	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	13:50	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	14:00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	14:10	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	14:20	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	14:30	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	14:40	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	14:50	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	15:00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	15:10	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	15:20	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	15:30	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	15:40	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	15:50	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	16:00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	16:10	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	16:20	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	16:30	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	16:40	0.00	0.00	0.00



Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
00/01/1900	12:20	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	12:30	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	12:40	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	12:50	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	13:00	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	13:10	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	13:20	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	13:30	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	13:40	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	13:50	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	14:00	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	14:10	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	14:20	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	14:30	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	14:40	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	14:50	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	15:00	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	15:10	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	15:20	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	15:30	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	15:40	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	15:50	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	16:00	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	16:10	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	16:20	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	16:30	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	16:40	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	16:50	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	17:00	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	17:10	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	17:20	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	17:30	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	17:40	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	17:50	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	18:00	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	18:10	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	18:20	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	18:30	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	18:40	0.00	0.00	0.00

Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
00/01/1900	18:50	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	19:00	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	19:10	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	19:20	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	19:30	1.50	0.00	0.00
00/01/1900	19:40	0.63	0.00	0.00
00/01/1900	19:50	1.27	0.00	0.00
00/01/1900	20:00	0.30	0.00	0.00
00/01/1900	20:10	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	20:20	0.05	0.00	0.00
00/01/1900	20:30	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	20:40	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	20:50	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	21:00	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	21:10	0.00	0.00	0.00
00/01/1900	21:20	0.00	0.10	0.00
00/01/1900	21:30	0.08	0.45	0.02
00/01/1900	21:40	0.02	0.20	0.02
00/01/1900	21:50	0.00	0.05	0.02
00/01/1900	22:00	0.00	0.00	0.02
00/01/1900	22:10	0.00	0.00	0.02
00/01/1900	22:20	0.00	0.00	0.02
00/01/1900	22:30	0.20	0.00	0.02
00/01/1900	22:40	0.10	0.00	0.02
00/01/1900	22:50	0.02	0.00	0.02
00/01/1900	23:00	1.28	0.00	0.02
00/01/1900	23:10	0.53	0.03	0.60
00/01/1900	23:20	0.32	0.06	0.65
00/01/1900	23:30	0.65	0.01	0.05
00/01/1900	23:40	0.60	0.02	0.05
00/01/1900	23:50	0.00	0.02	0.75
11/02/2005	00:00	0.04	0.06	0.10
11/02/2005	00:10	0.06	0.20	0.00
11/02/2005	00:20	0.00	0.05	0.00
11/02/2005	00:30	0.02	0.05	0.00
11/02/2005	00:40	0.00	0.10	0.00
11/02/2005	00:50	0.00	0.05	0.00
11/02/2005	01:00	0.00	0.45	0.00
11/02/2005	01:10	0.25	0.28	0.00

Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
11/02/2005	01:20	0.30	0.06	0.00
11/02/2005	01:30	0.03	0.46	0.00
11/02/2005	01:40	0.00	0.04	0.00
11/02/2005	01:50	0.00	0.06	0.00
11/02/2005	02:00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	02:10	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	02:20	0.00	0.00	0.15
11/02/2005	02:30	0.00	0.00	1.05
11/02/2005	02:40	0.00	0.00	0.25
11/02/2005	02:50	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	03:00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	03:10	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	03:20	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	03:30	0.15	0.00	0.00
11/02/2005	03:40	0.15	1.90	0.00
11/02/2005	03:50	0.20	5.60	0.00
11/02/2005	04:00	0.10	2.80	0.00
11/02/2005	04:10	0.16	2.90	0.00
11/02/2005	04:20	0.05	1.10	0.00
11/02/2005	04:30	0.00	0.50	0.00
11/02/2005	04:40	0.03	2.00	0.00
11/02/2005	04:50	1.10	3.00	0.00
11/02/2005	05:00	2.60	0.60	0.00
11/02/2005	05:10	2.70	0.28	0.70
11/02/2005	05:20	2.55	0.27	0.25
11/02/2005	05:30	0.43	0.10	0.30
11/02/2005	05:40	0.10	0.03	0.25
11/02/2005	05:50	0.12	0.02	0.20
11/02/2005	06:00	0.10	0.00	0.45
11/02/2005	06:10	0.12	0.00	0.35
11/02/2005	06:20	0.08	0.10	0.15
11/02/2005	06:30	0.00	0.00	0.10
11/02/2005	06:40	0.03	0.00	0.00
11/02/2005	06:50	0.05	DF	0.00
11/02/2005	07:00	0.05	DF	0.00
11/02/2005	07:10	0.25	DF	1.10
11/02/2005	07:20	0.00	DF	1.80
11/02/2005	07:30	0.00	DF	DF
11/02/2005	07:40	0.00	DF	0.00

Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
11/02/2005	07:50	0.08	DF	0.00
11/02/2005	08:00	0.03	DF	0.00
11/02/2005	08:10	0.17	DF	0.30
11/02/2005	08:20	0.70	DF	0.30
11/02/2005	08:30	0.10	0.01	0.10
11/02/2005	08:40	0.00	0.01	0.05
11/02/2005	08:50	0.03	0.01	0.00
11/02/2005	09:00	0.10	0.02	0.00
11/02/2005	09:10	0.25	0.01	0.00
11/02/2005	09:20	0.00	0.02	0.00
11/02/2005	09:30	0.05	0.02	0.00
11/02/2005	09:40	0.40	0.00	0.00
11/02/2005	09:50	0.10	0.00	0.00
11/02/2005	10:00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	10:10	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	10:20	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	10:30	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	10:40	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	10:50	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	11:00	0.10	0.00	0.00
11/02/2005	11:10	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	11:20	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	11:30	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	11:40	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	11:50	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	12:00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	12:10	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	12:20	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	12:30	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	12:40	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	12:50	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	13:00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	13:10	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	13:20	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	13:30	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	13:40	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	13:50	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	14:00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	14:10	0.00	0.00	0.00

Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
11/02/2005	14:20	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	14:30	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	14:40	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	14:50	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	15:00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	15:10	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	15:20	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	15:30	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	15:40	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	15:50	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	16:00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	16:10	0.10	0.05	0.00
11/02/2005	16:20	0.05	0.05	0.00
11/02/2005	16:30	0.00	0.05	0.00
11/02/2005	16:40	0.00	0.05	0.00
11/02/2005	16:50	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	17:00	0.00	0.10	0.00
11/02/2005	17:10	0.00	0.10	0.00
11/02/2005	17:20	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	17:30	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	17:40	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	17:50	0.05	0.00	0.00
11/02/2005	18:00	0.00	0.10	0.00
11/02/2005	18:10	0.00	0.20	0.00
11/02/2005	18:20	0.00	0.05	0.00
11/02/2005	18:30	0.00	0.05	0.00
11/02/2005	18:40	0.00	0.32	0.00
11/02/2005	18:50	0.00	0.88	0.00
11/02/2005	19:00	0.15	0.35	0.00
11/02/2005	19:10	0.10	0.45	0.00
11/02/2005	19:20	0.75	0.60	0.00
11/02/2005	19:30	0.85	0.55	0.00
11/02/2005	19:40	0.60	0.65	0.15
11/02/2005	19:50	0.63	1.30	0.20
11/02/2005	20:00	0.32	0.45	0.30
11/02/2005	20:10	0.00	0.65	0.20
11/02/2005	20:20	0.00	0.90	2.20
11/02/2005	20:30	0.17	3.30	6.70
11/02/2005	20:40	0.13	1.00	3.70

Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
11/02/2005	20:50	0.00	4.00	1.90
11/02/2005	21:00	0.05	3.10	0.70
11/02/2005	21:10	0.15	0.30	2.90
11/02/2005	21:20	0.30	0.20	1.10
11/02/2005	21:30	0.10	0.15	0.40
11/02/2005	21:40	0.00	0.05	0.50
11/02/2005	21:50	0.02	0.02	0.40
11/02/2005	22:00	0.03	0.18	0.90
11/02/2005	22:10	0.00	0.45	7.20
11/02/2005	22:20	0.00	0.35	1.40
11/02/2005	22:30	0.00	0.10	0.45
11/02/2005	22:40	0.00	0.20	0.15
11/02/2005	22:50	0.20	0.15	0.05
11/02/2005	23:00	0.05	0.45	0.00
11/02/2005	23:10	0.10	0.50	0.00
11/02/2005	23:20	0.50	0.25	0.00
11/02/2005	23:30	0.10	0.35	0.00
11/02/2005	23:40	0.05	0.24	0.00
11/02/2005	23:50	0.35	0.16	0.00
12/02/2005	00:00	0.50	0.80	0.00
12/02/2005	00:10	0.17	0.50	0.00
12/02/2005	00:20	0.38	0.25	0.00
12/02/2005	00:30	0.20	0.15	0.00
12/02/2005	00:40	0.05	0.80	2.05
12/02/2005	00:50	0.10	0.20	4.20
12/02/2005	01:00	0.10	1.10	5.50
12/02/2005	01:10	0.15	2.50	0.70
12/02/2005	01:20	0.25	0.80	1.20
12/02/2005	01:30	0.25	0.15	0.55
12/02/2005	01:40	0.70	0.40	0.65
12/02/2005	01:50	0.85	0.45	0.10
12/02/2005	02:00	1.20	0.10	0.05
12/02/2005	02:10	1.70	0.05	0.10
12/02/2005	02:20	1.00	0.20	0.15
12/02/2005	02:30	1.80	0.55	1.80
12/02/2005	02:40	3.50	0.40	1.90
12/02/2005	02:50	0.40	0.10	4.30
12/02/2005	03:00	0.15	0.05	6.10
12/02/2005	03:10	0.10	0.05	10.40

Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
12/02/2005	03:20	0.15	0.10	4.80
12/02/2005	03:30	0.00	0.20	2.70
12/02/2005	03:40	0.00	0.10	1.20
12/02/2005	03:50	0.00	0.05	1.70
12/02/2005	04:00	0.15	0.05	1.50
12/02/2005	04:10	0.45	0.00	0.60
12/02/2005	04:20	1.10	1.00	0.60
12/02/2005	04:30	0.90	0.30	0.40
12/02/2005	04:40	0.60	0.80	0.35
12/02/2005	04:50	1.60	2.60	0.65
12/02/2005	05:00	5.35	2.60	1.00
12/02/2005	05:10	3.40	4.20	5.40
12/02/2005	05:20	6.30	7.50	3.80
12/02/2005	05:30	5.40	6.10	4.80
12/02/2005	05:40	4.50	5.70	3.70
12/02/2005	05:50	4.60	2.60	8.60
12/02/2005	06:00	3.50	6.50	4.80
12/02/2005	06:10	2.00	5.80	5.60
12/02/2005	06:20	3.40	4.50	3.30
12/02/2005	06:30	3.00	2.00	0.80
12/02/2005	06:40	3.30	1.50	1.30
12/02/2005	06:50	1.90	0.60	2.90
12/02/2005	07:00	1.50	1.10	4.50
12/02/2005	07:10	1.10	1.50	2.70
12/02/2005	07:20	3.30	1.70	0.70
12/02/2005	07:30	2.00	DF	0.90
12/02/2005	07:40	2.20	3.50	2.20
12/02/2005	07:50	2.50	2.20	2.80
12/02/2005	08:00		3.80	1.50
12/02/2005	08:10		3.00	2.50
12/02/2005	08:20		1.10	2.00
12/02/2005	08:30		0.95	1.30
12/02/2005	08:40		0.75	1.30
12/02/2005	08:50		0.80	1.90
12/02/2005	09:00		0.50	2.00
12/02/2005	09:10		0.60	1.20
12/02/2005	09:20		0.25	1.20
12/02/2005	09:30		0.10	1.80
12/02/2005	09:40		0.20	1.90

Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
12/02/2005	09:50		0.35	0.70
12/02/2005	10:00		0.30	0.60
12/02/2005	10:10		0.45	0.60
12/02/2005	10:20		0.25	0.45
12/02/2005	10:30		0.10	0.20
12/02/2005	10:40		0.10	0.30
12/02/2005	10:50		0.10	0.35
12/02/2005	11:00		0.05	0.10
12/02/2005	11:10		0.04	0.05
12/02/2005	11:20		0.01	0.00
12/02/2005	11:30		0.00	0.00
12/02/2005	11:40		0.00	0.00
12/02/2005	11:50		0.00	0.00
12/02/2005	12:00		0.00	0.00
12/02/2005	12:10		0.05	0.00
12/02/2005	12:20		0.15	0.00
12/02/2005	12:30		0.10	0.00
12/02/2005	12:40		0.04	0.00
12/02/2005	12:50		0.04	0.00
12/02/2005	13:00		0.02	0.00
12/02/2005	13:10		0.00	0.00
12/02/2005	13:20		0.00	0.00
12/02/2005	13:30		0.00	0.00
12/02/2005	13:40		0.00	0.00
12/02/2005	13:50		0.00	0.00
12/02/2005	14:00		0.00	0.00
12/02/2005	14:10		0.00	0.00
12/02/2005	14:20		0.10	0.00
12/02/2005	14:30		0.10	0.00
12/02/2005	14:40		0.05	0.00
12/02/2005	14:50		0.05	0.00
12/02/2005	15:00		0.00	0.00
12/02/2005	15:10		0.00	0.00
12/02/2005	15:20		0.00	0.00
12/02/2005	15:30		0.00	0.00
12/02/2005	15:40		0.00	0.00
12/02/2005	15:50		0.00	0.00
12/02/2005	16:00		0.00	0.00
12/02/2005	16:10		0.00	0.00

Fecha	Hora	ESTACION		
		Apto. P/negro	IDEAM	Llano grande
12/02/2005	16:20		0.00	0.00
12/02/2005	16:30		0.00	0.00
12/02/2005	16:40		0.00	0.00
12/02/2005	16:50		0.00	0.00
12/02/2005	17:00		0.00	0.00
12/02/2005	17:10		0.00	0.00
12/02/2005	17:20		0.00	0.00
12/02/2005	17:30		0.00	0.00
12/02/2005	17:40		0.00	0.00
12/02/2005	17:50		0.00	0.00
12/02/2005	18:00		0.00	0.00
12/02/2005	18:10		0.00	0.00
12/02/2005	18:20		0.00	0.00
12/02/2005	18:30		0.00	0.00
12/02/2005	18:40		0.00	0.00
12/02/2005	18:50		0.00	0.00
12/02/2005	19:00		0.00	0.00
12/02/2005	19:10		0.00	0.00
12/02/2005	19:20		0.00	0.00
12/02/2005	19:30		0.00	0.00
12/02/2005	19:40		0.00	0.00
12/02/2005	19:50		0.00	0.00
12/02/2005	20:00		0.00	0.00
12/02/2005	20:10		0.00	0.00
12/02/2005	20:20		0.00	0.00
12/02/2005	20:30		0.00	0.00
12/02/2005	20:40		0.00	0.00
12/02/2005	20:50		0.00	0.00
12/02/2005	21:00		0.00	0.00

Fecha	Hora	ESTACION								
		Gja. Piedecuesta	Club Campestre	La Esperanza	CDMB	Ruitoque	Centro	Chimita	PTAR	UIS
07/02/2005	08:00					0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
07/02/2005	09:00					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
07/02/2005	11:00					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
07/02/2005	13:00					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
07/02/2005	15:00					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
07/02/2005	17:00					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
07/02/2005	19:00					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
07/02/2005	21:00					0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
07/02/2005	22:00					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
08/02/2005	00:00	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
08/02/2005	02:00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
08/02/2005	03:00	0.00	0.20	0.00		0.00	32.50	5.40	0.00	5.70
08/02/2005	04:00	0.40	0.00	0.00		0.30	5.50	3.30	0.00	21.80
08/02/2005	05:00	0.40	1.80	0.00		0.10	1.50	0.30	0.00	10.00
08/02/2005	06:00	0.35	1.10	0.36		2.90	2.50	1.80	0.00	16.50
08/02/2005	07:00	0.10	0.00	0.23		1.30	2.00	4.60	0.00	0.30
08/02/2005	08:00	0.05	0.90	0.01		0.15	0.00	4.50	0.00	0.10
08/02/2005	09:00	0.60	0.00	2.00	0.00	0.35	0.00	5.40	0.00	0.00
08/02/2005	10:00	0.20	0.04	0.30	0.00	0.54	0.00	3.60	0.00	0.00
08/02/2005	11:00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.46	0.00	1.30	0.00	0.00
08/02/2005	12:00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	13:00	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	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
08/02/2005	15:00	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

Fecha	Hora	ESTACION								
		Gja. Piedecuesta	Club Campestre	La Esperanza	CDMB	Ruitoque	Centro	Chimita	PTAR	UIS
08/02/2005	18:00	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
08/02/2005	20:00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
08/02/2005	21:00	3.80	0.00	0.00	0.30	0.15	0.50	0.10	0.00	1.90
08/02/2005	22:00	5.20	2.20	0.00	0.05	0.36	0.50	0.40	0.00	0.50
08/02/2005	23:00	8.70	0.05	0.30	0.00	0.14	0.00	0.50	0.00	0.30
09/02/2005	00:00	3.20	0.15	0.20	2.85	2.60	0.50	0.10	0.00	0.30
09/02/2005	01:00	25.70	0.20	2.00	0.10	1.80	1.00	0.10	0.00	0.20
09/02/2005	02:00	19.20	6.50	1.50	0.35	7.20	0.00	0.40	0.00	0.00
09/02/2005	03:00	16.20	10.10	4.15	1.20	18.60	0.50	2.30	0.00	0.40
09/02/2005	04:00	2.50	13.80	7.35	15.00	13.90	7.00	5.20	0.00	5.50
09/02/2005	05:00	0.40	5.90	2.85	4.55	2.50	25.00	12.00	0.00	6.70
09/02/2005	06:00	DF	3.80	6.45	4.05	2.50	3.00	3.90	0.00	5.20
09/02/2005	07:00	DF	DF	2.60	5.60	0.85	5.50	2.90	0.00	7.10
09/02/2005	08:00	DF	DF	1.50	4.80	0.80	5.00	4.40	DF	13.00
09/02/2005	09:00	DF	0.15	1.03	0.10	0.25	3.50	2.40	0.00	3.90
09/02/2005	10:00	DF	0.00	0.17	0.00	0.40	0.00	0.30	0.00	0.00
09/02/2005	11:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
09/02/2005	12:00	DF	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	DF	0.00
09/02/2005	13:00	DF	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.40	0.00
09/02/2005	14:00	DF	0.00	0.90	0.00	0.70	0.00	0.00	0.20	0.00
09/02/2005	15:00	DF	0.00	0.79	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	16:00	DF	0.00	0.06	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	17:00	DF	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	18:00	DF	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	19:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	20:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	21:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	22:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	23:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	00:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	01:00	DF	0.15	0.00	0.00	0.20	0.00	1.80	0.00	0.00
10/02/2005	02:00	DF	0.22	0.42	0.00	0.20	0.00	1.90	0.20	0.00
10/02/2005	03:00	DF	0.03	0.24	0.00	0.05	0.00	0.30	0.00	0.00

Fecha	Hora	ESTACION								
		Gja. Piedecuesta	Club Campestre	La Esperanza	CDMB	Ruitoque	Centro	Chimita	PTAR	UIS
10/02/2005	05:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	06:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	07:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	08:00	0.60	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
10/02/2005	10:00	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	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	12:00	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	0.02	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
10/02/2005	14:00	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
10/02/2005	16:00	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
10/02/2005	18:00	0.03	0.00	0.43	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
10/02/2005	20:00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.20
10/02/2005	21:00	0.05	0.45	0.00	0.92	0.40	0.00	0.40	0.20	0.20
10/02/2005	22:00	0.10	0.75	0.14	0.08	0.20	0.50	0.10	0.40	0.70
10/02/2005	23:00	0.10	1.70	0.06	0.50	0.10	0.00	0.20	0.60	0.10
11/02/2005	00:00	0.50	1.70	0.05	0.60	1.20	0.50	1.00	0.40	0.30
11/02/2005	01:00	3.20	1.40	0.03	1.17	8.40	0.50	0.70	1.20	1.30
11/02/2005	02:00	7.10	0.00	0.01	0.00	7.55	1.50	0.20	1.80	0.20
11/02/2005	03:00	5.00	0.00	0.11	4.23	0.30	0.00	0.00	0.60	0.00
11/02/2005	04:00	5.80	0.00	0.15	20.70	5.75	6.00	0.80	0.00	3.00
11/02/2005	05:00	7.30	18.30	0.75	2.40	20.80	23.00	4.50	24.40	3.90
11/02/2005	06:00	0.20	19.95	0.42	0.20	0.25	1.50	17.40	21.80	0.00
11/02/2005	07:00	0.05	0.10	1.23	0.20	0.20	0.00	0.20	1.20	0.00
11/02/2005	08:00	0.00	0.00	0.13	0.80	0.05	0.00	1.10	0.00	0.00
11/02/2005	09:00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
11/02/2005	10:00	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10
11/02/2005	11:00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
11/02/2005	12:00	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
11/02/2005	13:00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	14:00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fecha	Hora	ESTACION								
		Gja. Piedecuesta	Club Campestre	La Esperanza	CDMB	Ruitoque	Centro	Chimita	PTAR	UIS
11/02/2005	16:00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	17:00	1.10	0.14	0.00	0.30	0.10	0.50	0.10	0.20	0.10
11/02/2005	18:00	0.70	0.66	0.00	1.50	1.40	0.00	0.00	0.00	0.10
11/02/2005	19:00	1.50	3.00	0.15	4.50	2.50	0.50	0.00	0.20	0.30
11/02/2005	20:00	0.80	3.30	5.85	4.30	8.85	2.00	8.30	4.20	1.80
11/02/2005	21:00	1.60	7.50	5.10	1.15	0.75	9.00	3.30	13.60	6.00
11/02/2005	22:00	2.20	0.70	2.08	0.85	2.40	8.00	0.50	10.40	1.20
11/02/2005	23:00	3.30	15.40	0.09	1.50	0.70	0.50	0.00	0.40	1.20
12/02/2005	00:00	7.50	10.00	0.18	2.90	8.75	0.50	0.50	8.40	1.20
12/02/2005	01:00	4.90	9.50	3.15	7.90	11.10	2.00	0.60	11.40	2.70
12/02/2005	02:00	3.60	15.70	14.75	3.30	1.50	5.50	4.00	4.20	48.90
12/02/2005	03:00	7.10	4.20	1.65	1.70	2.50	5.50	11.20	24.80	DF
12/02/2005	04:00	2.50	2.20	1.54	7.20	3.70	1.00	1.10	4.40	DF
12/02/2005	05:00	9.50	27.30	0.86	25.70	9.40	9.00	13.40	9.40	DF
12/02/2005	06:00	19.00	22.30	3.07	27.30	9.40	36.50	28.40	36.80	DF
12/02/2005	07:00	11.10	5.30	2.13	25.50	16.70	16.50	11.60	19.40	DF
12/02/2005	08:00	8.10	7.55	12.60	14.80	11.80	13.00	13.30	7.80	1.50
12/02/2005	09:00	3.60	4.90	3.25	1.65	5.70	13.00	17.50	7.00	4.00
12/02/2005	10:00	1.80	1.90	2.00	0.35	1.50	2.00	1.00	2.80	1.50
12/02/2005	11:00	0.10	0.20	4.35	0.45	0.05	1.50	0.50	1.00	1.00
12/02/2005	12:00	0.00	0.00	2.00	0.05	0.05	0.00	0.10	0.00	0.10
12/02/2005	13:00	0.00		0.65		0.00	0.50	0.00	DF	0.10
12/02/2005	14:00	0.00		0.10		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12/02/2005	15:00	0.00		0.04		0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
12/02/2005	16:00	0.00		0.01		0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
12/02/2005	17:00	0.00		0.00		0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
12/02/2005	18:00	0.00		0.00		0.55	0.00	0.00	0.00	0.00
12/02/2005	19:00	0.00		0.10		0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
12/02/2005	20:00	0.00		0.06		0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
12/02/2005	21:00	0.00		0.04		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**ANEXO B**

**PROCESO DE CORRECCION  
DE LA INFORMACION  
PLUVIOGRAFICA**

Debido a que los datos de precipitación se obtuvieron directamente de las tiras de registro de los pluviógrafos, se hace necesario realizar un proceso de verificación de consistencia de la información en cuanto a la continuidad de los registros y a posibles errores debidos a la calibración de los instrumentos.

Realizando una primera inspección de los registro pluviográficos, se pudo observar que se presentaban algunas inconsistencias en cuanto a los valores de las curvas de llenado del pluviógrafo, al igual que problemas por descalibración del instrumento, y discontinuidad del registro entre otros. Por tal motivo se procedió a realizar un proceso de re-escalamiento de los datos aplicando algunos criterios que nos permitieran mejorar la calidad de la información.

Básicamente, los criterios aplicados en el proceso de re-escalamiento son los siguientes:

- Que el instrumento no aumenta su capacidad, es decir, que cuando se produce el vaciado en el tanque del pluviógrafo hay exactamente 10 mm de lluvia.
- Errores tales como registros que no comienzan en cero, curvas que exceden la escala del papel, y discontinuidad de la curva de ascenso, se deben a descalibración del instrumento que se refleja en curvas de llenados que difieren de la escala del papel.
- Cuando se observa que la aguja baja hasta un mismo nivel en la escala del papel, se puede establecer que el equipo de registro presenta un error de descalibración.

- Cuando no se tiene seguridad sobre el valor de precipitación para un determinado lapso de tiempo es preferible colocarlo como dato faltante (DF.) y por ningún motivo se deben llenar con valor cero (0.00).

Además se investigó con las entidades que nos proporcionaron los datos para establecer la forma como ellos corrigen esos errores y sus conceptos se aplicaron en la determinación de los procesos a seguir en el re-escalamiento de la información. Los conceptos recopilados se resumen a continuación:

#### **Datos Provenientes del IDEAM.**

- Cuando la aguja no baja hasta cero en la escala del papel, es debido a errores de descalibración del instrumento, pero el tanque del pluviógrafo se encuentra vacío.
- Puede darse el caso que la aguja no llegue a 10 mm en la escala del papel pero el tanque si se encuentra lleno.
- Para corregir los problemas de descalibración se debe tener en cuenta la regularidad con que la aguja baja y sube hasta un mismo nivel.

#### **Datos provenientes de la CDMB.**

- Se pueden presentar errores de descalibración debido a fallas en los instrumentos que hacen que la aguja no llegue hasta los límites de la escala del papel. Esos errores son generalmente de tipo mecánico.
- Para el caso de las estaciones automáticas cuando se presentan vacíos en la tabla de datos, se debe a errores en el instrumento que no se pueden

recuperar y que para todos los efectos se deben tomar como datos faltantes.

En el proceso de re-escalamiento de la información se pudieron identificar 5 casos típicos y a continuación se describe como se manejaron.

### Caso 1: Registro que no comienza en cero.

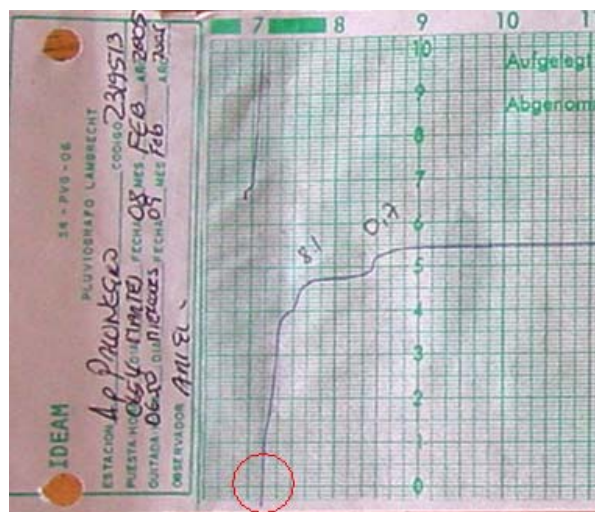


Foto Pluviograma Palonegro (Feb 8 - 9)

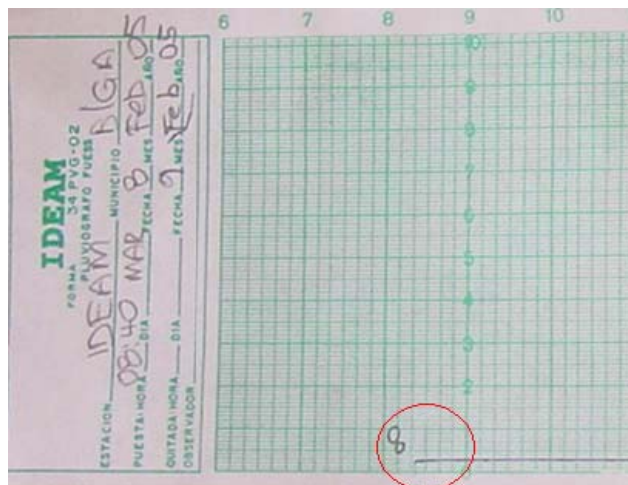


Foto Pluviograma IDEAM (Feb 8)

Como se puede observar en la foto, se presenta el caso donde desde el comienzo del registro la aguja no marca desde el nivel cero de la escala del papel, en este caso se tomo como cero este punto y luego se reescaló la primer curva de ascenso en el registro. Este reescalamiento se realizo teniendo en cuenta el nivel al que llega la curva, como se describirá en un caso posterior.

### Caso 2: Registros con diferente escala.

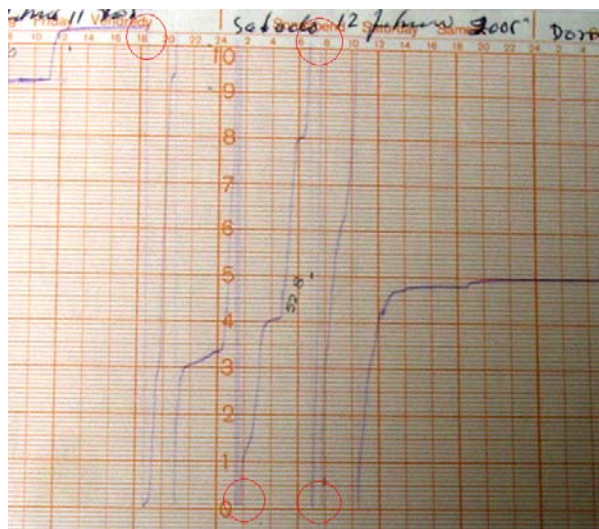


Foto Pluviograma La Esperanza (Feb. 11 - Feb. 12)

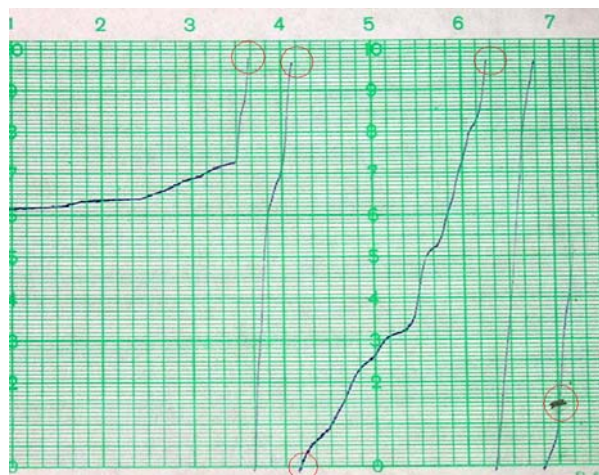


Foto Pluviograma IDEAM (Feb 8)

Este es uno de los casos más típicos que se identifico en los registros, se puede observar que cuando se produce el vaciado la aguja no llega exactamente hasta el nivel cero, y cuando se llena el tanque del pluviógrafo, no sube exactamente hasta diez. Esta situación puede presentarse de diversas formas, puede ser que la curva se pase de diez, o que no suba hasta este valor, como también puede ser que no baje hasta cero, o que baje un poco mas de este nivel. Como se puede observar en la foto anterior, las curvas de llenado del pluviografo se pasan del nivel superior de la escala del papel y en la parte inferior no llegan a su nivel mínimo, por lo que al contar los mm de lluvia registradas para un periodo de llenado no se obtiene el valor total de la capacidad del tanque del pluviógrafo.

En este caso se procedió de la siguiente manera: como se había establecido que el tanque siempre se llena con 10 mm, se procedió a modificar la escala, para lo cual se calculo un factor de modificación, que según el caso podía ser de amplificación o de reducción. Si la curva de ascenso registraba más de 10 mm el factor seria de reducción, y si la curva de ascenso registraba menos de 10 mm el factor seria de amplificación. A continuación se presentan dos casos que ejemplifican los cálculos:

**Caso A:**

Inicio curva: -0.2

Fin de curva: 10.1

Factor de modificación:

$$\frac{10}{(10.1 - (-0.2))} = 0.971 \quad \text{[Ecuación 1]}$$

## Caso B

Inicio curva: 0.1

Fin de curva: 9.9

Factor de modificación:

$$\frac{10}{(9.9 - (0.1))} = 1.020 \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Según la situación que se presentara, cada uno de los datos incluidos en esa curva se multiplicó por el factor de modificación obtenido. De esta forma al sumar los datos para cada una de las curvas de ascenso se obtuvo el valor de 10 mm que corresponde a la escala real. Debe tenerse en cuenta que para poder realizar la corrección de los errores la digitalización de los datos se realizó mediante un formato que permite identificar los puntos donde comenzaba cada una de las curvas y hasta donde llegaba cada una, además de las horas que presentan dos factores de re-escalamiento. El formato utilizado fue el siguiente:

FECHA	HORA	DATO	INICIA	TERMINA	factor escala	DATO CORREGIDO	Factor 1	Factor 2	HORA PAPEL	HORA PUESTA	OBSERVACIONES
09/02/05	01:00	0.1	-0.2	8.7	1.123595506	0.112359551					va hasta las 3:0
09/02/05	02:00	0.35			1.123595506	0.393258427					
09/02/05	03:00	1.2			1.123595506	1.348314607					
09/02/05	04:00	15				17.19101124	1.1236	1.16279			toma de las dos curvas 64 de 1 y 8,6 de 2
09/02/05	05:00	4.55	-0.2	8.4	1.162790698	5.290697674					va hasta las 6:00
09/02/05	06:00	4.05			1.162790698	4.709302326					
09/02/05	07:00	5.6	-0.2	8.6	1.136363636	6.363636364					
09/02/05	08:00	4.8				5.394605395	1.13636	1.0989			toma de las dos curvas 3,2 de 1 y 1,6 de 2
09/02/05	09:00	0.1	-0.2	8.9	1.098901099	0.10989011					va hasta las 3:00 del 11

Tomado de Estación CDMB

### Caso 3: Horas con dos datos de re-escalamiento

Cuando se da el caso que para obtener el valor de precipitación de una hora en particular, se deben sumar datos de dos curvas de llenado que tienen diferentes factores de modificación, se tomo la parte correspondiente a cada curva y se multiplico por el respectivo coeficiente y se sumaron para obtener el dato total de la hora. La forma como esto se registro durante la digitalización de la información se puede ver en la tabla anterior.

Un caso en particular se observa en la foto que esta a continuación, en ella se puede ver que para la hora correspondiente a las 0:00 se deben sumar datos de la curva que sube a 8.6 y de la curva que sube a 8.7; en este caso se calcularon los dos factores de modificación y se procedió a multiplicar cada uno de ellos por la cantidad de milímetros tomados de la curva a la que pertenece y a sumarlos para colocarlos como dato total para la hora.

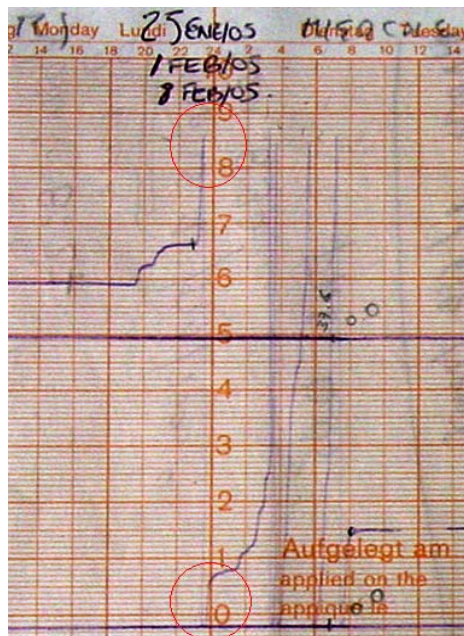


Foto Pluviograma Estación CDMB Feb. 8 14:00 – Feb 9 8:00

#### Caso 4: Discontinuidades en el registro grafico

Este caso se debe a fallas en el suministro de tinta en la plumilla y da origen a curvas de llenado que presentan discontinuidades, para tratar estos datos se tuvo en cuenta la cantidad de horas sin datos y se colocó el valor correspondiente a la diferencia entre el punto donde comenzó nuevamente el registro y el ultimo punto marcado como el dato para la ultima hora sin registro y los demás como 0.00. Esto a fin de mantener el valor total de precipitación que se presento para el día. Debe tenerse en cuenta que para tomar esta decisión se tuvo en cuenta que el dato que se va a colocar no afecta los valores horarios máximos de precipitación que registraba la estación.

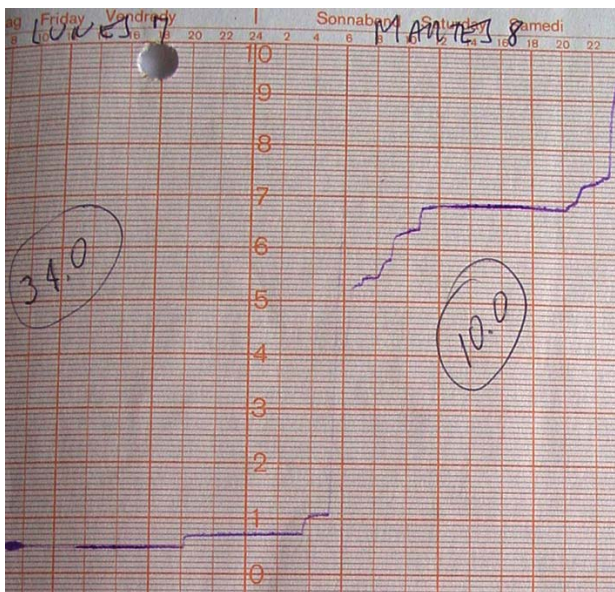


Foto Pluvigramma Ruitoque (feb 7 – 8)

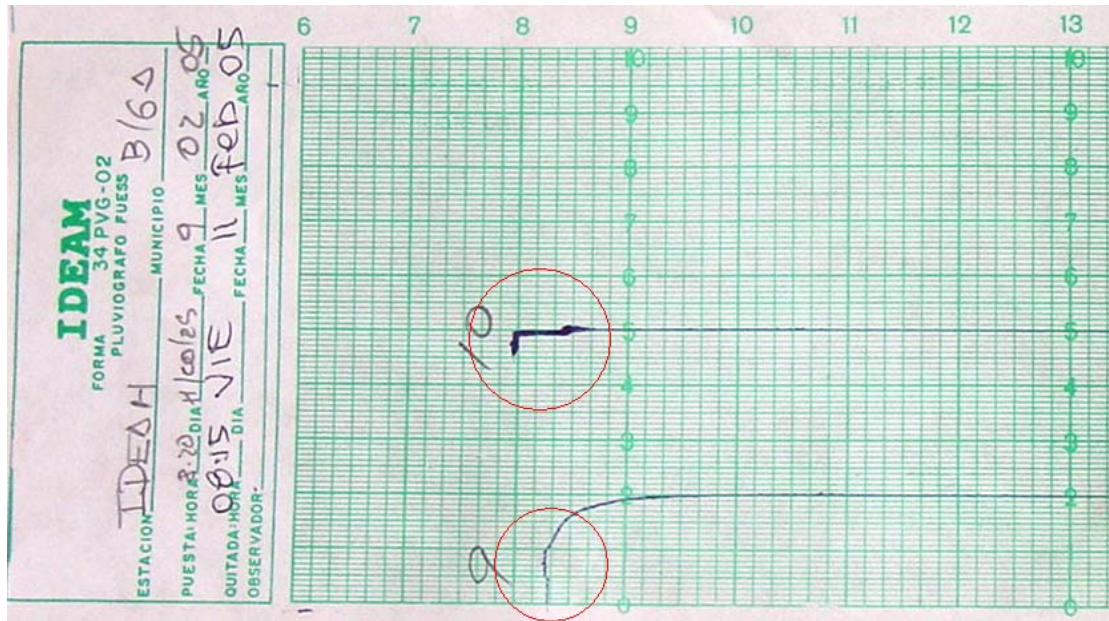
### **Caso 5: Obstrucciones en la plumilla o varilla del flotador.**

Ocurre cuando por fallas mecánicas la plumilla no registra el vaciado del tanque para un periodo considerablemente largo y donde de acuerdo a otras estaciones se debió presentar lluvia, esto se observa como un trazo horizontal en la curva de llenado. Según Aparicio (1999) este es un error recuperable, pero teniendo en cuenta que el caso encontrado incluía datos para más de 10 horas se optó por colocarlos como datos faltantes, evitando así cometer errores por exageración en la extrapolación.

### **Observaciones adicionales**

- **Papel puesto varios días.**

En algunas estaciones se presentó la situación de que una misma tira de papel se utilizaba para varias semanas, de acuerdo a Aparicio (1999) esto se acostumbra a realizar cuando durante el primer registro de la tira no se presenta lluvia, y no influye en la calidad de la información. Teniendo en cuenta esta información se realizó la extracción de la información de acuerdo a los procedimientos antes mencionados.



- **Ubicación de las estaciones.**

Luego de obtener la información de todas las estaciones, y teniendo en cuenta su ubicación espacial en el área de estudio, se procedió a separar cada uno de los eventos de precipitación que se presentaron durante el periodo a analizar y a establecer el factor de correlación de cada una de las estaciones con las demás.

De este análisis se pudo observar que las estaciones CDMB y El Centro, a pesar de encontrarse muy cerca la una de la otra (800 mts aprox.), no presentan valores de coeficiente de correlación buenos.

Debido a esto y observando la grafica de la precipitación para cada uno de los eventos se pudo establecer que la estación de la CDMB se encontraba una hora desfasada en el tiempo, por lo que se procedió a correr todos los datos una hora y

a calcular nuevamente los valores de factor de correlación. Al realizar estos cálculos se pudo establecer que los nuevos valores reflejaban mejor la semejanza en la ubicación de las estaciones.

**ANEXO C**

**DATOS DE PRECIPITACION  
CORREGIDOS**

Fecha	Hora	ESTACION											
		Gja. Piedecuesta	IDEAM	Llano-grande	Apto. Palonegro	Ruitoque	La Esperanza	Club Campestre	CDMB	Centro	Chimita	PTAR	UIS
07/02/2005	08:00			0.00	0.00	0.10				0.00	0.00	0.00	0.00
07/02/2005	09:00			0.00	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	0.00
07/02/2005	11:00		0.00	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	0.00
07/02/2005	13:00		0.00	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	0.00
07/02/2005	15:00		0.00	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	0.00
07/02/2005	17:00		0.00	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	0.00
07/02/2005	19:00		0.00	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	0.00
07/02/2005	21:00		0.00	0.00	0.00	0.20				0.00	0.00	0.00	0.00
07/02/2005	22:00		0.00	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	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	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	0.00
08/02/2005	02:00	0.00	1.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.30
08/02/2005	03:00	0.00	6.67	1.38	1.25	0.00	0.00	0.20		32.50	5.40	0.00	5.70
08/02/2005	04:00	0.42	24.74	11.02	3.17	0.31	0.00	0.00		5.50	3.30	0.00	21.80
08/02/2005	05:00	0.42	6.72	0.00	0.38	0.10	0.00	1.84		1.50	0.30	0.00	10.00
08/02/2005	06:00	0.36	6.87	0.10	10.48	2.96	0.35	1.13		2.50	1.80	0.00	16.50
08/02/2005	07:00	0.10	DF	0.00	2.02	1.33	0.23	0.00		2.00	4.60	0.00	0.30
08/02/2005	08:00	0.05	DF	4.50	7.74	0.15	0.01	0.93		0.00	4.50	0.00	0.10
08/02/2005	09:00	0.63	DF	DF	0.62	0.36	1.96	0.00		0.00	5.40	0.00	0.00
08/02/2005	10:00	0.21	0.00	DF	0.00	0.55	0.29	0.04	0.00	0.00	3.60	0.00	0.00
08/02/2005	11:00	0.10	0.00	DF	0.00	0.47	0.10	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00
08/02/2005	12:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
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	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fecha	Hora	ESTACION											
		Gja. Piedecuesta	IDEAM	Llano-grande	Apto. Palonegro	Ruitoque	La Esperanza	Club Campestre	CDMB	Centro	Chimita	PTAR	UIS
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	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
08/02/2005	21:00	3.96	0.53	0.24	0.48	0.15	0.00	0.00	0.53	0.50	0.10	0.00	1.90
08/02/2005	22:00	5.37	0.21	0.05	2.38	0.37	0.00	2.27	0.46	0.50	0.40	0.00	0.50
08/02/2005	23:00	8.79	0.00	0.00	7.64	0.14	0.29	0.05	0.08	0.00	0.50	0.00	0.30
09/02/2005	00:00	3.23	4.84	1.35	0.63	2.67	0.20	0.15	0.00	0.50	0.10	0.00	0.30
09/02/2005	01:00	26.36	0.21	17.35	0.63	1.91	1.96	0.21	3.99	1.00	0.10	0.00	0.20
09/02/2005	02:00	20.00	0.21	21.90	0.97	7.66	1.47	6.71	0.11	0.00	0.40	0.00	0.00
09/02/2005	03:00	16.88	0.53	43.14	5.83	20.00	4.07	10.52	0.39	0.50	2.30	0.00	0.40
09/02/2005	04:00	2.60	10.40	64.66	6.95	14.95	7.21	14.68	1.35	7.00	5.20	0.00	5.50
09/02/2005	05:00	0.42	5.46	17.28	14.46	2.69	2.79	6.30	17.19	25.00	12.00	0.00	6.70
09/02/2005	06:00	DF	4.74	0.68	8.82	2.69	6.32	4.09	5.29	3.00	3.90	0.00	5.20
09/02/2005	07:00	DF	13.98	1.55	5.00	0.91	2.54	DF	4.71	5.50	2.90	0.00	7.10
09/02/2005	08:00	DF	DF	0.50	4.80	0.86	1.44	DF	6.36	5.00	4.40	DF	13.00
09/02/2005	09:00	DF	DF	1.60	3.33	0.27	0.99	0.16	5.39	3.50	2.40	0.00	3.90
09/02/2005	10:00	DF	0.10	0.60	0.39	0.43	0.16	0.00	0.11	0.00	0.30	0.00	0.00
09/02/2005	11:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
09/02/2005	12:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	DF	0.00
09/02/2005	13:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.10	0.40	0.00
09/02/2005	14:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.75	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
09/02/2005	15:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.19	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	16:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/02/2005	17:00	DF	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	DF	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	DF	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	DF	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	DF	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	DF	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	DF	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	DF	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	DF	0.00	0.20	0.00	0.22	0.00	0.16	0.00	0.00	1.80	0.00	0.00
10/02/2005	02:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.22	0.40	0.23	0.00	0.00	1.90	0.20	0.00
10/02/2005	03:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.05	0.23	0.03	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00
10/02/2005	04:00	DF	0.00	0.10	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	05:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	06:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/02/2005	07:00	DF	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fecha	Hora	ESTACION											
		Gja. Piedecuesta	IDEAM	Llano-grande	Apto. Palonegro	Ruitoque	La Esperanza	Club Campestre	CDMB	Centro	Chimita	PTAR	UIS
10/02/2005	08:00	0.59	DF	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	0.00	0.00	0.10	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
10/02/2005	18:00	0.03	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
10/02/2005	20:00	0.00	0.00	0.00	3.32	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00	0.10	0.00	0.20
10/02/2005	21:00	0.05	0.00	0.00	0.04	0.43	0.00	0.47	0.00	0.00	0.40	0.20	0.20
10/02/2005	22:00	0.10	0.85	0.08	0.09	0.22	0.13	0.79	1.01	0.50	0.10	0.40	0.70
10/02/2005	23:00	0.10	0.00	0.11	1.43	0.11	0.06	1.78	0.09	0.00	0.20	0.60	0.10
11/02/2005	00:00	0.50	0.21	2.08	1.92	1.29	0.05	1.78	0.55	0.50	1.00	0.40	0.30
11/02/2005	01:00	3.17	0.96	0.00	0.07	9.03	0.03	1.47	0.66	0.50	0.70	1.20	1.30
11/02/2005	02:00	7.08	0.96	0.00	0.52	8.04	0.01	0.00	1.29	1.50	0.20	1.80	0.20
11/02/2005	03:00	5.10	0.00	1.37	0.00	0.32	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00
11/02/2005	04:00	5.97	10.59	0.00	0.54	6.05	0.14	0.00	4.65	6.00	0.80	0.00	3.00
11/02/2005	05:00	7.60	10.31	0.00	3.75	22.35	0.72	20.00	22.53	23.00	4.50	24.40	3.90
11/02/2005	06:00	0.20	0.71	2.04	6.19	0.27	0.40	22.04	2.73	1.50	17.40	21.80	0.00
11/02/2005	07:00	0.05	0.10	0.57	0.34	0.21	1.18	0.11	0.23	0.00	0.20	1.20	0.00
11/02/2005	08:00	0.00	0.00	2.75	0.37	0.05	0.13	0.00	0.23	0.00	1.10	0.00	0.00
11/02/2005	09:00	0.00	0.05	0.73	1.13	0.00	0.02	0.00	0.91	0.00	0.20	0.00	0.00
11/02/2005	10:00	0.56	0.05	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.10	0.00	0.10
11/02/2005	11:00	0.82	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
11/02/2005	12:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	0.00	0.00	0.00	0.10	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
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
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
11/02/2005	16:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
11/02/2005	17:00	1.12	0.31	0.00	0.15	0.11	0.00	0.15	0.06	0.50	0.10	0.20	0.10
11/02/2005	18:00	0.71	0.21	0.00	0.05	1.50	0.00	0.70	0.34	0.00	0.00	0.00	0.10
11/02/2005	19:00	1.53	1.91	0.00	0.15	2.67	0.15	3.17	1.70	0.50	0.00	0.20	0.30
11/02/2005	20:00	0.82	4.12	0.64	3.16	9.47	5.79	3.49	5.11	2.00	8.30	4.20	1.80

Fecha	Hora	ESTACION											
		Gja. Piedecuesta	IDEAM	Llano-grande	Apto. Palonegro	Ruitoque	La Esperanza	Club Campestre	CDMB	Centro	Chimita	PTAR	UIS
11/02/2005	21:00	1.63	13.35	14.87	0.34	0.80	5.04	8.30	4.89	9.00	3.30	13.60	6.00
11/02/2005	22:00	2.24	0.92	5.90	0.58	2.57	2.04	0.78	1.29	8.00	0.50	10.40	1.20
11/02/2005	23:00	3.40	1.73	8.81	0.24	0.74	0.09	17.11	0.96	0.50	0.00	0.40	1.20
12/02/2005	00:00	7.74	2.35	0.00	1.55	9.26	0.18	11.11	1.69	0.50	0.50	8.40	1.20
12/02/2005	01:00	5.10	3.06	11.19	0.97	11.81	3.09	10.56	3.26	2.00	0.60	11.40	2.70
12/02/2005	02:00	3.75	4.49	3.10	3.35	1.60	14.47	17.44	9.02	5.50	4.00	4.20	48.90
12/02/2005	03:00	7.40	1.38	13.76	8.64	2.66	1.63	4.67	3.79	5.50	11.20	24.80	DF
12/02/2005	04:00	2.60	0.56	21.43	0.40	3.94	1.52	2.44	1.91	1.00	1.10	4.40	DF
12/02/2005	05:00	10.00	7.45	3.43	9.90	10.00	0.85	30.00	8.09	9.00	13.40	9.40	DF
12/02/2005	06:00	20.00	33.27	29.76	28.56	10.00	3.04	24.51	30.00	36.50	28.40	36.80	DF
12/02/2005	07:00	11.65	15.93	17.62	15.43	17.58	2.11	5.64	31.38	16.50	11.60	19.40	DF
12/02/2005	08:00	8.35	13.16	10.51		12.42	12.48	8.10	29.31	13.00	13.30	7.80	1.50
12/02/2005	09:00	3.71	7.40	10.89		6.00	3.22	5.26	17.37	13.00	17.50	7.00	4.00
12/02/2005	10:00	1.86	1.88	7.33		1.58	1.98	2.07	1.94	2.00	1.00	2.80	1.50
12/02/2005	11:00	0.10	1.09	2.00		0.05	4.31	0.22	0.41	1.50	0.50	1.00	1.00
12/02/2005	12:00	0.00	0.05	0.05		0.05	1.98	0.00	0.53	0.00	0.10	0.00	0.10
12/02/2005	13:00	0.00	0.42	0.00		0.00	0.64		0.06	0.50	0.00	DF	0.10
12/02/2005	14:00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.10		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12/02/2005	15:00	0.00	0.31	0.00		0.00	0.04		0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
12/02/2005	16:00	0.00	0.00	0.00		0.21	0.01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12/02/2005	17:00	0.00	0.00	0.00		0.21	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12/02/2005	18:00	0.00	0.00	0.00		0.58	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12/02/2005	19:00	0.00	0.00	0.00		0.05	0.10		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12/02/2005	20:00	0.00	0.00	0.00		0.11	0.06		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12/02/2005	21:00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.04		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**ANEXO D**

**VARIABLES CLIMATICAS CORREGIDAS**

Fecha	Hora	Centro						Chimita					
		T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m <sup>2</sup> )	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV	T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m <sup>2</sup> )	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV
07/02/2005	08:00	20.3	100.0	289	664.25	1.51	4	25.7	85.8	222	701.52	0.98	171
07/02/2005	09:00	21.9	94.3	507	664.43	1.62	340	26.9	79.5	490	701.58	0.78	196
07/02/2005	10:00	23.1	86.4	697	664.48	2.15	339	28.5	71.9	613	701.33	0.86	187
07/02/2005	11:00	24.3	79.7	855	664.40	2.93	317	29.2	68.7	537	700.73	1.26	134
07/02/2005	12:00	25.0	75.4	726	664.27	2.86	323	30.1	65.4	682	699.91	1.22	165
07/02/2005	13:00	25.3	72.6	807	664.10	3.12	309	30.8	61.9	369	699.08	1.03	128
07/02/2005	14:00	25.5	70.8	653	663.94	3.33	319	31.0	61.0	698	698.26	1.76	100
07/02/2005	15:00	25.3	71.5	592	663.86	3.58	313	31.0	60.8	320	697.82	1.34	114
07/02/2005	16:00	24.6	75.3	311	664.37	3.28	326	30.6	61.4	345	697.71	1.04	167
07/02/2005	17:00	23.2	83.0	77	664.51	2.78	330	29.2	67.7	58	698.10	1.03	141
07/02/2005	18:00	22.0	91.2	0	664.62	2.40	331	28.0	73.8	0	698.59	1.04	174
07/02/2005	19:00	21.5	95.8	0	664.67	2.32	337	27.6	76.3	0	699.20	1.17	185
07/02/2005	20:00	21.3	98.6	0	664.76	1.74	339	27.1	79.7	0	699.81	0.91	197
07/02/2005	21:00	21.0	100.0	0	664.77	1.50	346	26.4	84.5	0	700.27	0.37	274
07/02/2005	22:00	20.7	100.0	0	664.49	1.49	348	25.9	87.4	0	700.37	0.56	239
07/02/2005	23:00	20.1	100.0	0	664.72	1.74	355	25.9	86.0	0	700.22	0.38	211
08/02/2005	00:00	19.9	100.0	0	664.68	1.10	335	25.5	88.4	0	699.90	0.37	205
08/02/2005	01:00	20.1	100.0	0	664.76	0.82	351	24.9	91.0	0	699.58	1.04	203
08/02/2005	02:00	19.0	100.0	0	664.31	2.16	344	24.5	93.0	0	699.24	0.86	213
08/02/2005	03:00	18.4	100.0	0	664.55	1.82	335	23.4	99.5	0	699.27	0.79	217
08/02/2005	04:00	18.5	100.0	0	664.69	1.39	1	23.5	99.0	0	699.53	0.57	195
08/02/2005	05:00	18.6	100.0	0	664.76	0.97	6	23.7	99.6	0	699.94	0.51	199
08/02/2005	06:00	18.6	100.0	2	664.54	1.12	358	23.0	100.0	1	700.42	0.94	183
08/02/2005	07:00	18.4	100.0	25	664.50	2.08	1	22.7	100.0	9	701.05	0.08	54
08/02/2005	08:00	18.6	100.0	32	664.98	1.67	330	22.9	100.0	18	701.66	0.23	19
08/02/2005	09:00	19.2	100.0	129	664.96	2.04	337	23.6	99.0	193	701.85	0.19	81
08/02/2005	10:00	20.1	100.0	327	664.72	1.62	332	24.9	93.5	359	701.71	0.25	54
08/02/2005	11:00	21.6	96.9	543	664.66	1.83	333	26.9	81.6	393	701.06	0.26	177
08/02/2005	12:00	21.6	97.1	425	664.97	2.45	5	27.6	77.3	467	700.29	0.84	212
08/02/2005	13:00	23.5	85.3	735	664.87	1.92	338	28.9	72.2	416	699.46	0.45	133
08/02/2005	14:00	23.4	83.9	397	664.74	2.41	340	29.0	71.2	330	698.67	0.75	156
08/02/2005	15:00	22.9	86.5	391	664.60	2.78	5	27.9	76.8	223	698.03	1.54	211
08/02/2005	16:00	23.0	86.1	286	664.56	2.08	359	27.8	76.4	199	698.01	1.56	216
08/02/2005	17:00	21.6	95.0	33	664.60	2.11	321	27.1	78.4	24	698.41	1.21	172
08/02/2005	18:00	20.9	99.1	0	664.63	1.39	352	26.2	84.7	0	698.89	0.45	246
08/02/2005	19:00	20.5	100.0	0	664.71	1.70	334	25.2	90.3	0	699.44	0.64	273
08/02/2005	20:00	19.9	100.0	0	664.75	1.60	357	24.9	92.9	0	700.20	0.77	190

Fecha	Hora	Centro						Chimita					
		T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m²)	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV	T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m²)	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV
08/02/2005	22:00	18.8	100.0	0	664.88	0.73	17	23.1	99.6	0	700.85	1.12	189
08/02/2005	23:00	18.7	100.0	0	664.84	0.33	328	23.1	99.6	0	700.63	0.20	223
09/02/2005	00:00	18.6	100.0	0	664.69	0.94	344	23.1	99.9	0	700.17	0.34	230
09/02/2005	01:00	18.5	100.0	0	664.54	1.30	339	23.1	100.0	0	699.54	0.17	90
09/02/2005	02:00	18.4	100.0	0	664.52	0.46	325	22.9	100.0	0	699.07	0.31	50
09/02/2005	03:00	18.3	100.0	0	664.49	0.12	306	22.7	100.0	0	698.93	0.12	345
09/02/2005	04:00	17.7	100.0	0	664.28	1.94	313	22.5	100.0	0	699.21	0.62	217
09/02/2005	05:00	17.8	100.0	0	664.39	1.02	330	22.1	100.0	0	699.50	0.21	314
09/02/2005	06:00	17.5	100.0	4	664.63	2.21	353	22.1	100.0	3	699.97	0.15	66
09/02/2005	07:00	17.4	100.0	23	664.75	1.65	333	22.0	100.0	18	700.62	0.44	181
09/02/2005	08:00	17.6	100.0	75	664.71	1.91	347	22.0	100.0	57	701.23	0.49	173
09/02/2005	09:00	18.4	100.0	243	664.18	1.70	331	22.7	100.0	217	701.23	0.22	138
09/02/2005	10:00	19.3	100.0	283	664.12	1.72	305	24.2	93.6	296	701.02	0.16	150
09/02/2005	11:00	19.7	100.0	261	664.09	1.90	334	25.4	84.3	456	700.55	0.71	189
09/02/2005	12:00	20.1	100.0	244	663.92	1.41	14	25.3	87.2	262	699.87	0.78	226
09/02/2005	13:00	21.1	98.8	347	663.83	1.72	350	25.6	84.7	232	699.11	1.10	94
09/02/2005	14:00	20.4	100.0	173	663.62	2.54	319	25.3	84.2	233	698.55	1.85	92
09/02/2005	15:00	19.9	100.0	242	663.65	2.17	353	25.9	80.8	206	698.23	0.66	130
09/02/2005	16:00	20.5	99.2	224	663.57	2.54	3	25.7	83.1	150	698.22	1.12	210
09/02/2005	17:00	19.8	100.0	23	663.65	1.83	344	25.5	82.1	30	698.64	0.53	139
09/02/2005	18:00	19.7	100.0	0	663.82	0.73	11	24.8	87.5	1	699.22	0.70	201
09/02/2005	19:00	19.4	100.0	0	663.90	1.16	337	24.3	90.2	0	699.94	1.05	196
09/02/2005	20:00	19.4	100.0	0	664.06	0.34	41	24.0	91.8	0	700.55	0.83	210
09/02/2005	21:00	19.5	100.0	0	664.16	0.09	356	23.7	93.9	0	701.07	0.37	214
09/02/2005	22:00	19.4	100.0	0	664.13	0.59	341	23.5	95.8	0	701.22	0.36	265
09/02/2005	23:00	19.3	100.0	0	664.09	0.39	4	23.3	96.6	0	701.09	0.21	283
10/02/2005	00:00	19.1	100.0	0	664.07	0.45	355	23.2	97.5	0	700.66	0.20	200
10/02/2005	01:00	18.6	100.0	0	663.93	0.14	257	22.6	100.0	0	700.08	0.25	324
10/02/2005	02:00	18.3	100.0	0	663.88	0.60	342	22.6	100.0	0	699.82	0.15	304
10/02/2005	03:00	18.4	100.0	0	663.86	1.17	359	22.8	100.0	0	699.67	0.19	287
10/02/2005	04:00	18.4	100.0	0	663.88	0.87	14	23.0	100.0	0	699.78	0.02	359
10/02/2005	05:00	18.4	100.0	0	663.90	0.68	356	23.0	100.0	0	700.03	0.03	359
10/02/2005	06:00	18.5	100.0	7	664.04	1.21	5	23.2	99.8	4	700.64	0.13	222
10/02/2005	07:00	18.8	100.0	76	664.13	1.37	14	23.6	97.3	106	701.21	0.43	178
10/02/2005	08:00	19.4	100.0	143	664.25	1.15	4	24.2	93.8	146	701.65	0.46	173
10/02/2005	09:00	20.5	99.4	302	664.23	1.25	344	25.3	89.0	340	701.82	0.47	119
10/02/2005	10:00	22.1	90.5	509	664.26	1.38	350	26.9	80.0	549	701.33	0.66	182
10/02/2005	11:00	23.2	84.1	598	664.14	1.87	351	28.2	73.1	548	700.51	0.55	184
10/02/2005	12:00	23.5	82.2	545	664.08	2.63	311	28.9	69.8	575	699.89	1.33	119

Fecha	Hora	Centro						Chimita					
		T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m <sup>2</sup> )	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV	T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m <sup>2</sup> )	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV
10/02/2005	14:00	22.1	90.8	195	663.81	2.94	319	27.5	75.7	441	698.68	3.23	90
10/02/2005	15:00	21.3	96.9	129	663.75	2.14	355	27.2	75.9	158	698.48	1.15	130
10/02/2005	16:00	20.9	99.6	85	663.74	2.52	4	27.3	75.4	158	698.56	1.15	155
10/02/2005	17:00	20.5	100.0	17	663.81	2.51	3	26.4	81.9	22	698.98	0.86	176
10/02/2005	18:00	19.9	100.0	0	663.90	2.29	358	25.6	84.1	0	699.62	1.34	207
10/02/2005	19:00	19.0	100.0	0	663.88	1.50	350	24.1	90.2	0	700.31	1.34	195
10/02/2005	20:00	18.8	100.0	0	664.11	0.32	317	22.9	99.5	0	701.15	1.13	191
10/02/2005	21:00	19.1	100.0	0	664.21	0.20	12	23.1	98.4	0	701.52	0.42	206
10/02/2005	22:00	19.1	100.0	0	664.16	0.13	309	23.1	99.4	0	701.60	0.31	187
10/02/2005	23:00	18.7	100.0	0	664.23	0.03	288	22.9	100.0	0	701.68	0.21	177
11/02/2005	00:00	18.5	100.0	0	664.19	0.25	350	22.8	100.0	0	701.50	0.22	192
11/02/2005	01:00	18.3	100.0	0	663.99	0.31	9	22.7	100.0	0	701.05	0.42	200
11/02/2005	02:00	18.3	100.0	0	664.00	0.14	210	22.8	100.0	0	700.58	0.07	246
11/02/2005	03:00	18.1	100.0	0	664.00	0.33	284	22.9	100.0	0	700.57	0.20	351.00
11/02/2005	04:00	17.7	100.0	0	664.01	0.42	227	22.7	100.0	0	700.72	0.33	93.00
11/02/2005	05:00	17.5	100.0	0	664.08	0.82	223	22.2	100.0	0	701.13	0.27	28.00
11/02/2005	06:00	17.7	100.0	9	664.14	0.35	194	22.2	100.0	10	701.44	0.23	325.00
11/02/2005	07:00	18.1	100.0	68	664.30	0.86	300	22.4	100.0	41	702.16	0.52	21.00
11/02/2005	08:00	18.4	100.0	75	664.41	1.02	304	22.9	100.0	110	702.63	0.97	24.00
11/02/2005	09:00	18.6	100.0	93	664.47	1.71	338	23.6	99.7	142	702.90	1.12	22.00
11/02/2005	10:00	19.0	100.0	172	664.46	2.22	340	24.0	93.6	184	702.78	1.44	33.00
11/02/2005	11:00	19.1	100.0	265	664.38	2.83	349	24.3	89.9	311	702.35	1.52	20.00
11/02/2005	12:00	19.8	100.0	280	664.27	2.22	333	24.7	87.0	280	701.66	1.40	38.00
11/02/2005	13:00	20.3	99.1	389	664.07	1.97	338	25.3	84.3	266	701.02	1.30	24.00
11/02/2005	14:00	21.1	95.9	237	663.96	1.36	359	26.1	81.9	205	700.26	0.93	16.00
11/02/2005	15:00	20.5	99.6	142	663.94	1.78	358	26.4	80.8	199	699.97	1.36	354.00
11/02/2005	16:00	19.2	100.0	35	663.96	1.86	338	24.9	85.9	69	700.05	0.78	50.00
11/02/2005	17:00	19.0	100.0	25	663.99	1.54	327	25.0	84.0	51	700.26	0.62	345.00
11/02/2005	18:00	18.6	100.0	0	664.07	0.75	324	24.4	89.4	0	700.71	0.09	6.000
11/02/2005	19:00	18.3	100.0	0	664.18	0.29	348	22.9	99.5	0	701.45	0.31	9.00
11/02/2005	20:00	18.2	100.0	0	664.21	0.36	63	22.3	100.0	0	702.10	0.71	270.00
11/02/2005	21:00	18.0	100.0	0	664.25	0.09	4	22.4	100.0	0	702.42	0.56	313.00
11/02/2005	22:00	18.1	100.0	0	664.26	0.59	26	22.3	100.0	0	702.28	0.92	314.00
11/02/2005	23:00	18.1	100.0	0	664.31	0.56	24	22.3	100.0	0	702.18	0.80	304.00
12/02/2005	00:00	17.9	100.0	0	664.20	0.57	357	22.3	100.0	0	701.64	0.51	334.99
12/02/2005	01:00	17.7	100.0	0	664.08	0.15	16	22.1	100.0	0	701.05	0.29	273.00
12/02/2005	02:00	17.5	100.0	0	663.94	0.59	296	21.9	100.0	0	700.75	0.54	152.84
12/02/2005	03:00	17.5	100.0	0	663.88	0.09	279	22.0	100.0	0	700.64	0.07	159.55

Fecha	Hora	Centro						Chimita					
		T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m <sup>2</sup> )	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV	T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m <sup>2</sup> )	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV
12/02/2005	04:00	17.2	100.0	0	663.95	1.07	164	21.8	100.0	0	700.97	0.96	185.61
12/02/2005	05:00	16.9	100.0	0	664.05	1.67	169	21.5	100.0	0	701.62	1.32	190.65
12/02/2005	06:00	16.8	100.0	0	664.16	1.08	102	21.3	100.0	0	702.28	0.85	223.67
12/02/2005	08:00	16.8	100.0	6	664.60	0.41	298	21.2	100.0	8	704.01	0.10	138.00
12/02/2005	09:00	17.1	100.0	34	664.67	1.36	358	21.1	100.0	35	704.32	0.99	1.0020
12/02/2005	10:00	17.6	100.0	152	664.64	1.69	339	21.7	100.0	174	704.05	0.89	34.00
12/02/2005	11:00	18.1	100.0	199	664.56	1.80	312	22.9	98.5	207	703.44	1.36	61.006
12/02/2005	12:00	17.8	100.0	221	664.44	1.94	330	23.6	91.4	366	702.82	1.31	111.92
12/02/2005	13:00	18.0	100.0	238	664.30	2.37	348	23.9	88.8	393	702.13	1.38	37.00
12/02/2005	14:00	18.6	100.0	304	664.20	2.56	346	24.0	87.7	356	701.51	1.26	16.00
12/02/2005	15:00	18.6	100.0	159	664.08	2.34	335	24.2	85.3	225	701.19	1.22	30.00
12/02/2005	16:00	18.6	100.0	125	664.08	1.78	336	24.2	83.2	128	701.14	1.29	3.00
12/02/2005	17:00	18.0	100.0	21	664.09	1.59	338	23.5	87.5	19	701.53	0.60	17.00
12/02/2005	18:00	17.4	100.0	0	664.20	1.36	325	22.4	94.9	1	701.94	0.65	9.00
12/02/2005	19:00	17.3	100.0	0	664.28	0.71	328	22.1	97.9	0	702.32	0.19	338.00
12/02/2005	20:00	17.9	100.0	0	664.39	0.16	41	21.9	99.5	0	702.69	0.67	283.00
12/02/2005	21:00	17.5	100.0	0	664.48	0.20	167	22.0	99.2	0	703.19	0.31	313.00

Fecha	Hora	PTAR						UIS					
		T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m <sup>2</sup> )	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV	T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m <sup>2</sup> )	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV
07/02/2005	08:00	22.5	87.0	253	688.99	0.23	140	21.6	87.0	186	679.82	1.19	3
07/02/2005	09:00	23.9	80.7	419	688.91	0.43	128	22.8	80.7	365	679.93	1.19	23
07/02/2005	10:00	25.2	73.7	713	688.23	0.63	101	24.1	73.7	650	679.78	1.54	28
07/02/2005	11:00	26.2	68.5	541	688.30	0.54	117	25.2	68.5	808	679.23	2.22	46
07/02/2005	12:00	27.1	64.6	866	688.08	0.69	124	26.2	64.6	724	678.48	1.81	10
07/02/2005	13:00	27.6	61.7	949	687.85	1.84	89	26.7	61.7	579	677.67	2.16	31
07/02/2005	14:00	27.8	59.7	851	687.70	2.82	77	26.9	59.7	469	676.93	2.67	45
07/02/2005	15:00	27.8	60.8	624	687.82	1.98	80	27.0	60.8	293	676.50	2.27	38
07/02/2005	16:00	27.0	64.2	281	688.11	2.06	71	25.9	64.2	170	676.41	2.26	49
07/02/2005	17:00	25.9	69.1	71	688.76	0.65	85	25.2	69.1	46	676.73	1.19	10
07/02/2005	18:00	24.8	72.7	0	689.31	0.51	78	24.4	72.7	0	677.16	1.13	9
07/02/2005	19:00	24.3	77.3	0	689.51	0.49	80	23.8	77.3	0	677.73	0.79	2
07/02/2005	20:00	23.9	80.0	0	689.63	0.22	176	23.4	80.0	0	678.31	0.84	4
07/02/2005	21:00	23.6	81.2	0	689.64	0.02	241	23.3	81.2	0	678.68	0.85	7
07/02/2005	22:00	23.2	83.1	0	689.59	0.21	222	22.9	83.1	0	678.79	1.02	2
07/02/2005	23:00	22.8	85.9	0	689.69	0.22	76	22.3	85.9	0	678.56	0.95	354
08/02/2005	00:00	22.6	83.7	0	689.40	0.07	54	22.3	83.7	0	678.19	0.90	355
08/02/2005	01:00	22.4	82.2	0	689.14	0.05	63	22.1	82.2	0	677.88	0.79	346
08/02/2005	02:00	21.6	90.9	0	684.85	0.33	109	21.3	90.9	0	677.53	0.95	53
08/02/2005	03:00	20.9	92.5	0	678.59	0.17	43	20.9	92.5	0	677.57	0.96	54
08/02/2005	04:00	20.8	93.7	0	680.16	0.32	266	20.5	93.7	0	677.91	1.71	345
08/02/2005	05:00	20.9	93.8	2	678.88	0.00	106	20.3	93.8	2	678.33	1.21	329
08/02/2005	06:00	20.5	93.9	5	678.13	0.63	74	20.0	93.9	7	678.71	0.97	357
08/02/2005	07:00	20.5	94.0	12	680.28	1.10	67	20.3	94.0	20	679.31	0.89	2
08/02/2005	08:00	20.7	93.9	23	680.17	0.91	64	20.6	93.9	32	679.89	0.86	59
08/02/2005	09:00	21.2	93.5	145	679.87	0.06	30	20.8	93.5	74	680.16	1.35	3
08/02/2005	10:00	22.1	92.0	275	687.20	0.31	50	21.3	92.0	265	680.00	0.96	31
08/02/2005	11:00	23.5	87.5	288	689.69	0.30	301	22.0	87.5	205	679.44	1.13	346
08/02/2005	12:00	26.6	83.4	480	695.81	0.28	189	22.7	83.4	435	678.69	1.77	9
08/02/2005	13:00	28.0	74.8	817	695.52	0.76	89	24.3	74.8	619	677.90	1.70	13
08/02/2005	14:00	27.3	70.0	443	691.35	0.91	98	24.9	70.0	374	677.20	1.70	28
08/02/2005	15:00	27.2	70.4	366	691.12	0.79	162	24.8	70.4	245	676.61	1.65	9
08/02/2005	16:00	24.8	74.9	138	691.12	0.61	219	24.4	74.9	138	676.54	1.17	8
08/02/2005	17:00	24.2	78.8	32	691.62	0.81	199	23.5	78.8	24	676.89	0.77	14
08/02/2005	18:00	23.4	80.8	0	692.38	0.16	168	22.9	80.8	0	677.29	0.71	2
08/02/2005	19:00	22.7	83.7	0	687.08	0.05	256	22.6	83.7	0	677.82	0.66	353
08/02/2005	20:00	22.9	90.3	0	686.82	0.03	195	21.8	90.3	0	678.54	0.98	358

Fecha	Hora	PTAR						UIS					
		T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m²)	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV	T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m²)	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV
08/02/2005	22:00	22.1	90.9	0	682.72	0.02	223	20.6	90.9	0	678.93	0.44	308
08/02/2005	23:00	21.9	90.3	0	679.17	0.55	68	21.0	90.3	0	678.73	0.44	173
09/02/2005	00:00	21.9	91.7	0	678.56	0.49	66	20.9	91.7	0	678.21	0.62	16
09/02/2005	01:00	21.7	92.7	0	679.75	0.55	50	20.7	92.7	0	677.58	0.87	14
09/02/2005	02:00	21.3	93.0	0	678.07	0.04	45	20.8	93.0	0	677.13	0.37	28
09/02/2005	03:00	21.2	92.6	0	672.41	0.02	167	20.8	92.6	0	677.05	0.65	44
09/02/2005	04:00	21.0	93.0	0	674.06	0.28	228	20.2	93.0	0	677.29	1.17	64
09/02/2005	05:00	20.8	92.7	2	680.16	0.00	270	20.0	92.7	1	677.54	0.68	68
09/02/2005	06:00	20.8	93.5	6	680.27	0.07	293	19.6	93.5	6	677.98	1.42	22
09/02/2005	07:00	20.7	94.0	33	680.75	0.51	263	19.5	94.0	22	678.57	1.22	33
09/02/2005	08:00	18.9	94.3	78	676.34	0.07	219	19.3	94.3	67	679.19	1.12	44
09/02/2005	09:00	18.7	94.1	261	670.30	0.13	41	19.8	94.1	247	679.21	0.99	56
09/02/2005	10:00	20.2	91.8	358	673.35	0.32	70	20.6	91.8	225	678.97	1.36	55
09/02/2005	11:00	16.5	90.7	513	687.81	0.39	145	20.8	90.7	163	678.58	1.19	13
09/02/2005	12:00	21.7	89.4	365	700.41	0.74	174	21.1	89.4	197	677.98	1.06	340
09/02/2005	13:00	21.6	83.8	366	703.55	0.82	97	22.2	83.8	369	677.23	1.31	10
09/02/2005	14:00	21.2	84.3	281	695.27	1.66	80	22.2	84.3	238	676.73	1.60	27
09/02/2005	15:00	21.8	86.6	1461	685.62	0.71	150	21.4	86.6	202	676.50	1.93	353
09/02/2005	16:00	22.0	68.6	202	684.14	0.41	175	21.9	83.6	141	676.49	1.62	358
09/02/2005	17:00	20.7	73.8	27	684.11	0.58	176	21.3	86.1	11	676.85	0.84	352
09/02/2005	18:00	20.0	79.0	1	684.22	0.07	181	21.3	85.3	0	677.42	0.63	302
09/02/2005	19:00	19.6	81.9	0	683.75	0.04	176	21.4	84.2	0	678.09	0.29	344
09/02/2005	20:00	19.4	82.4	0	683.42	0.03	14	21.7	81.5	0	678.67	0.40	170
09/02/2005	21:00	19.3	83.2	0	683.48	0.16	75	21.6	82.9	0	679.12	0.50	314
09/02/2005	22:00	19.1	85.8	0	683.39	0.00	263	21.4	84.1	0	679.23	0.56	348
09/02/2005	23:00	19.0	86.6	0	683.39	0.06	63	21.2	84.4	0	679.08	0.68	342
10/02/2005	00:00	19.0	87.1	0	683.39	0.03	57	20.9	86.8	0	678.61	0.54	355
10/02/2005	01:00	18.8	87.8	0	683.28	0.01	245	20.6	88.3	0	678.03	0.46	26
10/02/2005	02:00	18.6	87.7	0	683.13	0.00	72	20.6	89.3	0	677.81	0.68	357
10/02/2005	03:00	18.5	87.5	0	683.24	0.00	26	20.6	88.2	0	677.66	0.48	359
10/02/2005	04:00	18.5	87.5	0	683.39	0.01	50	20.5	89.3	0	677.78	0.68	349
10/02/2005	05:00	18.5	87.4	0	683.71	0.01	63	20.6	89.3	0	678.01	0.42	2
10/02/2005	06:00	18.6	87.2	9	683.96	0.00	67	20.4	91.1	8	678.64	0.74	2
10/02/2005	07:00	19.4	83.0	96	684.30	0.00	292	20.6	89.7	57	679.20	0.81	356
10/02/2005	08:00	20.2	78.0	176	685.71	0.57	58	21.1	87.2	140	679.64	0.82	13
10/02/2005	09:00	20.9	73.5	310	686.00	1.24	56	21.5	86.5	255	679.83	1.17	350
10/02/2005	10:00	22.3	65.2	430	684.40	1.11	56	23.0	78.0	503	679.43	1.16	15
10/02/2005	11:00	23.9	57.7	579	684.71	0.60	83	24.1	72.1	764	678.74	1.66	14
10/02/2005	12:00	24.5	57.0	595	684.29	0.61	138	25.0	69.6	473	678.16	1.59	28

Fecha	Hora	PTAR						UIS					
		T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m²)	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV	T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m²)	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV
10/02/2005	14:00	23.2	62.1	389	683.93	1.90	85	24.0	75.1	195	677.00	1.25	11
10/02/2005	15:00	22.5	65.2	196	683.78	0.51	130	22.9	80.4	111	676.81	1.78	351
10/02/2005	16:00	22.3	67.8	112	683.78	0.49	192	22.9	79.8	71	676.88	1.39	357
10/02/2005	17:00	21.4	72.2	25	683.79	0.20	276	22.5	80.6	12	677.27	1.28	355
10/02/2005	18:00	20.9	73.4	0	683.84	0.73	153	21.8	85.1	0	677.85	1.08	5
10/02/2005	19:00	20.4	73.6	0	683.92	1.16	167	20.7	88.1	0	678.38	0.36	7
10/02/2005	20:00	19.4	81.6	0	684.01	0.31	187	21.1	85.8	0	679.19	0.10	126
10/02/2005	21:00	18.9	87.5	0	684.27	0.00	100	21.0	87.2	0	679.47	0.30	260
10/02/2005	22:00	18.9	88.2	0	684.82	0.04	59	21.1	87.7	0	679.54	0.18	289
10/02/2005	23:00	18.8	88.4	0	684.66	0.40	68	21.1	88.8	0	679.59	0.16	142
11/02/2005	00:00	18.8	88.3	0	685.30	0.04	75	20.8	91.5	0	679.43	0.35	40
11/02/2005	01:00	18.7	88.6	0	685.15	0.00	0	20.6	92.0	0	678.96	0.57	302
11/02/2005	02:00	18.7	88.2	0	684.27	0.04	76	20.9	89.8	0	678.49	0.33	285
11/02/2005	03:00	18.8	87.7	0	684.35	0.18	60	20.5	92.2	0	678.51	0.20	351
11/02/2005	04:00	18.6	88.0	0	683.89	0.18	203	20.2	92.8	0	678.62	0.33	93
11/02/2005	05:00	18.0	88.3	1	684.25	0.10	198	20.3	93.0	1	678.97	0.27	28
11/02/2005	06:00	18.0	88.3	12	684.43	0.04	73	20.4	92.6	10	679.34	0.23	325
11/02/2005	07:00	18.6	85.4	93	684.78	0.02	61	20.4	93.3	62	680.01	0.52	21
11/02/2005	08:00	19.2	81.7	121	685.32	0.31	64	20.5	93.2	93	680.49	0.97	24
11/02/2005	09:00	19.9	78.5	169	685.30	0.48	56	20.4	93.4	94	680.80	1.12	22
11/02/2005	10:00	20.1	75.0	184	685.41	0.42	187	20.4	93.6	111	680.69	1.44	33
11/02/2005	11:00	20.7	70.6	280	685.25	0.46	220	20.2	93.7	170	680.29	1.52	20
11/02/2005	12:00	20.9	68.3	284	685.33	0.59	158	20.8	90.7	249	679.59	1.40	38
11/02/2005	13:00	21.4	66.4	357	685.22	0.40	121	21.2	87.8	233	679.01	1.30	24
11/02/2005	14:00	21.4	66.0	244	685.35	0.65	64	21.9	81.9	204	678.34	0.93	16
11/02/2005	15:00	21.6	67.1	191	685.13	1.03	66	21.5	86.6	80	678.11	1.36	354
11/02/2005	16:00	20.4	72.5	46	685.07	0.65	165	21.1	89.3	29	678.14	0.78	50
11/02/2005	17:00	19.9	74.6	24	684.90	0.45	180	20.8	91.4	19	678.35	0.62	345
11/02/2005	18:00	19.1	83.3	1	684.88	0.24	277	20.8	90.8	1	678.77	0.09	6
11/02/2005	19:00	18.8	85.4	0	685.40	0.03	269	20.4	91.8	0	679.41	0.31	9
11/02/2005	20:00	18.3	85.6	0	684.93	0.10	285	20.2	92.7	0	679.97	0.71	270
11/02/2005	21:00	18.2	86.4	0	684.54	0.19	60	20.1	93.3	0	680.26	0.56	313
11/02/2005	22:00	18.2	85.9	0	684.49	0.00	102	20.0	93.6	0	680.14	0.92	314
11/02/2005	23:00	18.3	85.7	0	684.54	0.02	268	20.0	93.8	0	680.02	0.80	304
12/02/2005	00:00	18.2	85.4	0	684.54	0.03	89	19.9	93.6	0	679.46	0.51	335
12/02/2005	01:00	18.1	85.0	0	684.77	0.02	304	20.0	93.8	0	678.86	0.29	273
12/02/2005	02:00	18.0	84.9	0	680.21	0.47	81	20.1	89.1	0	678.30	0.54	152.84
12/02/2005	03:00	17.9	84.4	0	677.52	0.00	99	20.2	89.4	0	678.18	0.07	159.55

Fecha	Hora	PTAR						UIS					
		T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m <sup>2</sup> )	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV	T (°C)	Hrel (%)	Rs (W/m <sup>2</sup> )	Pa (mbar)	Vv (m/s)	DV
12/02/2005	04:00	17.9	83.8	0	677.58	0.71	82	19.9	89.8	0	678.49	0.96	185.6
12/02/2005	05:00	17.5	83.3	0	677.73	0.09	127	19.7	90.0	0	679.09	1.32	190.65
12/02/2005	06:00	17.3	83.4	1	677.84	0.05	245	19.6	90.0	3.14589	679.70	0.85	223.67
12/02/2005	08:00	17.3	82.2	8	678.19	0.12	67	19.0	94.6	45	681.98	0.10	138
12/02/2005	09:00	17.5	81.4	40	678.25	0.69	65	18.9	94.6	39	682.30	0.99	1
12/02/2005	10:00	18.4	76.6	194	678.23	0.04	70	19.2	94.6	171	682.00	0.89	34
12/02/2005	11:00	19.5	69.2	291	678.18	0.60	60	19.6	94.3	152	681.45	1.36	61
12/02/2005	12:00	20.2	94.4	124.998	680.59	1.31	111.92	19.3	94.4	125	680.86	1.31	41
12/02/2005	13:00	20.4	62.8	431	674.72	0.78	104	19.5	94.4	156	680.20	1.38	37
12/02/2005	14:00	20.9	59.0	428	677.46	1.02	168	19.8	94.3	165	679.58	1.26	16
12/02/2005	15:00	20.1	62.7	220	677.49	0.38	89	19.9	93.8	110	679.23	1.22	30
12/02/2005	16:00	20.1	61.7	147	677.45	0.29	104	19.8	93.1	56	679.22	1.29	3
12/02/2005	17:00	19.4	66.4	27	677.47	0.25	116	19.7	93.1	15	679.59	0.60	17
12/02/2005	18:00	18.6	72.8	1	677.58	0.51	70	19.4	93.5	0	679.95	0.65	9
12/02/2005	19:00	18.2	74.6	0	677.65	0.01	41	19.4	93.6	0	680.30	0.19	338
12/02/2005	20:00	17.9	77.2	0	677.72	0.18	72	19.4	92.5	0	680.64	0.67	283
12/02/2005	21:00	17.7	78.5	0	677.87	0.63	74	19.3	92.6	0	681.07	0.31	313

**ANEXO E**

**METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO  
DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN**

**ASCE PENMAN-MONTEITH  
(ASCE-PM)**

Existen diversas metodologías basadas en esta ecuación como la recomendada por la FAO (Paper 56) y la recomendada por la American Society of Civil Engineers (ASCE).

Los datos de entrada de las metodologías mencionadas anteriormente son los mismos, sin embargo, para el cálculo de algunos parámetros inmersos en las ecuaciones utilizadas por cada una, la metodología recomendada por la American Society of Civil Engineers (ASCE) en su referencia estandarizada para la ecuación de evapotranspiración “THE ASCE STANDARDIZED REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION EQUATION” (ASCE, 2005) se torna un poco mas sencilla, por lo cual se tomo la decisión de utilizarla.

La ecuación estandarizada para superficie de pastos cortos y a resolución temporal horaria es la siguiente:

$$ET_{05} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Donde:

- $ET_{05}$  = Evapotranspiración potencial para superficie de pasto corto ( $\text{mm h}^{-1}$ )
- $R_n$  = Radiación neta calculada ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )
- $G$  = Densidad de flujo de calor del suelo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )
- $T$  = Temperatura media horaria a 1.5-2.5 m de altura ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $u_2$  = Velocidad media horaria del viento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ )
- $e_s$  = Presión de vapor de saturación a 1.5-2.5 m de altura (kPa)
- $e_a$  = Presión de vapor media actual a 1.5-2.5 m de altura (kPa)

$\Delta$  = Pendiente curva Presión vapor de saturación–Temperatura (kPa °C<sup>-1</sup>)

$C_n$  = Constante del numerador de cambio de tipo de superficie y escala temporal (K mm s<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>)

$C_d$  = Constante del denominador de cambio de tipo de superficie y escala temporal (s m<sup>-1</sup>)

Las unidades para el coeficiente 0.408 son m<sup>2</sup> mm MJ<sup>-1</sup>

### Definición Parámetros Ecuación.

- **Coeficientes Cn y Cd**

Los valores para Cn consideran la escala temporal y la rugosidad aerodinámica de la superficie. La constante Cd considera la escala temporal, resistencia al volumen de la superficie y la rugosidad aerodinámica de la superficie. Los valores correspondientes de acuerdo a la metodología son:

Escala Horaria	Cn	Cd
Horas del día	37	0.24
Horas de la noche	37	0.96

Tabla. Coeficientes Cd y Cn a escala horaria.

- **Variables Psicrométrica y Atmosférica**

#### **Cabeza constante de Vaporización ( $\lambda$ )**

$$\lambda = 2.45 \text{ MJ kg}^{-1}$$

#### **Temperatura media del aire (T)**

Representa de la temperatura entre los periodos horarios.

**Presión Atmosférica:** De acuerdo a la metodología seguida la presión atmosférica se debe calcular de acuerdo a la ecuación 2 que corresponde a

una simplificación de la ley universal de los gases. En el caso particular se utilizaron los datos registrados por las estaciones automáticas.

$$P = 101.3 \left( \frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Siendo

P = Presión media atmosférica del lugar z (kPa)

z = Elevación del lugar sobre el nivel del mar (m)

**Constante Psicrométrica ( $\gamma$ ):** Se calcula mediante la ecuación 3, cabe recordar que los valores de presión utilizados corresponden a datos medidos.

$$\gamma = 0.000665 P \quad \text{[Ecuación 3]}$$

$\gamma = \text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$

P = kPa

**Pendiente de la curva Presión de vapor de saturación – Temperatura.** Se calculo mediante la ecuación 4.

$$\Delta = \frac{2503 \exp\left(\frac{293 - 0.065z}{T + 237.3}\right)}{(T + 237.3)^2} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Donde,

$\Delta$  = Pendiente de la curva Presión de vapor de saturación – Temperatura (kPa  $^\circ\text{C}^{-1}$ )

T = Temperatura media del aire ( $^\circ\text{C}$ )

### **Presión de saturación de vapor ( $e_s$ )**

La presión de saturación de vapor representa la capacidad del aire al vapor del agua caliente y se calculó con la ecuación 5.

$$e_s = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right) \quad [\text{Ecuación 5}]$$

Donde

$e_s$  = Presión de saturación de vapor (kPa)

T = Temperatura media del aire (°C)

### **Presión actual de vapor ( $e_a$ )**

Es usada para representar el contenido de agua (humedad) del aire en el lugar y puede ser calculada de diversas formas dependiendo los datos de entrada.

Debido a que se contaba con datos de humedad relativa y temperatura del aire, se realizó el cálculo utilizando la siguiente ecuación 6.

$$e_a = \frac{Hr}{100} e_s \quad [\text{Ecuación 6}]$$

Donde,

Hr = Humedad relativa media (%) para el periodo horario.

T = Temperatura media del aire (°C)

- **Radiación Neta**

La radiación ( $R_n$ ) neta es la cantidad neta de radiación de energía disponible en la superficie de vegetación o tierra para evaporar agua, calentando el aire, o la superficie.  $R_n$  incluye los componentes de la radiación de onda corta y larga. (Ecuación 7)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad [\text{Ecuación 7}]$$

Donde,

$R_{ns}$  = Radiación neta de onda corta ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

$R_{nl}$  = Radiación neta de onda larga ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

### **Radiación neta de onda corta ( $R_{ns}$ )**

Esta dada por el equilibrio entre la radiación solar entrante y la reflejada, se calcula con la ecuación 8.

$$R_{ns} = R_s - \alpha R_s = (1 - \alpha) R_s \quad \text{[Ecuación 8]}$$

$R_{ns}$  = Radiación neta de onda corta ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

$\alpha$  = Albedo o coeficiente de reflejo (0.23 para superficies de pasto corto)

$R_s$  = Radiación solar entrante (medida por el instrumento) ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

### **Radiación neta de onda larga ( $R_{nl}$ )**

Es la diferencia entre la radiación de onda larga irradiada hacia arriba desde la superficie de referencia ( $R_{iu}$ ) y la radiación de onda larga irradiada desde la atmósfera hacia abajo ( $R_{id}$ ), el método utilizado para el cálculo de  $R_{nl}$  esta basado en la metodología de Brunt (1932, 1952) mediante la aplicación de la ecuación 9.

$$R_{nl} = \sigma f_{cd} (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) T_{Khr}^4 \quad \text{[Ecuación 9]}$$

Donde,

$R_{nl}$  = Radiación neta de onda larga saliente

$\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzmann ( $2.042 \times 10^{-10} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ )

$f_{cd}$  = Función de la nubosidad (adimensional) ( $0.05 \leq f_{cd} \leq 1.0$ )

$e_a$  = Presión actual de vapor (kPa)

$T$  = Temperatura media del aire ( $^{\circ}\text{K}$ )

### **Función de nubosidad ( $f_{cd}$ )**

Esta dada por la ecuación 10

$$f_{cd} = 1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \quad [\text{Ecuación 10}]$$

Donde:

$R_s/R_{so}$  = Radiación solar relativa ( $0.3 \leq R_s/R_{so} \leq 1.0$ )

$R_s$  = Radiación solar medida por el instrumento ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

$R_{so}$  = Radiación solar sin nubosidad (cielo despejado) ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

**Radiación solar sin nubosidad (cielo despejado) ( $R_{so}$ ) :** (Ecuación 11)

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad [\text{Ecuación 11}]$$

Donde:

$R_{so}$  = Radiación solar sin nubosidad (cielo despejado) ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

$z$  = Elevación de la estación al nivel del mar (m)

$R_a$  = Radiación extraterrestre ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

### **Radiación Extraterrestre ( $R_a$ )**

Esta definida como la radiación solar de onda corta en ausencia de la atmósfera. Esta función depende del día del año, la hora del día, la latitud y la longitud y se estima mediante la ecuación 12.

$$R_a = \frac{12}{\pi} G_{sc} d_r [(\omega_2 - \omega_1) \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) (\sin(\omega_2) - \sin(\omega_1))] \quad [\text{Ecuación 12}]$$

Donde:

$R_a$  = Radiación extraterrestre durante una hora ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

$G_{sc}$  = Constante solar ( $4.92 \text{ MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

$d_r$  = Factor del inverso de la distancia relativa de la tierra y el sol

$\delta$  = Declinación solar (radianes)

$\phi$  = Latitud (radianes) (Positiva para el hemisferio norte y negativa para el sur)

$\omega_1$  = Angulo de la hora solar e inicio del periodo (radianes)

$\omega_2$  = Angulo de la hora solar y fin del periodo (radianes)

**Factor del inverso de la distancia relativa de la tierra y el sol ( $d_r$ )** : Se calcula mediante la ecuación 13.

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad [\text{Ecuación 13}]$$

**Declinación solar ( $\delta$ )**: (Ecuación 14)

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad [\text{Ecuación 14}]$$

Siendo J el numero del día del año entre 1 (1 enero) y 365 o 366 (31 diciembre).

**Angulo de la hora solar e inicio del periodo ( $\omega_1$ )**

$$\omega_1 = \omega - \frac{\pi t_1}{24} \quad [\text{Ecuación 15}]$$

**Angulo de la hora solar y fin del periodo ( $\omega_2$ )**

$$\omega_2 = \omega + \frac{\pi t_1}{24} \quad [\text{Ecuación 16}]$$

Siendo,

$\omega$  = Angulo de la hora solar en la mitad del periodo (radianes)

$t_1$  = Intervalo del periodo de calculo (hora)

**Angulo de la hora solar en la mitad del periodo ( $\omega$ ):** (Ecuación 17)

$$\omega = \frac{\pi}{12} [(t + 0.06667(L_z - L_m) + S_c) - 12] \quad [\text{Ecuación 18}]$$

Donde:

$t$  = Hora estándar para la mitad del periodo (hora)

$L_z$  = Longitud del centro de la zona de la hora local (expresada en grados positivos al este de Greenwich)

$L_m$  = Longitud del lugar donde se obtuvo la radiación solar. (expresada en grados positivos al este de Greenwich)

$S_c$  = Corrección estacional para la hora solar (hora)

Dado que  $\omega_s$  indica el ángulo de hora de puesta del sol y  $-\omega_s$  el ángulo de hora de salida del sol (mediodía tiene  $\omega_s = 0$ ), valores de  $\omega < -\omega_s$  o  $\omega > \omega_s$  indican que el sol está debajo del horizonte, y para el calculo,  $R_a$  y  $R_{so}$  serían cero y su cálculo no tendría significado. Por ello es conveniente utilizar los límites mostrados en las ecuaciones 19.a – 19.e.

Si  $\omega_1 < -\omega_s$  entonces  $\omega_1 = -\omega_s$  [Ecuación 19.a]

Si  $\omega_2 < -\omega_s$  entonces  $\omega_2 = -\omega_s$  [Ecuación 19.b]

Si  $\omega_1 > \omega_s$  entonces  $\omega_1 = \omega_s$  [Ecuación 19.c]

Si  $\omega_2 > \omega_s$  entonces  $\omega_2 = \omega_s$  [Ecuación 19.d]

Si  $\omega_1 > \omega_2$  entonces  $\omega_1 = \omega_2$  [Ecuación 19.e]

**Corrección estacional para la hora solar ( $S_c$ ): Obtenida** con la ecuación 20.a. El parámetro angular  $b$  se calcula con la ecuación 20.b

$$S_c = 0.1645 \sin(2b) - 0.1255 \cos(b) - 0.025 \sin(b) \quad [\text{Ecuación 20.a}]$$

$$b = \frac{2\pi(J - 81)}{364} \quad [\text{Ecuación 20.b}]$$

Siendo  $J$  el número del día del año y  $b$  expresado en radianes.

**Angulo de la hora solar ( $\omega$ ):** Se calcula mediante la ecuación 21.

$$\omega_s = \arcsin(-\tan(\varphi) \tan(\delta)) \quad [\text{Ecuación 21}]$$

- **Densidad de Flujo del calor del suelo ( $G$ )**

La densidad de flujo del calor del suelo es la energía térmica que se utiliza para calentar el suelo.  $G$  es positiva cuando el suelo está caliente y negativo cuando el suelo está frío. Se calcula mediante la ecuación 22.a para la noche y 22.b para el día.

$$G_{h \text{ noche}} = 0.5 R_n \quad [\text{Ecuación 22.a}]$$

$$G_{h \text{ día}} = 0.1 R_n \quad [\text{Ecuación 22.b}]$$

- **Relación del perfil del viento**

En los cálculos se utiliza la velocidad del viento medida a 2 mts por encima de la superficie, por lo tanto cuando se mide esta variable a una altura diferente de esta, se debe ajustar utilizando la relación mostrada en la ecuación 23.

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z_w - 5.42)} \quad [\text{Ecuación 23}]$$

Donde,

$u_2$  = Velocidad del viento medida a 2mts de la superficie del suelo ( $m s^{-1}$ )

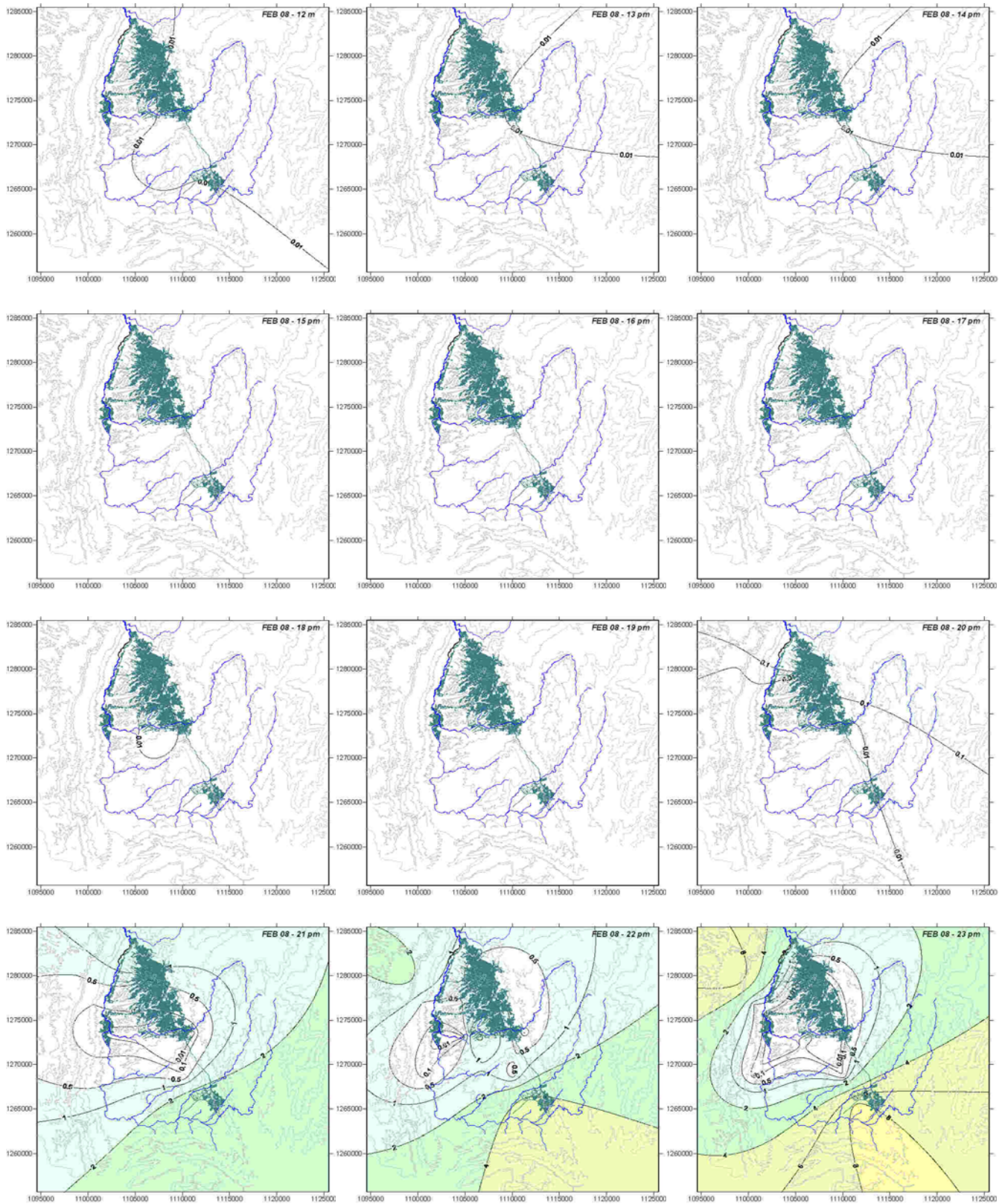
$u_z$  = Velocidad del viento medida a una altura  $z_w$  de la superficie del suelo ( $m s^{-1}$ )

Al aplicar esta metodología, ocasionalmente los valores calculados para la ET de referencia pueden ser negativos en las horas de la noche. En algunas ocasiones estos valores pueden indicar condensación de vapor durante períodos de rocío en las horas de la madrugada o también pueden indicar incertidumbre en la información utilizada y en las suposiciones implícitas en la ecuación aplicada. En la práctica estos valores suelen tomarse como cero.

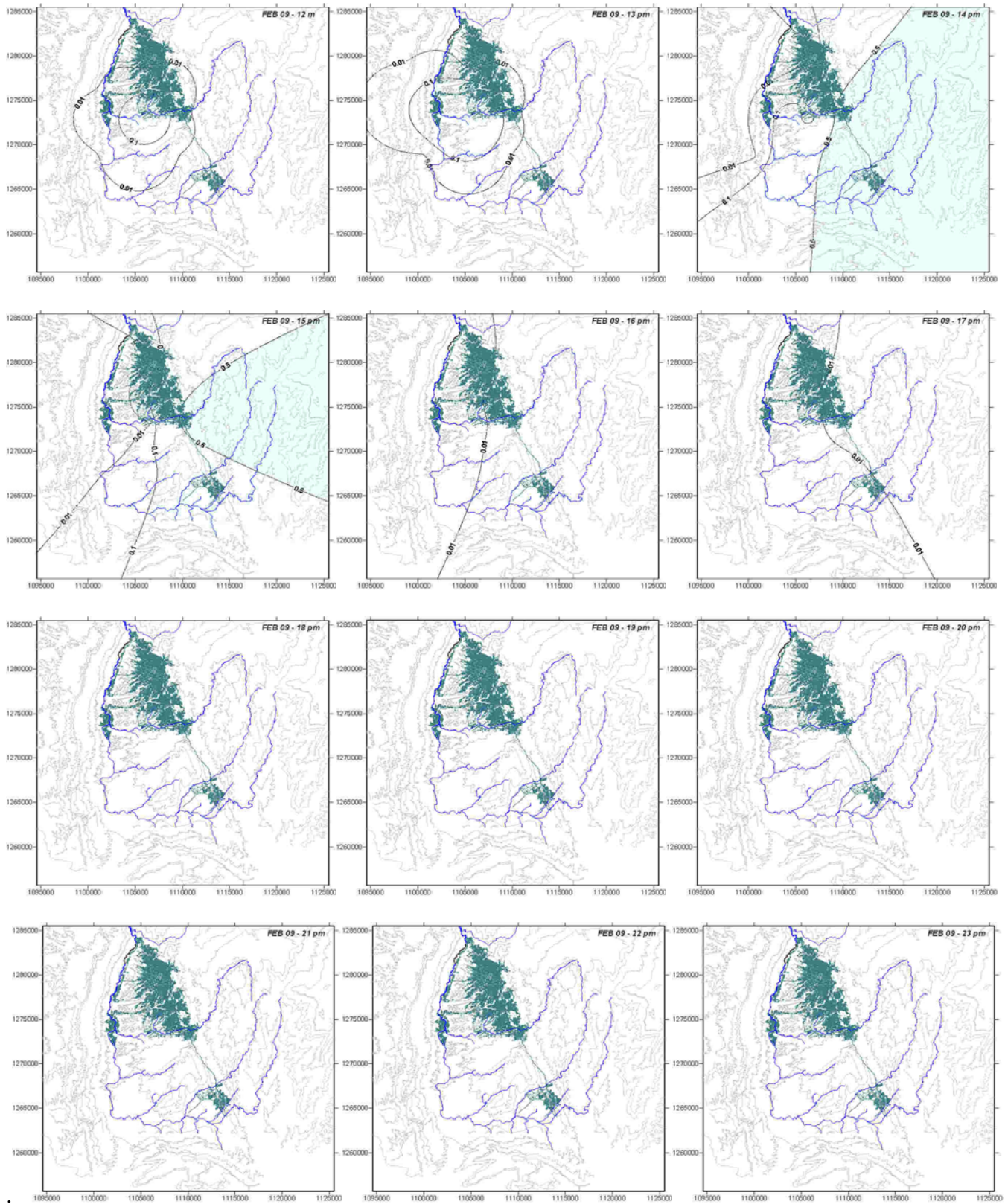
**ANEXO F**

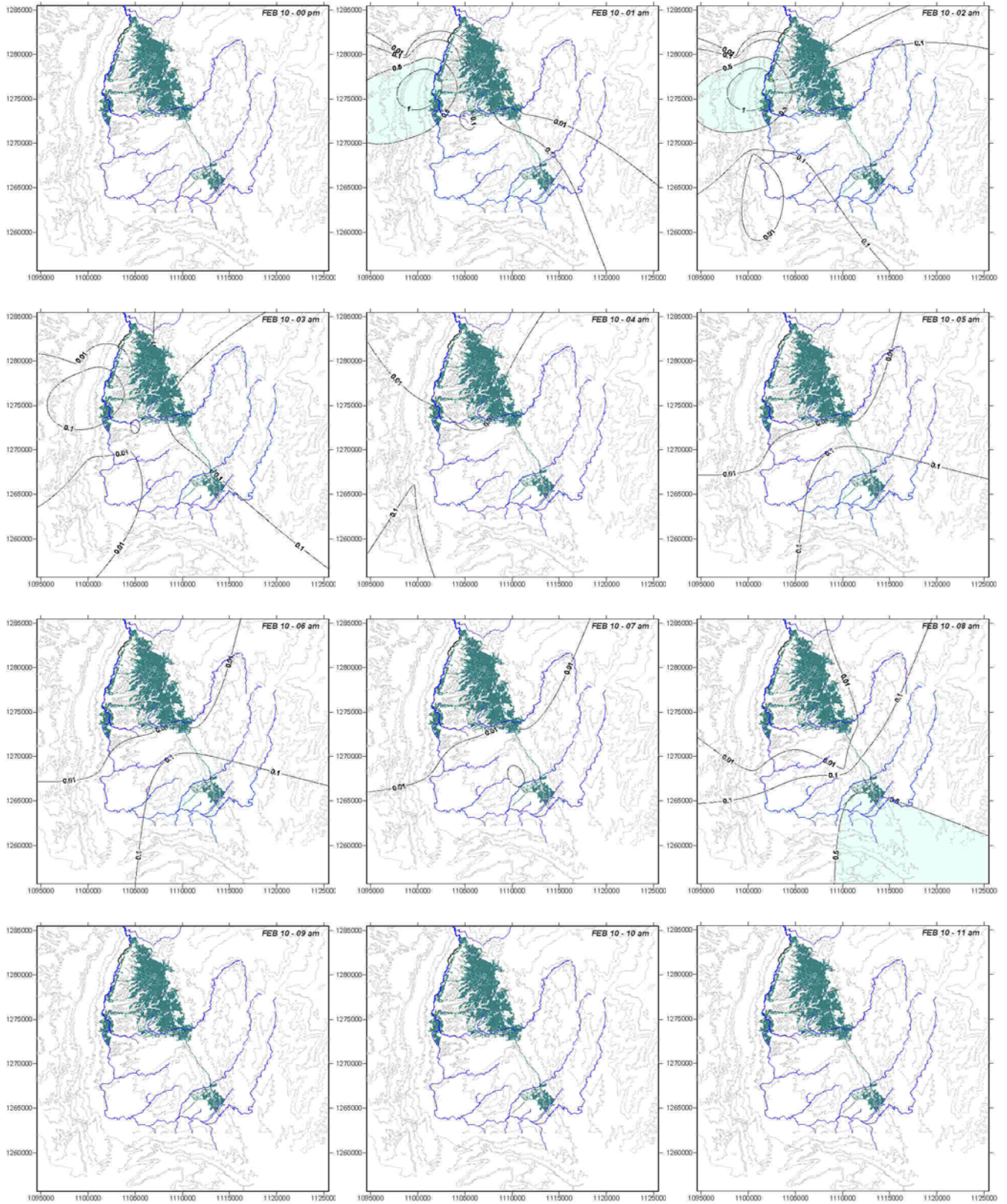
**ESPACIALIZACIÓN HORARIA DE LA  
PRECIPITACIÓN**

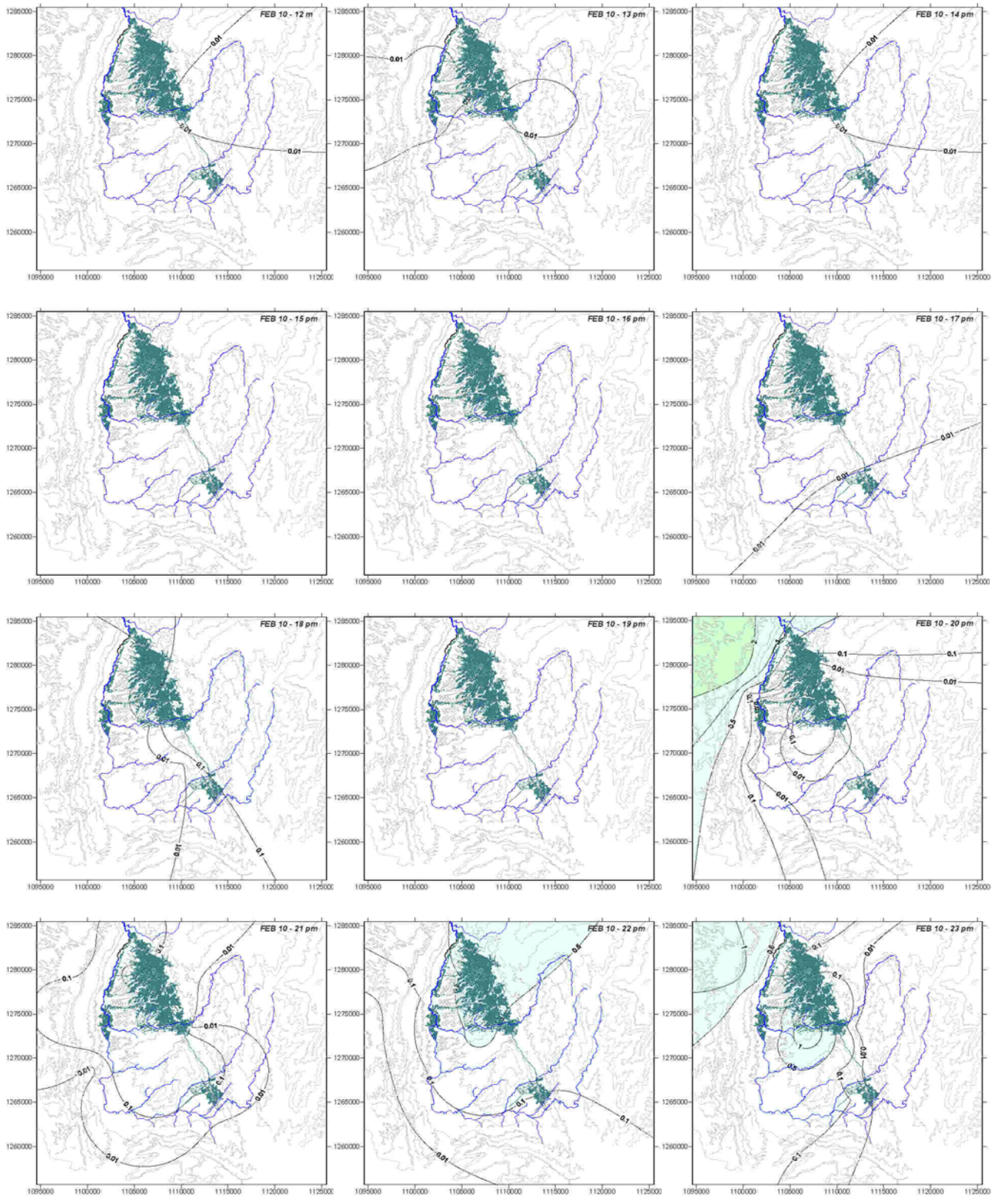


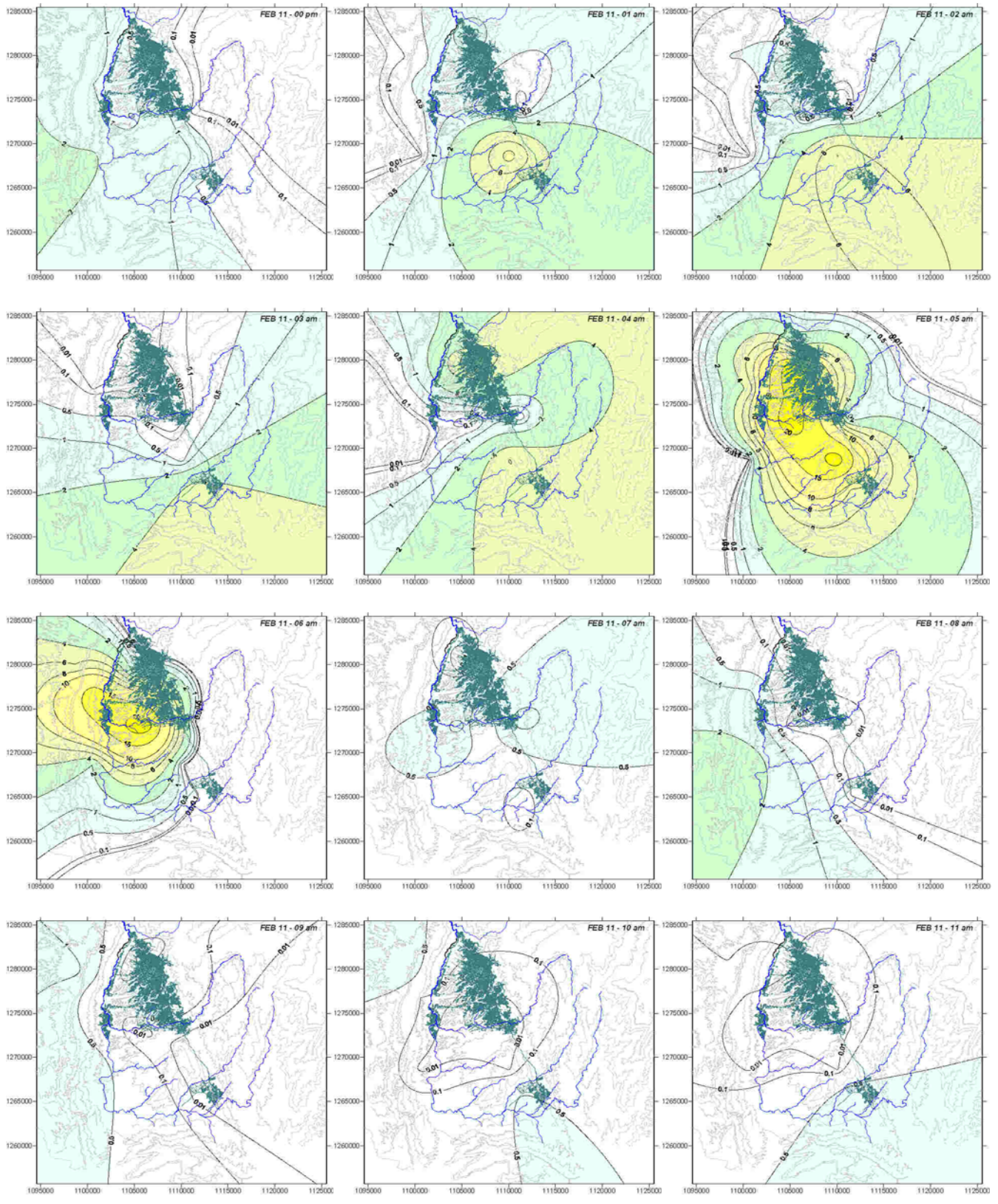


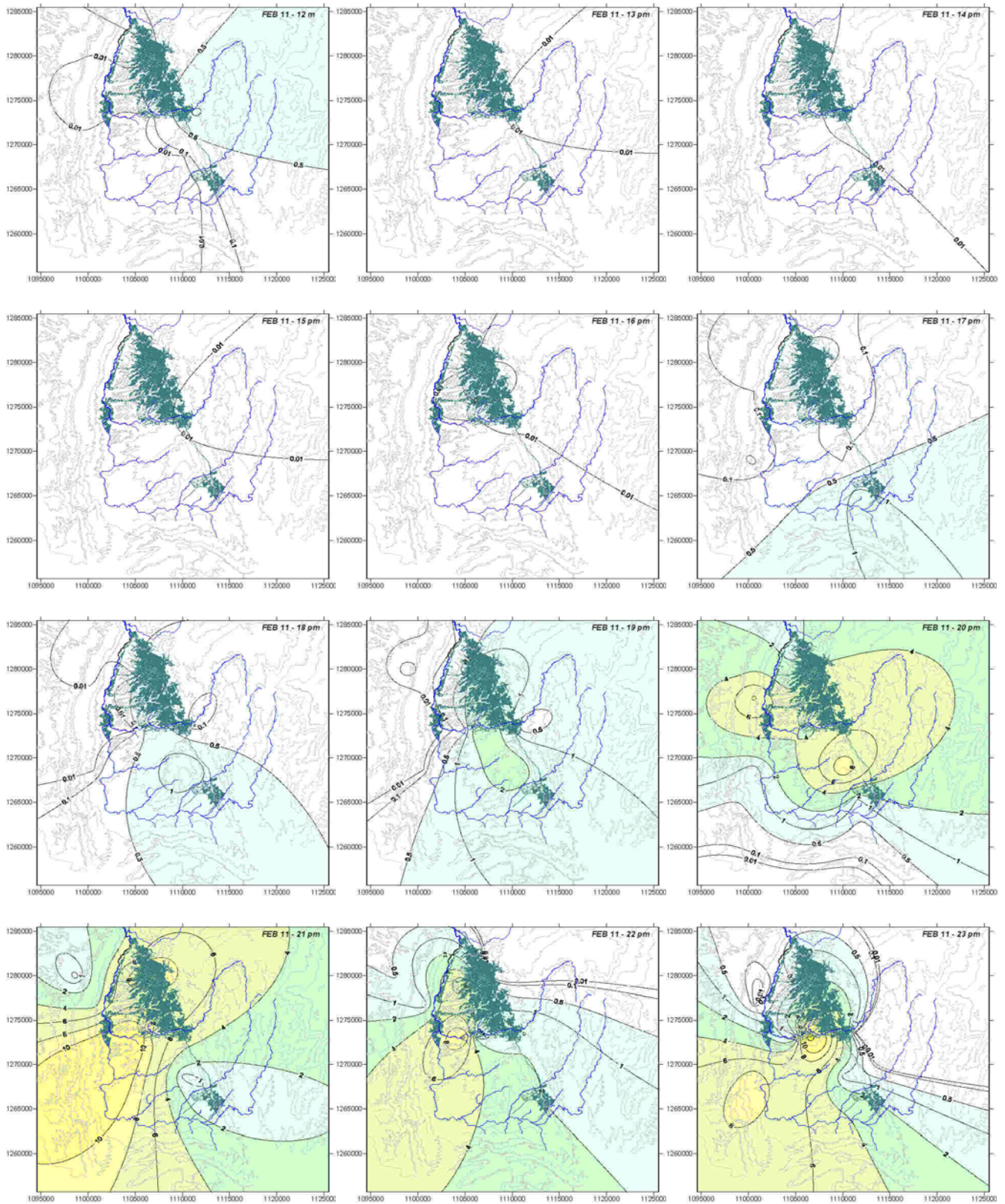




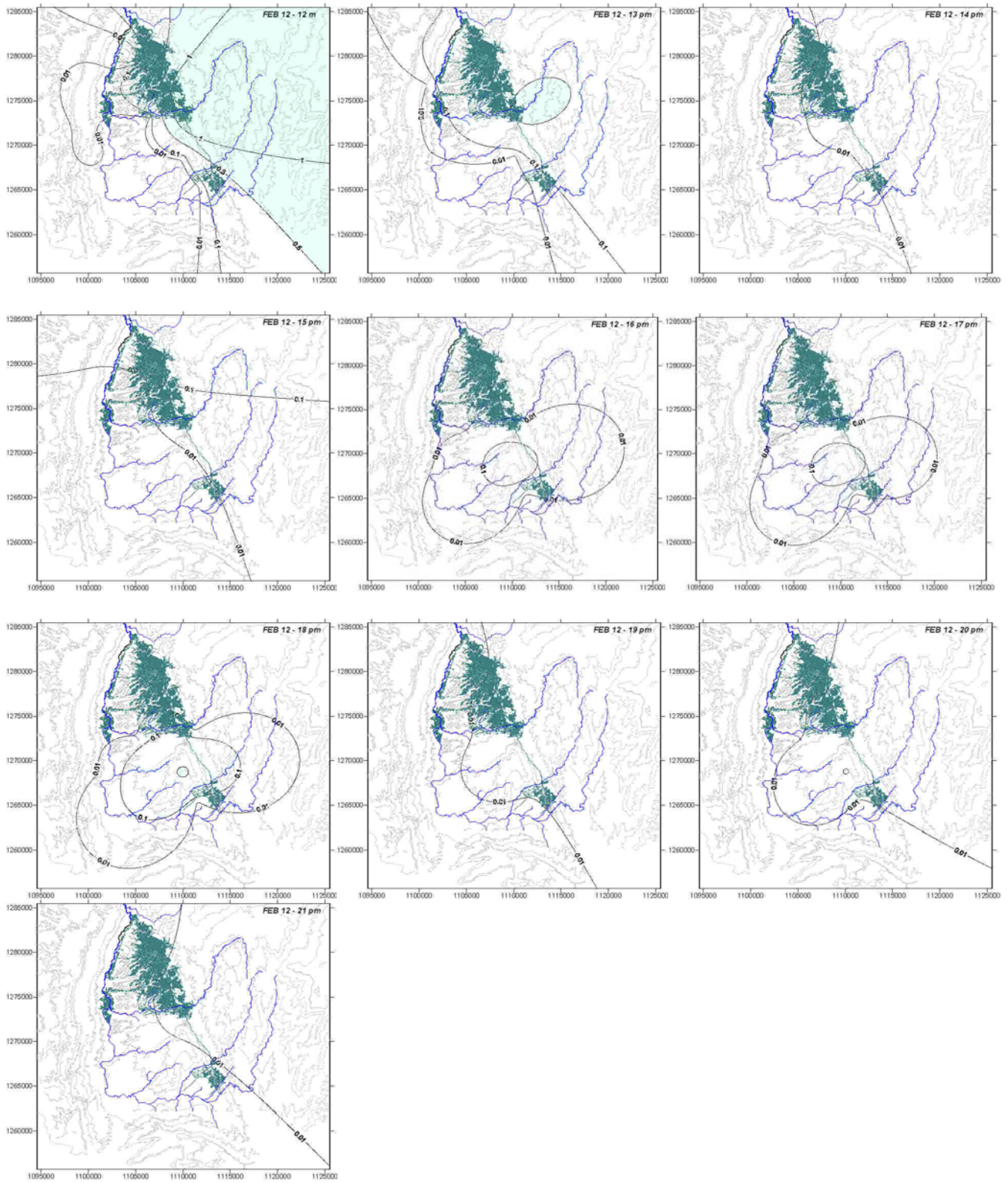












**ANEXO G**

**ESTRUCTURA DEL MODELO  
HIDROLOGICO NAM**



**(i) Almacenamiento de nieve  $S_s$**

La precipitación es retenida en el tanque de nieve solo si la temperatura, **Temp**, es inferior a cero, mientras que para temperaturas mayores a cero su paso por el tanque se realiza directamente hacia el tanque superficial.

$$\begin{aligned} \text{Si } TEMP_{i-1} < 0 &\Rightarrow Ss_i = Ss_{i-1} + P_{i-1} \\ \text{Si } TEMP_{i-1} > 0 &\Rightarrow Ss_i = Ss_{i-1} - Ps_{i-1} \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

**(ii) 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 **Umax** da el límite superior para la cantidad de agua en el almacenamiento superficial.

$$\begin{aligned} \text{Si } Temp_{p_i} < 0 &\Rightarrow U_i = U_{i-1} + P_{i-1} - Ep_{i-1} - QIF_{i-1} - Pn_{i-1} + Ps_{i-1} \\ \text{Si } Temp_{p_i} > 0 &\Rightarrow U_i = U_{i-1} - Ep_{i-1} - QIF_{i-1} - Pn_{i-1} \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

**(iii) 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; **Lmax** 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.

$$L_i = L_{i-1} + DL_{i-1} - Ea_{i-1} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

### Contribución del almacenamiento de nieve al sistema Ps

Toma el valor mínimo entre:

$$S_s$$

y

$$\begin{aligned} \text{Si } Temp_{t-1} > 0 &\Rightarrow C_{melt} \times Temp \\ \text{Si } Temp_{t-1} < 0 &\Rightarrow 0 \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

donde,

**C<sub>melt</sub>** coeficiente de derretimiento de nieve = 2 mm/día/K

### Evapotranspiración potencial calculada Ep

Toma el valor mínimo entre:

$$U + P_s + P$$

y

[Ecuación 5]

$$E_{pot}$$

#### (iv) 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:

$$U + P_s - E_p + P \quad \text{[Ecuación 6]}$$

y

$$\begin{aligned} \text{Si } L/L_{max} > CLIF &\Rightarrow \frac{C_{QIF} \times U \times (L/L_{max} - CLIF)}{1 - CLIF} \\ \text{Si } L/L_{max} \leq CLIF &\Rightarrow 0 \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 7]}$$

Donde,

**CQIF** es el coeficiente para el flujo subsuperficial

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

$$(0 \leq \mathbf{CLIF} \leq 1)$$

### Exceso de agua Pn

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

$$\begin{aligned} \text{Si } Temp > 0 &\Rightarrow U + P + Ps - Ep - QIF - U \max \\ \text{Si } Temp < 0 &\Rightarrow U - Ep - QIF - U \max \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 8]}$$

y

0

### (v) Flujo superficial QOF

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

$$\begin{aligned} &Pn \\ &y \\ \text{Si } L/L_{\max} > CLOF &\Rightarrow \frac{P_n \times CQOF \times (L/L_{\max} - CLOF)}{1 - CLOF} \\ \text{Si } L/L_{\max} < CLOF &\Rightarrow 0 \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 9]}$$

donde,

**CQOF** es el coeficiente de escorrentía de flujo superficial ( $0 \leq \mathbf{CQOF} \leq 1$ )

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

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, ( $P_n - \mathbf{QOF}$ ) 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.

*(vi) Evapotranspiracion 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 al tanque inferior y a una tasa actual **Ea**, donde **Ea** es proporcional a la evapotranspiración potencial, **Ep**. El algoritmo usa el valor mínimo entre:

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

y

[Ecuación 10]

$$E_{pot} - E_p$$

### **Aporte al almacenamiento subterráneo G**

El algoritmo utiliza la siguiente condición

$$\begin{aligned} \text{Si } L/L_{max} > CLG &\Rightarrow \frac{(Pn-QOF) \times (L/L_{max} - CLG)}{1-CLG} \\ \text{Si } L/L_{max} < CLG &\Rightarrow 0 \end{aligned} \quad \text{[Ecuación 11]}$$

### **(vii) 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:

$$Pn - QOF - G \quad \text{[Ecuación 12]}$$

y

0

### **(viii) Salida resultante de la unión del flujo superficial y subsuperficial**

#### **QRI**

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

$$QRI = QRI_{i-1} \times e^{-\frac{1}{CKI}} + (QOF + QIF) \times (1 - e^{-\frac{1}{CKI}}) \quad \text{[Ecuación 13]}$$

### **(ix) Componente superior del flujo subterráneo BFU1**

$$BFU1 = BFU1_{i-1} \times \left( e^{-\frac{1}{CKBFU}} \right) + \left( G \times (1 - CBFL) \times \left( 1 - e^{-\frac{1}{CKBFU}} \right) \right) \quad \text{[Ecuación 14]}$$

### Componente inferior del flujo subterráneo BFL1

$$BFL1_i = BFL1_{i-1} \times \left( e^{-\frac{1}{CKBFL}} \right) + \left( G \times CBFL \times \left( 1 - e^{-\frac{1}{CKBFL}} \right) \right) \quad \text{[Ecuación 15]}$$

### Flujo total QR2

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

$$QR2_i = QR2_{i-1} \times \left( e^{-\frac{1}{CK2}} \right) + \left( (QR1 \times BFU1 + BFL1) \times \left( 1 - e^{-\frac{1}{CK2}} \right) \right) \quad \text{[Ecuación 16]}$$

### 3.4.2. 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.

PARÁMETRO	RANGO	DESCRIPCIÓN
$L_{max}$	$>0$	Máximo contenido de agua en la zona de almacenamiento inferior. $L_{max}$ puede ser interpretado como el máximo contenido de agua en la zona de raíces disponible para transpiración por la vegetación. (mm)
$U_{max}$	$>0$	Máximo contenido de agua en el almacenamiento superficial. Este contiene el agua almacenada en depresiones, además de la interceptación y el agua contenida en una capa superior de suelo de pocos centímetros. (mm) Una primera estimación puede ser $0.1L_{max}$
$CQOF$	$0 - 1$	Coefficiente de escorrentía de flujo superficial. Este parámetro determina la distribución del exceso de precipitación en flujo superficial e infiltración. Valores pequeños en cuencas planas y altos para cuencas con suelos con poca permeabilidad
$C_{melt}$	$>0$	Coefficiente de derretimiento de nieve
$CLOF$	$0 - 1$	Valor limite para el flujo superficial. El flujo superficial solo se produce cuando la humedad relativa contenida en el almacenamiento inferior supera el valor de $CLOF$ .
$CQIF$	$0 - 1$	Constante para el flujo subsuperficial. $CQIF$ determina junto con $U$ la cantidad de flujo subsuperficial. En cuencas con topografía plana el valor es muy cercano a cero
$CBFL$	$0 - 1$	Coefficiente de flujo, utilizado para el transito en la zona baja.
$CLIF$	$0 - 1$	Valor limite para el flujo subsuperficial (interflow). Este flujo se genera si la humedad relativa en el almacenamiento inferior es mayor a $CLIF$ .
$CLG$	$0 - 1$	Valor limite para la recarga. La recarga del almacenamiento de agua subterránea se produce solo si la humedad relativa en el almacenamiento inferior es mayor que $CLG$ .
<b>CONSTANTES DE TIEMPO PARA EL TRANSITO</b>		
$CK_1$	$>0$	Constantes para el transito del flujo superficial y subsuperficial. El transito de estos flujos se produce a través de un tanque lineal con constante $CK_1$ .
$CK_2$	$>0$	Constante de transito del flujo total. Su transito se realiza a través de un tanque lineal con constante $CK_2$
$CKBFU$	$>0$	Constante de tiempo para el flujo subterráneo superior
$CKBFL$	$>0$	Constante de tiempo para el flujo subterráneo inferior

Tabla 10. Parámetros usados por NAM.

**ANEXO H**

**UBICACIÓN ESPACIAL DE  
MUROS**

