



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA**
S E D E B O G O T Á

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA

***ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE LAS ISLAS
UBICADAS EN EL RÍO MAGDALENA FRENTE A LA
CIUDAD DE NEIVA***

Informe Final

INFORME - GH - 001



Bogotá D.C., Abril de 2006

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| LISTA DE ANEXOS | III |
| LISTA DE FIGURAS | IV |
| LISTA DE FOTOGRAFÍAS..... | VII |
| LISTA DE TABLAS | VIII |
| LISTA DE PLANOS..... | X |
| INTRODUCCIÓN | 11 |
| | |
| 1. ASPECTOS GENERALES..... | 13 |
| 1.1. OBJETIVO..... | 13 |
| 1.2. INFORMACIÓN RECOPIADA..... | 13 |
| 2. ESTUDIOS TOPOBATIMÉTRICOS Y DE CAMPO | 15 |
| 2.1. PLANTEAMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO | 15 |
| 2.2. LEVANTAMIENTOS DE CAMPO..... | 16 |
| 2.2.1. Instalación y nivelación de miras..... | 16 |
| 2.2.2. Levantamientos batimétricos | 17 |
| 2.2.3. Levantamientos topográficos..... | 19 |
| 2.2.4. Equipos y personal | 19 |
| 2.2.5. Levantamiento batimétrico | 20 |
| 2.2.6. Levantamiento topográfico | 20 |
| 3. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS..... | 22 |
| 3.1. CLIMA | 22 |
| 3.2. HIDROMETRÍA..... | 23 |
| 3.2.1. Información recopilada..... | 23 |
| 3.2.2. Análisis de validez y consistencia de la información y llenado de datos faltantes | 25 |
| 3.2.3. Análisis de valores medios diarios..... | 43 |
| 3.2.4. Variación de los niveles y caudales máximos mensuales en las estaciones El Juncal y Puente Santander por efecto de la entrada en operación de Betania | 54 |
| 3.2.5. Análisis de valores máximos mensuales..... | 56 |
| 4. ESTUDIOS HIDRÁULICOS..... | 66 |
| 4.1. GENERALIDADES..... | 66 |
| 4.2. INFORMACIÓN UTILIZADA..... | 66 |
| 4.2.1. Datos hidrológicos..... | 66 |
| 4.2.2. Información topográfica y de campo..... | 67 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.3. | CONCEPTUALIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO.. | 70 |
| 4.4. | CALIBRACIÓN DEL MODELO..... | 70 |
| 4.5. | RESULTADOS | 73 |
| 4.5.1. | Perfiles Hidráulicos | 74 |
| 4.5.2. | Secciones transversales típicas y niveles de inundación | 76 |
| 4.6. | ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 78 |
| 5. | ESTUDIO GEOLÓGICO DEL RÍO MAGDALENA, VALLE SUPERIOR SECTOR NEIVA. | 80 |
| 5.1. | GENERALIDADES | 80 |
| 5.2. | METODOLOGÍA..... | 80 |
| 5.3. | GEOLOGÍA..... | 81 |
| 5.3.1. | Estratigrafía regional del valle superior del Magdalena (VSM)..... | 81 |
| 5.3.2. | Tectónica del valle superior del Magdalena | 86 |
| 6. | ESTUDIOS DE GEOMORFOLOGÍA Y DINÁMICA FLUVIAL | 90 |
| 6.1. | GENERALIDADES | 90 |
| 6.2. | GEOMORFOLOGÍA..... | 90 |
| 6.2.1. | Unidades geomorfológicas | 90 |
| 6.2.2. | Análisis de orillas, Sector El Juncal-Neiva | 100 |
| 6.3. | DINÁMICA FLUVIAL – MORFOGÉNESIS Y ESTABILIDAD DE ORILLAS..... | 102 |
| 6.3.1. | Dinámica fluvial..... | 102 |
| 6.3.2. | 8.3.2. Morfogénesis..... | 104 |
| 6.3.3. | 8.3.3. Análisis morfodinámico y sectorización del río..... | 105 |
| 7. | ESTUDIO DE SUELOS | 121 |
| 7.1. | 9.1. GENERALIDADES..... | 121 |
| 7.2. | 9.2. EXPLORACIÓN DEL TERRENO | 122 |
| 7.2.1. | 9.2.1. Perfiles típicos del depósito | 123 |
| 7.3. | 9.3. ENSAYOS DE LABORATORIO | 125 |
| 7.4. | 9.4. SUSCEPTIBILIDAD DE LOS MATERIALES A LA EROSIÓN | 129 |
| 8. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 134 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 138 |
| | REVISIÓN CARTOGRÁFICA | 141 |

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE CAMPO

ANEXO 2: CERTIFICACIÓN IGAC PUNTO NP 107 S2 Y PENDIENTE HIDRÁULICA TOMADA EN CAMPO

ANEXO 3: INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA RECOPIADA

ANEXO 4: ANÁLISIS DE CONSISTENCIA Y VALIDEZ DE LA INFORMACIÓN PARA LAS SERIES DE NIVELES Y CAUDALES MEDIOS DIARIOS

ANEXO 5: ANÁLISIS DE CONSISTENCIA Y VALIDEZ DE LA INFORMACIÓN PARA LAS SERIES DE NIVELES Y CAUDALES MÁXIMOS MENSUALES

ANEXO 6: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA CON EL SOFTWARE HYDROLOGICAL FREQUENCY ANALYSIS –HYFA- UTILIZADO EN LA OBTENCIÓN DE NIVELES Y CAUDALES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

ANEXO 7: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA PARA LA CUENCA DEL RÍO LORO

ANEXO 8: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA LOS EVENTOS DE CALIBRACIÓN Y DIFERENTES ESCENARIOS DE MODELACIÓN

ANEXO 9: APIQUES Y PERFILES TÍPICOS

ANEXO 10: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS APIQUES

ANEXO 11: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS AFLORAMIENTOS ENCONTRADOS

ANEXO 12: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| <i>Figura 1: Esquema general de la zona del proyecto</i> | <i>12</i> |
| <i>Figura 2: NP IGAC 107 S2</i> | <i>17</i> |
| <i>Figura 3: Histograma de precipitación media mensual multianual para la estación Aeropuerto Benito Salas.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Figura 4: Curva de doble masa de niveles medios diarios para el período 1987-1995 entre las estaciones Puente Santander y El Juncal.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Figura 5: Diagrama bilineal de niveles medios diarios en las estaciones Puente Santander y El Juncal</i> | <i>27</i> |
| <i>Figura 6: Diagrama de cajas y patillas para niveles medios diarios en la estación El Juncal para el período 1987-1995</i> | <i>29</i> |
| <i>Figura 7: Diagrama de cajas y patillas para todos los registros de niveles medios diarios en la estación El Juncal (1987-1995).</i> | <i>30</i> |
| <i>Figura 8: Análisis de regresión de datos de niveles medios diarios entre las estaciones Angostura y Puente Santander</i> | <i>36</i> |
| <i>Figura 9: Curva de calibración estación Puente Santander, elaborada por el LEH a partir de 222 aforos líquidos suministrados por el IDEAM</i> | <i>38</i> |
| <i>Figura 10: Diagrama bilineal de niveles máximos mensuales entre las estaciones Puente Santander y El Juncal.</i> | <i>39</i> |
| <i>Figura 11: Diagrama de cajas y patillas para todos los registros de caudales máximos mensuales en la estación Puente Santander (1948-2003).....</i> | <i>40</i> |
| <i>Figura 12: Series de niveles medios diarios en las estaciones El Juncal (azul) y Puente Santander (magenta)</i> | <i>44</i> |
| <i>Figura 13: Series de caudales medios diarios en las estaciones Puente Santander (azul) y El Guayabo (magenta)</i> | <i>44</i> |
| <i>Figura 14: Curva de excedencias de niveles medios diarios estación El Juncal para el período 1987-1995.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Figura 15: Curva de excedencias de niveles medios diarios estación Puente Santander para el período 1987-2003.....</i> | <i>46</i> |

| | |
|---|----|
| Figura 16: Curva de excedencias de caudales medios diarios estación Puente Santander para el periodo 1987-2003 | 47 |
| Figura 17: Series históricas de caudales promedio diarios desembalsados en Betania | 48 |
| Figura 18: Curva de duración de niveles medios diarios estación El Juncal..... | 49 |
| Figura 19: Curva de duración de niveles medios diarios estación Puente Santander . | 50 |
| Figura 20: Comparación curvas de duración de niveles medios diarios (normalizadas por el nivel medio) para las estaciones Puente Santander y El Juncal. | 50 |
| Figura 21: Curva de duración de caudales medios diarios estación Puente Santander | 51 |
| Figura 22: Variación de los niveles medios diarios en las estaciones El Juncal (azul) y Puente Santander (magenta) por efecto de la construcción del embalse de Betania. | 52 |
| Figura 23: Efecto de la construcción de Betania sobre la serie de caudales medios diarios en la estación Puente Santander..... | 53 |
| Figura 24: Análisis de regresión lineal para los caudales desembalsados en Betania y los registrados en Puente Santander. | 54 |
| Figura 25: Efecto de regulación del embalse de Betania sobre los niveles máximos mensuales en las estaciones Puente Santander y El Juncal..... | 55 |
| Figura 26: Efecto de regulación del embalse de Betania sobre los caudales máximos mensuales en la estación Puente Santander..... | 56 |
| Figura 27: Series de niveles máximos mensuales en las estaciones El Juncal (azul) y Puente Santander (magenta)..... | 57 |
| Figura 28: Series de caudales (azul) y niveles máximos mensuales (magenta) en la estación Puente Santander | 57 |
| Figura 29: Curvas de duración de niveles máximos mensuales en la estación El Juncal antes y después de la entrada en operación de Betania | 59 |
| Figura 30: Curvas de duración de niveles máximos mensuales en la estación Puente Santander antes y después de la entrada en operación de Betania | 60 |
| Figura 31: Curvas de duración de caudales máximos mensuales en la estación Puente Santander antes y después de la entrada en operación de Betania. | 60 |
| Figura 32: Curva de duración de caudales máximos mensuales en la estación El Guayabo | 61 |
| Figura 33: Resultados del análisis de frecuencias para los niveles máximos mensuales en la estación El Juncal | 63 |
| Figura 34: Resultados del análisis de frecuencias para los niveles máximos mensuales en la estación Puente Santander..... | 64 |
| Figura 35: Resultados del análisis de frecuencias para los caudales máximos mensuales en la estación Puente Santander..... | 64 |
| Figura 36: Resultados del análisis de frecuencias para los caudales máximos mensuales en la estación El Guayabo | 65 |
| Figura 37: Localización sección transversal No. 7. | 68 |
| Figura 38: Detalle sección transversal No.7. Orilla izquierda ubicada sobre la margen izquierda mirando hacia aguas abajo. | 68 |

| | |
|--|-----|
| Figura 39: Localización en planta de las 17 secciones transversales utilizadas en la modelación hidráulica. | 69 |
| Figura 40: Resultados de la calibración del modelo hidráulico, obtenidos mediante ajuste del coeficiente de rugosidad | 72 |
| Figura 41: Topología del modelo hidráulico sometido sin éxito a calibración con la información existente. | 73 |
| Figura 42: Perfil longitudinal del cauce y de la lámina de agua para la condición de calibración (WS PF1) y para el período de retorno de 2 años (WS PF 2). | 74 |
| Figura 43: Perfil longitudinal del cauce y de la lámina de agua para el período e retorno de 5 años (WS PF3) y 10 años (WS PF4) | 75 |
| Figura 44: Perfil longitudinal del cauce y de la lámina de agua para los períodos de retorno de 25 años (WS PF5), 50 años (WS PF6), y 100 años (WS PF7)..... | 75 |
| Figura 45: Niveles de inundación para el evento de calibración y períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años en la sección transversal No. 6 correspondiente a la parte baja de la Isla La Gaitana | 76 |
| Figura 46: Niveles de inundación para el evento de calibración y períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años en la sección transversal No. 9 correspondiente a la parte media de las Islas Opia y La Gaitana..... | 76 |
| Figura 47: Niveles de inundación para el evento de calibración y para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años en la sección transversal No. 11 correspondiente a la parte alta de las Islas Opia y La Gaitana | 77 |
| Figura 48: Niveles de inundación para el evento de calibración y para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años en la sección transversal No. 14 correspondiente a la Isla Carpeta | 77 |
| Figura 49: Niveles de agua para diferentes períodos de retorno y cota máxima de las islas para el tramo estudiado | 79 |
| Figura 50: Fotografía aérea de 2004. | 94 |
| Figura 51: Fotografía aérea de 1961 | 107 |
| Figura 52: Fotografía aérea de 1993. | 108 |
| Figura 53: Mosaico de fotografías aéreas del año 2004. | 109 |
| Figura 54: Fotografía aérea del año 1961. | 111 |
| Figura 55: Fotografía aérea del año 1993. | 112 |
| Figura 56: Fotografía aérea del año 1993. | 115 |
| Figura 57: Fotografía aérea de 1961. | 117 |
| Figura 58: Fotografía aérea de 1993. | 118 |
| Figura 59: Mosaico de fotografías aéreas del año 2004. | 119 |
| Figura 60: Ubicación de barreras e islas. | 122 |
| Figura 61: Perfil tipo uno. | 124 |
| Figura 62: Perfil tipo dos..... | 125 |
| Figura 63: Afloramiento de las capas en la margen del río. | 126 |
| Figura 64: Tamaño de partícula Vs Velocidad de erosión, transporte y sedimentación. Tomado de Hjulstrom (1935). | 132 |

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| <i>Fotografía 1: Mojón GPS 33 Isla Gaitana.....</i> | 143 |
| <i>Fotografía 2: Mojón GPS 36 Embarcadero La Gaitana.....</i> | 143 |
| <i>Fotografía 3: Mojón GPS 36 Embarcadero La Gaitana, detalle.</i> | 144 |
| <i>Fotografía 4: Vegetación densa en sección Isla Opia</i> | 145 |
| <i>Fotografía 5: Alineamiento de secciones con varas.....</i> | 145 |
| <i>Fotografía 6: Sección isla Gaitana</i> | 145 |
| <i>Fotografía 7: Levantamiento de secciones con estación total</i> | 145 |
| <i>Fotografía 8: Levantamiento topográfico de secciones. Se observa rápido incremento de niveles.....</i> | 146 |
| <i>Fotografía 9: : Vista aguas abajo desde Isla Los Dujos</i> | 146 |
| <i>Fotografía 10: Vista aguas arriba isla Los Dujos</i> | 146 |
| <i>Fotografía 11: : Erosión en tramos de islas</i> | 146 |
| <i>Fotografía 12: Incremento de niveles</i> | 147 |
| <i>Fotografía 13: Orilla típica cubierta de árboles.....</i> | 147 |
| <i>Fotografía 14: Vista aguas arriba de Neiva, alta erosión.....</i> | 147 |
| <i>Fotografía 15: Orilla isla Gaitana</i> | 147 |
| <i>Fotografía 16: Caño interior de las islas.....</i> | 147 |
| <i>Fotografía 17: Caño interior de las islas, sitio del proyecto</i> | 147 |
| <i>Fotografía 18: Caño interior de las islas, sitio del proyecto</i> | 148 |
| <i>Fotografía 19: Puente para cruce de equipo de medición.....</i> | 148 |
| <i>Fotografía 20: Caño interior.....</i> | 148 |
| <i>Fotografía 21: Orilla izquierda aguas arriba del sector de islas</i> | 148 |
| <i>Fotografía 22: Vista de fauna nativa</i> | 149 |
| <i>Fotografía 23: Cultivo isla Gaitana.....</i> | 149 |
| <i>Fotografía 24: Vista del teleférico</i> | 149 |
| <i>Fotografía 25: Extracción de materiales de construcción</i> | 149 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Mojones materializados en campo | 21 |
| Tabla 2. Valores de variables meteorológicas para la ciudad de Neiva. | 22 |
| Tabla 3: Estaciones hidrométricas utilizadas en el estudio | 24 |
| Tabla 4. Datos de entrada para el Test de Grubb. Máximos niveles por año de los registros medios diarios para la estación El Juncal. | 32 |
| Tabla 5. Resultados de la prueba de Grubb para los niveles medios diarios en la estación El Juncal..... | 32 |
| Tabla 6: Resumen del número total de registros detectados como posibles anómalos para las series de valores medios diarios por cada método utilizado | 33 |
| Tabla 7. Fechas de ocurrencia y valores registrados para los datos inicialmente detectados como datos anómalos y que se encontraron de manera persistente en las diferentes pruebas. | 33 |
| Tabla 8. Datos anómalos definitivos en las series medias diarias | 35 |
| Tabla 9. Resultados del análisis de regresión de niveles medios diarios en las estaciones Angostura y Puente Santander..... | 36 |
| Tabla 10. Resultados del llenado de datos faltantes serie de niveles medios diarios estación Puente Santander | 37 |
| Tabla 11. Datos de caudales medios diarios complementados en la serie de la estación Puente Santander | 38 |
| Tabla 12. Caudales máximos por año de la serie de registros máximos mensuales en la estación Puente Santander | 40 |
| Tabla 13. Resultados de la prueba de Grubb aplicada a los datos de caudales máximos mensuales en la estación Puente Santander..... | 41 |
| Tabla 14. Número de registros totales detectados como posibles anómalos para series de valores máximos mensuales según las diferentes pruebas..... | 42 |
| Tabla 15. Datos anómalos definitivos en las series máximas mensuales..... | 42 |
| Tabla 16. Estadística descriptiva para las series de niveles medios diarios originales y corregidas en las estaciones El Juncal y Puente Santander..... | 43 |
| Tabla 17. Estadística descriptiva para la serie de caudales medios diarios original y corregida en la estación Puente Santander | 45 |
| Tabla 18. Estadística descriptiva para la serie de caudales medios diarios original y corregida en la estación El Guayabo..... | 45 |
| Tabla 19. Valores promedio para la serie de niveles medios diarios antes y después de Betania en las estaciones El Juncal y Puente Santander..... | 51 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 20. Efecto de la construcción de Betania en la regulación de caudales medios diarios en la estación Puente Santander..... | 52 |
| Tabla 21. Efecto de la construcción de Betania en la regulación de niveles y caudales máximos mensuales en las estaciones El Juncal y Puente Santander..... | 54 |
| Tabla 22. Estadística descriptiva para las series de niveles y caudales máximos mensuales en las estaciones El Juncal, Puente Santander y El Guayabo..... | 58 |
| Tabla 23. Series anuales de niveles y caudales máximos mensuales en las estaciones Puente Santander, El Juncal y El Guayabo | 61 |
| Tabla 24. Análisis de frecuencias para series de niveles y caudales máximos mensuales en las estaciones Puente Santander, El Juncal y El Guayabo..... | 63 |
| Tabla 25. Resultados del análisis de eventos máximos mensuales en la estación Puente Santander | 67 |
| Tabla 26. Niveles de agua en msnm en la estación Puente Santander y en las miras temporales (secciones 4 y 15), para uno de los días del trabajo de campo. | 71 |
| Tabla 27. Diferencias entre niveles de agua simulados y la cota máxima de terreno en islas para diferentes secciones y para períodos de terreno de 50 y 100 años. | 79 |
| Tabla 28. Listado de fotografías aéreas. Sector Juncal-Neiva | 91 |
| Tabla 29. Clasificación de orillas en el río Magdalena. Sector Juncal-Neiva..... | 100 |
| Tabla 30. Morfometría El Juncal – Bocas Quebrada El Arenoso | 106 |
| Tabla 31. Morfometría Quebrada El Arenoso – Bocas del río Ceibas | 110 |
| Tabla 32. Morfometría río Ceibas – Bocas de Quebrada El Venado..... | 116 |
| Tabla 33. Localización de apiques..... | 123 |
| Tabla 34. Resumen resultados de ensayos de laboratorio | 126 |
| Tabla 35. Tamaños D_{50} de las muestras ensayadas | 129 |
| Tabla 36. Tamaños promedio D_{50} de los materiales encontrados | 131 |
| Tabla 37. Velocidades de erosión para los diferentes tamaños encontrados..... | 131 |
| Tabla 38. Agrupamiento de los materiales según la textura U.S.D.A..... | 132 |
| Tabla 39. Erosionabilidad según textura..... | 133 |

LISTA DE PLANOS

- Plano 1: Localización general del proyecto. (Ref. 964-05-497)*
Plano 2: Levantamiento topobatimétrico. (Ref. 965-05-498)
Plano 3: Planta y Niveles de inundación. (Ref. 966-05-499)
Plano 4: Secciones transversales y niveles de inundación. (Ref. 967-05-500)
Plano 5: Geomorfología sector El Juncal-Neiva-Q. El Venado (Ref. 968-05-501)
Plano 6: Dinámica fluvial sector El Juncal-Neiva-Q. El Venado. (Ref. 969-05-502)
Plano 7: Análisis de dinámica. (Ref. 970-05-503)

INTRODUCCIÓN

La Gobernación del Huila y la Universidad Nacional de Colombia, a través del Laboratorio de Ensayos Hidráulicos (LEH), suscribieron en diciembre de 2005 el convenio interadministrativo No. 1276 cuyo objeto es el análisis de la estabilidad de las islas ubicadas en el río Magdalena frente a la ciudad de Neiva. El objetivo de los estudios es brindar soporte técnico a la propuesta, por el momento conceptual, de construcción del Parque Temático Islas de Aventura, proyecto gestado por la Gobernación del Huila en asocio con la Alcaldía de Neiva, la Cámara de Comercio de Neiva, Comfamiliar y la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) (López, 2005).

En el Plan de Acción Trienal (PAT) 2003-2006 de la CAM (CAM, 2003), dentro del Programa de Planificación y Administración del Medio Ambiente, específicamente se ha contemplado el proyecto No. 8 de Fomento y Apoyo al Ecoturismo en torno al río Magdalena, que ha priorizado como proyecto bandera el Parque Temático del río Magdalena, conformado por una serie de parques a lo largo de este río en el sector Palermo – Rivera – Neiva, con actividades de conservación, recreación, aventura, cultura, educación y ecoturismo, considerando como área focal el Parque Islas de Aventura.

La construcción del Parque Temático Islas de Aventura en cuatro islas (La Gaitana, Opia, Playa Ángel y Carpeta) está igualmente en concordancia con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Neiva (Alcaldía de Neiva, 2000), en el cual se busca incentivar el ecoturismo, y se identifica la utilización del río Magdalena como eje articulador del desarrollo urbano, social y económico del municipio. El conjunto de islas está definido como un área de protección ambiental, y en este sentido el Parque Temático Islas de Aventura ha sido propuesto con el fin de consolidar un área, que por sus características ambientales deber ser preservada, y en la cual sólo se permitirán actividades de recreación activa y pasiva.

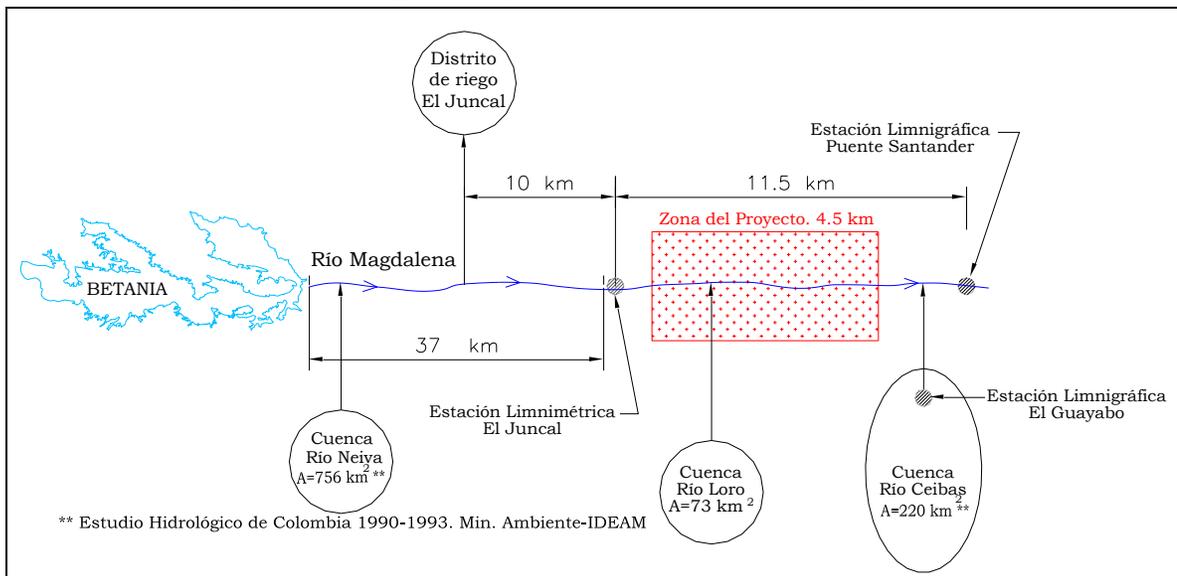
El proyecto del Parque Islas de Aventura está igualmente apoyado por el gobierno nacional a través de su política de promoción de la navegación en la parte alta del río Magdalena con fines turísticos y de recreación social (Departamento Nacional de Planeación, 2005) y por parte de CORMAGDALENA, entidad del ámbito nacional que igualmente se encuentra interesada en recuperar la navegabilidad a todo lo largo del río Magdalena.

En términos generales el área objeto del presente estudio corresponde al tramo del río Magdalena frente a Neiva, en el cual se ubican las cuatro islas anteriormente

mencionadas, cubriendo un área aproximada de 168 Ha (López, 2005), y abarcando una longitud de aproximadamente 4.5 km. Este sector del río Magdalena está importantemente influenciado por los desembalses de la Central Hidroeléctrica de Betania (CHB), y en menor grado por la captación del Distrito de Riego El Juncal y por las descargas de los Ríos Neiva, Loro y Las Ceibas (Ver Figura 1 y Plano No. 1).

El presente informe resume los trabajos topobatimétricos, hidrológicos, hidráulicos, geológicos y de morfodinámica de las islas, efectuados por el LEH, los cuales han permitido caracterizar los diferentes cauces existentes en la zona de estudio, determinar los niveles y caudales para diferentes periodos de retorno (probabilidad de ocurrencia), realizar la modelación hidráulica preliminar del tramo estudiado, y analizar la dinámica y geomorfología de las islas.

Figura 1: Esquema general de la zona del proyecto



En concordancia con lo anterior, el presente informe está estructurado de la siguiente forma: en el numeral 1.1 se presentan los objetivos específicos del estudio; en el numeral 1.2 brinda de forma rápida un recuento de los estudios e información existente y utilizada en el presente estudio. El capítulo 2 resume las actividades de campo efectuadas en enero de 2006; en el capítulo 3 se presentan los análisis hidrológicos; el capítulo 4 incluye los resultados de la modelación hidráulica efectuada con el modelo HEC-RAS; el capítulo 5 presenta los análisis geológicos efectuados; el análisis de la morfodinámica de las islas y geomorfología se describe en el capítulo 6; el estudio de suelos se detalla en el capítulo 7 y finalmente en el capítulo 8 se discuten las conclusiones y recomendaciones del presente estudio, incluyendo la descripción de las actividades y estudios que debieran adelantarse en una segunda fase del proyecto.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. OBJETIVO

Se listan a continuación los cinco objetivos específicos del proyecto, cuya obtención se describe de forma detallada en los capítulos subsiguientes.

- 1. Establecer las características planimétricas y altimétricas de los cauces e islas en la zona de estudio, con el fin de contar con cartografía detallada que permita la realización de los estudios que se especifican en los siguientes numerales.*
- 2. Determinar niveles y caudales para las estaciones hidrométricas investigadas para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.*
- 3. Determinar para los caudales y niveles asociados a los períodos de retorno seleccionados, los niveles de inundación en la zona de estudio, a través de la modelación hidráulica preliminar del sector de las islas.*
- 4. Determinar las características de los materiales que conforman las islas y sus orillas y evaluar su susceptibilidad a la erosión.*
- 5. Evaluar la factibilidad de construir el Parque Temático Isla de Aventura, y en caso de ser factible, conceptualizar acerca de los estudios detallados que se requieren desarrollar para dar continuidad al proyecto.*

1.2. INFORMACIÓN RECOPIADA

Son varios los estudios que a escala regional se han desarrollado y que cubren la zona del proyecto del Parque Temático Islas de Aventura. Entre estas investigaciones se encuentra el Mapa de Amenaza por Inundaciones del río Magdalena, sector embalse de Betania y desembocadura del río Saldaña (Geoingeniería Ltda., 1999); los análisis de inundaciones aguas abajo del Embalse de Betania realizados directamente por la CHB, y que involucraron la toma de fotografías aéreas escala 1:17,000 de febrero de 2005, amablemente suministradas por la CHB para este proyecto, al igual que la curva guía de operación, las series históricas diarias de desembalses para el período 1995-2005 y la curva nivel-área del embalse.

También se cuenta con el informe final del estudio que a nivel de prefactibilidad desarrolló López (2005) para la construcción del Parque Temático Islas de Aventura, en el cual se contextualizan las experiencias nacionales e internacionales de parques temáticos, se elabora la línea base ambiental para el proyecto, se define el tipo de parque a implementar y se estudia su factibilidad económica.

Igualmente para los propósitos de los análisis geomorfológicos y de dinámica de las islas se ha contado con seis series de fotografías aéreas con escalas entre 1:17000 y 1:30000 disponibles en el LEH y correspondientes a los años 1961, 1973, 1993, 1994, y 2004. Esta información ha sido complementada con una imagen de satélite de libre acceso para la zona del proyecto (Google Earth, 2002).

En lo que se refiere a información de variables hidrometeorológicas, que se describe en detalle en el numeral 3.2.1, se ha recopilado la información existente en el LEH (fundamentalmente datos de caudales medios en la estación Puente Santander, aforos líquidos para esta misma estación, y su correspondiente curva de calibración, elaborada por el LEH) y otra adquirida para este proyecto en el IDEAM, la cual incluye datos de niveles medios diarios y niveles máximos mensuales en las estaciones El Juncal y Puente Santander (ambas estaciones ubicadas sobre el río Magdalena, ver Figura 1 y Plano No 1), caudales medios diarios y máximos mensuales en las estaciones Puente Santander y El Guayabo (Río las Ceibas). Para propósitos de caracterización de la precipitación se cuenta con los datos de totales de precipitación mensual y máximos en 24 horas para la estación Aeropuerto Benito Salas.

2. ESTUDIOS TOPOBATIMÉTRICOS Y DE CAMPO

En este capítulo se presentan los levantamientos topográficos y batimétricos realizados en el río Magdalena en el sector frente a la ciudad de Neiva, desde la estación limnimétrica de El Juncal hasta la de Puente Santander. El levantamiento topográfico incluyó instalación de miras para el registro de niveles de agua y secciones transversales completas incluyendo las orillas, los cauces y las zonas de islas. Esta información es básica y muy útil para los estudios geomorfológicos, de dinámica fluvial, modelación hidrológica e hidrológica.

2.1. PLANTEAMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

Con ayuda de la cartografía existente para la zona de estudio se definieron los sitios de la instalación de las miras, el trazado y alineamiento de las secciones transversales; los detalles más relevantes a tener en cuenta en el levantamiento, los afluentes como Las Ceibas y el Loro, y se programó toda la logística para el trabajo de campo.

Para el registro diario de los niveles de agua se instalaron dos miras temporales, una en la isla Los Dujos y la otra sobre la margen derecha del río, antes de la desembocadura del río Las Ceibas, amarradas en cota a l punto certificado del IGAC NP 107 S2 con cota 431.236 m.s.n.m. Para monitorear el sector se tuvieron cuatro sitios de mira, dos instaladas por la comisión de campo del LEH y las dos existentes operadas por el IDEAM, una en Puente Santander y otra en El Juncal.

Las secciones transversales a levantar con topografía y batimetría se planearon sobre cartografía digital del sector, generada como cartilla de navegación de Cormagdalena del año 2004, utilizando el programa hidrográfico Hypack. El espaciamiento se definió en 50 metros entre líneas batimétricas y 200 metros entre las topográficas.

El levantamiento topobatimétrico se amarró al sistema IGAC en coordenadas norte, este y cota. En coordenadas norte y este con sistema GPS con corrección satelital y en cota al punto certificado del IGAC NP 107 S2.

En campo se definió la ubicación y materialización de mojones de referencia para próximos levantamientos.

2.2. LEVANTAMIENTOS DE CAMPO

Los trabajos de campo contemplaron tres actividades, la primera correspondió al levantamiento batimétrico y a las trayectorias de líneas de corriente; la segunda al levantamiento topográfico y la tercera al posicionamiento de los puntos para la toma de muestras de suelo. Adicionalmente, se nivelaron las miras en Puente Santander, El Juncal, los Dujos y Las Ceibas, al igual que todas las secciones topográficas.

La ejecución de los trabajos de campo se realizó de la siguiente forma:

- 17 y 18 de enero se instalaron y nivelaron las miras requeridas para el registro de los niveles de agua durante los trabajos de batimetría
- 19, 20 y 21 de enero se realizó el levantamiento batimétrico por los brazos izquierdo y derecho del río, los cuales fueron los de mayor caudal en ese momento; el día 12 de febrero se completó la toma de información con mediciones por el brazo occidental y se trazaron las trayectorias de corriente por el brazo oriental; se materializaron y posicionaron dos mojones de referencia, uno en la isla La Gaitana en predios del parque y el otro en el embarcadero junto al museo de La Gaitana.
- Del 22 de enero al 11 de febrero se efectuó el levantamiento de las secciones topográficas definidas desde las orillas, el cauce y la zona de las islas.
- 19 y el 23 de enero se posicionaron los puntos donde se tomaron las muestras de suelo para el estudio geotécnico.

2.2.1. Instalación y nivelación de miras

Previo al levantamiento batimétrico, se instalaron y se amarraron las miras al sistema IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) usando como punto de control el NP 107 S2 (ver Figura 2) ubicado en el estribo izquierdo, aguas abajo, del Puente Santander Antiguo. La nivelación de la mira se hizo utilizando estación total, dada la cercanía con el punto de control y la precisión requerida (centimétrica).

Para la nivelación de las otras miras, Las Ceibas, Los Dujos y El Juncal, se trasladó la cota a una estaca temporal cerca de cada estación utilizando sistema GPS de precisión geodésica con sesión de trabajo de 1.5 hora, y a partir de dicha estaca se niveló con estación total.

La metodología para el traslado de la cota fue la siguiente: se utilizaron dos receptores GPS marca Ashtech modelo Promark2 de una frecuencia apropiada para vectores de longitud menor de 20 km con precisión de 1 cm más 2 partes por millón en vertical. Un receptor base se colocó en el NP 107 S2 y el otro en cada estaca temporal. El tiempo de la sesión de trabajo para cada vector fue de 1.5 horas.

Se instalaron miras provisionales, en la isla Los Dujos y en la margen derecha del río Magdalena antes de la desembocadura de Las Ceibas, que consistieron en varas de madera debidamente marcadas y ancladas para evitar movimientos debido a la corriente del río.

El registro de la lectura de las miras se hizo en forma continua por lo menos tres veces al día durante el levantamiento batimétrico con el propósito de monitorear la variación de la lámina de agua en los sitios de mira y para calcular la pendiente hidráulica en cada tramo.

Los datos del punto de control NP 107 S2 son:

| NORTE (m) | ESTE (m) | COTA (msnm) |
|------------------|-----------------|--------------------|
| 817201.909 | 863043.814 | 431.236 |

La cota fue certificada por el IGAC.

Figura 2: NP IGAC 107 S2



2.2.2. Levantamientos batimétricos

El levantamiento de las secciones transversales y las trayectorias de corriente se realizaron con el programa hidrográfico Hypack con GPS Promark2 con corrección diferencial en tiempo real por satélite, utilizando una ecosonda digital.

La metodología utilizada en la ejecución del levantamiento de las secciones transversales y las trayectorias de corriente fue la siguiente:

- *En la embarcación se instalaron el computador portátil, la Ecosonda digital y el receptor GPS.*
- *Se configuraron la Ecosonda digital, el GPS y los parámetros de comunicación con el computador.*
- *Se establecieron los parámetros geodésicos para que los datos de posición almacenados en los archivos se mantuvieran en el mismo sistema de coordenadas de la base cartográfica, sistema IGAC.*
- *Se calibró la ecosonda digital, de acuerdo con las especificaciones establecidas por el fabricante para este tipo de levantamientos. El procedimiento consistió en sumergir una platina de hierro atada a una cuerda abscisada a diferentes profundidades y se compara con el registro dado por la ecosonda. La calibración se consiguió ajustando la velocidad del sonido que depende de la densidad del medio para que las profundidades medidas y reportadas sean iguales; para el levantamiento resultó una velocidad de 1493 m/s.*
- *El registro de la variación del nivel de agua se obtuvo con la lectura de las miras localizadas en Puente Santander, Las Ceibas, Isla Los Dujos y El Juncal.*
- *Para el levantamiento se utilizó el módulo LEVANTAMIENTO del programa HYPACK que por medio de ayudas de pantalla va guiando al conductor de la embarcación para que avance sobre las líneas planeadas, y al mismo tiempo se registren los datos de posición y profundidad en archivos separados para cada línea hidrográfica levantada.*
- *En el computador portátil se almacenó un archivo por cada sección levantada con las coordenadas norte, este y profundidad.*
- *La ecosonda digital reportó el registro gráfico de la profundidad en papel térmico para corroborar la información en la edición de las secciones transversales.*

Como metodología de control de calidad de la información, diariamente ésta fue procesada y revisada para corroborar que no presentara ningún tipo de inconsistencia.

Las trayectorias de corriente se levantaron siguiendo el recorrido trazado por un dispositivo elaborado en madera formando cuatro aletas separadas entre sí 90 grados, lastrado con un saco de arena de 5 kg y suspendido por medio de una cuerda de un metro. Este conjunto fue atado a una boya de flotación. Este sistema garantiza que la velocidad medida es a un metro de profundidad y no se ve afectada por la brisa.

2.2.3. Levantamientos topográficos

Las secciones transversales definidas desde las orillas, el cauce y la zona de las islas, se planearon cada 200 metros con el programa hidrográfico Hypack y la cartografía digital de la zona.

La metodología seguida en campo fue la siguiente:

- Cada sección transversal se replanteó y se materializó en campo con estacas provisionales con ayuda del programa hidrográfico y el GPS.
- Para mantener el alineamiento de la sección se utilizaron varas de madera para trazar y despejar la trocha correspondiente.
- Con la trocha completamente despejada y terminada se comenzó el levantamiento de la sección transversal con estación total, tomando todos los detalles referentes a orillas, taludes, zona de cauces, islas y demás datos de interés del sector.
- Las secciones transversales se amarraron al sistema IGAC dándole coordenadas, norte, este y cota, a las estacas provisionales con sistema GPS, sesión de trabajo de 1 hora y vector desde el punto GPS 33, ubicado en la isla La Gaitana.
- El punto GPS33, materializado con mojón en concreto, se encuentra ubicado en la isla La Gaitana y se amarró en coordenadas norte, este y cota, al sistema IGAC con sistema GPS, vector de 1.5 horas y vector al punto NP 107 S2.
- Las actividades de trocha, levantamiento de las secciones transversales con estación total y amarre al sistema IGAC con vectores, se realizaron paralelamente con el fin de conseguir mayores rendimientos.

2.2.4. Equipos y personal

Los trabajos de campo fueron realizados por la comisión del LEH, liderada por un ingeniero de campo, quien tuvo apoyo y colaboración de personal de la zona para las actividades de transporte, desmonte, trazado de secciones y lectura de miras.

Para el transporte terrestre del personal y los equipos se contrató un vehículo y para la realización de los trabajos, batimetría y topografía, una chalupa de fibra de vidrio.

El equipo empleado en el levantamiento topobatimétrico y de propiedad del LEH, fue el siguiente:

- Dos GPS marca Ashtech modelo Promark2 con corrección diferencial en tiempo real por satélite.

- *Un GPS navegador marca Garmin.*
- *Una Ecosonda digital marca Raytheon.*
- *Una Estación Total marca Nikon modelo DTM-720.*
- *Radios de comunicaciones marca Motorola.*
- *Un computador portátil modelo ThinkPad marca IBM.*

La revisión final, procesamiento y edición de la información levantada en campo se realizó en las oficinas del LEH en Bogotá.

2.2.5. Levantamiento batimétrico

El procesamiento de las secciones transversales batimétricas, se realizó con ayuda del programa hidrográfico Hypack utilizando el módulo EDICIÓN.

Cada sección se editó revisando al mismo tiempo los datos almacenados en el archivo generado por el programa hidrográfico y el registro gráfico de la ecosonda digital.

Los datos de lectura de mira se utilizaron para determinar la pendiente hidráulica de cada tramo correspondiente. Los datos de pendiente por tramo se presentan en el Anexo 2. Una vez conocido el nivel de agua en cada sitio de mira y la pendiente hidráulica del tramo, por interpolación se calculó el nivel de agua para cada sección transversal dentro del tramo.

Con la edición de cada sección se obtuvo un archivo de puntos con coordenadas norte, este y cota.

En el programa Terramodel se generaron y se editaron las curvas de nivel del tramo en estudio, las cuales se presentan en el Plano No 2 y Plano No 3

Los datos de las trayectorias de corriente se almacenaron en archivos TGT del programa hidrográfico. Estos archivos contienen la posición de los puntos definidos por el usuario en un tiempo determinado, en este caso correspondiente a la trayectoria descrita por la boya. Se editaron en Excel para calcular la distancia recorrida y el tiempo correspondiente en cada tramo. Con estos datos se calculó la velocidad para cada tramo.

2.2.6. Levantamiento topográfico

Las secciones topográficas se levantaron con estación total. El amarre de cada una se realizó con sistema GPS, sesión de trabajo y vector al punto GPS 33.

En campo se materializaron dos puntos GPS amarrados al sistema IGAC con coordenadas norte, este y cota.

El procesamiento de la información de los vectores se realizó con el programa Astech solutions. Conociendo las coordenadas norte, este y cota de un punto es posible dar coordenadas a otro punto. La información para el vector lo determina la sesión de trabajo, que corresponde al tiempo de toma de información simultánea para los dos puntos.

Las coordenadas de los puntos materializados en campo con mojón de concreto se muestran en la Tabla 1

Tabla 1. Mojones materializados en campo

| MOJON | NORTE (m) | ESTE (m) | COTA (msnm) |
|--------------|------------------|-----------------|--------------------|
| GPS33 | 814819.866 | 864816.694 | 429.374 |
| GPS36 | 814949.506 | 864914.622 | 435.251 |

Cada sección transversal se amarró al sistema IGAC dándole coordenadas a las estacas provisionales desde el punto GPS 33 y sesión de trabajo de 1 hora. A partir de las estacas y con estación total se levantó la sección transversal, obteniéndose los archivos con coordenadas norte, este y cota.

En el programa Terramodel se ingresaron los puntos de la batimetría y la topografía generando así las secciones transversales que se presentan en el Plano No 4. Adicionalmente, se generaron secciones transversales para el estudio hidráulico.

3. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

En este capítulo se presenta la caracterización climática general de la zona de estudio, y los resultados de los estudios hidrológicos efectuados con el fin de caracterizar los caudales y niveles medios diarios y máximos mensuales.

3.1. CLIMA

Con excepción de la precipitación, no se han recopilado datos de otras variables meteorológicas para la zona de estudio. Sin embargo, a partir de información secundaria se han obtenido las características climáticas para la ciudad de Neiva, las cuales son claramente extrapolables a la zona de estudio, y se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de variables meteorológicas para la ciudad de Neiva¹.

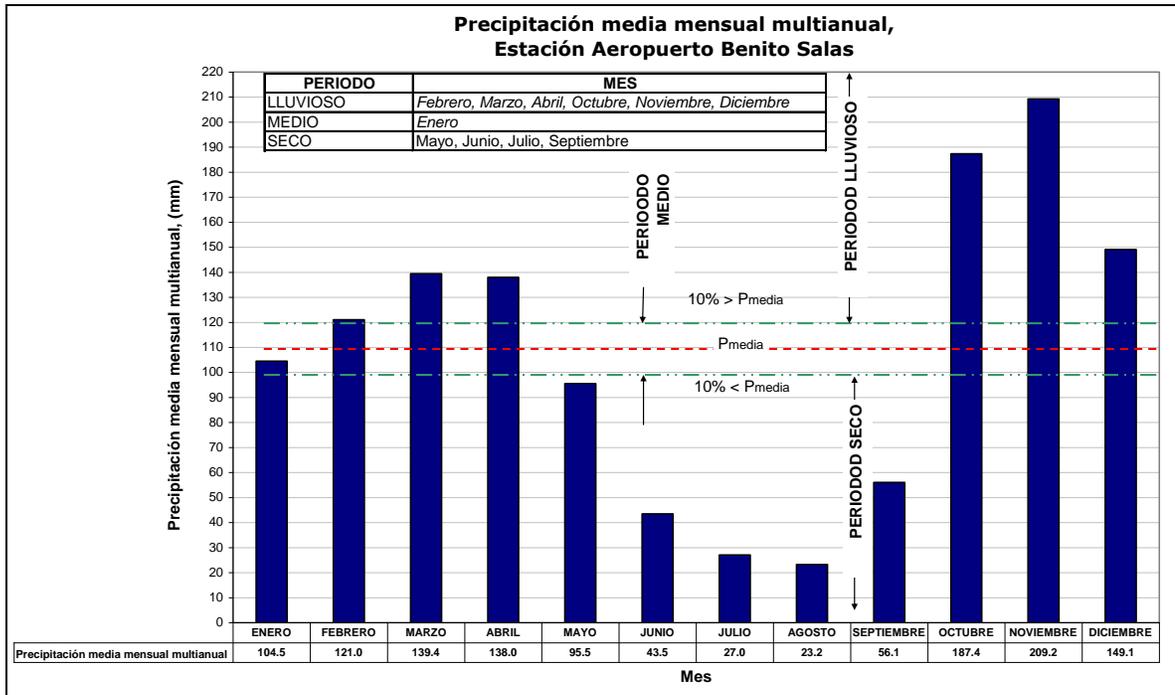
| Precipitación (mm) | | | Temperatura (° C) | | | Humedad Relativa (%) |
|---------------------------|---------------------------|---|--------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Media | Máxima en 24 horas | No. de días con precipitación al año | Media | Máxima media | Mínima Media | |
| 1320 | 141 | 138 | 28 | 33 | 22 | 66 |

A partir de los datos consignados en la Tabla 2, teniendo en cuenta que la elevación de Neiva es de aproximadamente 450 msnm y considerando el sistema de clasificación climática unificado de Caldas-Lang (Eslava et al., 1986) se ha podido clasificar el clima de la zona de estudio como Cálido-Semiárido (Csa) caracterizado por un factor de lluvia de Lang (razón ente la precipitación anual y la temperatura media) cercano a 50.

En cuanto a la variación mensual de la precipitación, en la Figura 3 se presenta el histograma de precipitaciones medias mensuales multianuales para la estación Aeropuerto Benito Salas.

¹ Tomado de “Valores característicos anuales de precipitación, temperatura y humedad relativa para las principales ciudades del país”, IDEAM (1998)

Figura 3: Histograma de precipitación media mensual multianual para la estación Aeropuerto Benito Salas



El análisis de la Figura 3 indica que en la zona de estudio ocurren dos periodos lluviosos (fundamentalmente de febrero a abril y de octubre a diciembre) con un periodo seco intermedio, típico de un régimen de precipitación de tipo bimodal, influenciado por el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) sobre el territorio colombiano. Del total de la precipitación anual, más del 70% cae durante los seis meses lluviosos.

3.2. HIDROMETRÍA

Dentro de este numeral se describe en detalle la información hidrométrica recopilada, el análisis de consistencia y validez de esta información y los análisis de valores medios, que han permitido caracterizar el régimen promedio de caudales y niveles en la zona de estudio y al igual que el estudio de eventos máximos, a partir de los cuales se han deducido los caudales y niveles para periodos de retorno seleccionados.

3.2.1. Información recopilada

Con el fin de realizar los estudios hidrológicos de caracterización y de análisis de eventos extremos para el río Magdalena en el tramo estudiado se recopiló información

de las estaciones hidrométricas presentadas en la Tabla 3 y mostradas en el esquema general de la Figura 1.

Tabla 3: Estaciones hidrométricas utilizadas en el estudio

| Estación | Código | Tipo | Corriente | Municipio | Coordenadas | | Cota cero de mira (msnm) |
|------------------|---------|------|------------|-----------|-------------|--------|--------------------------|
| | | | | | N (m) | E (m) | |
| El Juncal | 2109701 | LM | Magdalena | Palermo | 799290 | 826582 | 446.46 |
| El Guayabo | 2111708 | LG | Las Ceibas | Neiva | 817712 | 873722 | 650.00 |
| Puente Santander | 2109707 | LG | Magdalena | Palermo | 821409 | 864459 | 419.80 |

LM: Estación Limnimétrica

LG: Estación Limnigráfica

Cotas cero de mira obtenidas del IDEAM

La distancia a lo largo del cauce del río Magdalena entre las estaciones El Juncal y Puente Santander es de aproximadamente 11.5 km y el área de drenaje es de aproximadamente 15,000 km². Con el fin de evaluar la importancia del río Las Ceibas (afluente del Magdalena aguas abajo de la zona de estudio, ver Figura 1) sobre los caudales y niveles registrados en la estación Puente Santander, se recopilieron datos de la estación El Guayabo para este afluente del río Magdalena. Para el río Loro (ver Figura 1) no se cuenta con datos hidrométricos, por lo que para propósitos de análisis de eventos extremos en esta cuenca, se realizó la modelación hidrológica a partir de tormentas sintéticas, utilizando el modelo HEC-HMS versión 3.0 del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (2000), tal como se discute más adelante en este capítulo.

En el Anexo 3 se indican la longitud y número de datos faltantes para las series obtenidas en el IDEAM y las recopiladas en el LEH de cada una de las estaciones hidrométricas seleccionadas, y que corresponden a información de caudales y niveles medios diarios, y caudales y niveles máximos mensuales en la estación Puente Santander; caudales medios diarios y máximos mensuales en la estación El Guayabo; y niveles medios diarios y máximos mensuales en la estación El Juncal. Con respecto al registro de información hidrométrica presentado en el Anexo 3, se puede ver claramente que en todas las estaciones se cuenta con un registro común de alrededor de 10 años completos de información entre los años 1986 a 1995. En general, las series de tiempo de las estaciones Puente Santander y El Guayabo están bastante completas, mientras que para la estación El Juncal no existen registros entre 1996 y 2004. Es importante resaltar que el período de análisis de este estudio se ha concentrado en el período posterior a la construcción, llenado y entrada en operación de la Central Hidroeléctrica de Betania (CHB), cuya cronología es la siguiente: construcción 1981-1986, llenado del embalse noviembre a mayo de 1987 y entrada en operación abril de 1987 (CHB, 2006).

3.2.2. Análisis de validez y consistencia de la información y llenado de datos faltantes

Como parte de los estudios hidrológicos presentados en este documento, se ha considerado muy importante realizar el análisis de calidad, validez y consistencia de la información hidrométrica recopilada. Esto con el objeto de detectar posibles datos anómalos, depurar las series, realizar el llenado de datos faltantes y permitir análisis posteriores más confiables.

Los análisis de consistencia y validez de la información se realizan con el ánimo de detectar errores en los registros de tipo sistemático² o aleatorio, y así poder tener series depuradas y consistentes. Los métodos de análisis de consistencia de la información utilizados en el presente estudio incluyen: la curva de doble masa, diagramas bilineales, análisis de la serie de tiempo original³, diagrama de cajas y patillas (Box-Plots) y la prueba de Grubb.

Los datos anómalos, también llamados outliers, son observaciones que parecen ser inconsistentes con el resto de los registros. Su origen puede ser debido principalmente a errores en la medición, ya sea por mal funcionamiento del instrumento de registro o por errores en la lectura, o a la errónea manipulación y procesamiento de los datos.

Tal como se mencionó anteriormente, en este estudio se le dedicó un esfuerzo considerable al análisis de consistencia, validez y homogeneidad de la información, ya que a partir de esta información básica se realizaron los análisis hidrológicos e hidráulicos discutidos más adelante en este documento. Además, se desea que todos los registros reflejen de la mejor forma el comportamiento de la variable analizada en la serie de tiempo.

El análisis de consistencia y validez de la información se realiza de forma separada para los registros medios diarios y para los registros máximos mensuales, tal como se discute a continuación.

3.2.2.1. Análisis de consistencia y validez de los registros medios diarios

a. Curva de doble masa o dobles acumulaciones

El análisis de dobles acumulaciones o curva de doble masa es una prueba gráfica que permite verificar la consistencia de los registros de una estación, comparando los datos acumulados con valores acumulados de la misma variable en estaciones

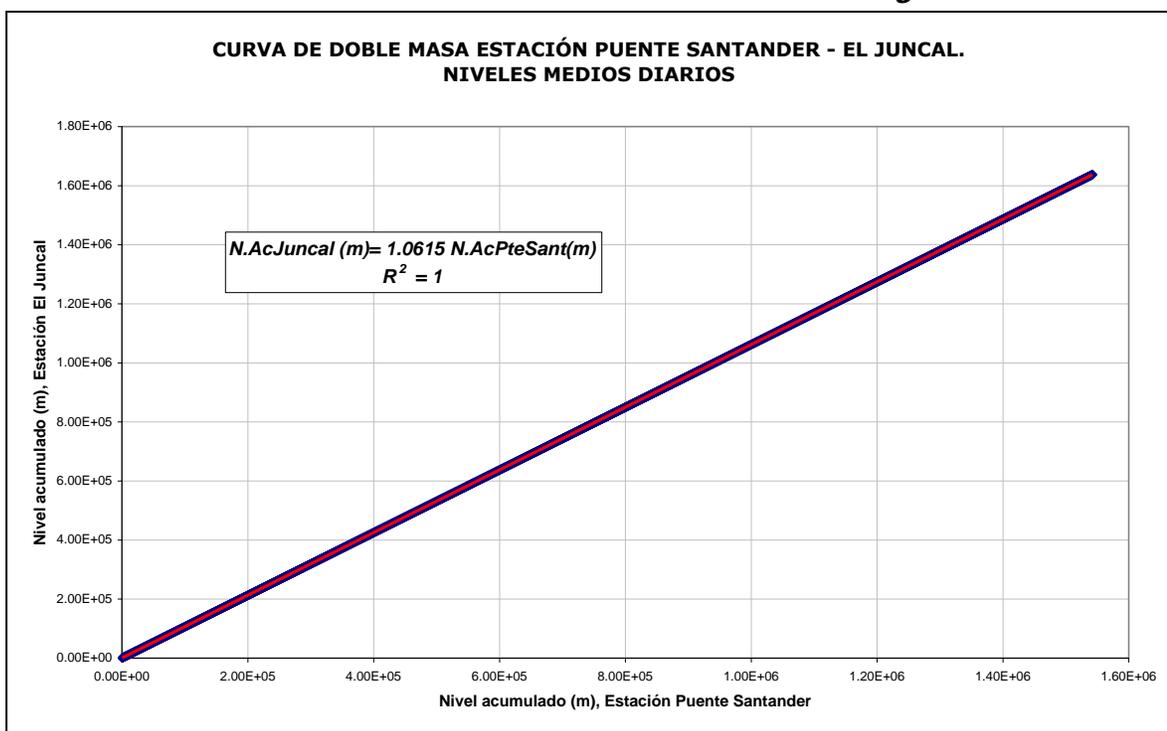
² Este tipo de errores ocurren ya sea por cambio de localización o error de lectura.

³ Se aclara que estos gráficos requieren del apoyo de los registros de una estación analizada con los registros de otra estación. Para el caso de este estudio se pudo realizar diagrama lineal entre los registros de niveles entre la estación de Puente Santander y el Juncal ya que son estaciones que se pueden correlacionar tanto espacial como temporalmente.

cercanas. Un cambio sostenido e importante en la pendiente de la curva entre registros acumulados de dos estaciones es un posible indicativo de inconsistencia y/o no-homogeneidad de los datos.

En la Figura 4 se presentan los datos de niveles medios diarios acumulados en las estaciones El Juncal y Puente Santander entre el año 1987 y 1995 (el período común y con registros completos en ambas estaciones posterior a la entrada en operación de Betania). La curva de doble masa solo se utilizó para análisis de registros de niveles medios diarios y en fase en el tiempo, ya que las estaciones El Juncal y Puente Santander se encuentran sobre la misma corriente y separadas únicamente alrededor de 11.5 km.

Figura 4: Curva de doble masa de niveles medios diarios para el período 1987-1995 entre las estaciones Puente Santander y El Juncal



En la Figura 4 se puede ver claramente que para el período analizado, existe una relación lineal perfecta entre los niveles medios diarios acumulados de las estaciones El Juncal y Puente Santander. Por tanto, puede concluirse a partir del análisis de doble masa que los registros de niveles medios diarios en ambas estaciones son consistentes.

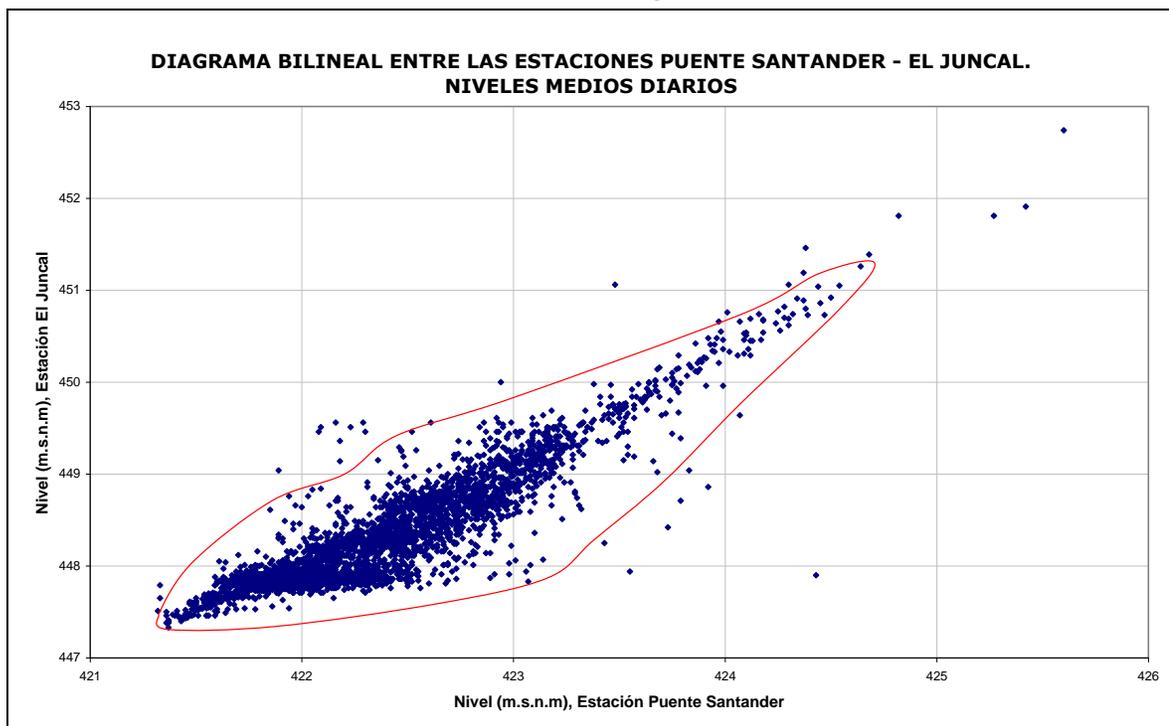
b. Diagrama bilineal

Este diagrama es la representación de la relación lineal entre los datos de una misma variable en dos estaciones cercanas. La Figura 5 muestra el diagrama bilineal para los niveles medios diarios en las estaciones Puente Santander y El Juncal, para el período 1987-1995. A partir de este diagrama es posible delimitar una zona en la que

se ubican la mayoría de los registros (área delimitada por la línea continua negra) y a partir de esta identificar los puntos por fuera de dicha región, que preliminarmente pudieran considerarse como posibles datos anómalos.

El análisis de la Figura 5 indica que existen aproximadamente 27 datos sospechosos, que requieren un tratamiento adicional para efectivamente identificar si definitivamente pueden o no ser catalogados como datos erróneos.

Figura 5: Diagrama bilineal de niveles medios diarios en las estaciones Puente Santander y El Juncal



c. Diagrama de cajas y patillas (Box-plot)

Este tipo de diagrama intenta proporcionar gráficamente información acerca de la distribución y frecuencia de los registros.

La información proporcionada por un diagrama de cajas y patillas es de gran utilidad y puede complementarse con otros métodos de detección de datos anómalos, como los discutidos anteriormente. En un diagrama de cajas y patillas se definen el primer⁴ y el tercer⁵ cuartil (Q1 y Q3 respectivamente), y a partir de estos se definen las patillas del diagrama utilizando las siguientes relaciones: $Q1 - 1.5(Q3 - Q1)$ y $Q3 + 1.5(Q3 - Q1)$. Aquellos datos que se encuentren por fuera de este rango (de las patillas del

⁴ Correspondiente al valor para el cual el 25% de los datos es menor.

⁵ Correspondiente al valor para el cual el 75% de los datos es menor.

diagrama) pueden considerarse como exteriores o extremos y puede sospecharse evidencia de anomalía en los mismos⁶ .

En las Figura 6 y Figura 7 se presentan los diagramas de cajas y patillas para los niveles medios diarios en la estación El Juncal; los resultados del análisis de consistencia efectuado para las otras estaciones se incluyen en los Anexos 4 y 5.

A partir del análisis de diagramas de cajas y patillas para los niveles medios diarios en la estación El Juncal se detectaron 63 datos posiblemente anómalos, los cuales son analizados en detalle en el numeral e.

⁶ Tomado del informe CM-050 “Análisis de la calidad, validez y consistencia de la información hidrométrica utilizada en los estudios de caracterización del río Magdalena en el sector Neiva – El Banco”. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. 1999-2000. Los diagramas de cajas fueron obtenidos con el programa XLStat. 2005 <http://www.xlstat.com> .

Figura 6: Diagrama de cajas y patillas para niveles medios diarios en la estación El Juncal para el período 1987-1995

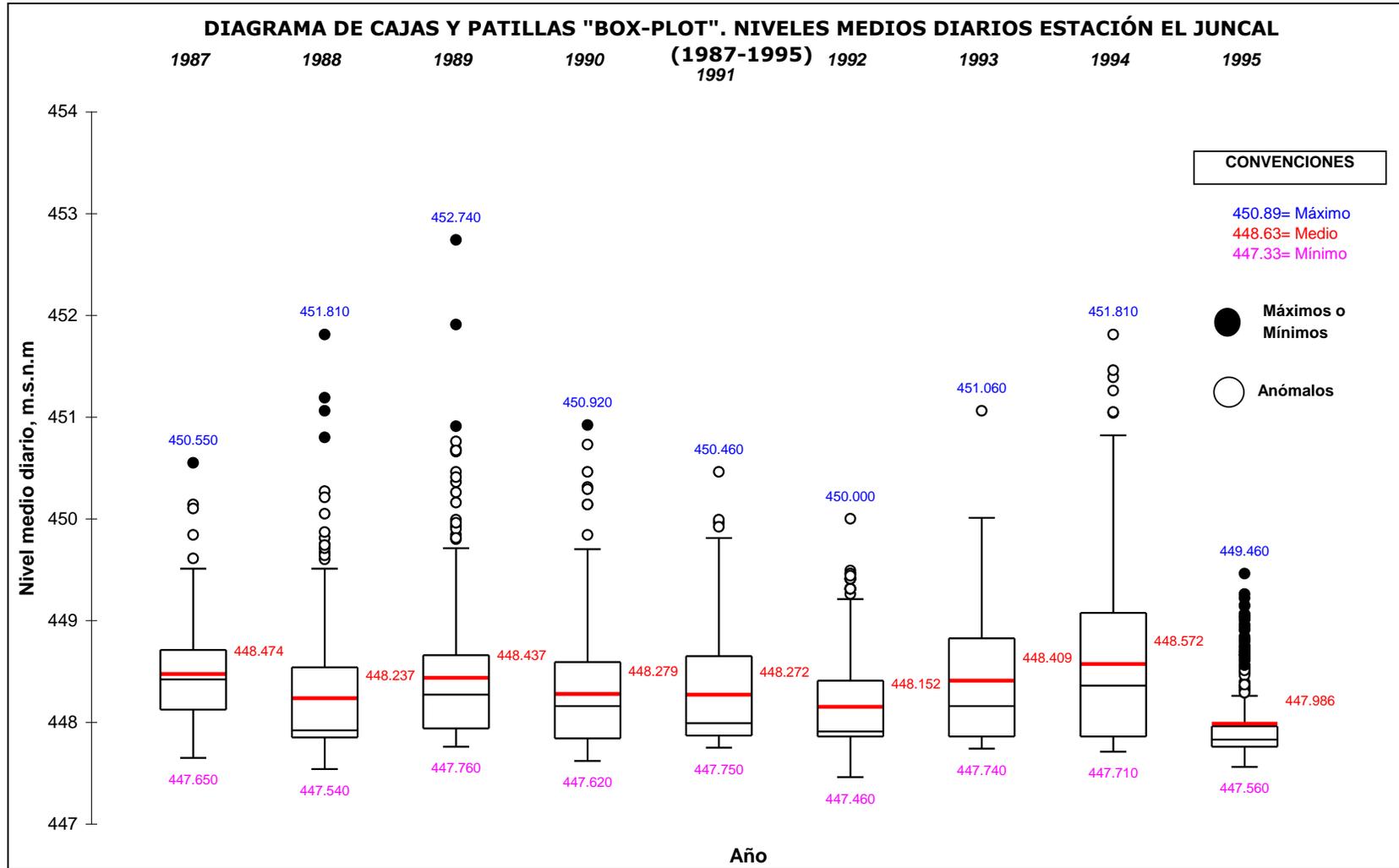
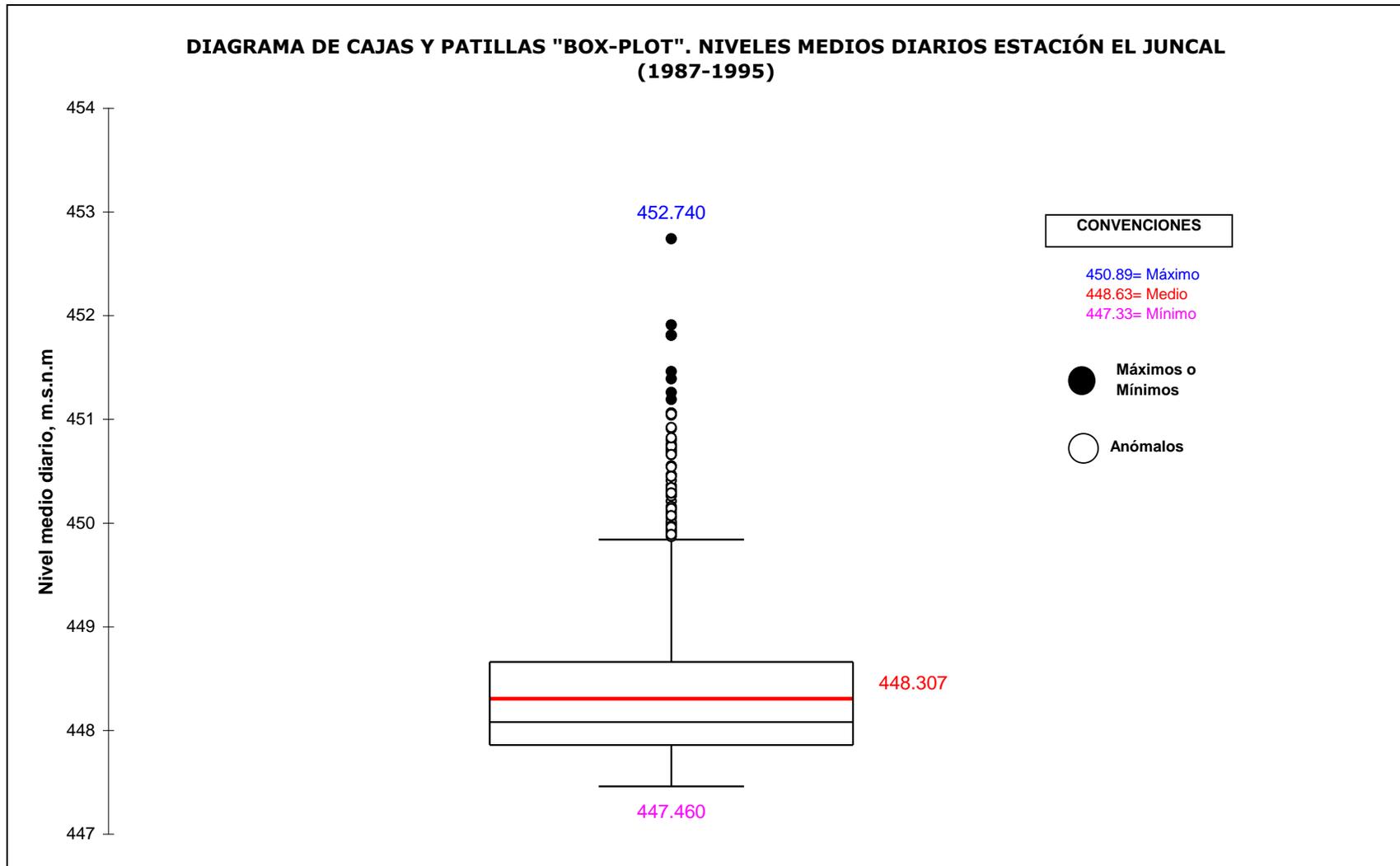


Figura 7: Diagrama de cajas y patillas para todos los registros de niveles medios diarios en la estación El Juncal (1987-1995).



d. Prueba de Grubb para la detección de registros anómalos (outliers)⁷

La prueba de Grubb (Grubb y Beck, 1972) es la recomendada por la Environmental Protection Agency (EPA) en los Estados Unidos para la detección de datos anómalos. En esta prueba se sugiere tomar los logaritmos de los datos, asumiendo que estos siguen una distribución log-normal. Los datos se organizan en orden ascendente y se calculan la media (\bar{x}) y la desviación estándar (s). A continuación se evalúan el valor extremo máximo (x_n) y el mínimo (x_i) y se verifica si alguno de ellos puede considerarse como outlier. Para el valor extremo mínimo se calcula el estadístico T de la siguiente forma:

$$T = \frac{x - x_i}{s}$$

y para el valor extremo máximo

$$T = \frac{x_n - \bar{x}}{s}$$

El valor del estadístico T se compara con un valor crítico τ para el tamaño de la muestra y un valor seleccionado de α . Si el valor del estadístico T es mayor que el valor crítico τ , la hipótesis nula se rechaza y la conclusión es que el dato en consideración podría calificarse como un outlier.

Una vez se identifica un dato anómalo (outlier) mediante la aplicación de la prueba de Grubb, es decisión del analista excluir dicho valor de los análisis o mantenerlo y usar técnicas estadísticas más robustas que no asuman que los datos provienen de una distribución de probabilidad específica. Si se decide retirar de los datos el outlier puede aplicarse nuevamente la prueba de Grubb a los datos para verificar la existencia de un segundo outlier.

La metodología descrita en el párrafo anterior fue implementada para todas las series de valores medios diarios y para todas las estaciones, utilizando un macro de Excel ya implementado (Grubb's Test)⁸ (ver resultados en Anexo 4).

Las Tabla 4 y

⁷ Tomado del informe CM-050 "Análisis de la calidad, validez y consistencia de la información hidrométrica utilizada en los estudios de caracterización del río Magdalena en el sector Neiva – El Banco". Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. 1999-2000.

⁸ Detecting outliers with Grubbs' test Dr. Harvey Motulsky, President GraphPad Software <http://www.graphpad.com/www/outlier.htm>.

resumen los resultados de la prueba de Grubb para los datos de niveles medios diarios en la estación Juncal.

Tabla 4. Datos de entrada para el Test de Grubb. Máximos niveles por año de los registros medios diarios para la estación El Juncal.

| Año | Máximo, m.s.n.m | Ln (Máx) | Mínimo, m.s.n.m | Ln (Mín) |
|------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| 1987 | 450.55 | 6.110 | 447.65 | 6.104 |
| 1988 | 451.81 | 6.113 | 447.54 | 6.104 |
| 1989 | 452.74 | 6.115 | 447.76 | 6.104 |
| 1990 | 450.92 | 6.111 | 447.62 | 6.104 |
| 1991 | 450.46 | 6.110 | 447.75 | 6.104 |
| 1992 | 450.00 | 6.109 | 447.46 | 6.104 |
| 1993 | 451.06 | 6.112 | 447.74 | 6.104 |

Tabla 5. Resultados de la prueba de Grubb para los niveles medios diarios en la estación El Juncal

| Grubb's test for outliers. | | | |
|--|----------------|-------------------------------|--------|
| LN Niveles Máximos Estación El Juncal | | | |
| <i>Data:</i> | $P^9 < 0.05??$ | <i>Descriptive statistics</i> | |
| 6.110 | | | |
| 6.113 | | Mean= | 6.111 |
| 6.115 | No | SD= | 0.002 |
| 6.111 | | N= | 7 |
| 6.110 | | | |
| 6.109 | | | |
| 6.111 | | | |
| <i>Data:</i> | $P < 0.05??$ | Descriptive statistics | |
| 6.104 | | | |
| 6.103 | | Mean= | 6.104 |
| 6.104 | | SD= | 0.0002 |
| 6.103 | | N= | 7 |
| 6.104 | | | |

⁹ Si el valor tabulado T es mayor que el valor crítico según el número de la muestra, luego se tiene que P (estadigráfo de la prueba) es menor que 0.05 valor de cola "Tail", por lo tanto se puede considerar el valor como un outlier.

Tabla 5. Resultados de la prueba de Grubb para los niveles medios diarios en la estación El Juncal

| Grubb's test for outliers. | | | |
|--|----|--|--|
| LN Niveles Máximos Estación El Juncal | | | |
| 6.103 | No | | |
| 6.104 | | | |

Los resultados de la prueba de Grubb, presentados en la Tabla 5, indican que no existen datos anómalos en la serie de niveles medios diarios de la estación El Juncal.

e. Identificación final de datos anómalos

Los análisis de consistencia de datos medios han sido ejemplificados para los registros de niveles medios diarios en la estación El Juncal, sin embargo el mismo procedimiento fue seguido para las otras series de valores medios, y los resultados se presentan en el Anexo 4. Para las series de valores medios, el resumen de datos posiblemente anómalos, identificados mediante una cualquiera de las cuatro metodologías anteriormente descritas, se presenta en las Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 6: Resumen del número total de registros detectados como posibles anómalos para las series de valores medios diarios por cada método utilizado

| Método Estación | Series | Diagrama de cajas | Prueba de Grubb | Diagrama Bilineal |
|------------------|--------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| Puente Santander | 5 | 97 | 0 | Con El Juncal 27 |
| El Juncal | 2 | 63 | 0 | Con Puente Sant 27 |
| El Guayabo | 2 | 344 | 0 | |

Tabla 7. Fechas de ocurrencia y valores registrados para los datos inicialmente detectados como datos anómalos y que se encontraron de manera persistente en las diferentes pruebas.

| Registro | Unidad | Fecha | Valor | Observación |
|------------------------|---------|------------|--------|---------------------------|
| Nivel Juncal | m.s.n.m | 13/07/1988 | 451.81 | Común en Puente Santander |
| | | 16/10/1992 | 450.00 | |
| | | 16/11/1993 | 451.06 | |
| | | 03/04/1994 | 451.81 | Común en Puente Santander |
| | | 11/07/1994 | 451.46 | Común en Puente Santander |
| Nivel Puente Santander | m.s.n.m | 23/08/1987 | 424.43 | |
| | | 13/07/1988 | 424.82 | Común en El Juncal |
| | | 07/07/1989 | 425.60 | |
| | | 08/07/1989 | 425.42 | |
| | | 03/04/1994 | 425.27 | Común en El Juncal |

Tabla 7. Fechas de ocurrencia y valores registrados para los datos inicialmente detectados como datos anómalos y que se encontraron de manera persistente en las diferentes pruebas.

| Registro | Unidad | Fecha | Valor | Observación |
|-------------------------|-------------------|------------|--------|---|
| | | 11/07/1994 | 424.38 | Común en El Juncal |
| Caudal El Guayabo | m ³ /s | 21/03/1997 | 55.88 | |
| | | 01/05/1998 | 0.8 | Se seleccionó por ser un registro atípico |
| Caudal Puente Santander | m ³ /s | 07/07/1989 | 2439 | |

A continuación se presenta de forma detallada el análisis de cada uno de los datos identificados como anómalos en la Tabla 7 para las series de tiempo de valores medios diarios.

1. Para las fechas 13/07/1988, 03/04/1994 y 11/07/1994 los datos posiblemente anómalos son comunes en las estaciones El Juncal y Puente Santander, indicando que estos tres eventos efectivamente ocurrieron, ya que fueron registrados en las dos estaciones para las mismas fechas (no debe olvidarse que la información entre estas dos estaciones está bien correlacionada en este período - véase la Figura 4. Se decide por tanto que estos tres datos no son anómalos definitivos.
2. Los puntos anómalos del 16/10/1992 y 16/11/1993 corresponden a valores extremos registrados en El Juncal pero en las mismas fechas no fueron registrados en Puente Santander, por lo que se consideran como datos anómalos definitivos para la serie de El Juncal.
3. El dato correspondiente al 23/08/1987 en la estación Puente Santander no refleja la misma condición de evento máximo en la estación El Juncal. Se considera como dato anómalo definitivo para la serie Puente Santander.
4. Los datos en la estación Puente Santander correspondientes a las fechas de 07/07/1989 y 08/07/1989 concuerdan perfectamente con los registrados en El Juncal. No se consideran como datos anómalos definitivos.
5. Para la estación el Guayabo en la fecha del 21/03/1997 se presenta el máximo registro de caudal medio diario, pero este no es consistente ni con los registros de la estación Puente Santander ni con la precipitación de marzo de 1997. Adicionalmente en enero de 1997 la serie de precipitación indica un valor de 200 mm con un caudal de 26 m³/s en El Guayabo, en tanto que en marzo de 1997 con una precipitación menor, de 163 mm registro muestra un caudal un poco mayor de 55 m³/s. Por este motivo el dato se considera como anómalo definitivo¹⁰.
6. Para la estación El Guayabo el valor de caudal medio diario de 0.8 m³/s, correspondiente al 01/05/1998 es uno de los mínimos dentro de todo el período

¹⁰ Se aclara que la precipitación mencionada en estos argumentos no es una precipitación regional, es la medida en el Aeropuerto Benito Salas.

analizado. Se encontraron algunos valores de $0.89 \text{ m}^3/\text{s}$ en la serie de tiempo. Por lo anterior se establece que el dato no es un anómalo definitivo.

Finalmente, en la Tabla 8 se presenta el resumen de datos identificados como anómalos definitivos.

Tabla 8. Datos anómalos definitivos en las series medias diarias

| Estación | Unidad | Fecha | Valor |
|------------------------|-----------------------|--------------|--------------|
| Nivel Juncal | m.s.n.m | 16/10/1992 | 450.00 |
| | | 16/11/1993 | 451.06 |
| Nivel Puente Santander | m.s.n.m | 23/08/1987 | 424.43 |
| Caudal El Guayabo | m^3/s | 21/03/1997 | 55.88 |

f. Complementación de los registros medios diarios en la estación Puente Santander

Una vez identificados y excluidos de las series los datos identificados como anómalos definitivos, se realizó la complementación y el llenado de datos faltantes para las series de niveles y caudales medios diarios en la estación Puente Santander. Es importante anotar que los registros de esta estación son los más importantes para propósitos de los análisis efectuados, primero por su cercanía a la zona del proyecto, segundo por la longitud de los registros y tercero por los pocos datos faltantes en las series. También es importante mencionar que debido a la falta de registros en la estación El Juncal con posterioridad a 1996 fue imposible llenar los datos de niveles medios diarios en Puente Santander a partir de datos en El Juncal.

La complementación de los niveles medios diarios se realizó utilizando tres diferentes metodologías: regresión con niveles en Angostura (a una distancia de 78.9 km aguas abajo de Puente Santander), promedio histórico para el día con dato faltante y generación sintética de niveles. Para el caso de caudales medios diarios faltantes en Puente Santander, primero fueron llenados los niveles y luego fue utilizada la curva de calibración de esta estación deducida por el LEH.

1. *Análisis de regresión para los datos de niveles medios diarios en la estación Angostura y Puente Santander*

La Figura 8 muestra los datos de niveles medios diarios en las estaciones Angostura y Puente Santander, a partir de los cuales se ha realizado un análisis de regresión con resultados bastante buenos, tal como se presenta en la Tabla 9.

2. *Promedio histórico*

Mediante esta metodología los datos de niveles medios diarios faltantes en la serie de Puente Santander fueron complementados utilizando el promedio de los datos diarios correspondientes para los años con datos completos.

3. *Generación sintética de niveles*

Este método, basado en los parámetros estadísticos de la serie original para las fechas con datos faltantes, fue aplicado utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{NivelComplem} = \text{Nprom} + S * \text{Aleatorio}(-1,1)$$

Donde:

NivelComplem: Dato de nivel a complementar, m.s.n.m.

Nivelprom: Nivel promedio de la serie de tiempo para el día investigado

Aleatorio (-1,1): Número aleatoriamente distribuido en el intervalo (-1, 1)

Figura 8: Análisis de regresión de datos de niveles medios diarios entre las estaciones Angostura y Puente Santander

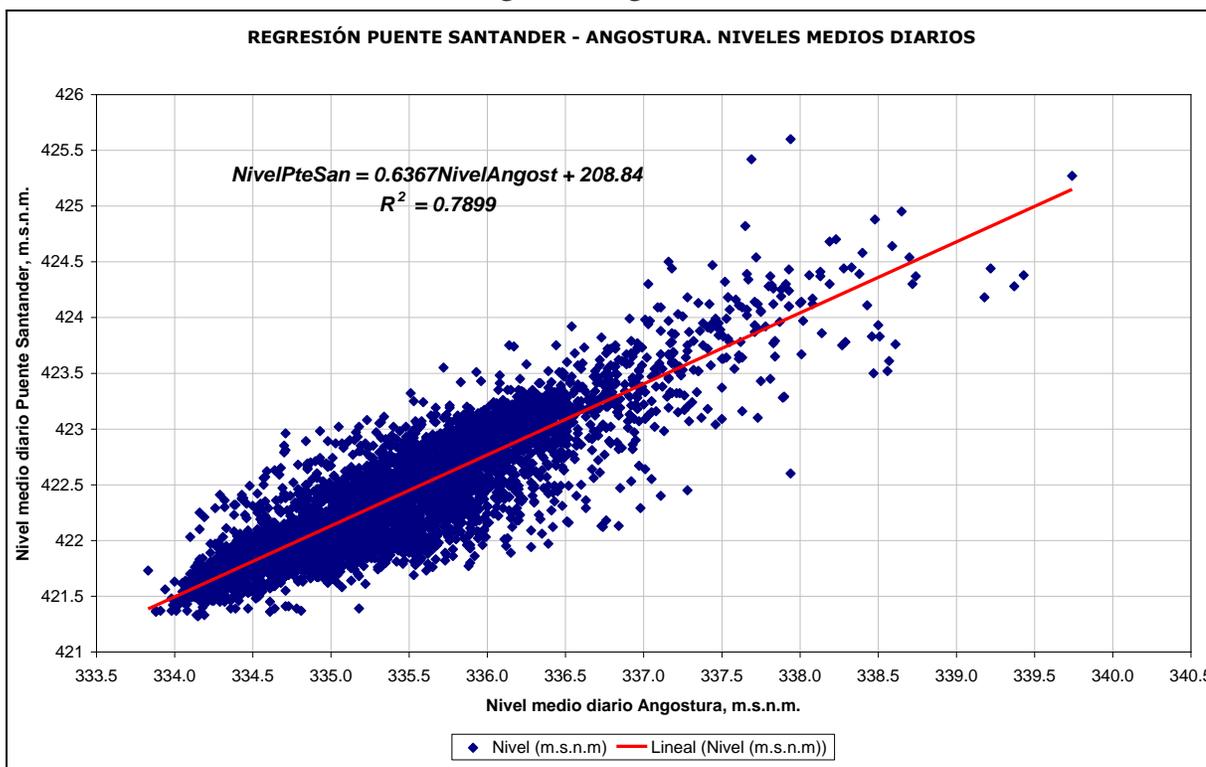


Tabla 9. Resultados del análisis de regresión de niveles medios diarios en las estaciones Angostura y Puente Santander

| | |
|---|--------|
| Coeficiente de correlación múltiple | 0.8887 |
| Coeficiente de determinación R ² | 0.7899 |
| R ² ajustado | 07898 |

| | |
|-------------------------|--------|
| Error típico | 0.2618 |
| Número de observaciones | 5234 |

La Tabla 10 presenta el resumen de los datos obtenidos por los tres métodos antes descritos. Debe anotarse que los resultados estimados por las tres metodologías son bastante consistentes, y que con el fin de ser conservadores en los análisis posteriores, se ha decidido llenar los datos faltantes con el máximo valor obtenido por una cualquiera de las tres metodologías empleadas.

Tabla 10. Resultados del llenado de datos faltantes serie de niveles medios diarios estación Puente Santander

| Fecha | Nivel (m.s.n.m) | | | |
|------------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------------------------|
| | Regresión Angostura | Generación Sintética | Promedio Histórico | Valor a complementar -máximo- |
| 09/01/1996 | 421.89 | 422.28 | 422.09 | 422.28 |
| 10/01/1996 | 422.10 | 422.69 | 421.98 | 422.69 |
| 11/01/1996 | 422.10 | 422.18 | 422.29 | 422.29 |
| 12/01/1996 | 422.00 | 421.87 | 422.15 | 422.15 |
| 13/01/1996 | 422.06 | 422.31 | 422.12 | 422.31 |
| 14/01/1996 | 422.14 | 422.92 | 422.06 | 422.92 |
| 15/01/1996 | 422.44 | 422.33 | 422.05 | 422.44 |
| 16/01/1996 | 422.43 | 422.60 | 422.07 | 422.60 |
| 17/01/1996 | 422.24 | 422.48 | 422.19 | 422.48 |
| 18/01/1996 | 422.12 | 422.50 | 422.14 | 422.50 |
| 19/01/1996 | 422.07 | 422.14 | 422.14 | 422.14 |
| 20/01/1996 | 422.33 | 421.90 | 422.19 | 422.33 |
| 21/01/1996 | 422.09 | 422.64 | 422.30 | 422.64 |
| 22/01/1996 | 422.05 | 422.63 | 422.10 | 422.63 |
| 23/01/1996 | 422.39 | 422.05 | 422.15 | 422.39 |

Con el fin de completar los datos de caudales medios diarios en la estación Puente Santander, y una vez llenados los datos de niveles medios diarios en la misma estación, se utilizó la curva de calibración de esta estación, elaborada por el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos (LEH)¹¹ y mostrada en la Figura 9. Los resultados del llenado de caudales medios diarios se presentan en la Tabla 11.

¹¹ Estudio Hidrosedimentológico del río Magdalena, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, 2006

Figura 9: Curva de calibración estación Puente Santander, elaborada por el LEH a partir de 222 aforos líquidos suministrados por el IDEAM

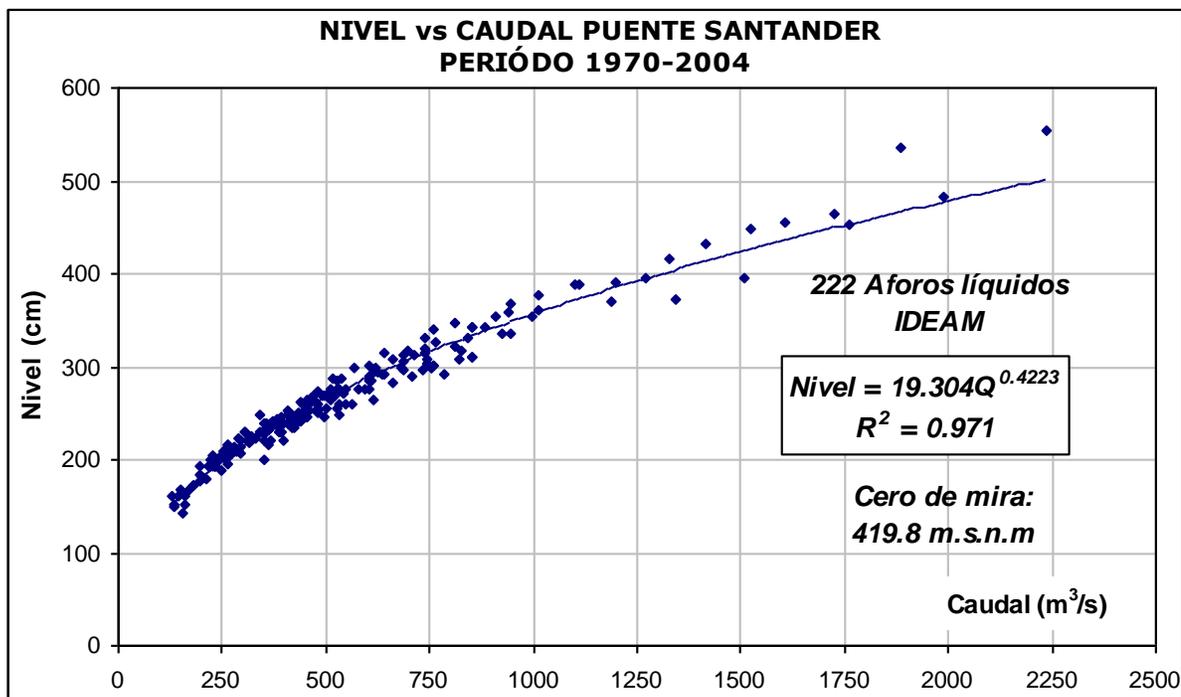


Tabla 11. Datos de caudales medios diarios complementados en la serie de la estación Puente Santander

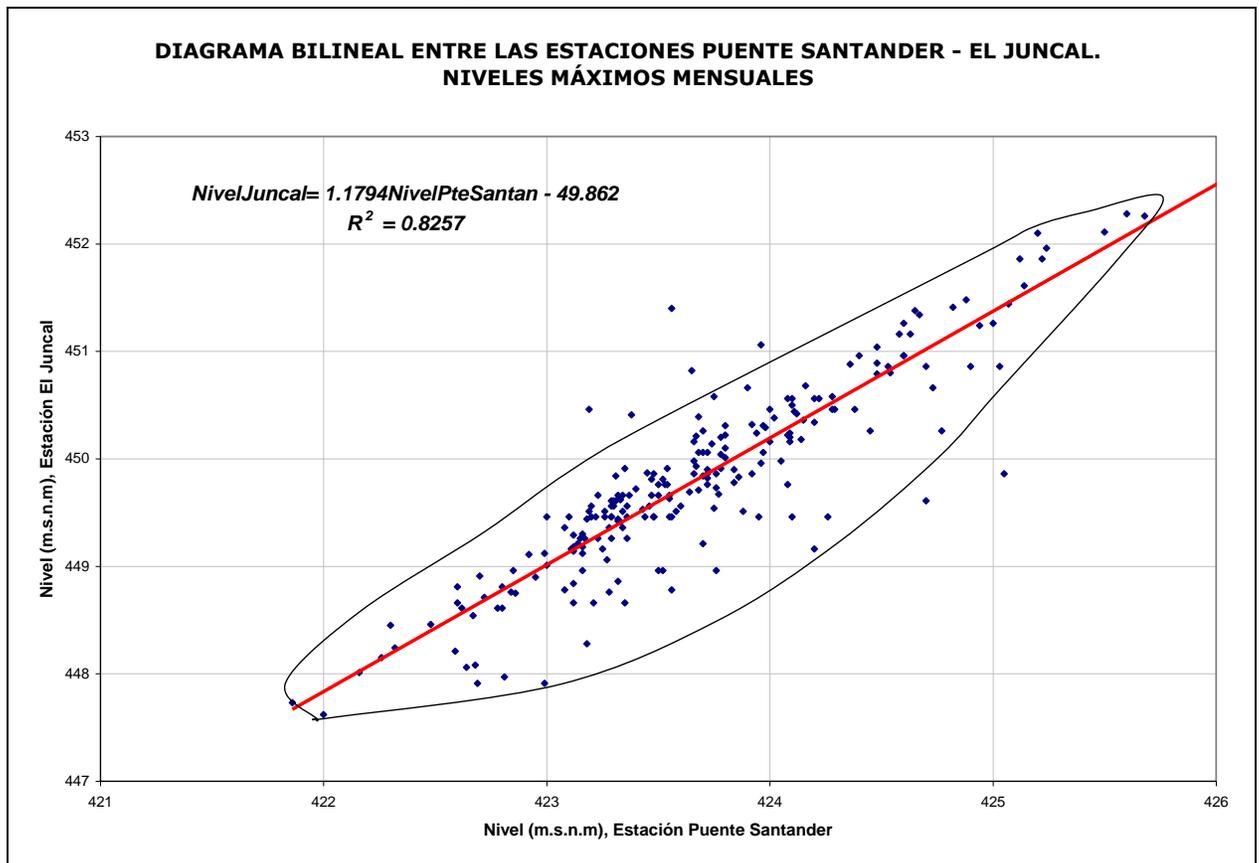
| Fecha | Caudal medio diario (m ³ /s) |
|------------|---|
| 9/01/1996 | 424.1 |
| 10/01/1996 | 609.3 |
| 11/01/1996 | 429.2 |
| 12/01/1996 | 372.9 |
| 13/01/1996 | 436.4 |
| 14/01/1996 | 729.1 |
| 15/01/1996 | 489.7 |
| 16/01/1996 | 565.7 |
| 17/01/1996 | 510.4 |
| 18/01/1996 | 519.2 |
| 19/01/1996 | 369.1 |
| 20/01/1996 | 443.6 |
| 21/01/1996 | 586.4 |
| 22/01/1996 | 579.1 |
| 23/01/1996 | 470.6 |
| 25/05/1998 | 256.8 |

3.2.2.2. Análisis de consistencia y validez de los registros máximos mensuales

Siguiendo la metodología descrita en el numeral 3.2.2.1, se efectuaron los análisis de consistencia de caudales y niveles medios diarios en la estaciones El Juncal, El Guayabo y Puente Santander. Los análisis y resultados son ejemplificados ahora para los datos de caudales máximos mensuales registrados en la estación Puente Santander (ver Figura 10 y Figura 11); los análisis y resultados para las estaciones restantes se presentan en el Anexo 5.

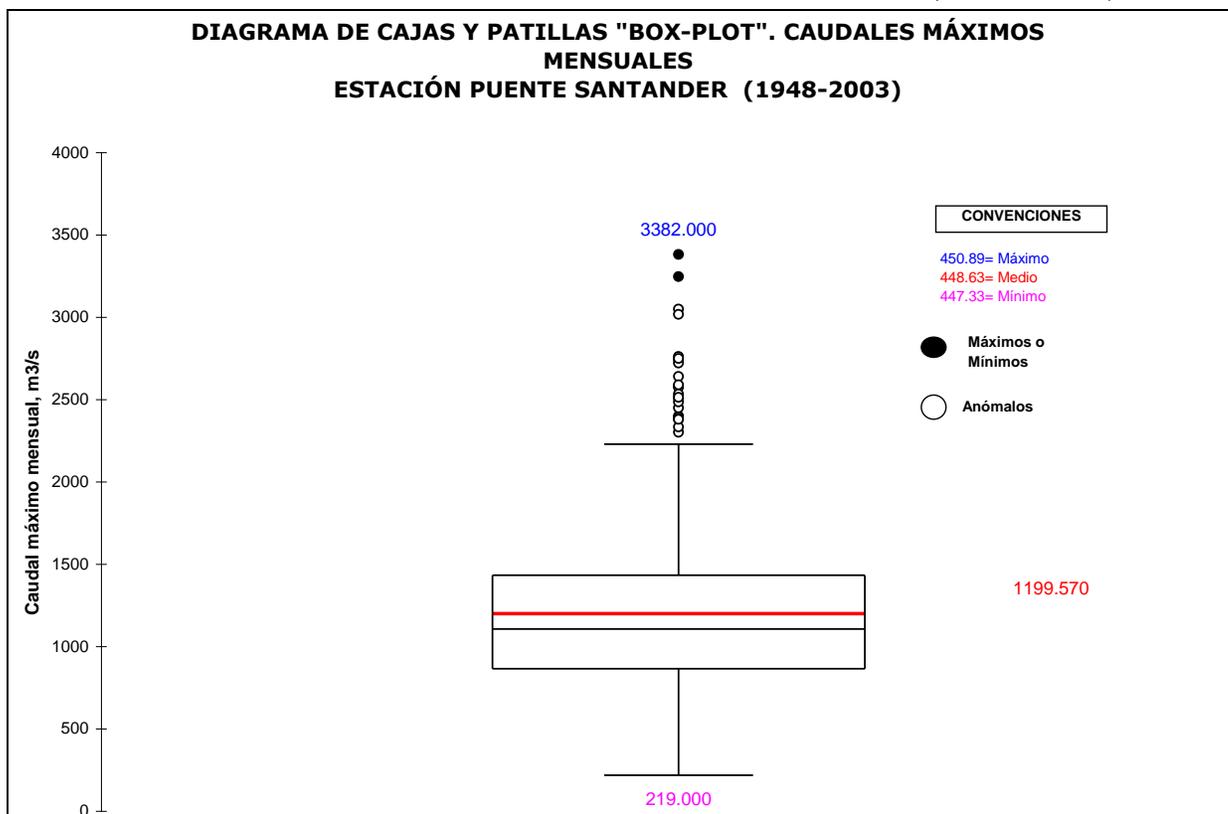
a. Diagrama bilineal

Figura 10: Diagrama bilineal de niveles máximos mensuales entre las estaciones Puente Santander y El Juncal.



b. Diagrama de cajas y patillas (box-plot)

Figura 11: Diagrama de cajas y patillas para todos los registros de caudales máximos mensuales en la estación Puente Santander (1948-2003).



c. Prueba de Grubb para detección de posibles datos anómalos (outliers)

La Tabla 12 muestra la serie de caudales máximos anuales (obtenidos del registro mensual) a la cual se le ha aplicado la prueba de Grubb, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 13.

Tabla 12. Caudales máximos por año de la serie de registros máximos mensuales en la estación Puente Santander

| Año | Caudal Máximo, m ³ /s | Ln (Máx) | Año | Caudal Máximo, m ³ /s | Ln (Máx) |
|------|----------------------------------|----------|------|----------------------------------|----------|
| 1959 | 1137 | 7.036 | 1980 | 2037 | 7.619 |
| 1960 | 1963 | 7.582 | 1981 | 1559 | 7.352 |
| 1961 | 3247 | 8.085 | 1982 | 2450 | 7.804 |
| 1962 | 2761 | 7.923 | 1983 | 2078 | 7.639 |
| 1963 | 2228 | 7.709 | 1984 | 1967 | 7.584 |
| 1964 | 2136 | 7.667 | 1985 | 1706 | 7.442 |
| 1965 | 1422 | 7.260 | 1986 | 1658 | 7.413 |
| 1966 | 1627 | 7.394 | 1987 | 1800 | 7.496 |
| 1967 | 2208 | 7.700 | 1988 | 2165 | 7.680 |
| 1968 | 3049 | 8.023 | 1989 | 3018 | 8.012 |

Tabla 12. Caudales máximos por año de la serie de registros máximos mensuales en la estación Puente Santander

| Año | Caudal Máximo, m³/s | Ln (Máx) | Año | Caudal Máximo, m³/s | Ln (Máx) |
|------------|---------------------------------------|-----------------|------------|---------------------------------------|-----------------|
| 1969 | 1835 | 7.515 | 1990 | 1730 | 7.456 |
| 1970 | 2640 | 7.879 | 1991 | 1513 | 7.322 |
| 1971 | 3382 | 8.126 | 1992 | 938 | 6.844 |
| 1972 | 2534 | 7.838 | 1993 | 1282 | 7.156 |
| 1973 | 1558 | 7.351 | 1994 | 2486 | 7.818 |
| 1974 | 2392 | 7.780 | 1995 | 1289 | 7.162 |
| 1975 | 2743 | 7.917 | 1997 | 2094 | 7.647 |
| 1976 | 2722 | 7.909 | 1999 | 2514 | 7.830 |
| 1977 | 1658 | 7.413 | 2001 | 1144 | 7.042 |
| 1978 | 2750 | 7.919 | 2002 | 1464 | 7.289 |
| 1979 | 1990 | 7.596 | 2003 | 1345 | 7.204 |

Tabla 13. Resultados de la prueba de Grubb aplicada a los datos de caudales máximos mensuales en la estación Puente Santander

| Grubb's test for outliers. | | | | | |
|--|-------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|
| LN Caudales máximos mensuales por año estación Puente Santander | | | | | |
| Descriptive statistics | | Data: | P<0.05?? | Data: | P<0.05?? |
| | | 7.036 | | 7.619 | |
| Mean= | 7.581 | 7.582 | | 7.351 | |
| SD= | 0.309 | 8.085 | | 7.803 | |
| N= | 42 | 7.923 | | 7.639 | |
| | | 7.708 | | 7.584 | |
| | | 7.666 | | 7.441 | |
| | | 7.259 | | 7.413 | |
| | | 7.394 | | 7.495 | |
| | | 7.699 | | 7.680 | |
| | | 8.022 | | 8.012 | |
| | | 7.514 | | 7.455 | |
| | | 7.878 | | 7.321 | |
| | | 8.126 | | 6.843 | No |
| | | 7.837 | | 7.156 | |
| | | 7.351 | | 7.818 | |
| | | 7.779 | | 7.161 | |
| | | 7.916 | | 7.646 | |
| | | 7.909 | | 7.829 | |
| | | 7.413 | | 7.042 | |
| | | 7.919 | | 7.288 | |
| | | 7.595 | | 7.204 | |

Tabla 13. Resultados de la prueba de Grubb aplicada a los datos de caudales máximos mensuales en la estación Puente Santander

| Grubb's test for outliers. | | | | | |
|--|--|--------------|--------------------|--------------|--------------------|
| LN Caudales máximos mensuales por año estación Puente Santander | | | | | |
| Descriptive statistics | | Data: | P<0.05?? | Data: | P<0.05?? |
| | | | | | |

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 13 se encontró que los registros de caudales máximos en la estación Puente Santander son todos consistentes.

d. Identificación final de datos anómalos

La Tabla 14 resume los resultados del análisis de consistencia y de detección de valores anómalos efectuado para las series máximas mensuales. Los análisis sintetizados en la Tabla 15 muestran que ninguno de los datos fue finalmente clasificado como anómalo.

Tabla 14. Número de registros totales detectados como posibles anómalos para series de valores máximos mensuales según las diferentes pruebas.

| Método Estación | Series | Diagrama de cajas | Grubb | Diagrama Bilineal |
|------------------------|---------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| Puente Santander | 1 | 45 | 0 | Con El Juncal |
| | | | | 7 |
| El Juncal | 1 | 8 | 0 | Con Puente Santander |
| | | | | 7 |
| El Guayabo | 1 | 20 | 0 | |

Tabla 15. Datos anómalos definitivos en las series máximas mensuales

| Estación | Unidad | Fecha | Valor | Observación |
|------------------------|-------------------|--------------|--------------|------------------------------|
| Nivel Juncal | m.s.n.m | oct-92 | 450.46 | Común en Puente Santander |
| Nivel Puente Santander | m.s.n.m | oct-92 | 423.19 | Común en El Juncal |
| Caudal El Guayabo | m ³ /s | dic-87 | 117.9 | No se consideró como anómalo |

Los resultados mostrados en la Tabla 15 indican que el dato de nivel máximo mensual correspondiente a octubre de 1992 es común en las estaciones El Juncal y Puente Santander por lo que no se considera como un dato anómalo. El registro aparentemente anómalo de diciembre de 1987 en la estación El Guayabo exhibe gran incertidumbre. Sin embargo, analizando los registros totales de precipitación mensual en el año 1987 se obtuvo que durante los meses de octubre y diciembre ocurrieron importantes precipitaciones en la zona, 221 y 270 mm respectivamente, que efectivamente pudieron causar caudales elevados en la cuenca del río Las Ceibas, por lo que este dato no fue identificado como un dato anómalo definitivo.

Por la naturaleza de los registros de tipo máximo mensual no se realizó ningún tipo de complementación para estos y para los cálculos hidrológicos discutidos en el numeral 3.2.5.2 se utilizaron las series de tiempo máximas mensuales con registros anuales completos.

3.2.3. Análisis de valores medios diarios

Una vez realizado el análisis de consistencia de las series medias diarias, y llenados los datos faltantes tal como se describió en el numeral anterior, se procedió a caracterizar cada una de estas series (ver Figura 12 y Figura 13) a través del cálculo de las estadísticas básicas, resumidas en las Tabla 16 a Tabla 18, y el análisis de la variabilidad anual de la series mediante la construcción de las curvas de excedencias presentadas en las Figura 14 a Figura 16 y las curvas de duración de niveles y de caudales medios diarios mostradas en las Figura 18 a Figura 21.

Tabla 16. Estadística descriptiva para las series de niveles medios diarios originales y corregidas en las estaciones El Juncal y Puente Santander

| Estadístico | Niveles El Juncal. m.s.n.m | | | Niveles Pte. Santander. m.s.n.m | | |
|----------------------------|----------------------------|-----------|---------|---------------------------------|-----------|---------|
| | Original | Corregido | Dif. | Original | Corregido | Dif. |
| Media | 448.31 | 448.30 | 1.2E-03 | 422.37 | 422.37 | 1.8E-04 |
| Error típico | 0.01 | 0.01 | 4.7E-05 | 0.01 | 0.01 | 6.3E-06 |
| Mediana | 448.08 | 448.08 | 0.0E+00 | 422.29 | 422.29 | 0.0E+00 |
| Moda | 447.86 | 447.86 | 0.0E+00 | 421.89 | 421.89 | 0.0E+00 |
| Desviación estándar | 0.60 | 0.60 | 2.6E-03 | 0.57 | 0.57 | 4.9E-04 |
| Varianza de la muestra | 0.36 | 0.36 | 3.1E-03 | 0.32 | 0.32 | 5.5E-04 |
| Curtosis | 4.12 | 4.10 | 2.3E-02 | 0.58 | 0.57 | 1.4E-02 |
| Coefficiente de asimetría | 1.66 | 1.65 | 9.7E-03 | 0.74 | 0.73 | 4.3E-03 |
| Rango | 5.28 | 5.28 | 0.0E+00 | 4.40 | 4.40 | 0.0E+00 |
| Mínimo | 447.46 | 447.46 | 0.0E+00 | 421.20 | 421.20 | 0.0E+00 |
| Máximo | 452.74 | 452.74 | 0.0E+00 | 425.60 | 425.60 | 0.0E+00 |
| Cuenta | 3161.00 | 3161.00 | 0.0E+00 | 6068.00 | 6068.00 | 0.0E+00 |
| Nivel de confianza (95.0%) | 0.02 | 0.02 | 9.1E-05 | 0.01 | 0.01 | 1.2E-05 |

Figura 12: Series de niveles medios diarios en las estaciones El Juncal (azul) y Puente Santander (magenta)

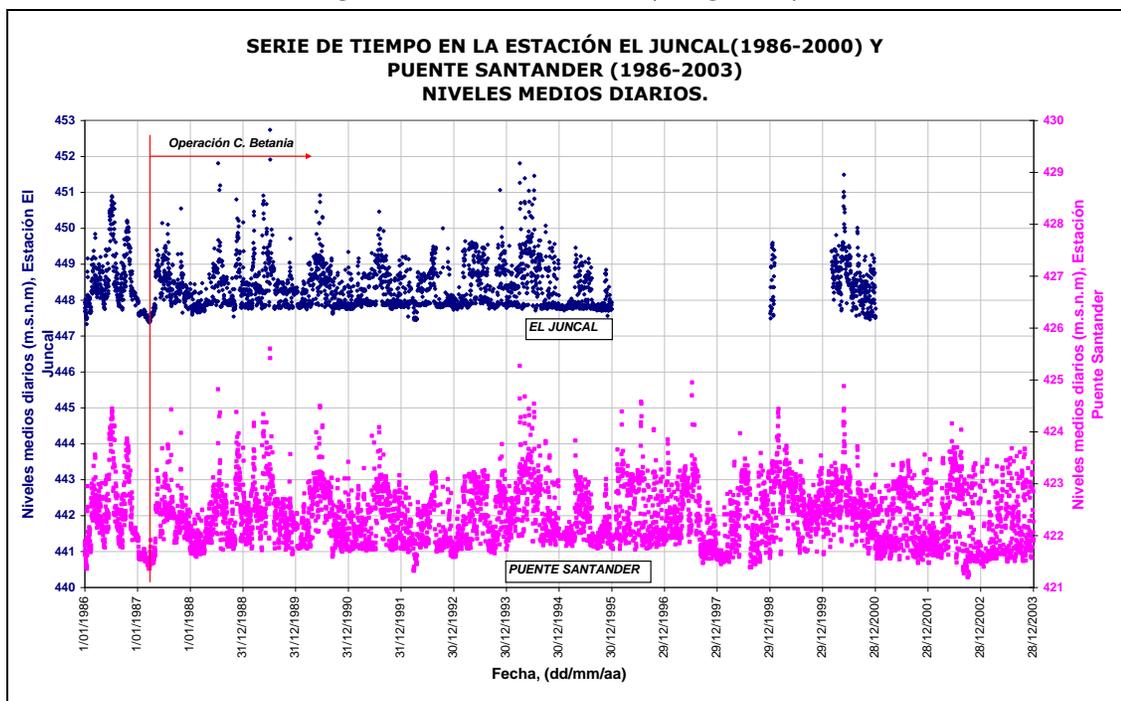


Figura 13: Series de caudales medios diarios en las estaciones Puente Santander (azul) y El Guayabo (magenta)

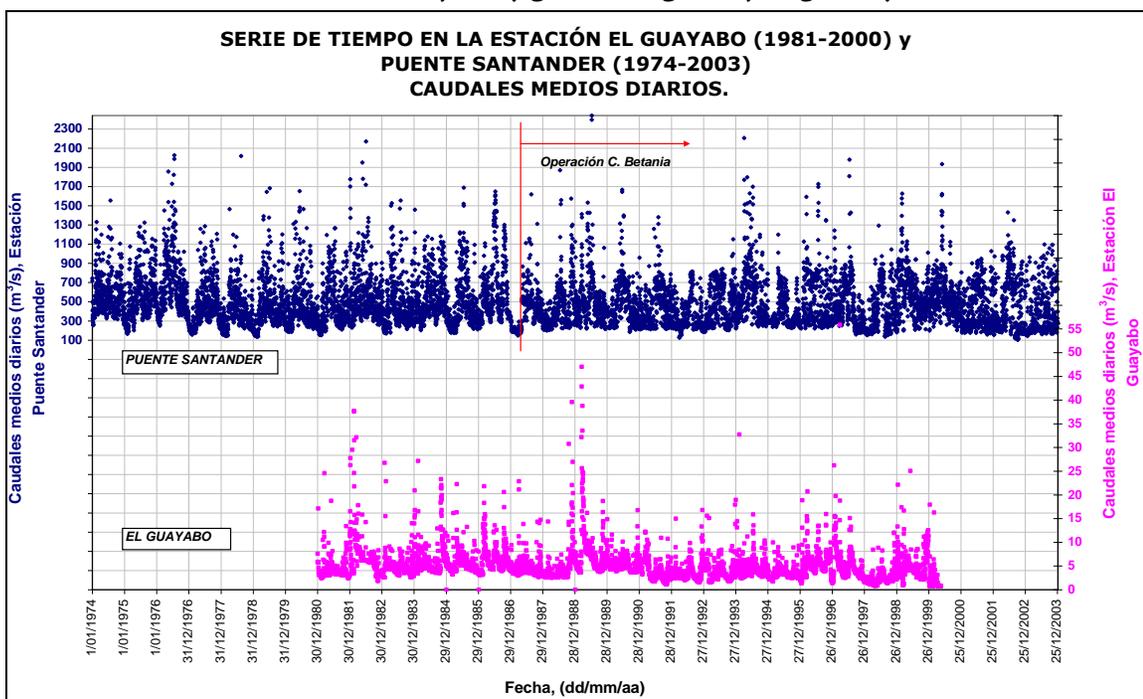


Tabla 17. Estadística descriptiva para la serie de caudales medios diarios original y corregida en la estación Puente Santander

| Estadístico | Original=Corregido, m ³ /s |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Media | 484.18 |
| Error típico | 2.44 |
| Mediana | 427.50 |
| Moda | 288.00 |
| Desviación estándar | 255.30 |
| Varianza de la muestra | 65176.01 |
| Curtosis | 3.79 |
| Coficiente de asimetría | 1.52 |
| Rango | 2336.00 |
| Mínimo | 103.00 |
| Máximo | 2439.00 |
| Suma | 5296494.00 |
| Cuenta | 10939.00 |
| Nivel de confianza (95.0%) | 4.790 |

Tabla 18. Estadística descriptiva para la serie de caudales medios diarios original y corregida en la estación El Guayabo

| Estadístico | Original m ³ /s | Corregido m ³ /s | Dif. |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------|
| Media | 4.89 | 4.88 | 0.01 |
| Error típico | 0.04 | 0.04 | 0.00 |
| Mediana | 4.20 | 4.20 | 0.00 |
| Moda | 2.60 | 2.60 | 0.00 |
| Desviación estándar | 3.17 | 3.11 | 0.06 |
| Varianza de la muestra | 10.06 | 9.69 | 0.37 |
| Curtosis | 36.05 | 28.69 | 7.36 |
| Coficiente de asimetría | 4.39 | 4.013 | 0.38 |
| Rango | 55.08 | 46.20 | 8.88 |
| Mínimo | 0.80 | 0.80 | 0.001 |
| Máximo | 55.88 | 47.00 | 8.88 |
| Suma | 33836.80 | 33793.99 | 42.81 |
| Cuenta | 6920.00 | 6920.00 | 0.00 |
| Nivel de confianza (95.0%) | 0.08 | 0.07 | 0.001 |

3.2.3.1. Curvas de excedencias de registros medios diarios

Figura 14: Curva de excedencias de niveles medios diarios estación El Juncal para el período 1987-1995

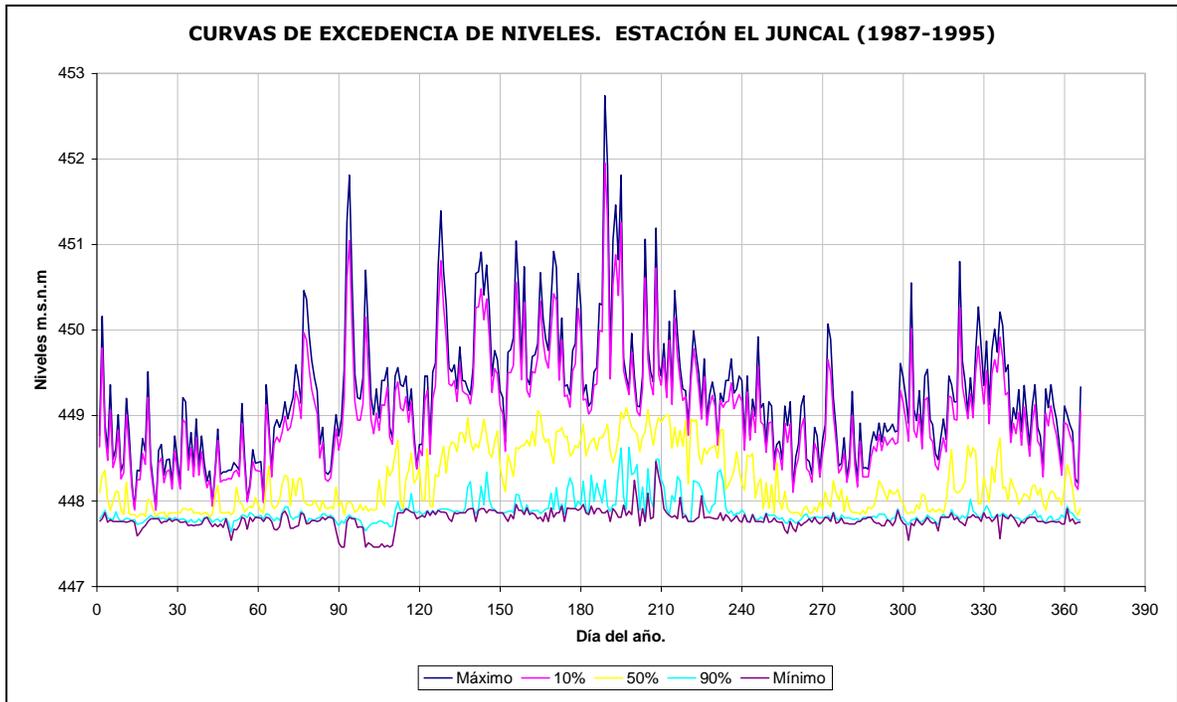
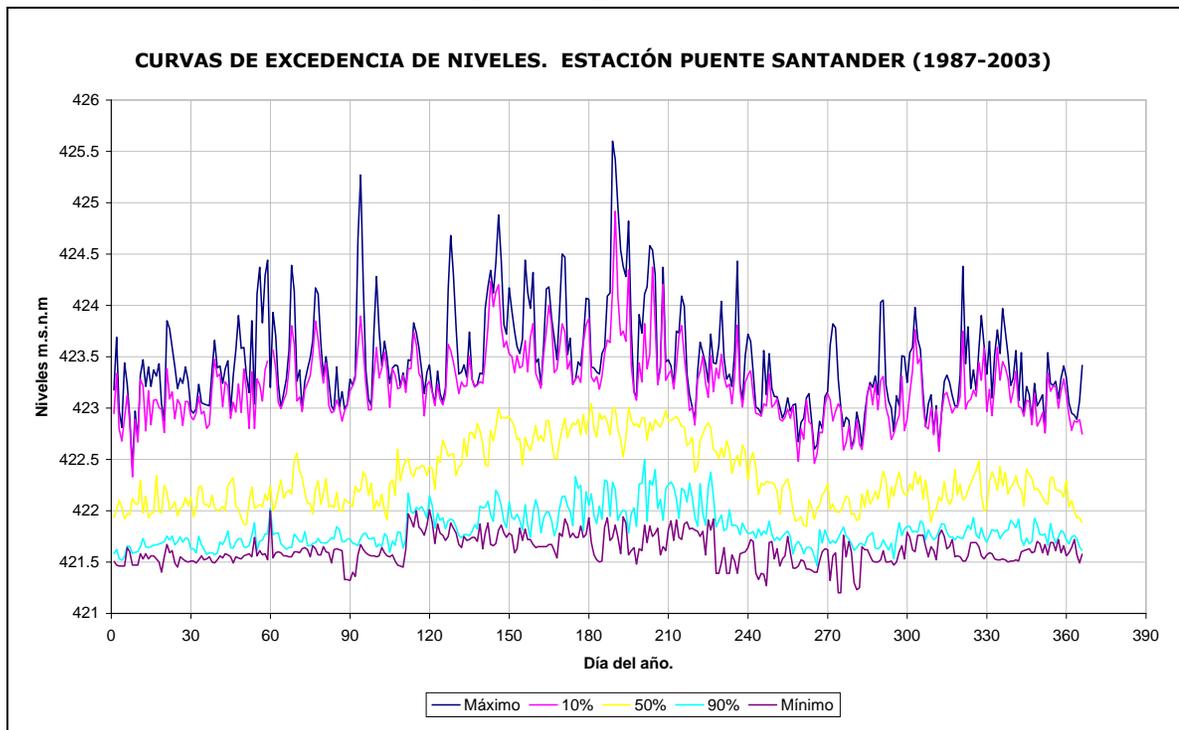


Figura 15: Curva de excedencias de niveles medios diarios estación Puente Santander para el período 1987-2003



El análisis de las curvas de excedencias de niveles medios diarios en las estaciones El Juncal y Puente Santander (Figura 14 y Figura 15) y de caudales medios diarios en Puente Santander (Figura 16) para el período posterior a la construcción del embalse de Betania, indica que no existe un comportamiento homogéneo de las series correlacionado con la climatología de la cuenca alta del río Magdalena (períodos lluviosos en mayo y octubre), sino que indistintamente se presentan niveles altos y bajos durante los diferentes días del año, producto de la operación de Betania, mostrando así el claro control que ejerce el embalse sobre los niveles y caudales en el tramo del río Magdalena estudiado. La Figura 17 muestra las series de desembalses medios diarios en Betania desde 1995 hasta 2003 (suministradas por la CHB), que refuerza el argumento aquí expuesto. Igualmente en la Figura 17 son claros los erráticos patrones de caudales altos y bajos para un mismo día en diferentes años.

Figura 16: Curva de excedencias de caudales medios diarios estación Puente Santander para el período 1987-2003

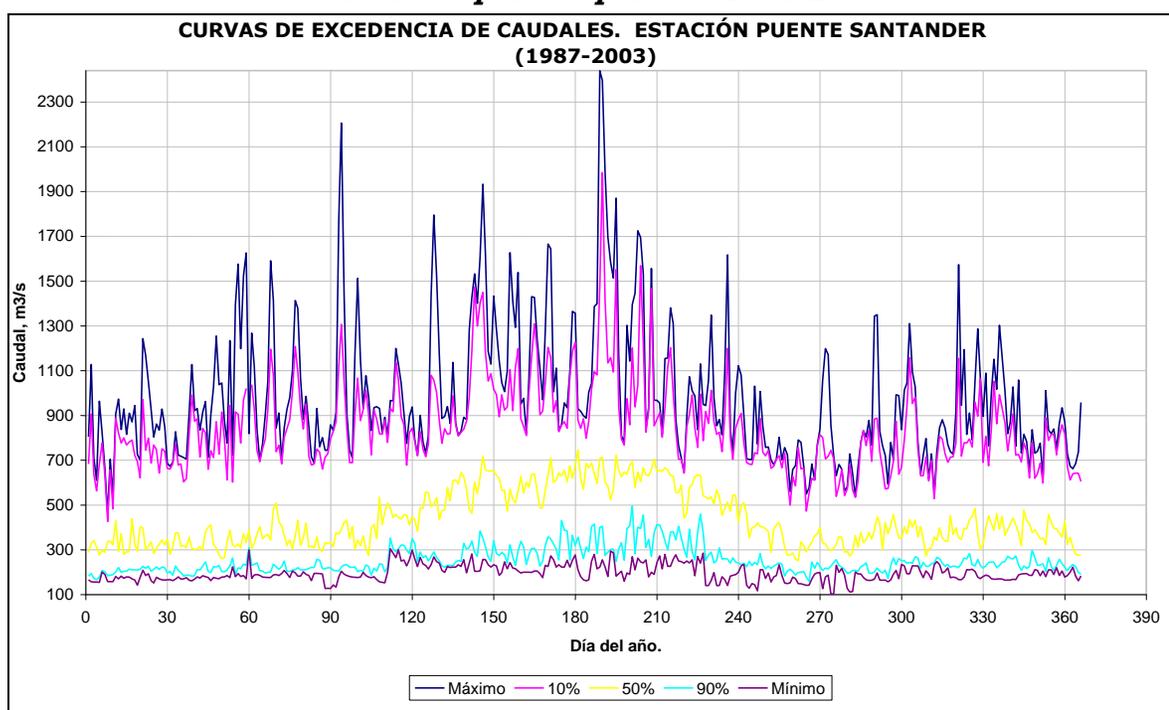
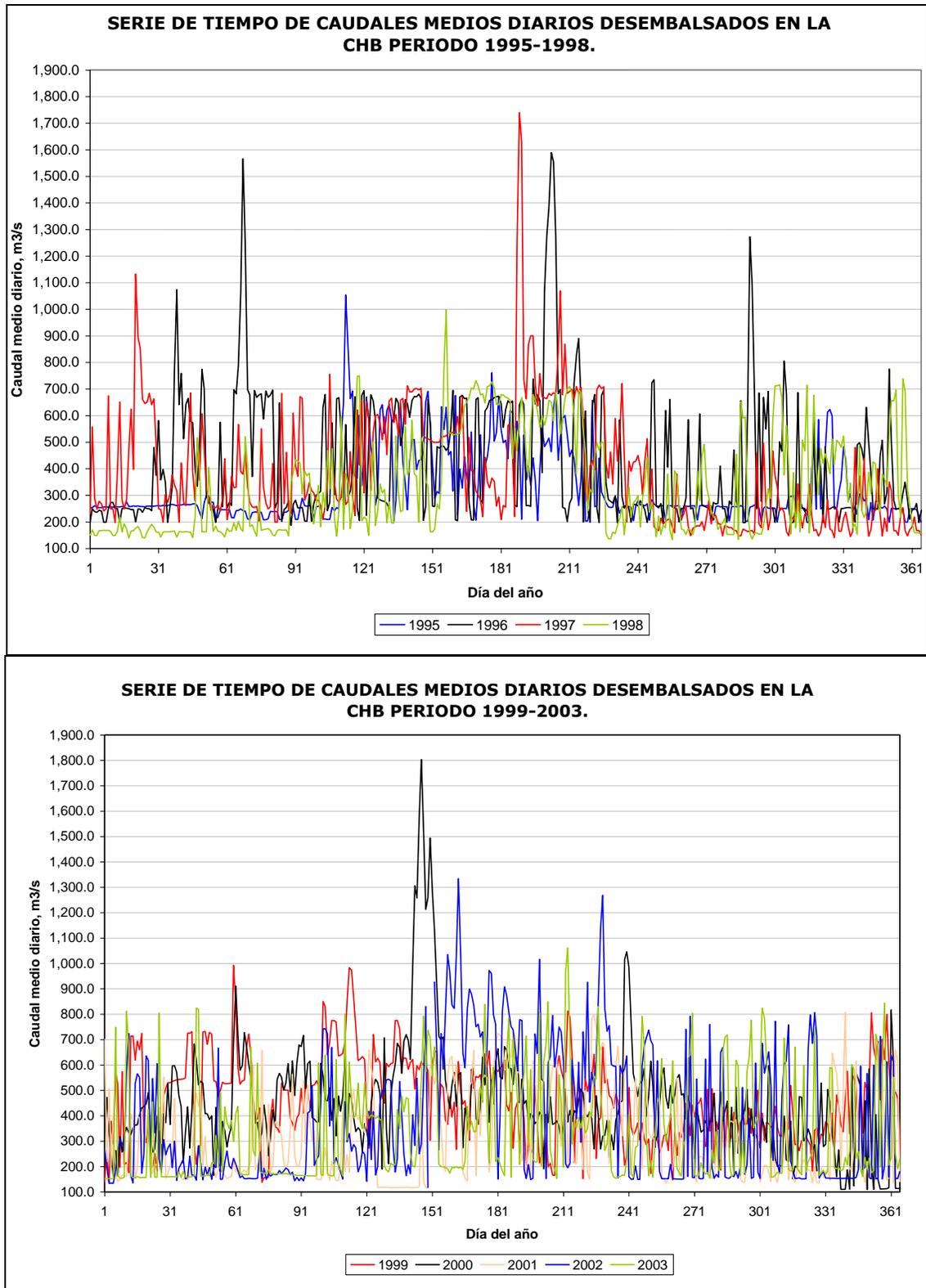


Figura 17: Series históricas de caudales promedio diarios desembalsados en Betania



3.2.3.2. Curvas de duración de niveles y caudales medios diarios

En contraposición con las curvas de excedencias, que de alguna forma tienen asociada la cronología de los registros, las curvas de duración de niveles y de caudales obvian el efecto cronológico de las series, pero sintetizan el régimen de una corriente a nivel anual. Cuando se comparan curvas de duración de caudales ubicadas sobre la misma corriente, es posible investigar si existen aportes o pérdidas importantes de caudal entre las dos estaciones. Sin embargo, debido a la inexistencia de registros de caudal en la estación El Juncal fue imposible investigar si los aportes del río El Loro y las Ceibas son o no importantes a nivel promedio diario. Las Figura 18 y Figura 19 presentan las curvas de duración de niveles en las estaciones El Juncal y Puente Santander respectivamente, la Figura 20 muestra, en términos adimensionales, la comparación entre estas dos curvas de niveles medios diarios, deducidas para el mismo período y la Figura 21 presenta la curva de duración de caudales medios diarios en Puente Santander. Es importante anotar que debido a lo incompleto de la serie de niveles en El Juncal, únicamente se tienen 8 años con registros completos concurrentes en El Juncal y Puente Santander, que aunque corresponden a un período de tiempo relativamente corto, permiten concluir que el régimen de niveles en ambas estaciones es muy similar.

En relación con la curva de duración de caudales medios diarios en Puente Santander (deducida con registros completos de 17 años) puede afirmarse que a pesar de la regulación que hace Betania, existe un gran rango de variación en los caudales medios diarios, que se sospecha debe incrementarse para los valores máximos. El efecto de regulación de Betania sobre valores medios y máximos se discute en los dos siguientes numerales.

Figura 18: Curva de duración de niveles medios diarios estación El Juncal

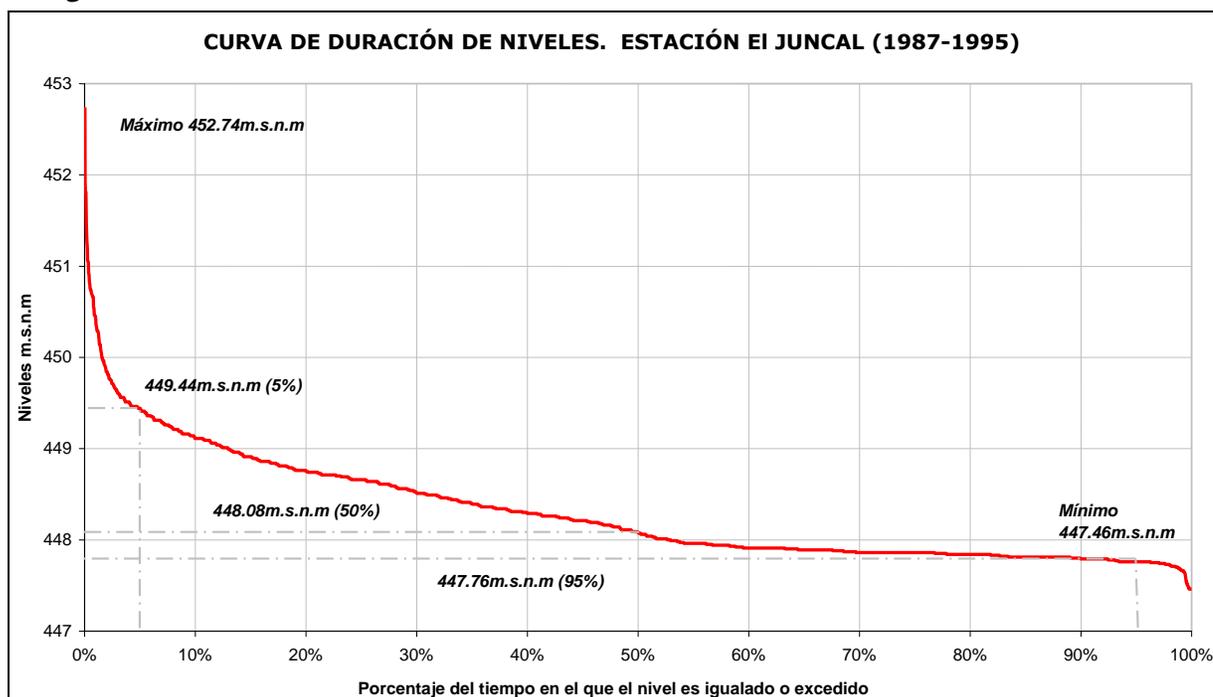


Figura 19: Curva de duración de niveles medios diarios estación Puente Santander

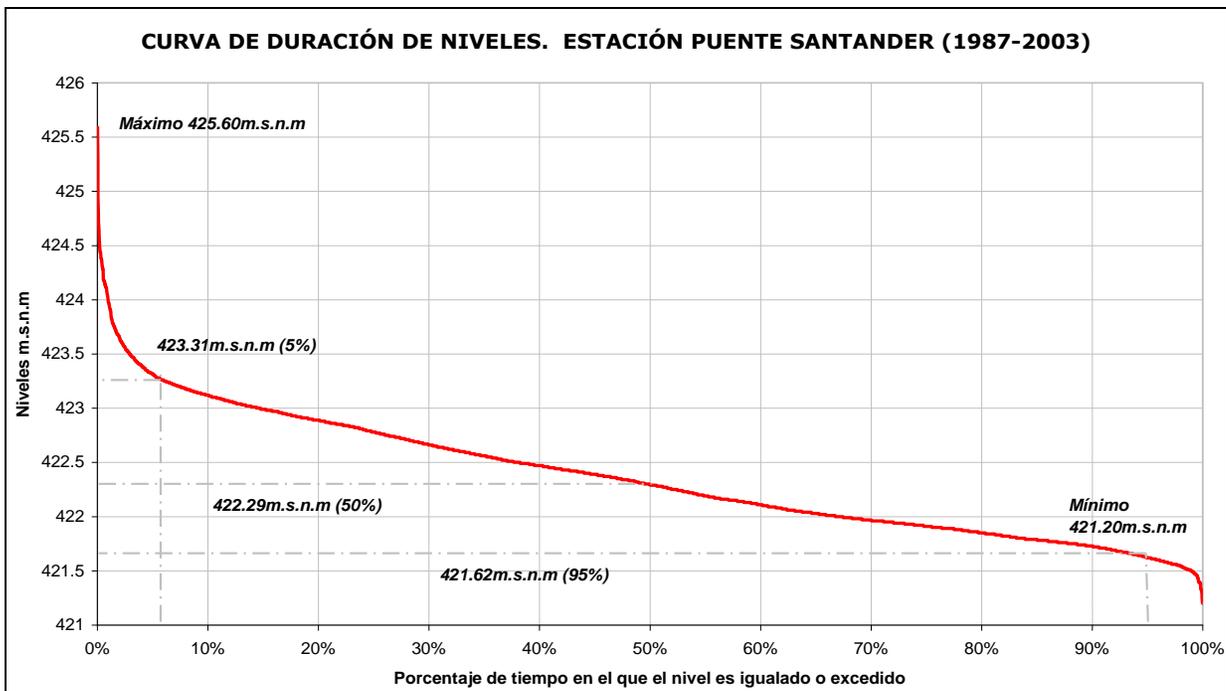


Figura 20: Comparación curvas de duración de niveles medios diarios (normalizadas por el nivel medio) para las estaciones Puente Santander y El Juncal.

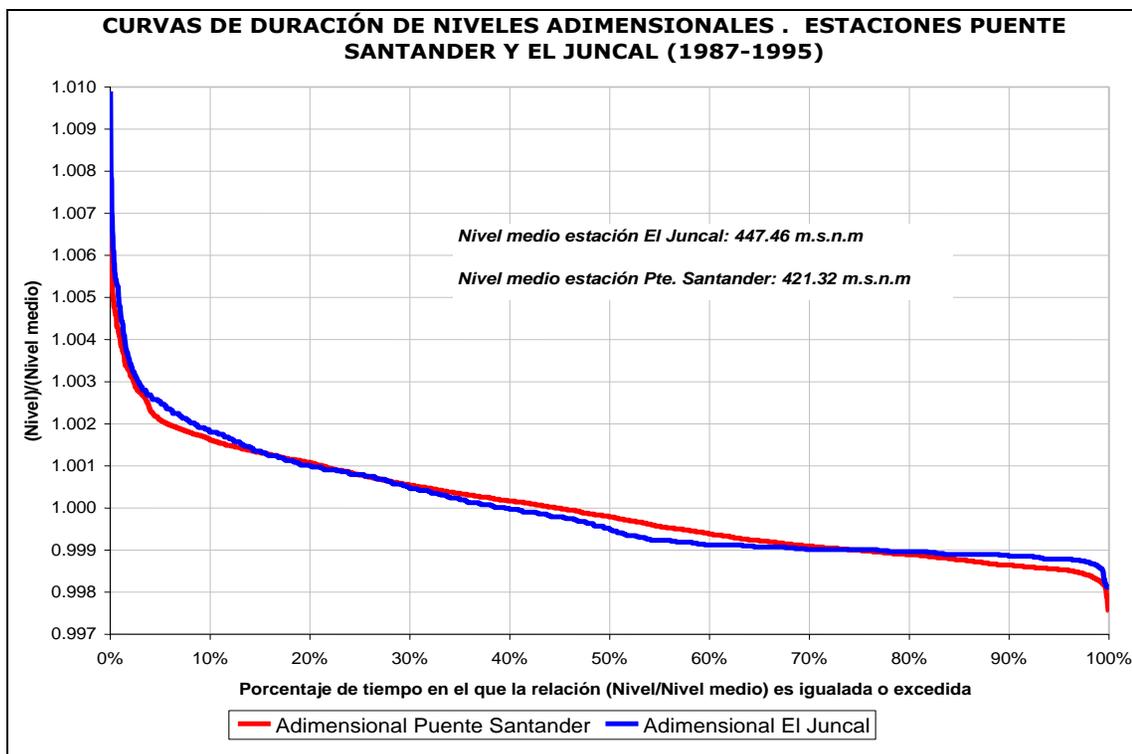
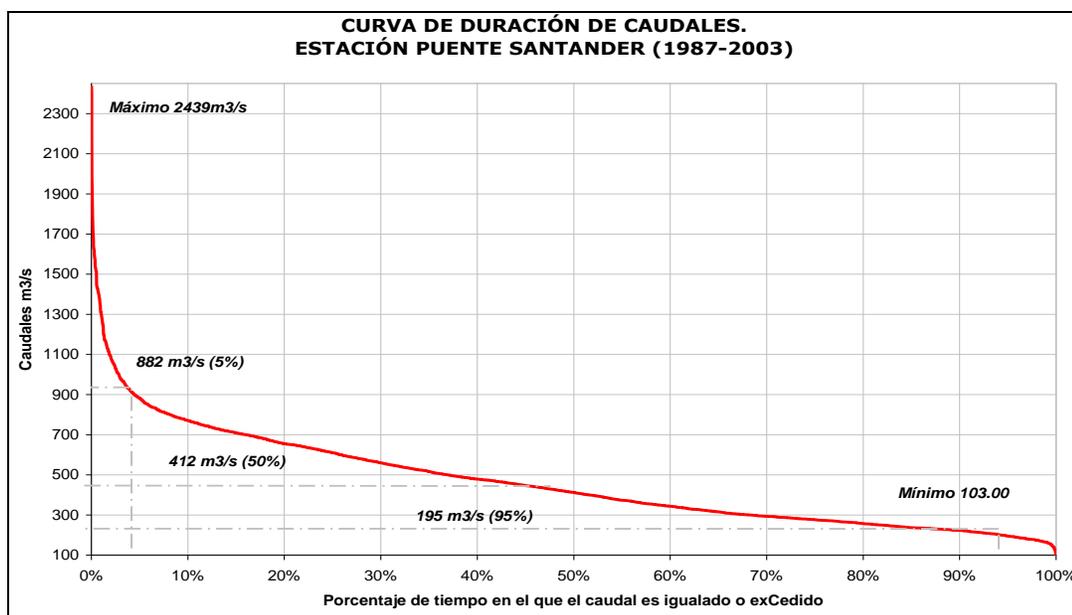


Figura 21: Curva de duración de caudales medios diarios estación Puente Santander



3.2.3.3. Variación de los niveles y caudales medios diarios en las estaciones El Juncal y Puente Santander por efecto de la entrada en operación de Betania

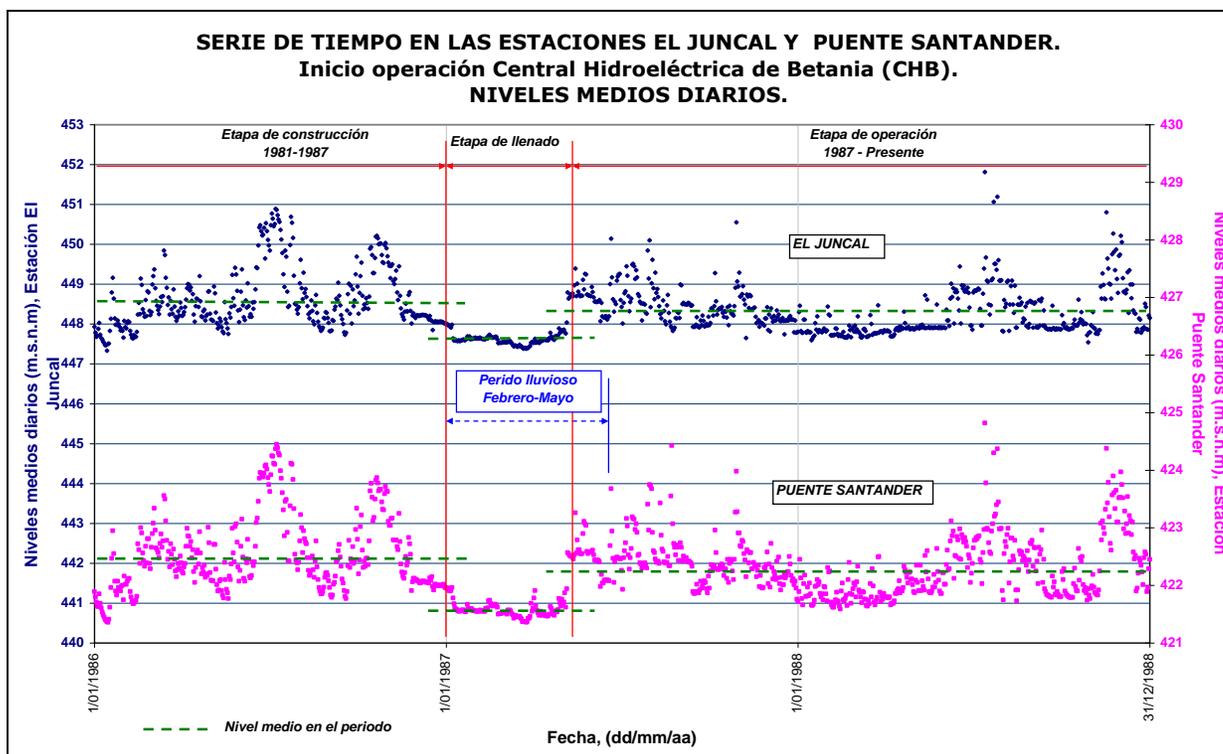
Con el fin de analizar el efecto del embalse de Betania en la regulación de niveles y caudales aguas abajo del mismo (estaciones El Juncal y Puente Santander), se hace necesario analizar los valores promedio de las series antes de la entrada en operación de Betania (07/01/1987) y con posterioridad a esta fecha, tal como se indica en la Tabla 19.

Tabla 19. Valores promedio para la serie de niveles medios diarios antes y después de Betania en las estaciones El Juncal y Puente Santander

| Periodos | Etapas | Nivel Promedio (m.s.n.m) | |
|--------------------------|-----------------|--------------------------|------------------|
| | | El Juncal | Puente Santander |
| (<= 07/01/1987) | Construcción | 448.62 | 422.53 |
| 08/01/1987 06/05/1987 | Llenado embalse | 447.60 | 421.56 |
| 07/05/1987=> | Operación | 448.33 | 422.37 |

Los resultados en la Tabla 19 y en la Figura 22 muestran un descenso promedio de alrededor de 1 m en los niveles medios para ambas estaciones, comparando antes y durante el llenado del embalse. Así mismo una vez entró en operación el embalse, los niveles en el río se redujeron en promedio 0.30 m con respecto a las series originales.

Figura 22: Variación de los niveles medios diarios en las estaciones El Juncal (azul) y Puente Santander (magenta) por efecto de la construcción del embalse de Betania.



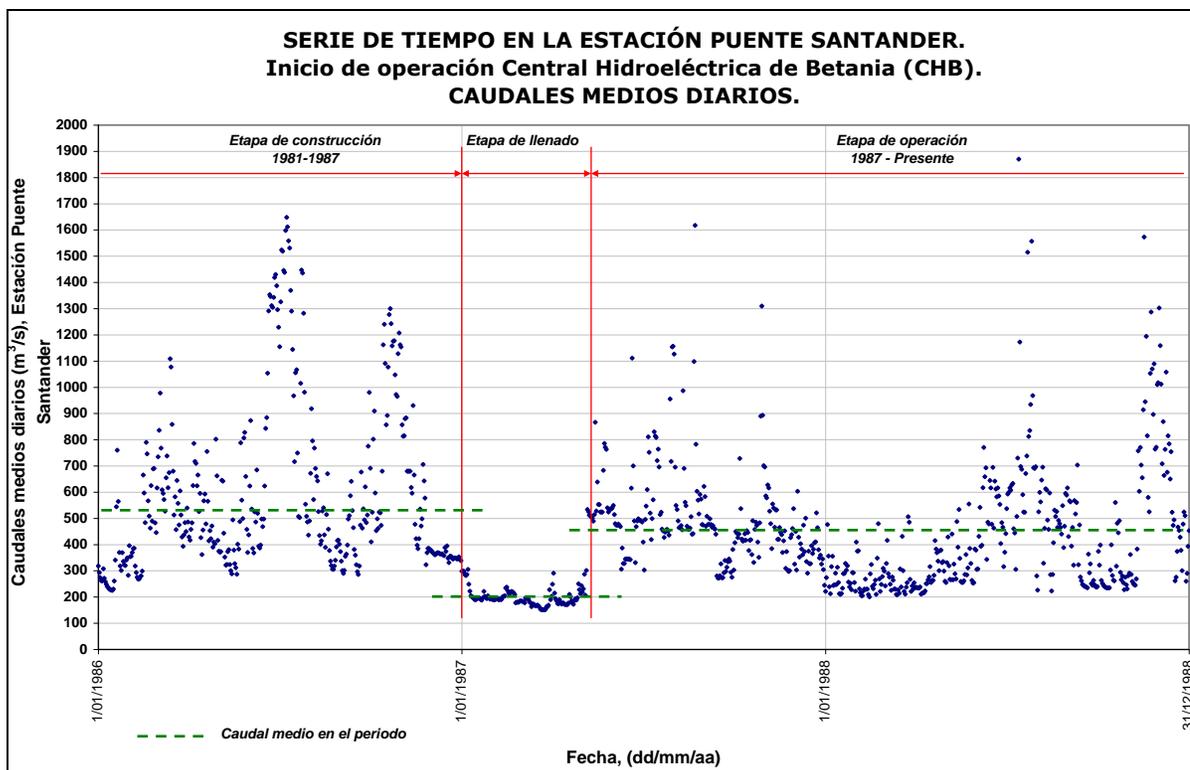
La Tabla 20 y la Figura 23 muestran el impacto de la construcción de Betania en la regulación de los caudales medios diarios en la estación Puente Santander.

Tabla 20. Efecto de la construcción de Betania en la regulación de caudales medios diarios en la estación Puente Santander

| Periodos | Etapas | Caudal medio (m ³ /s) Puente Santander |
|-------------------------|-----------------|---|
| <=07/01/1987 | Construcción | 516.15 |
| 08/01/1987 - 06/05/1987 | Llenado embalse | 194.35 |
| 07/05/1987=> | Operación | 464.83 |

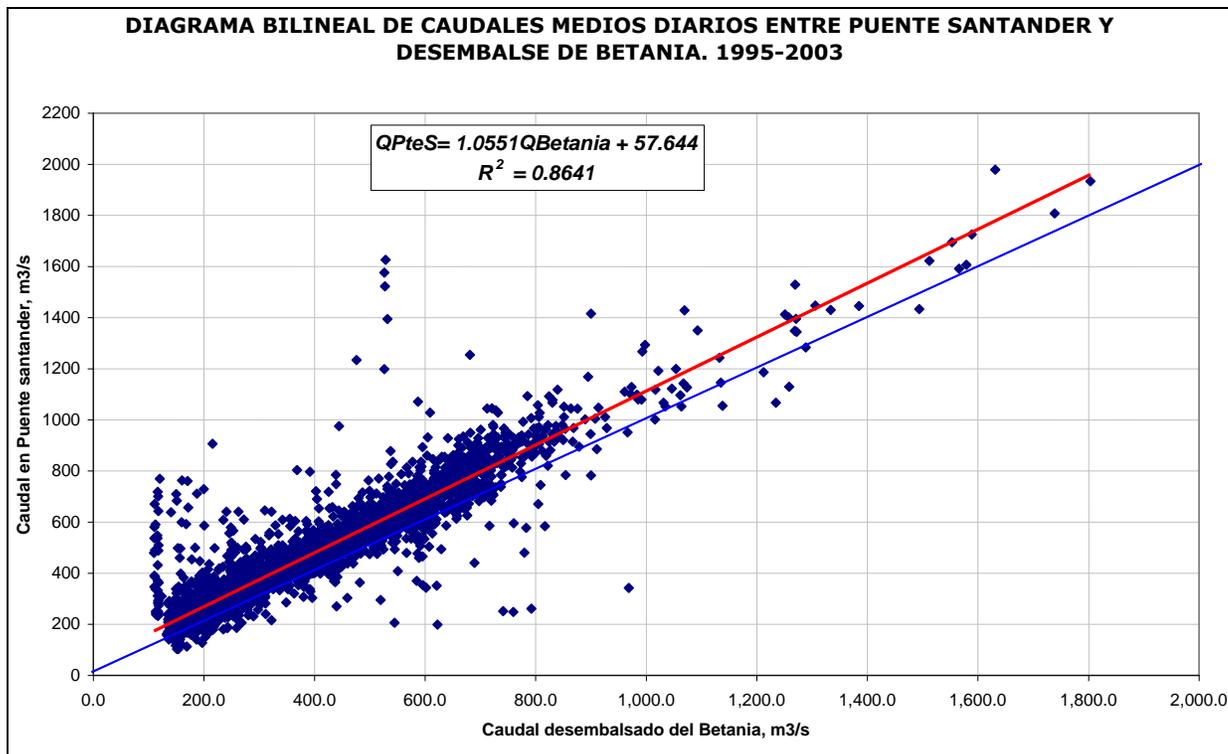
Los resultados indican que durante el llenado del embalse existió un descenso promedio de 320 m³/s en los caudales en Puente Santander. Así mismo, una vez entró en operación el embalse el caudal promedio diario en el río Magdalena se redujo en 50 m³/s aproximadamente, consistente con la reducción de niveles explicada anteriormente.

Figura 23: Efecto de la construcción de Betania sobre la serie de caudales medios diarios en la estación Puente Santander



A partir de los datos de desembalses de Betania, disponibles para el período 1995 – 2003, se ha realizado un análisis de regresión lineal con los caudales en Puente Santander. Los resultados indican que con la ecuación de regresión (presentada en la Figura 24) se explica aproximadamente el 80% de la varianza en los caudales medios diarios en Puente Santander, y que aunque existe un pequeño aporte de caudales en el tramo en cuestión, este únicamente representa alrededor del 5% de los caudales desembalsados en Betania. De acuerdo con esto, y como era de esperarse, puede afirmarse que los desembalses de Betania definen los caudales y niveles en el tramo estudiado. En la Figura 24 pueden observarse algunos puntos en los que los caudales en Puente Santander resultan extremadamente grandes o extremadamente pequeños en comparación con los desembalses de Betania. Se sospecha que dichos datos pueden ser erróneos en la serie de desembalses. Sin embargo, ellos representan un muy pequeño porcentaje de los datos analizados. Dichos valores no fueron excluidos del análisis de regresión lineal realizado.

Figura 24: Análisis de regresión lineal para los caudales desembalsados en Betania y los registrados en Puente Santander.



3.2.4. Variación de los niveles y caudales máximos mensuales en las estaciones El Juncal y Puente Santander por efecto de la entrada en operación de Betania

Con el fin de analizar el impacto de Betania en la regulación de las variables hidrométricas máximas mensuales, se procedió de la misma forma que para los datos medios diarios. Los resultados se muestran en la Tabla 21 y en las Figura 25 y Figura 26.

Tabla 21. Efecto de la construcción de Betania en la regulación de niveles y caudales máximos mensuales en las estaciones El Juncal y Puente Santander

| Periodos | Etapas | Nivel (m.s.n.m) | | Caudal (m³/s) |
|------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| | | El Juncal | Puente Santander | Puente Santander |
| < Dic/1986 | Construcción | 450.08 | 423.85 | 1255.90 |
| Dic/1987 - Abr/1987 | Llenado embalse | 447.94 | 422.20 | 394.60 |
| Abr/1987> | Operación | 449.69 | 423.69 | 1116.12 |

Los resultados indican que el promedio de niveles máximos mensuales tanto en Puente Santander como en El Juncal se redujo aproximadamente en 0.30 m con la entrada en operación de Betania, consistente con la reducción en los niveles para los datos medios diarios. Con respecto a los caudales máximos, la operación de Betania ha permitido reducir los caudales en 140 m³/s que corresponden aproximadamente al 10% del promedio de caudales máximos mensuales de la serie original. En las Figura 25 y Figura 26 se observan claramente estas tendencias.

Figura 25: Efecto de regulación del embalse de Betania sobre los niveles máximos mensuales en las estaciones Puente Santander y El Juncal

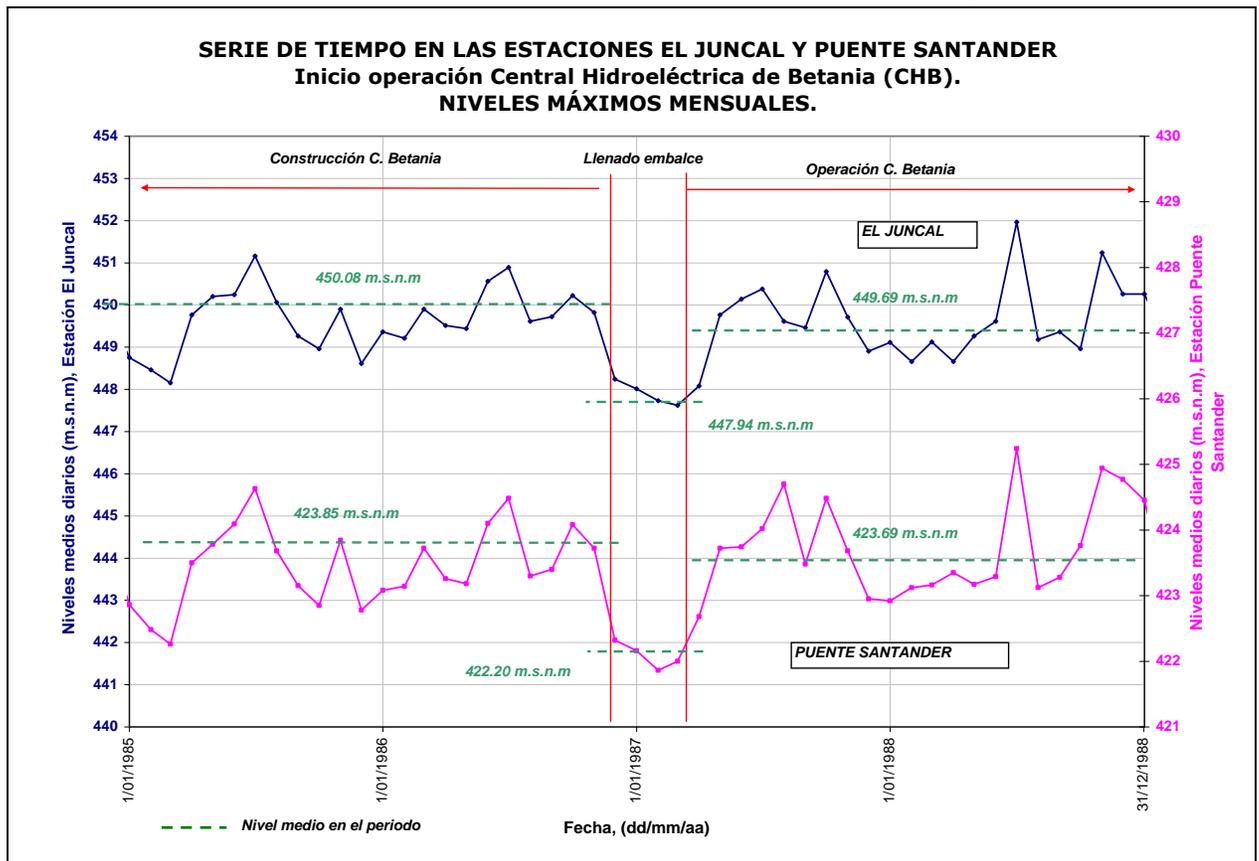
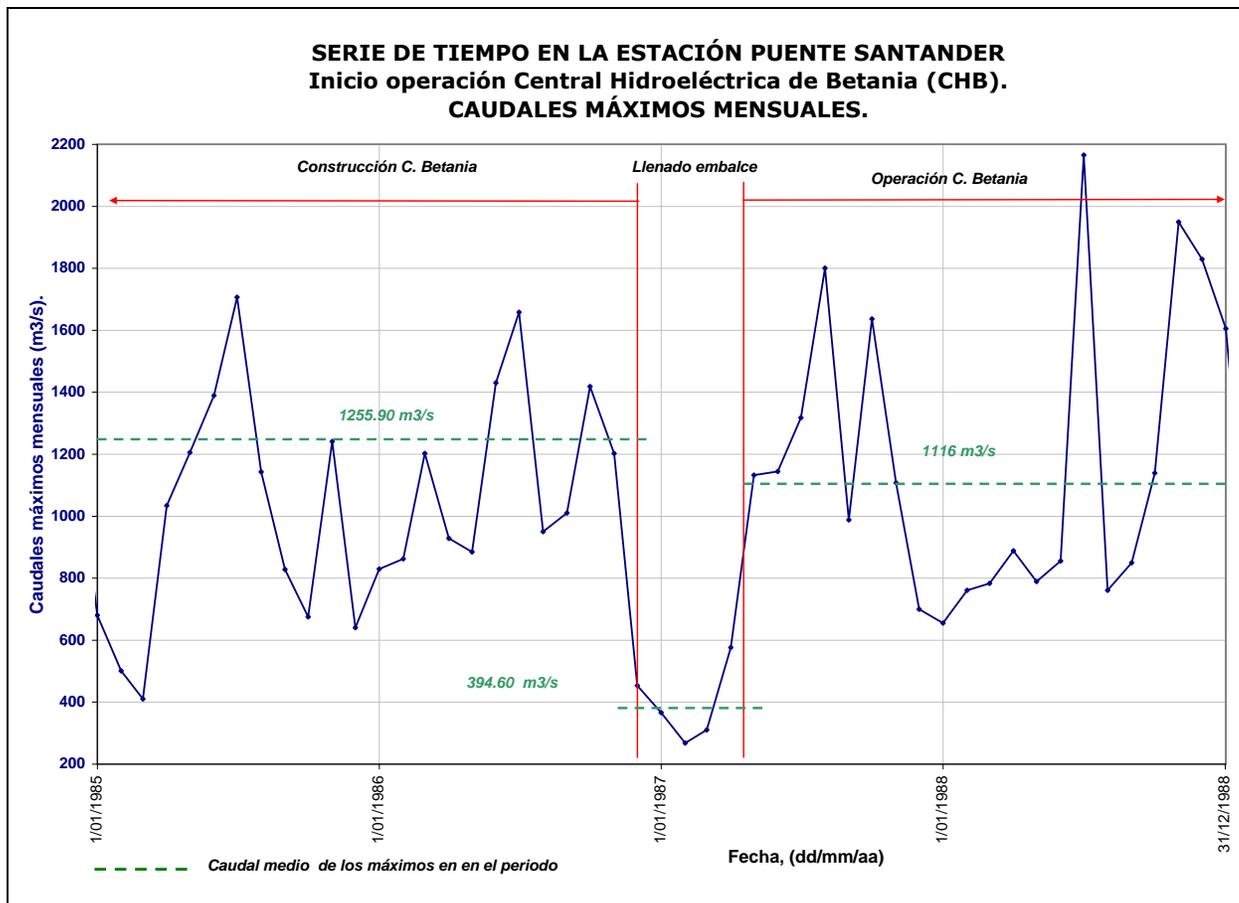


Figura 26: Efecto de regulación del embalse de Betania sobre los caudales máximos mensuales en la estación Puente Santander



3.2.5. Análisis de valores máximos mensuales

Los análisis realizados en el numeral anterior han permitido caracterizar las variables hidrométricas a nivel promedio diario. En este numeral se intentan evaluar los valores máximos, a partir de datos de series históricas mensuales. Esto con el fin de determinar los niveles y caudales para períodos de retorno seleccionados, que son insumo básico para realizar la modelación hidráulica descrita en el numeral seis de este informe.

Las Figura 27 y Figura 28 muestran las series de tiempo de niveles y caudales máximos mensuales en las tres estaciones hidrométricas analizadas, sobre las cuales se han efectuado los cambios identificados en el análisis de consistencia. Claramente se aprecian las importantes correlaciones que existen entre las series de niveles en Puente Santander y El Juncal, y entre los caudales y niveles máximos mensuales en la estación Puente Santander, mostrando nuevamente consistencia en los registros. Las estadísticas básicas de las series de niveles y caudales máximos mensuales se presentan en la Tabla 22.

Figura 27: Series de niveles máximos mensuales en las estaciones El Juncal (azul) y Puente Santander (magenta)

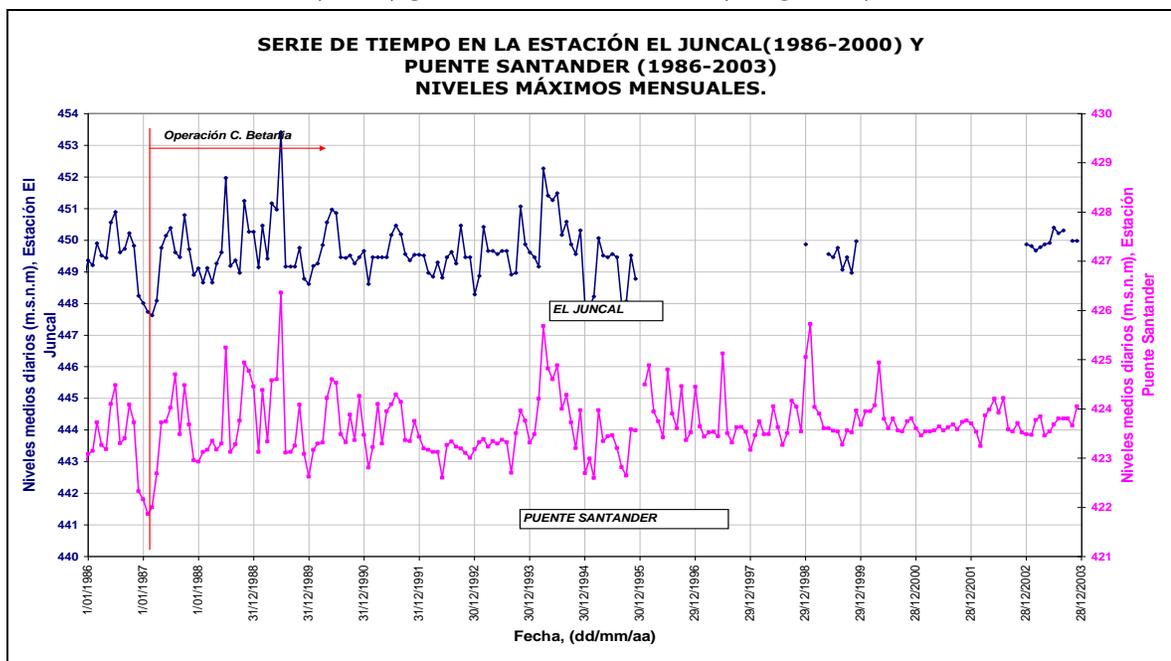


Figura 28: Series de caudales (azul) y niveles máximos mensuales (magenta) en la estación Puente Santander

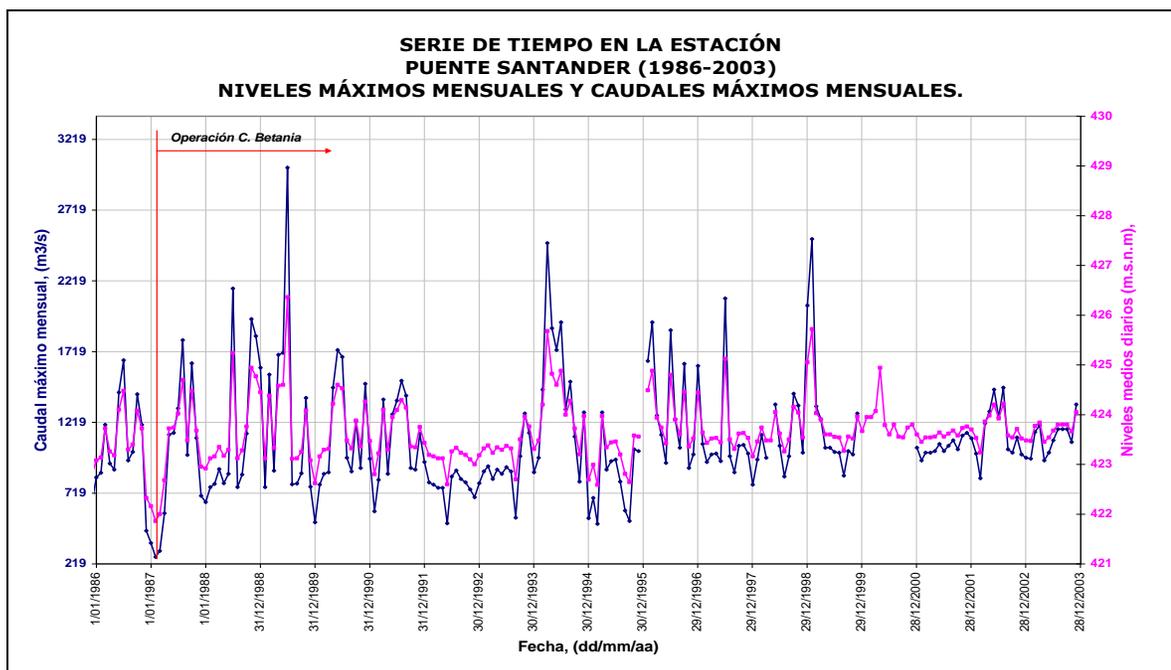


Tabla 22. Estadística descriptiva para las series de niveles y caudales máximos mensuales en las estaciones El Juncal, Puente Santander y El Guayabo.

| Estadístico | EL JUNCAL | PTE. SANTANDER | | EL GUAYABO |
|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| | Nivel (m.s.n.m) | Nivel (m.s.n.m) | Caudal (m ³ /s) | Caudal (m ³ /s) |
| Media | 449.69 | 423.70 | 1116.12 | 20.25 |
| Error típico | 0.08 | 0.04 | 28.51 | 1.27 |
| Mediana | 449.56 | 423.56 | 1007.00 | 13.89 |
| Moda | 449.46 | 423.54 | 1004.00 | 15.20 |
| Desviación estándar | 0.85 | 0.58 | 388.84 | 19.63 |
| Varianza de la muestra | 0.72 | 0.34 | 151193.04 | 385.36 |
| Curtosis | 3.10 | 2.90 | 3.89 | 5.46 |
| Coefficiente de asimetría | 1.07 | 1.29 | 1.62 | 2.23 |
| Rango | 5.50 | 3.77 | 2517.00 | 115.00 |
| Mínimo | 447.91 | 422.59 | 501.00 | 2.90 |
| Máximo | 453.41 | 426.36 | 3018.00 | 117.90 |
| No. de observaciones | 123.00 | 199.00 | 186.00 | 238.00 |
| Nivel de confianza (95.0%) | 0.15 | 0.08 | 56.25 | 2.51 |

Como puede observarse en la Tabla 22, para la estación Puente Santander existe un enorme rango de variación en los caudales máximos, de alrededor de 2,500 m³/s, indicando que a pesar de la regulación de Betania, aún existen importantes variaciones de caudal en el tramo analizado. El efecto de regulación del embalse de Betania sobre los niveles y caudales máximos es analizado en el siguiente numeral, utilizando curvas de duración de niveles y de caudales máximos mensuales.

Los resultados en la Tabla 22 también indican que a nivel promedio el aporte de caudal del río Las Ceibas (estación El Guayabo) al río Magdalena es bastante reducido, pues únicamente representa alrededor del 2%.

3.2.5.1. Curvas de duración de niveles y de caudales máximos mensuales

A partir de los registros máximos mensuales disponibles, se han construido las curvas de duración de niveles y de caudales para las estaciones hidrométricas analizadas, las cuales se muestran en la Figura 29 a Figura 32.

Las Figura 29 y Figura 30, en las cuales se comparan las curvas para las series antes y después de Betania, indican que con respecto a niveles máximos promedio, la regulación producida por el embalse ha ocasionado reducciones de los niveles máximos promedio registrados en El Juncal de aproximadamente 0.50 m, mientras que para Puente Santander la reducción en niveles es de 0.20 m. Igualmente se

observa que el efecto de regulación de Betania sobre los caudales máximos en Puente Santander ha sido bastante reducido y corresponde únicamente al 10% de los valores registrados en las series originales (antes de Betania).

Es importante anotar que para propósitos de definición de la amenaza de inundación en las islas, es necesario determinar los eventos máximos extremos, que como se mencionó anteriormente, han sido relativamente poco regulados por el embalse de Betania. En el siguiente numeral se definen y calculan dichos eventos extremos.

Figura 29: Curvas de duración de niveles máximos mensuales en la estación El Juncal antes y después de la entrada en operación de Betania

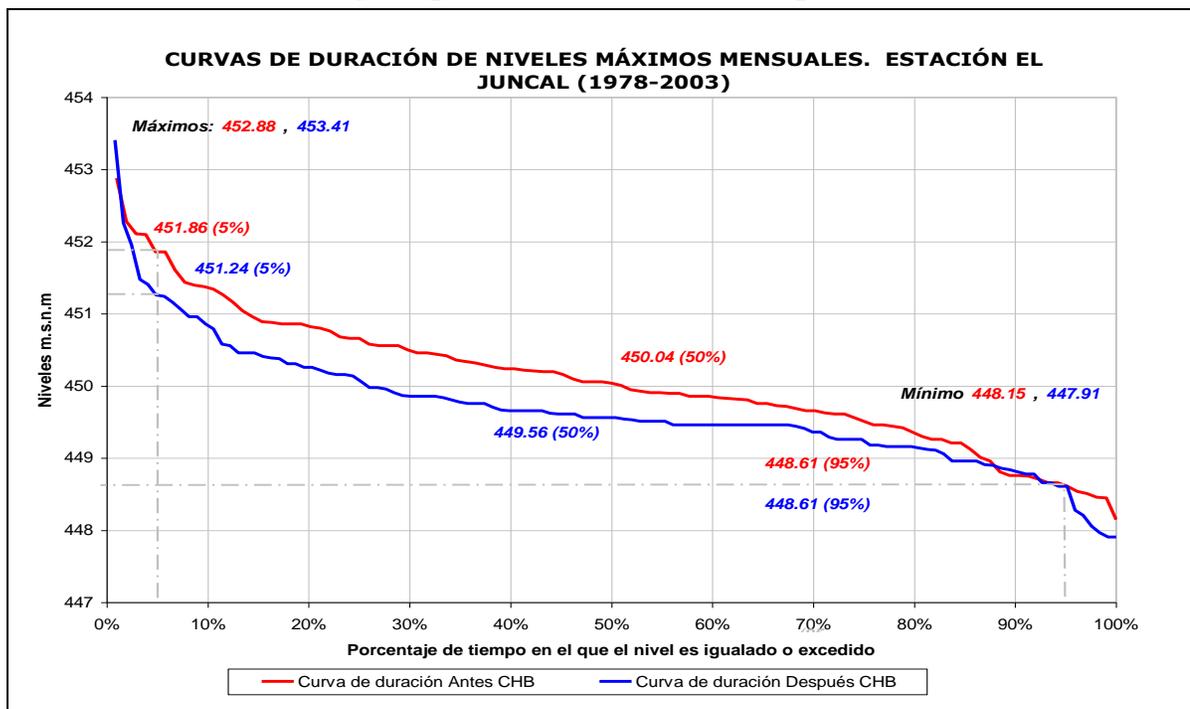


Figura 30: Curvas de duración de niveles máximos mensuales en la estación Puente Santander antes y después de la entrada en operación de Betania

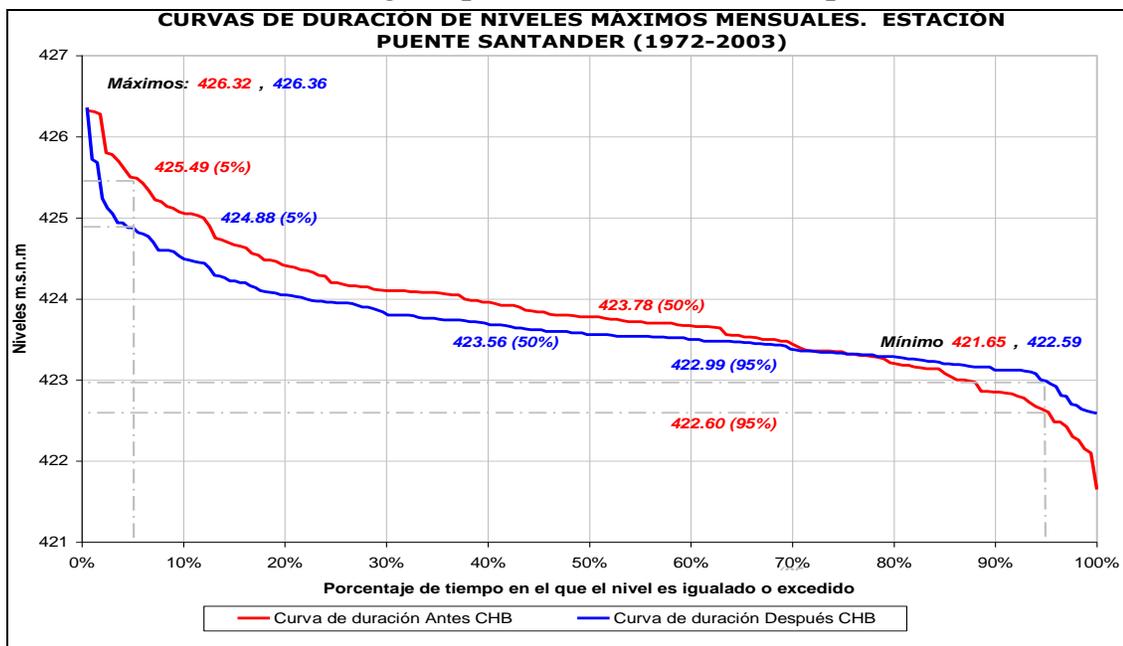


Figura 31: Curvas de duración de caudales máximos mensuales en la estación Puente Santander antes y después de la entrada en operación de Betania.

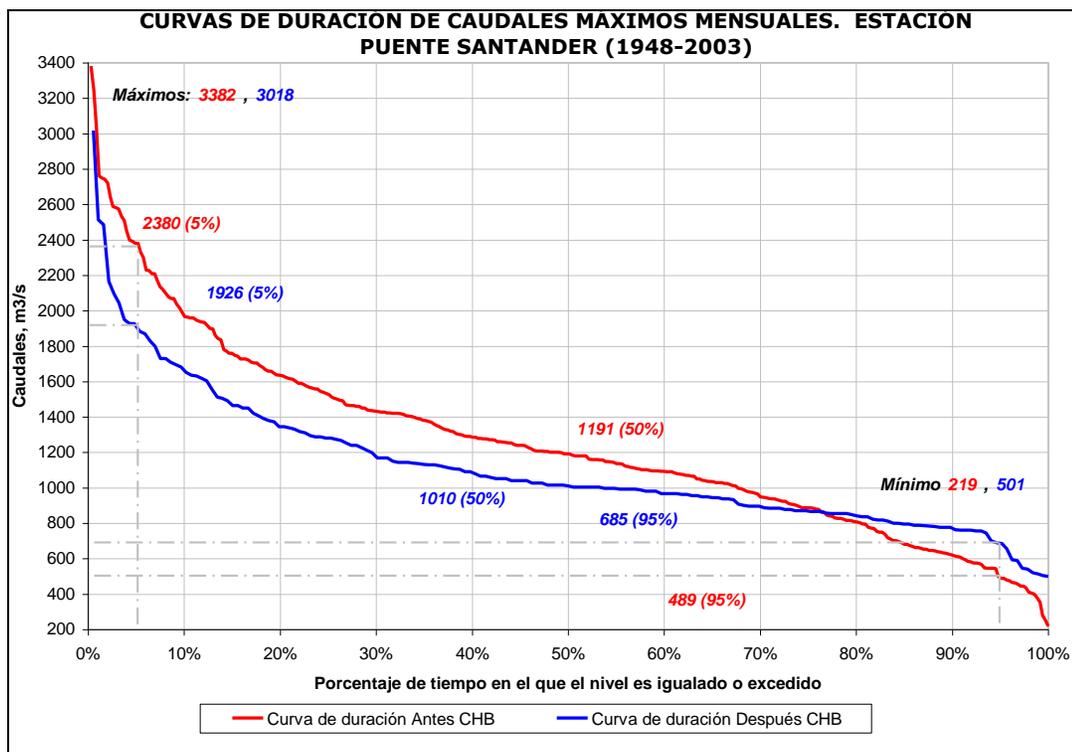
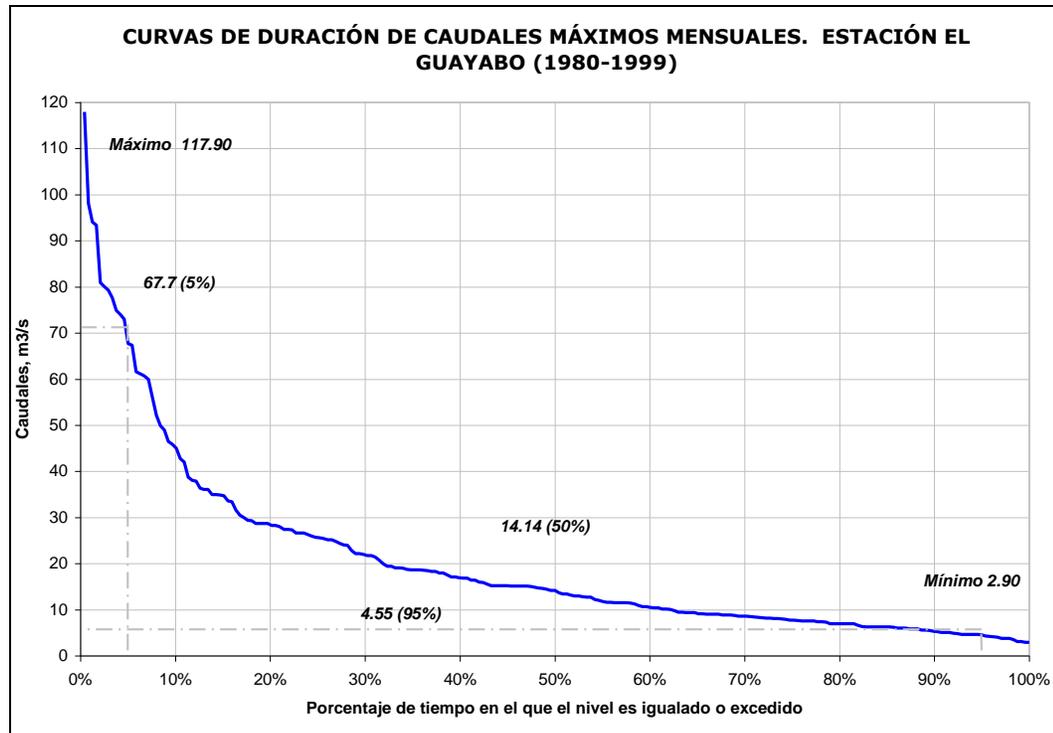


Figura 32: Curva de duración de caudales máximos mensuales en la estación El Guayabo



3.2.5.2. Análisis de frecuencias para los registros máximos mensuales

Con el fin de realizar el análisis de frecuencias de niveles y caudales máximos, se han construido las series anuales correspondientes para cada una de las estaciones. Es importante anotar que las series anuales de eventos extremos disponibles son bastantes cortas (longitudes entre 9 y 18 años) y que para la serie de caudales y niveles en Puente Santander (la estación más importante para el estudio), se cuentan con 14 y 16 años con registros de caudal y nivel máximo mensual respectivamente. Lógicamente el tener series tan cortas influencia los estimativos realizados en el análisis de frecuencia y como se discutirá más adelante aporta gran incertidumbre en los valores estimados.

Tabla 23. Series anuales de niveles y caudales máximos mensuales en las estaciones Puente Santander, El Juncal y El Guayabo

| AÑO | Puente Santander | | El Juncal | El Guayabo |
|------|------------------|----------------|----------------|--------------|
| | Caudal, m³/s | Nivel, m.s.n.m | Nivel, m.s.n.m | Caudal, m³/s |
| 1980 | | | | 26,6 |
| 1981 | | | | 35,0 |
| 1982 | | | | 80,1 |
| 1983 | | | | 42,0 |
| 1984 | | | | 61,6 |
| 1985 | | | | 67,3 |

Tabla 23. Series anuales de niveles y caudales máximos mensuales en las estaciones Puente Santander, El Juncal y El Guayabo

| AÑO | Puente Santander | | El Juncal | El Guayabo |
|------|---------------------------|----------------|----------------|---------------------------|
| | Caudal, m ³ /s | Nivel, m.s.n.m | Nivel, m.s.n.m | Caudal, m ³ /s |
| 1986 | | | | 52,14 |
| 1987 | 1800 | 424,70 | 450,79 | 117,9 |
| 1988 | 2165 | 425,24 | 451,96 | 77,6 |
| 1989 | 3018 | 426,36 | 453,41 | 98,1 |
| 1990 | 1730 | 424,60 | 450,96 | 36,3 |
| 1991 | 1513 | 424,29 | 450,46 | 28,3 |
| 1992 | 938 | 423,43 | 449,62 | 33,5 |
| 1993 | 1282 | 423,96 | 451,06 | 31,6 |
| 1994 | 2486 | 425,68 | 452,26 | 56,0 |
| 1995 | 1289 | 423,97 | 450,06 | 28,7 |
| 1997 | 2094 | 425,12 | | 45,0 |
| 1998 | | 424,16 | | 79,3 |
| 1999 | 2514 | 425,72 | | |
| 2000 | | 424,94 | | |
| 2001 | 1144 | 423,76 | | |
| 2002 | 1464 | 424,22 | | |
| 2003 | 1345 | 424,05 | | |

A partir de las series anuales mostradas en la Tabla 23 y utilizando el software de análisis de frecuencias Hydrologic Frequency Analysis (HYFA), se definieron períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, para cada uno de los cuales se calcularon las magnitudes de eventos máximos extremos ajustando la distribución de probabilidad de mejor ajuste, que en todos los casos resultó ser la distribución Gumbel o extrema Tipo I. Es importante indicar que con ayuda del software fue posible establecer intervalos de confianza del 90% para los valores calculados, que tal como se muestran en la Tabla 24 (límite inferior y límite superior) y en las Figura 33 a Figura 36 indican amplias franjas de incertidumbre en los estimativos que aumentan con el período de retorno. Para el caso por ejemplo de la estación Puente Santander la incertidumbre puede representar variaciones mayores de 50 cm en los niveles máximos para períodos de retorno mayores de 25 años, y variaciones mayores de 500 m³/s en los caudales máximos estimados, para períodos de retorno mayores de 25 años.

Los resultados en la Tabla 24 indican también que los caudales máximos en El Guayabo corresponden a menos del 3% de los caudales estimados en Puente Santander, por lo que su aporte es muy reducido y no ameritaría mayores complicaciones para descontar su influencia en los caudales en Puente Santander, dado que el río Las Ceibas descarga aguas abajo de la zona de estudio. Con respecto al río Loro su cuenca de drenaje es aproximadamente un tercio de la de las Ceibas, y su contribución deberá ser aún más reducida. Sin embargo este cauce descarga directamente sobre la zona de estudio y para efectos de cuantificación de caudales máximos para diferentes períodos de retorno en esta cuenca se ha realizado su

modelación utilizando tormentas sintéticas y aplicando el modelo HEC-HMS. Los resultados se presentan en el Anexo 6 y 7 respectivamente.

Tabla 24. Análisis de frecuencias para series de niveles y caudales máximos mensuales en las estaciones Puente Santander, El Juncal y El Guayabo.

| Tr, Años | Niveles (m.s.n.m) Puente Santander, Gumbel Tipo I | | | Caudales (m ³ /s) Puente Santander, Gumbel Tipo I | | | Niveles (m.s.n.m) El Juncal, Gumbel Tipo I | | | Caudales (m ³ /s) El Guayabo, Gumbel Tipo I | | |
|----------|---|--------|---------------|--|---------|---------------|--|--------|---------------|--|--------|---------------|
| | Lim. Inferior | Valor | Lim. Superior | Lim. Inferior | Valor | Lim. Superior | Lim. Inferior | Valor | Lim. Superior | Lim. Inferior | Valor | Lim. Superior |
| 2 | 424.25 | 424.50 | 424.75 | 1470.65 | 1666.13 | 1861.61 | 450.48 | 450.98 | 451.49 | 43.62 | 50.60 | 57.57 |
| 5 | 424.80 | 425.22 | 425.64 | 1888.85 | 2189.01 | 2489.18 | 451.18 | 452.03 | 452.88 | 61.31 | 72.01 | 82.72 |
| 10 | 425.13 | 425.70 | 426.27 | 2150.06 | 2535.21 | 2920.36 | 451.57 | 452.72 | 453.87 | 72.45 | 86.19 | 99.93 |
| 25 | 425.53 | 426.30 | 427.07 | 2473.49 | 2972.63 | 3471.77 | 452.04 | 453.59 | 455.14 | 86.30 | 104.11 | 121.91 |
| 50 | 425.83 | 426.75 | 427.66 | 2711.00 | 3297.13 | 3883.26 | 452.39 | 454.24 | 456.09 | 96.49 | 117.40 | 138.31 |
| 100 | 426.12 | 427.19 | 428.26 | 2945.59 | 3619.23 | 4292.87 | 452.72 | 454.88 | 457.04 | 106.56 | 130.59 | 154.62 |

Figura 33: Resultados del análisis de frecuencias para los niveles máximos mensuales en la estación El Juncal

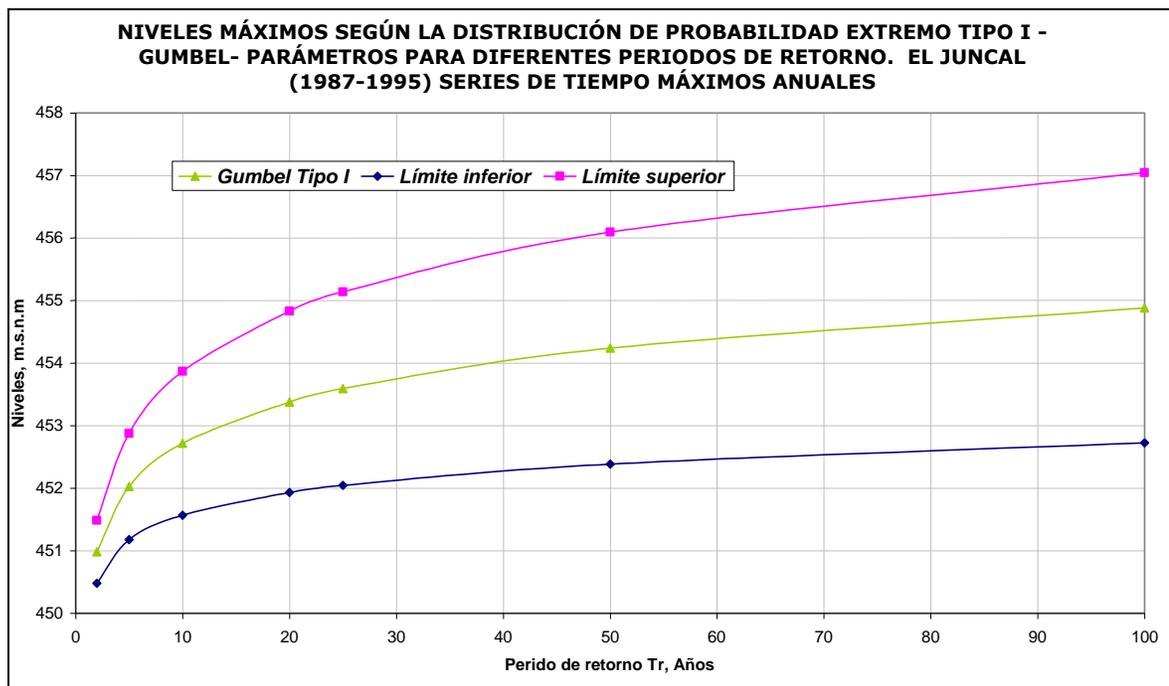


Figura 34: Resultados del análisis de frecuencias para los niveles máximos mensuales en la estación Puente Santander

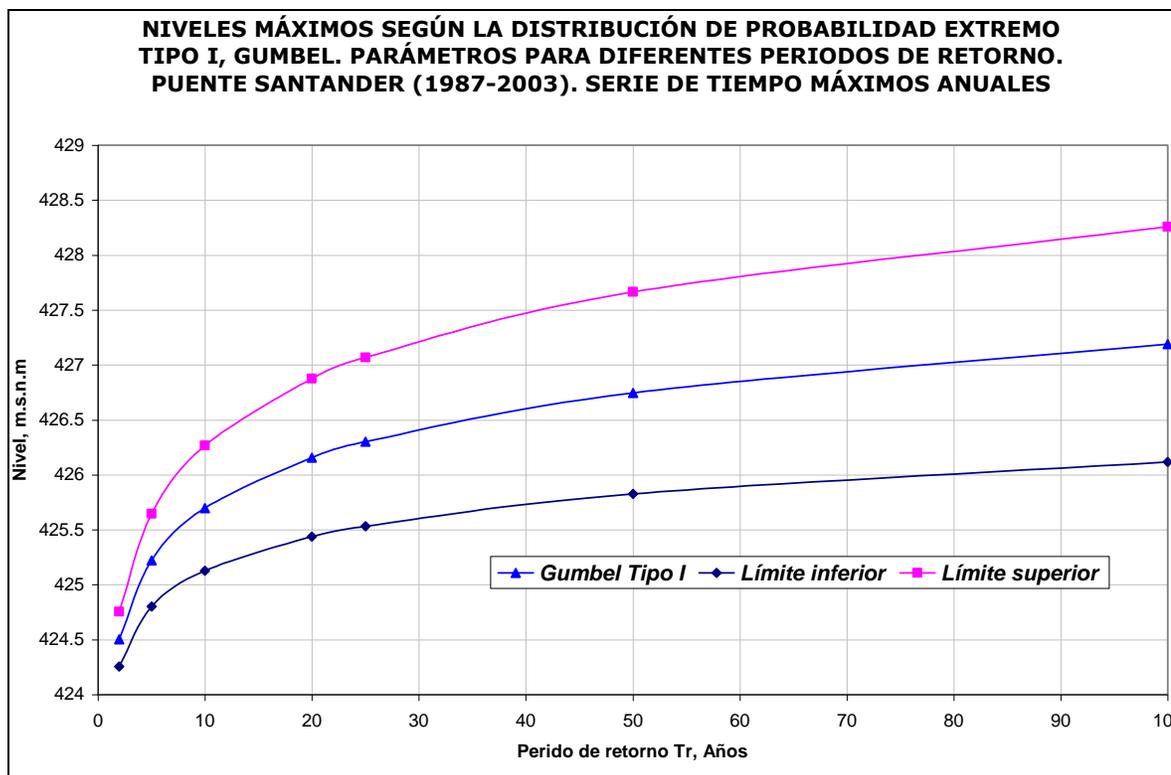


Figura 35: Resultados del análisis de frecuencias para los caudales máximos mensuales en la estación Puente Santander

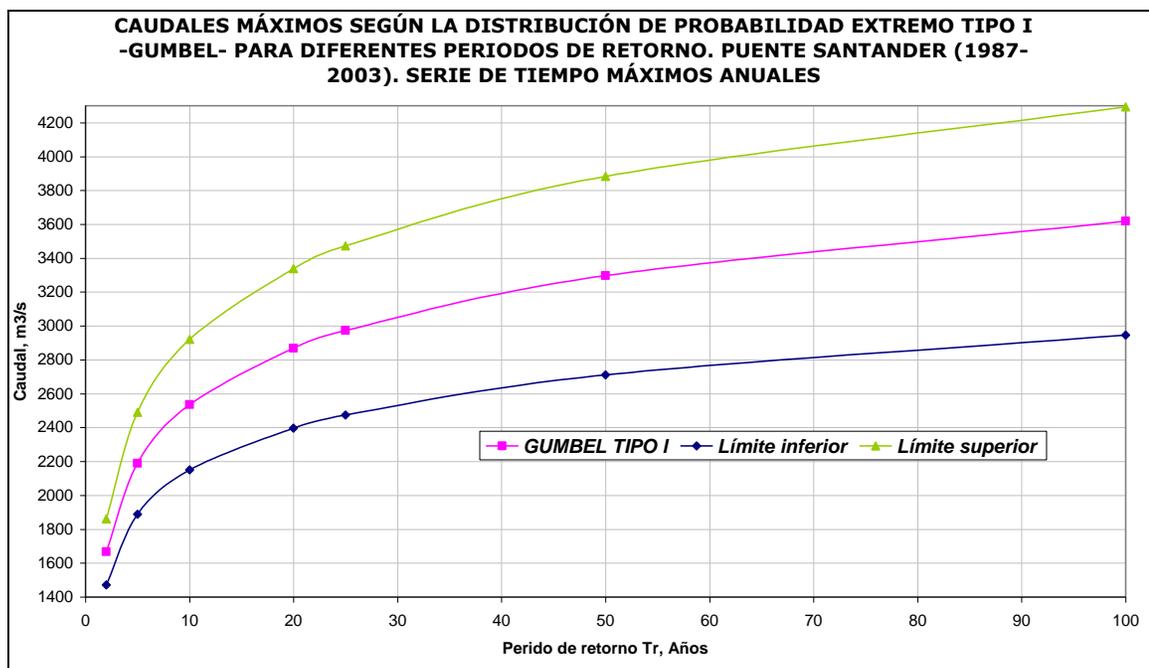
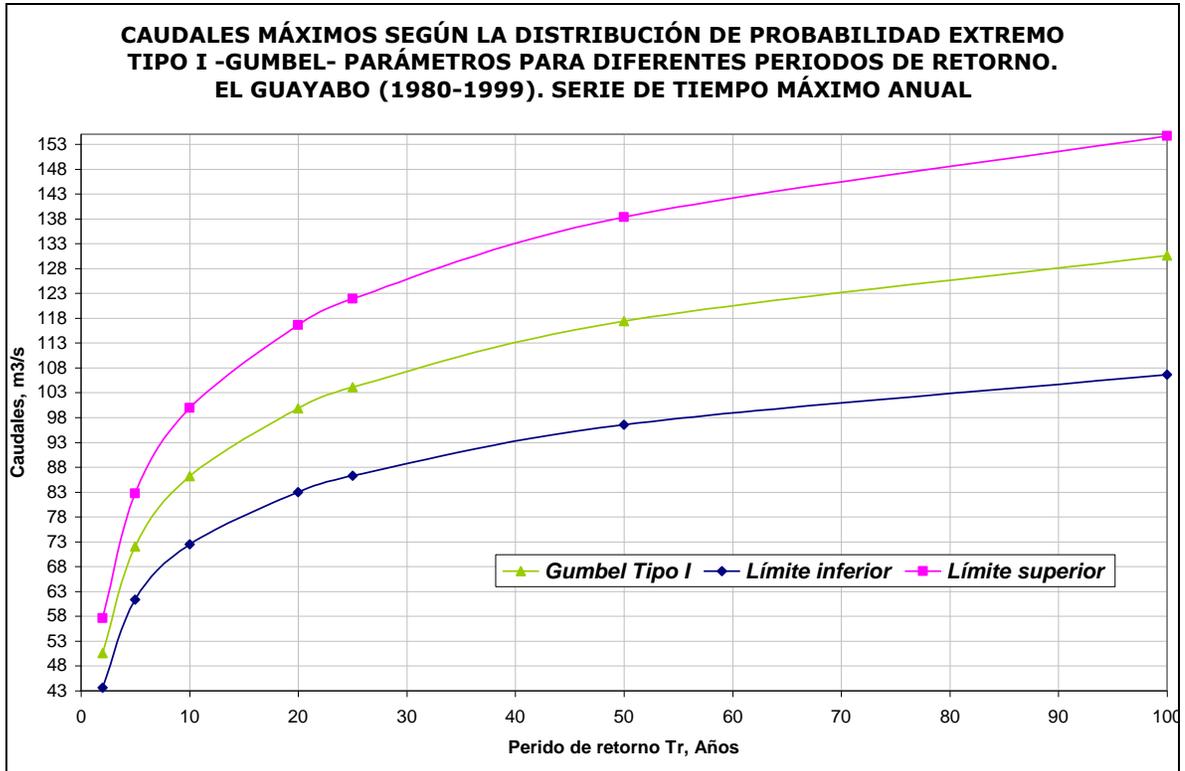


Figura 36: Resultados del análisis de frecuencias para los caudales máximos mensuales en la estación El Guayabo



4. ESTUDIOS HIDRÁULICOS

4.1. GENERALIDADES

Con el fin de determinar los niveles de inundación para los diferentes períodos de retorno seleccionados, y evaluar la amenaza por inundación de las islas sobre las cuales se planea construir el Parque Temático Islas de Aventura, se realizó la modelación hidráulica de la zona de estudio utilizando para ello el programa de uso libre HEC-RAS versión 3.1.3, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos¹². Detalles acerca de la información utilizada, la conceptualización y limitaciones de la modelación, al igual que el proceso de calibración y el análisis de resultados se presentan en este capítulo.

Básicamente el modelo HEC-RAS permite calcular perfiles de flujo a partir de la solución de las ecuaciones unidimensionales de energía y de momentum en canales abiertos, sujetas a condiciones de frontera representadas por los niveles aguas abajo del tramo en estudio (caso de régimen subcrítico), aguas arriba (caso de régimen supercrítico) o ambas (caso de régimen mixto). Fundamentalmente el modelo requiere datos geométricos (secciones transversales y alineamiento del canal) y datos hidrológicos que definen las condiciones de borde del modelo, tal como se detalla a continuación.

4.2. INFORMACIÓN UTILIZADA

4.2.1. Datos hidrológicos

A partir del análisis hidrológico de eventos máximos mensuales, descrito en detalle en el numeral 3.2.5, se obtuvieron los caudales y niveles en la estación Puente Santander, para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Para claridad del lector se presentan en la Tabla 25 estos caudales y niveles, que como se explicará más adelante, representan las condiciones de frontera de cada uno de los escenarios modelados.

¹² US Army Corps of Engineers, <http://www.hec.usace.army.mil/>

Tabla 25. Resultados del análisis de eventos máximos mensuales en la estación Puente Santander

| Período de Retorno (años) | Niveles (m.s.n.m) Estación Puente Santander | Caudales (m³/s) Estación Puente Santander |
|----------------------------------|--|---|
| 2 | 424.50 | 1666.13 |
| 5 | 425.22 | 2189.01 |
| 10 | 425.70 | 2535.21 |
| 25 | 426.30 | 2972.63 |
| 50 | 426.75 | 3297.13 |
| 100 | 427.19 | 3619.23 |

4.2.2. Información topográfica y de campo

A partir de los trabajos topográficos y batimétricos de campo efectuados durante el mes de enero de 2006, se levantaron secciones transversales de la zona de estudio a lo ancho de todo el río Magdalena, espaciadas en promedio 200 m tal como se describió en detalle en el numeral 2.2. Para propósitos de la modelación hidráulica, de este conjunto de secciones se seleccionaron 17, las cuales se encuentran ubicadas de forma casi normal al cauce principal, espaciadas aproximadamente cada 500 m (para un total de 8.5 km modelados), y numeradas de aguas abajo hacia aguas arriba en la zona estudio, tal como lo requiere el modelo HEC-RAS. La ubicación esquemática de una de estas secciones y su correspondiente perfil transversal se presentan en las Figura 37 y Figura 38. La localización general de todas las secciones transversales se muestra en la Figura 39.

Es importante anotar que las secciones obtenidas directamente de la topografía fueron refinadas y verificadas utilizando las fotografías aéreas de febrero de 2005 tomadas por Geos Consultores Ltda. para la Central Hidroeléctrica de Betania S.A. E.S.P.

Figura 37: Localización sección transversal No. 7.

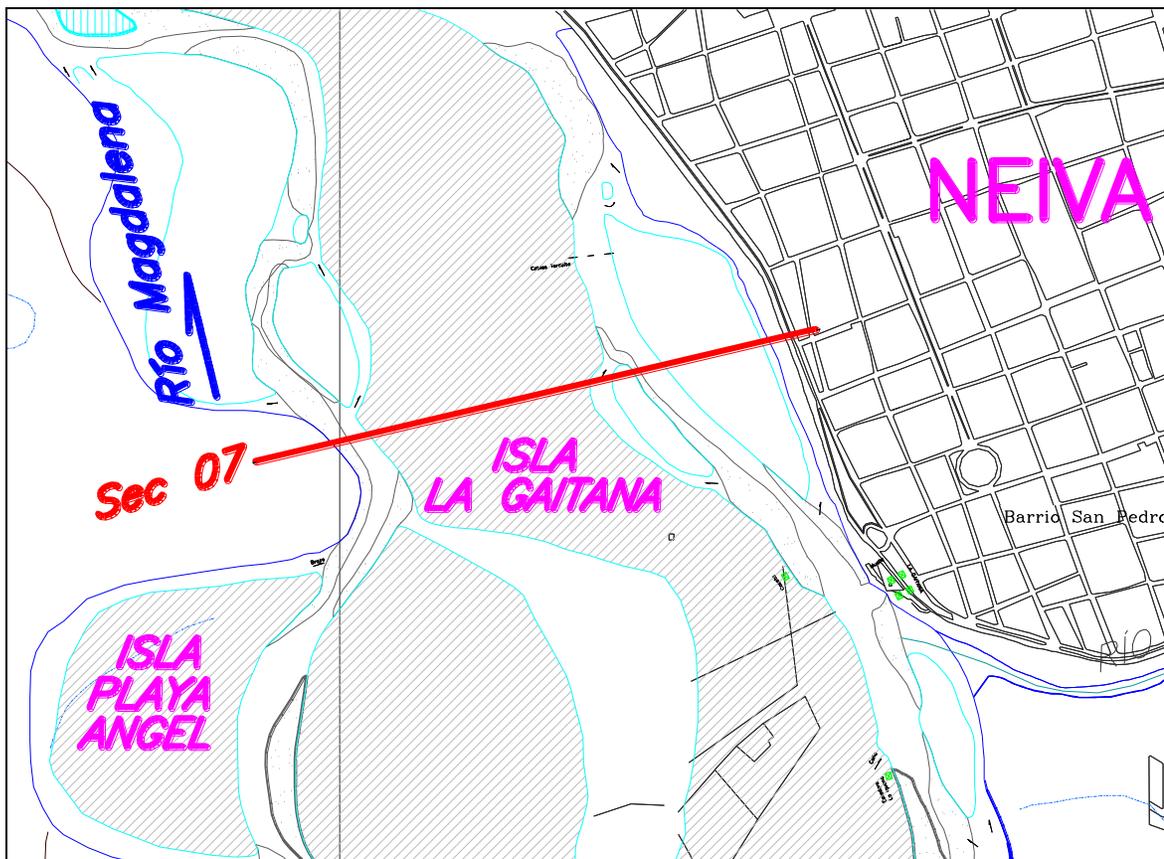


Figura 38: Detalle sección transversal No.7. Orilla izquierda ubicada sobre la margen izquierda mirando hacia aguas abajo.

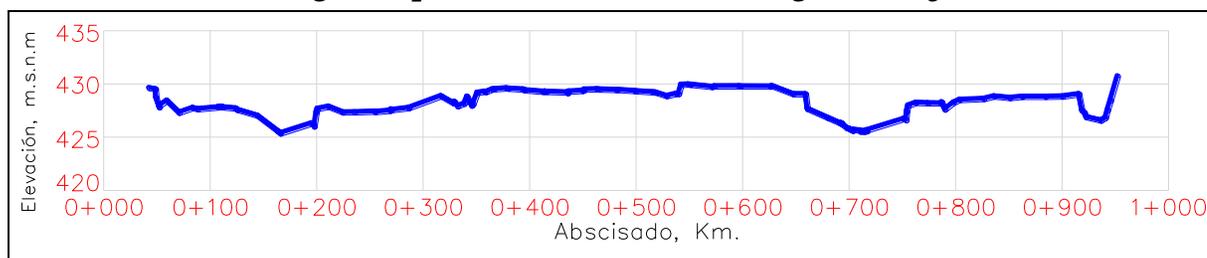


Figura 39: Localización en planta de las 17 secciones transversales utilizadas en la modelación hidráulica.



La imagen de fondo corresponde a la aerofotografía de febrero de 2005, suministrada amablemente por la CHB

En la Figura 39 el sentido del flujo es de derecha a izquierda y la sección 01, correspondiente a la estación Puente Santander, representa la sección de control del tramo estudiado.

Podría pensarse que la condición de frontera del modelo hidráulico pudiera ser la existencia de flujo crítico en la estación Puente Santander. Con esta suposición se calcularon las profundidades críticas para los escenarios de caudal modelados y se compararon con las correspondientes profundidades de la curva de calibración. En todos los casos para un mismo valor de caudal la profundidad crítica resultó ser entre 1.5 y 0.6 m menor que la profundidad obtenida de la curva de calibración, indicando que la condición de frontera no es flujo crítico sino la profundidad directamente obtenida de los análisis hidrológicos para el caudal correspondiente.

A partir del alineamiento en planta mostrado en la Figura 39, se determinaron los abscisados por la orilla izquierda, derecha y por el centro del canal principal (que corresponde al canal recostado sobre la ciudad de Neiva). Mediante la medición de estas longitudes se intentó representar la sinuosidad del cauce. Es claro que para la zona de estudio existen múltiples cauces, cada uno de los cuales ameritaría el establecimiento de condiciones de sinuosidad individuales. Como se discute más adelante en este capítulo, este tipo de modelación se intentó, sin embargo con la información disponible fue imposible obtener resultados satisfactorios.

Durante la campaña de campo se instalaron dos miras temporales, una a la entrada de las islas (ubicada aproximadamente en la sección 4) y la otra localizada a la salida de las islas (sección 15), cuyos niveles fueron registrados durante tres de los días del levantamiento efectuado (19, 20 y 21 de enero).

Las lecturas de niveles de agua en las miras temporales y en Puente Santander proporcionan la información utilizada en este estudio para la calibración del modelo hidráulico, tal como se discute en el numeral 4.4.

4.3. CONCEPTUALIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO

Como se discutió en el capítulo de estudios hidrológicos, la contribución del río las Ceibas y el río Loro representa menos del 5% de los caudales máximos mensuales en la estación Puente Santander. Adicionalmente en el tramo del río Magdalena analizado no existen difluencias o derivaciones importantes de agua, por lo que se supuso que el flujo es permanente en la zona estudiada.

Inicialmente se calculó la pendiente crítica (S_c) y la del fondo (S_o) del canal para las secciones en las islas y se obtuvo que $S_o=1.6$ m/km es inferior a la $S_c=4.0$ m/km, por tanto el régimen de flujo se consideró subcrítico.

Las condiciones de niveles y caudales en la estación Puente Santander (sección transversal 01) para los diferentes períodos de retorno, fueron seleccionadas como las condiciones de frontera del modelo hidráulico para los diferentes escenarios modelados.

En relación con las secciones transversales, se utilizaron secciones a lo ancho de todo el río Magdalena, en las cuales se modelaron flujos divididos por los diferentes cauces en el sector estudiado.

Los datos de geometría (secciones transversales, longitudes por orillas izquierda, derecha y centro del canal), el coeficiente de rugosidad (inicialmente asumido idéntico para todas las secciones transversales e igual a 0.022), el tipo de régimen (subcrítico) y las condiciones de frontera en la estación Puente Santander fueron introducidos en el modelo HEC-RAS.

4.4. CALIBRACIÓN DEL MODELO

El objetivo de realizar la calibración del modelo es intentar reproducir condiciones hidráulicas conocidas que permitan sustentar la posterior aplicación del mismo.

Con el fin de reproducir los niveles registrados en las dos miras temporales instaladas durante la campaña de campo, y los niveles en secciones intermedias, se ajustaron individualmente los coeficientes de rugosidad n de Manning para las 17 secciones

transversales. Como datos adicionales para la calibración se obtuvieron los niveles promedio registrados en la estación Puente Santander, mostrados en la Tabla 26 para los días 20 y 21 de enero. Los niveles promedio para estas dos fechas son bastante cercanos e indican un caudal promedio de 1146 m³/s, que representa un caudal con un período de retorno inferior a los 2 años. Para la calibración de los niveles en secciones transversales intermedias se supuso una variación lineal de la línea piezométrica. Los resultados de la calibración efectuada se muestran en la Figura 40

Tabla 26. Niveles de agua en msnm en la estación Puente Santander y en las miras temporales (secciones 4 y 15), para uno de los días del trabajo de campo.

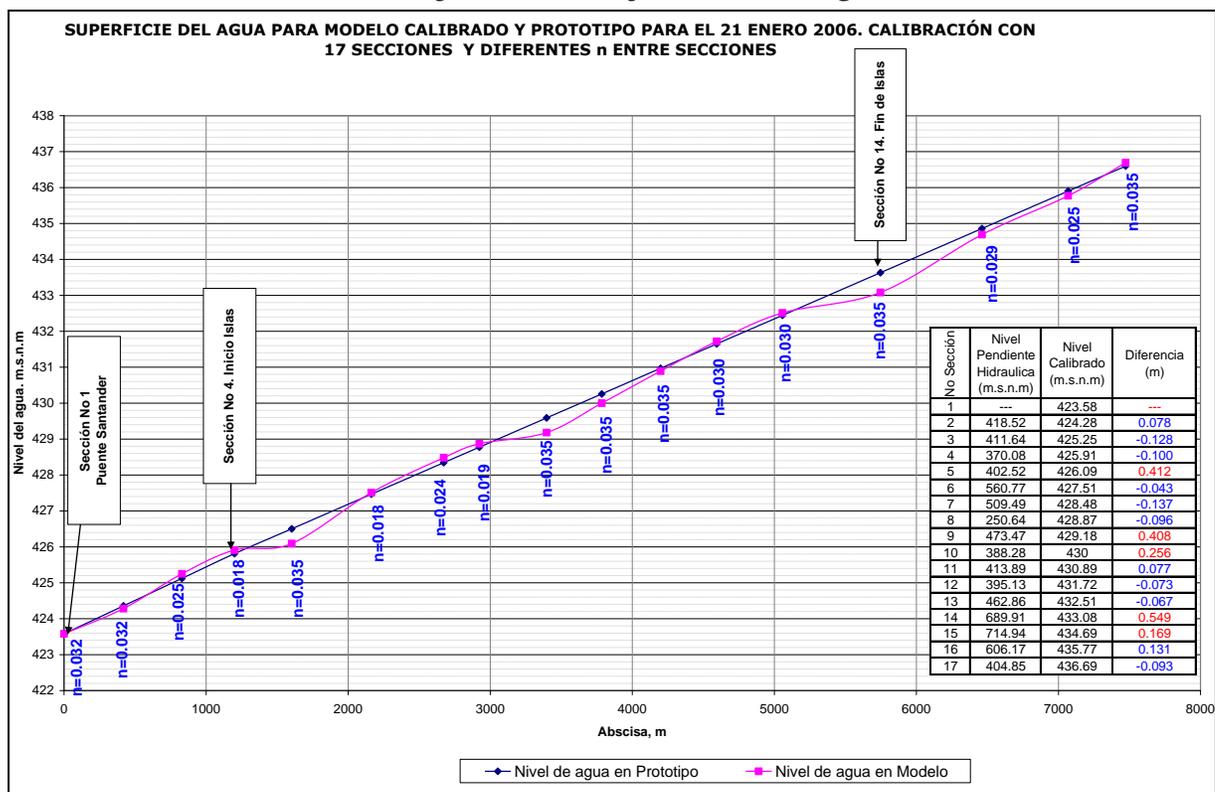
| No Sección | Descripción | Distancia aproximada entre secciones | Cota superficie del agua x Pendiente Hidráulica para calibración, 21/Enero/2006 |
|------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|
| 1 | Puente Santander | 0.00 | 423.58 |
| 2 | | 418.52 | 424.36 |
| 3 | | 411.64 | 425.12 |
| 4 | Mira Ceibas | 370.08 | 425.81 |
| 5 | | 402.52 | 426.50 |
| 6 | | 560.77 | 427.47 |
| 7 | | 509.49 | 428.34 |
| 8 | | 250.64 | 428.77 |
| 9 | | 473.47 | 429.59 |
| 10 | | 388.28 | 430.26 |
| 11 | | 413.89 | 430.97 |
| 12 | | 395.13 | 431.65 |
| 13 | | 462.86 | 432.44 |
| 14 | | 689.91 | 433.63 |
| 15 | 83 m aguas debajo de la Mira Islas | 714.94 | 434.86 |
| 16 | | 606.17 | 435.90 |
| 17 | | 404.85 | 436.60 |

Los niveles en secciones intermedias entre miras fueron determinados asumiendo una pendiente hidráulica constante entre las secciones 1 a la 4 y 4 a la 17.

La Figura 40 presenta los resultados de la calibración efectuada, a partir de los cuales es posible anotar que los niveles simulados con el modelo y los registrados e interpolados, se ajustan relativamente bien, utilizando los valores de *n* de Manning indicados para cada sección transversal. Para tres secciones transversales (5, 9 y 14) los errores en los niveles registrados son importantes. Sin embargo, ante la carencia de información adicional para otros eventos, que pudiera ser utilizada para propósitos de calibración, se decidió que los valores del coeficiente de rugosidad obtenidos de esta forma representan las condiciones del modelo calibrado. Es importante anotar que la calibración del modelo con la información existente presenta alguna

incertidumbre, y por tanto es necesario en el futuro realizar un análisis más riguroso que incluya datos de aforos por los diferentes brazos y de niveles medidos en forma horaria en miras ubicadas en por lo menos cinco secciones transversales y en diferentes cauces, leídas durante un período de tiempo de por lo menos un mes, en las cuales se capturen fluctuaciones importantes y continuas de los niveles a lo largo del tramo estudiado.

Figura 40: Resultados de la calibración del modelo hidráulico, obtenidos mediante ajuste del coeficiente de rugosidad



Los valores obtenidos en la calibración para n de Manning, se ajustan razonablemente bien a los valores que se obtendrían a partir del diámetro D_{65} del material de fondo, que como se aprecian en algunas fotografías es del orden de 4 cm de diámetro. Para la obtención de este diámetro D_{65} no se tomó granulometría, fue proveniente de los trabajos de campo y observación comparativa de fotografías.

Como un aporte adicional de este trabajo, se intentó mejorar la calibración del modelo mediante el uso de uno “más sofisticado”, mostrado en la Figura 41 el cual considera de forma más real la topología del río Magdalena en el sector estudiado y tiene en cuenta algunos de los múltiples cauces alrededor y en la parte central de las islas. Se invirtió un tiempo importante en la implementación y calibración de este modelo, pero desafortunadamente no se obtuvieron resultados satisfactorios debido fundamentalmente al gran número de variables involucradas en el análisis (coeficientes de rugosidad, distribución de caudales por diferentes brazos e incertidumbres en las secciones transversales), que impidieron utilizar la topología mostrada en la Figura 41. Sin embargo, mediante la realización de algunos aforos y la

instalación de miras se cree que este modelo podría ser calibrado, y podría ser utilizado para analizar por ejemplo la variación de niveles y caudales en el canal central, el cual el proyecto arquitectónico planea sea utilizado para el desarrollo de actividades de canotaje.

Figura 41: Topología del modelo hidráulico sometido sin éxito a calibración con la información existente.



4.5. RESULTADOS

Con el modelo calibrado se simularon seis escenarios, que corresponden a cada uno de los períodos de retorno seleccionados en los análisis hidrológicos (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años). En todos los gráficos mostrados el perfil 1 (WS PF1) corresponde al evento de calibración y los otros perfiles (WS PF2 a WS PF7) a cada uno de los seis períodos de retorno simulados. Las Figura 42 a Figura 44 muestran los perfiles de la lámina de agua para el evento de calibración y los diferentes períodos de retorno. Los resultados de la modelación hidráulica para cada una de las secciones transversales y cada uno de los escenarios modelados se muestran en el Anexo 8. Adicionalmente las Figura 45 a Figura 48 muestran los niveles de agua para los diferentes períodos de retorno en las secciones típicas de cada isla.

4.5.1. Perfiles Hidráulicos

Figura 42: Perfil longitudinal del cauce y de la lámina de agua para la condición de calibración (WS PF1) y para el período de retorno de 2 años (WS PF 2).

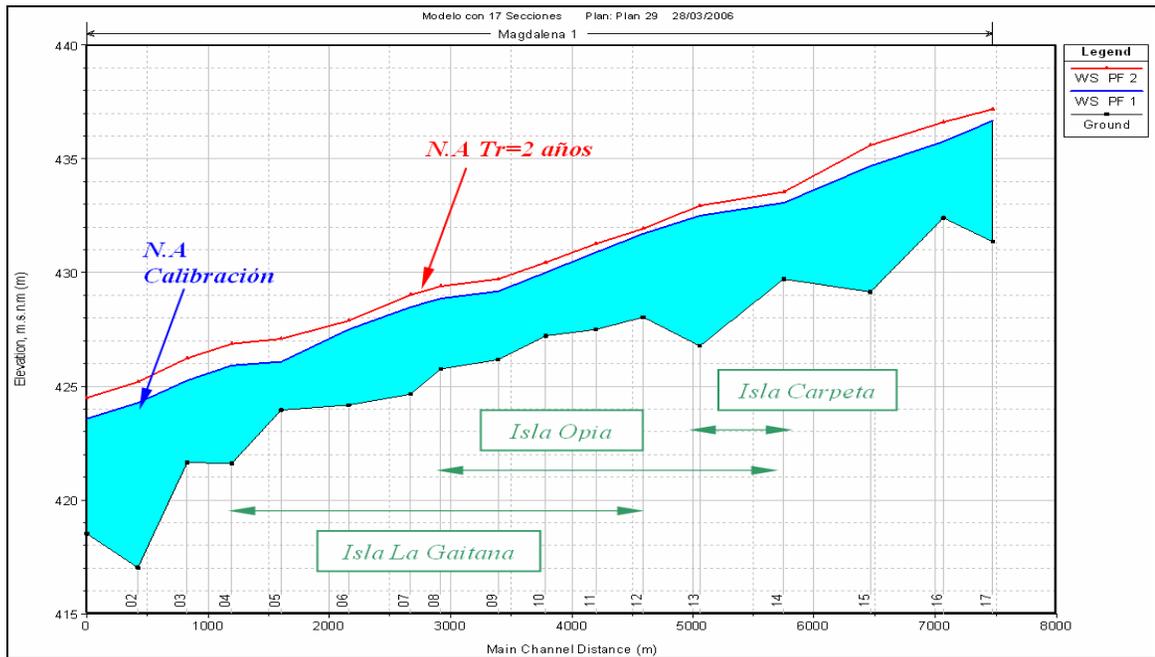


Figura 43: Perfil longitudinal del cauce y de la lámina de agua para el periodo e retorno de 5 años (WS PF3) y 10 años (WS PF4)

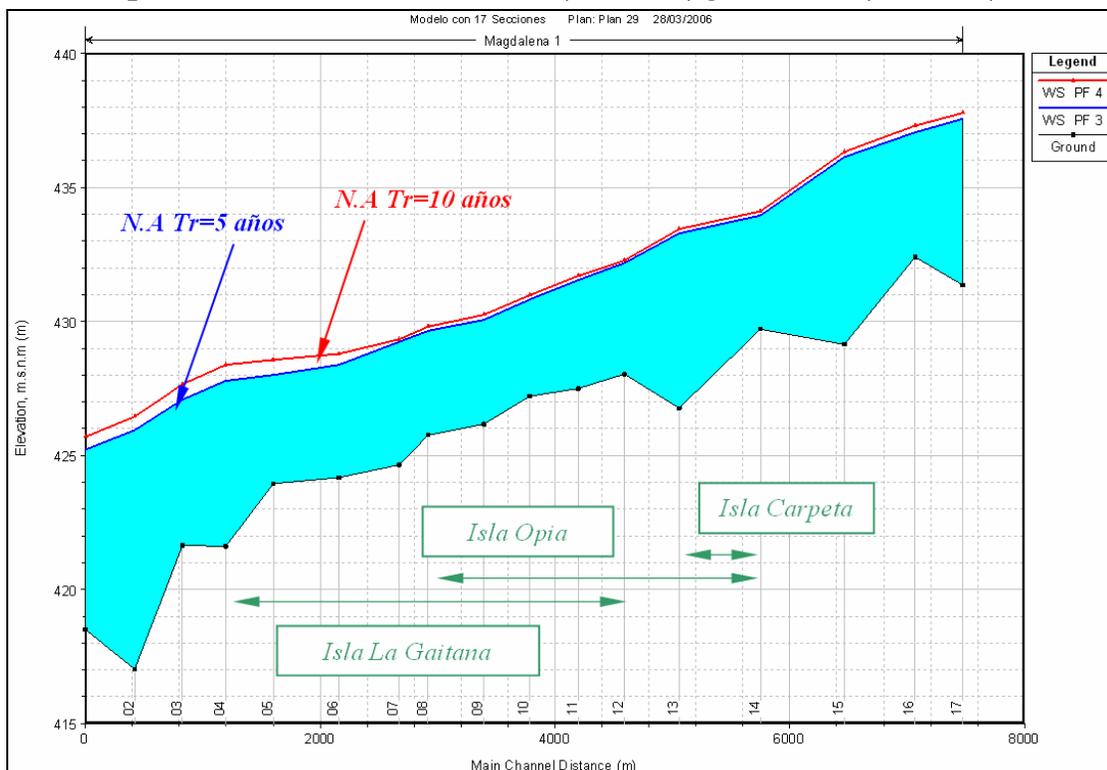
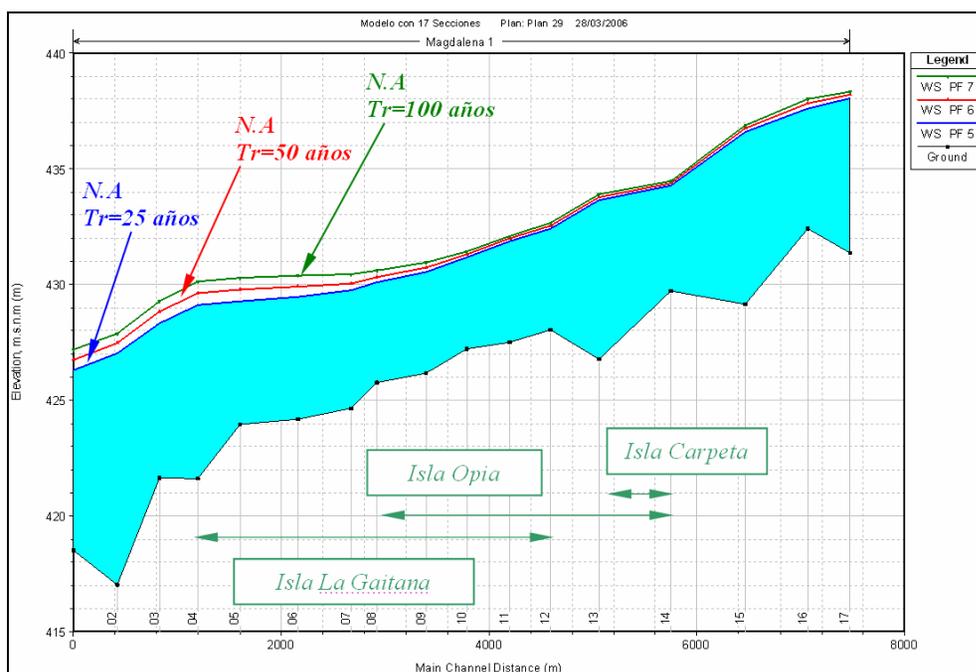


Figura 44: Perfil longitudinal del cauce y de la lámina de agua para los periodos de retorno de 25 años (WS PF5), 50 años (WS PF6), y 100 años (WS PF7).



4.5.2. Secciones transversales típicas y niveles de inundación

Figura 45: Niveles de inundación para el evento de calibración y períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años en la sección transversal No. 6 correspondiente a la parte baja de la Isla La Gaitana

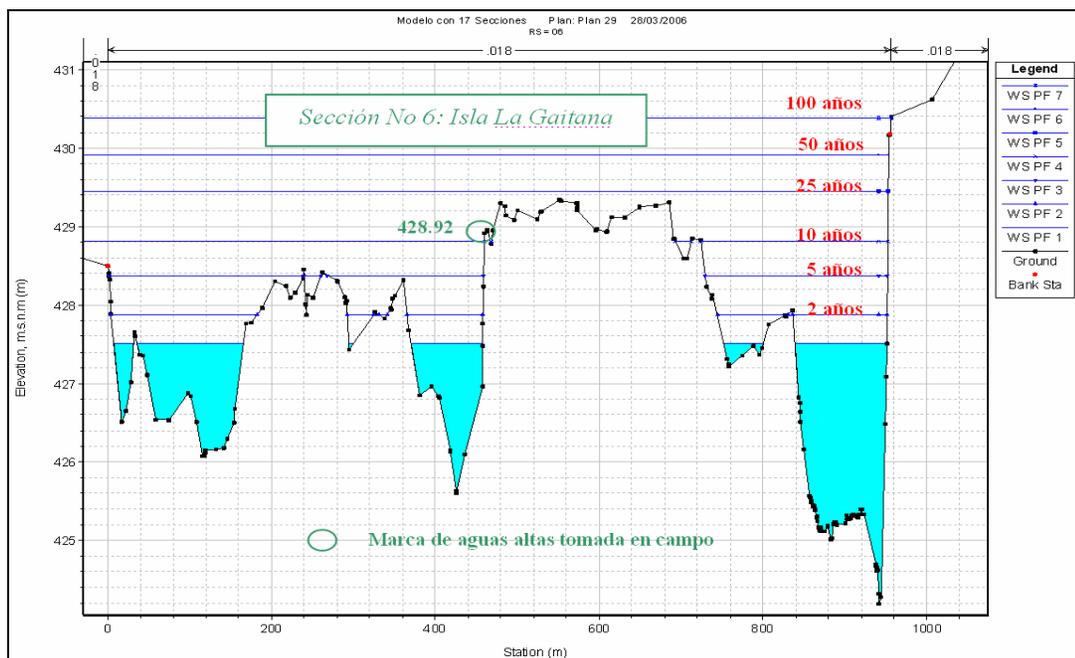


Figura 46: Niveles de inundación para el evento de calibración y períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años en la sección transversal No. 9 correspondiente a la parte media de las Islas Opia y La Gaitana

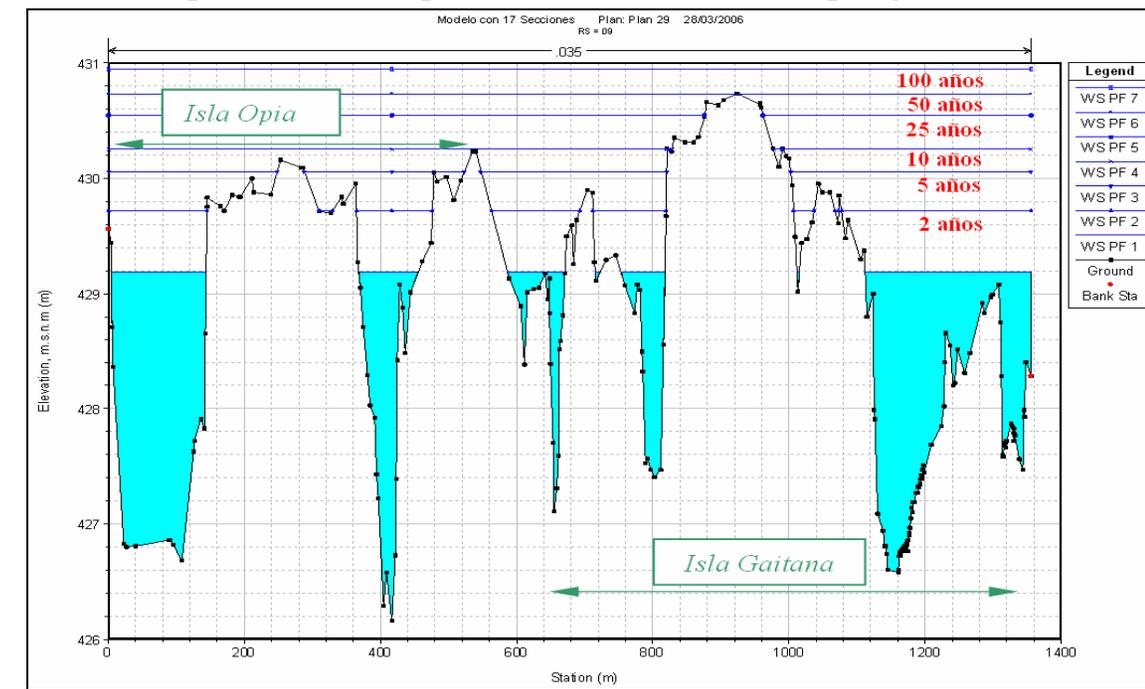


Figura 47: Niveles de inundación para el evento de calibración y para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años en la sección transversal No. 11 correspondiente a la parte alta de las Islas Opia y La Gaitana

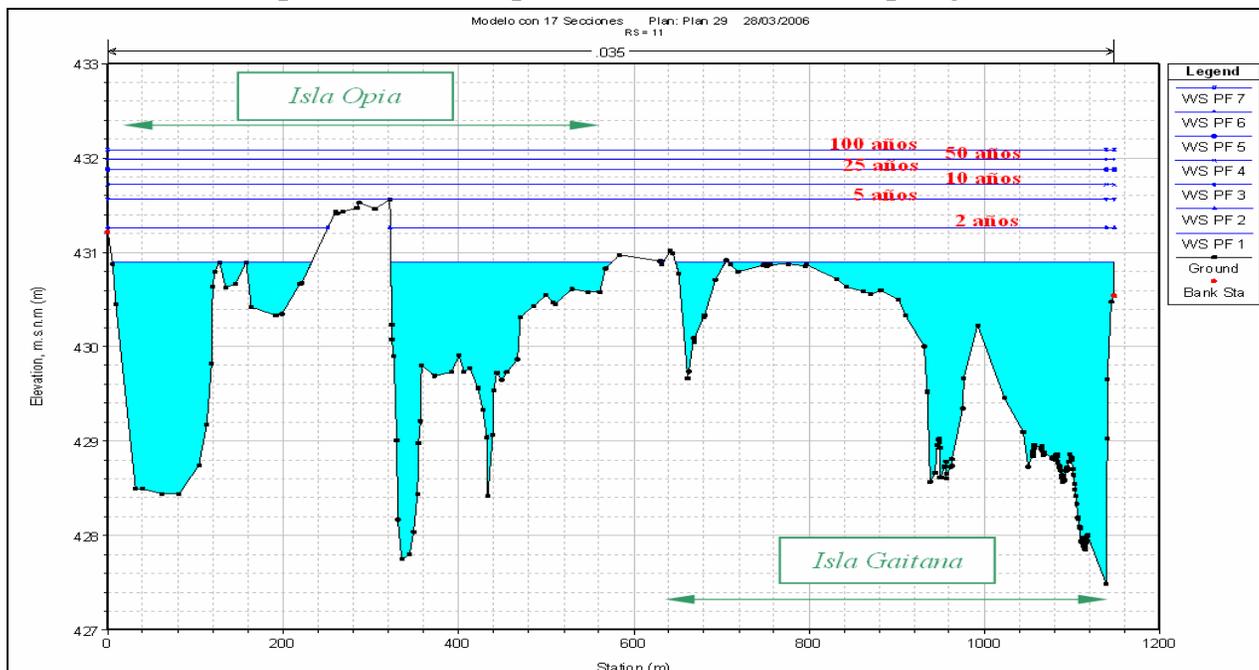
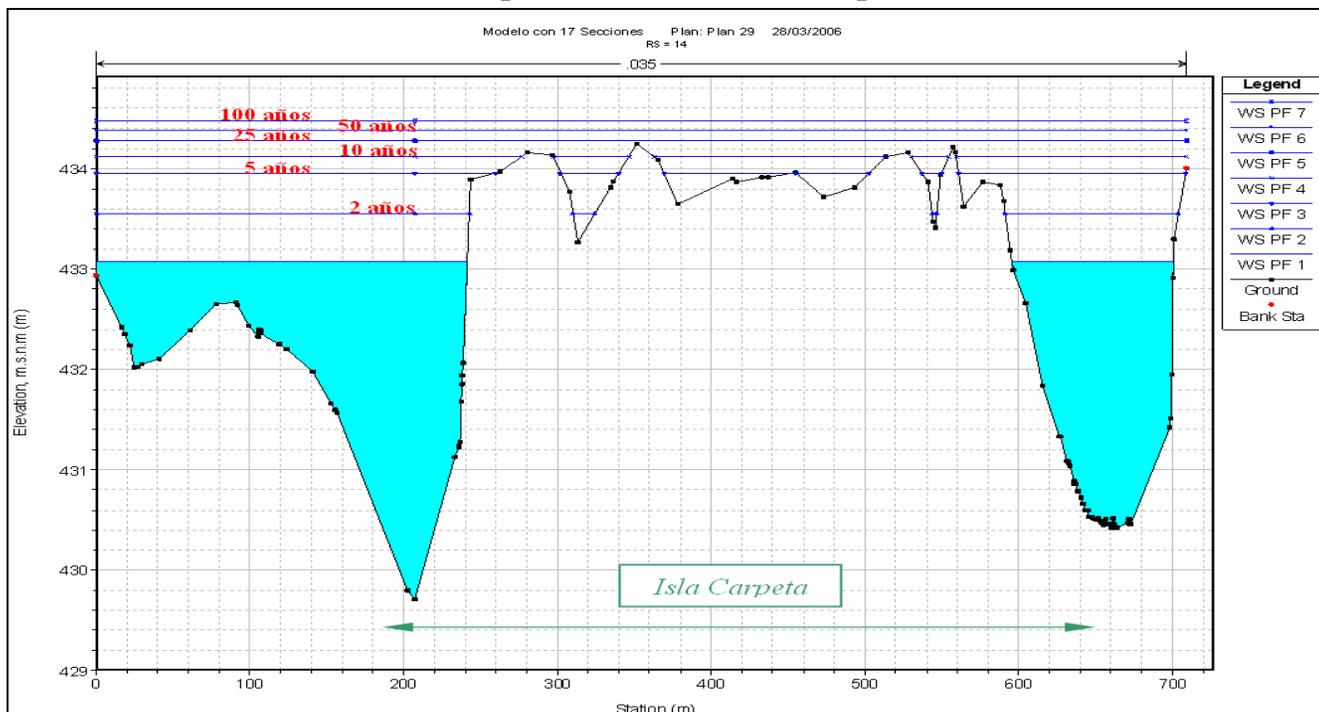


Figura 48: Niveles de inundación para el evento de calibración y para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años en la sección transversal No. 14 correspondiente a la Isla Carpeta



4.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los perfiles longitudinales y los niveles de inundación indicados en las secciones transversales de las Figura 42 a Figura 48 muestran que en términos generales las zonas más susceptibles de inundación se encuentran en la parte baja del tramo estudiado, primero por ser relativamente más bajas, y segundo por experimentar los efectos de remanso en los niveles ocasionados por la reducción de la sección en la estación Puente Santander, especialmente para los caudales más altos.

Con respecto a los niveles de inundación de cada isla, los resultados mostrados en la Figura 45 indican que para un periodo de retorno de 25 años se presenta inundación total de la parte baja de la Isla La Gaitana con un nivel de 429.36 m.s.n.m. Para niveles inferiores no se presenta desborde. La duración de la inundación se desconoce para esta y otras secciones pues dependerá de la temporalidad de los desembalses en Betania.

La Figura 46 muestra que para la parte media de la Isla Opia y la parte media de la Isla La Gaitana se presentan desbordes para un periodo de retorno de 10 y 50 años respectivamente. La razón para que esto ocurra radica en que el nivel del terreno en la isla La Gaitana se encuentra aproximadamente 0.60 m por encima del nivel del terreno en la isla Opia.

Los niveles de inundación indicados en la Figura 47 muestran que para la parte alta de la Isla Opia y La Gaitana se presenta inundación para niveles con período de retorno mayor de 10 y 5 años respectivamente. En esta zona el nivel máximo del terreno de la Isla La Gaitana se encuentra 0.60 m por debajo del de la Isla Opia.

Finalmente para la isla Carpeta los resultados en la Figura 48 indican que se presentan desbordes para niveles con período de retorno mayor de 25 años.

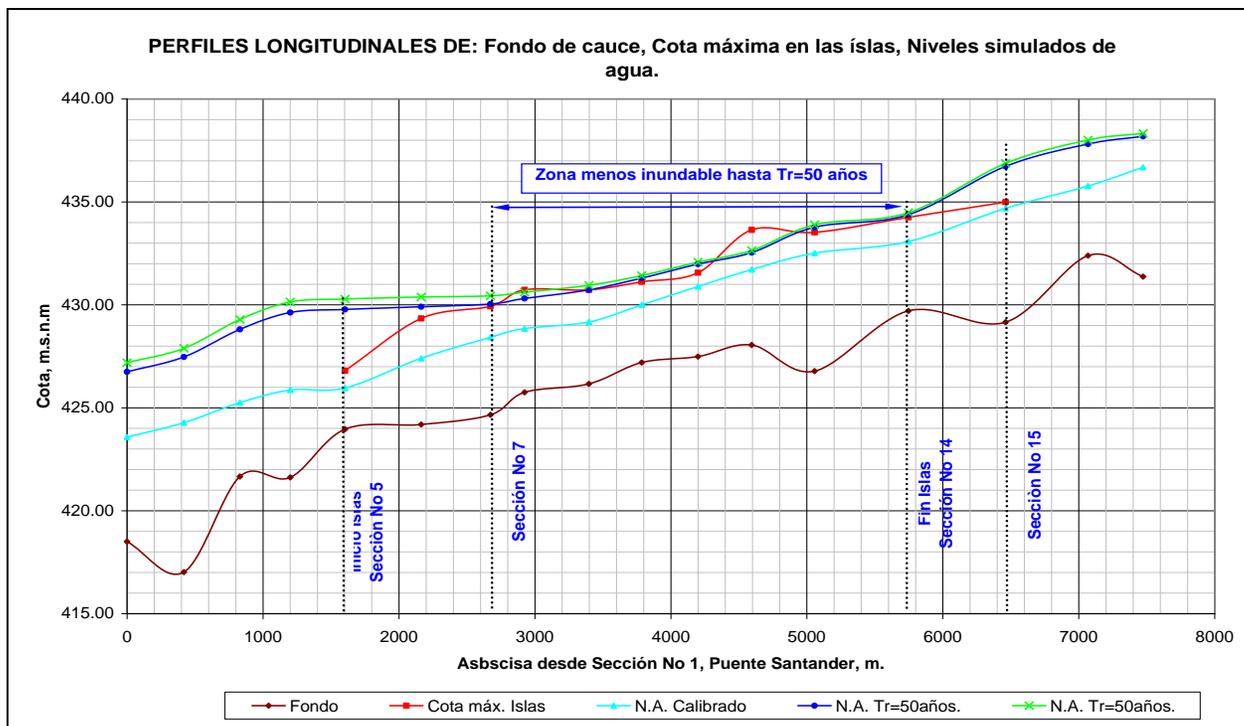
En conclusión, puede afirmarse que con cierta frecuencia se presentan desbordes sobre las márgenes de las islas, que si bien es cierto no son generalizados, alimentan la gran cantidad de cauces pequeños existentes en el interior de las islas. Lo anterior fue corroborado con pobladores de las islas. Adicionalmente, podría decirse que en términos generales ocurren inundaciones generalizadas en el tramo estudiado para niveles con períodos de retorno mayores de 50 años, pero posiblemente los niveles descendan con prontitud debido al buen drenaje interno de las islas. Para propósitos de diseño, se recomienda ubicar la infraestructura del Parque Temático por encima de los niveles de inundación con período de retorno de 100 años.

Como complementación de los resultados, se muestran en la Tabla 27 las diferencias entre los niveles de agua y el nivel máximo del terreno en las islas para cada sección transversal y para los períodos de retorno de 50 y 100 años, que podrían considerarse como un primer indicativo del realce del terreno necesario para lograr la ubicación relativamente segura de la infraestructura proyectada. Igualmente en la Figura 49 se muestran la cota máxima del terreno en las islas y los niveles de la lámina de agua para períodos de retorno de 50 y 100 años.

Tabla 27. Diferencias entre niveles de agua simulados y la cota máxima de terreno en islas para diferentes secciones y para períodos de terreno de 50 y 100 años.

| Sección | Diferencia: (Nivel agua - Cota máxima en islas), m | |
|---------|--|------------|
| | Tr=50años | Tr=100años |
| 5 | 2.98 | 3.48 |
| 6 | 0.57 | 1.04 |
| 7 | 0.11 | 0.51 |
| 8 | -0.42 | -0.12 |
| 9 | 0.00 | 0.22 |
| 10 | 0.18 | 0.30 |
| 11 | 0.42 | 0.52 |
| 12 | -1.10 | -1.00 |
| 13 | 0.25 | 0.37 |
| 14 | 0.13 | 0.23 |
| 15 | 1.74 | 1.88 |

Figura 49: Niveles de agua para diferentes períodos de retorno y cota máxima de las islas para el tramo estudiado



En el Plano No 3 se muestra en planta en la zona de las islas el nivel simulado de inundación para un periodo de retorno de 10 años. De igual forma en el Plano No 4 de secciones transversales, se presentan los niveles simulados de inundación para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años.

5. ESTUDIO GEOLÓGICO DEL RÍO MAGDALENA, VALLE SUPERIOR SECTOR NEIVA.

5.1. GENERALIDADES

El valle del río Magdalena se encuentra dividido en tres grandes cuencas, denominadas de sur a norte como:

- *Valle Superior del Magdalena (VSM), comprendido entre el nacimiento del río y la población de Honda.*
- *Valle Medio del Magdalena (VMM), comprendido entre la población de Honda y la población de El Banco.*
- *El Valle Inferior del Magdalena (VIM), entre la población de El Banco y la desembocadura en el mar Caribe en Bocas de Ceniza - Barranquilla.*

Con base en escritos de varios autores, el límite entre el Valle Superior y Medio del río Magdalena desde el punto de vista geológico, puede ser localizado entre las poblaciones de Guataquí y Piedras, definido por la exposición de la denominada barrera cretácica, una serranía o alto morfo-estructural sobre la margen izquierda del río que hace parte de la Cordillera Oriental y trata de unir a ésta con la Cordillera Central, a lo largo de un alineamiento de lomas y colinas que hacia el sur, desde la sección Nariño-Guataquí-Piedras, cruzan por las poblaciones de Coello, Chicoral, Gualanday y el valle de San Juan, San Luis, y al sur de Payandé. En este estudio solo se describe la parte concerniente a la zona de estudio, en los alrededores de la Población de Neiva en el Valle Superior.

5.2. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en este capítulo comprende:

- *Compilación, clasificación y análisis bibliográfico de literatura general y específica, de la cartografía existente y del material aerofotográfico existente. La información analizada corresponde en su mayoría, al componente de geología general, tectónica y estratigrafía del área.*

- *Fotointerpretación de aerofotografías de las décadas 50-60 y 90-2000 (Tabla 28), y el análisis del vuelo tomado en noviembre de 2004. Es necesario resaltar que para cada una de las épocas analizadas y representadas en el Mapa de Dinámica Fluvial, se incluyen vuelos de diferentes años, donde se encuentran cambios de orillas locales o regionales, según el área, como se analiza en el capítulo de Dinámica fluvial.*
- *Estudio de la geomorfología y morfodinámica del sector de Neiva, orientados a completar el análisis de las condiciones morfológicas y morfodinámicas actuales que van a incidir directamente en la dinámica del sector de barras e islas frente a Neiva.*

5.3. GEOLOGÍA

Se presentan los resultados de la recopilación y revisión de la bibliografía existente acerca de la geología general del Valle Superior del Magdalena. El presente estudio se limita a la descripción generalizada de las unidades geológicas presentes, desde el estrechamiento donde se encuentra la estación limnimétrica El Juncal, hasta el sector de la Vega, aguas abajo del área urbana de la Ciudad de Neiva. Estas unidades son responsables del paisaje actual del valle y de sus flancos, como una respuesta a los diferentes procesos morfodinámicos imperantes en la región.

Desde el punto de vista geológico regional, el área corresponde con la depresión geomorfológica alargada en la dirección NNE-SSW que separa las Cordilleras Central y Oriental de Colombia. Se trata de una franja baja, orográficamente continua, pero con diferencias en la estratigrafía y en la tectónica. Su evolución se remonta a los comienzos del período Mesozoico (180 a 80 millones de años) y ha pasado por diversas etapas deformativas, principalmente de tipo distensivo durante el Mesozoico y de tipo compresivo durante el Cenozoico (Mojica y Franco, 1990). El valle ha sido subdividido en dos cuencas: la Subcuenca de Neiva al sur, y la Subcuenca de Girardot al norte, las cuales están separadas por el Alto de Natagaima (Mojica y Bayer, 1987), que inició su movimiento de ascenso durante el Oligoceno.

5.3.1. Estratigrafía regional del valle superior del Magdalena (VSM)

Las unidades litoestratigráficas del VSM, abarcan desde el período Precámbrico hasta el Cuaternario, representados por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. El espesor máximo alcanzado por toda la cobertura sedimentaria es de aproximadamente 8.200 metros, el cual disminuye hacia los bordes de la cuenca. Estratigráficamente se identifican las siguientes unidades:

5.3.1.1. Precámbrico

Representado por rocas ígneas y metamórficas de alto grado de metamorfismo. En el Valle Superior del Magdalena se han cartografiado como unidades independientes, ya que los afloramientos se encuentran separados. A esta edad pertenecen el Macizo de Garzón, el Macizo de La Plata, el Macizo de las Minas y el Complejo Aleluya.

5.3.1.2. Paleozoico

Representado por las formaciones El Hígado, Venado, La Jagua, Cerro Neiva, El Imán, Anaba y Amoyá. Son unidades sedimentarias, depositadas en ambiente marino somero y actualmente expuestas en las estribaciones occidental y oriental de las cordilleras Oriental y Central respectivamente en el Valle Superior del Magdalena.

5.3.1.3. Triásico-Jurásico

El Triásico está representado por las formaciones Luisa y Payandé, de origen sedimentario clástico y calcáreo y el Jurásico, por la Formación Saldaña de origen Vulcano-sedimentario. Las unidades del Triásico-Jurásico están atravesadas por rocas intrusivas de composición intermedia que conforman diques, stocks, plutones y batolitos, como el de Ibagué, el stock de Payandé,

5.3.1.4. Cretácico

Rocas sedimentarias de edad cretácica están ampliamente distribuidas en los departamentos del Huila, Tolima y Cundinamarca, y se encuentran asociadas con la Subcuenca de Neiva del Valle Superior del Magdalena y con la Cuenca de La Cordillera Oriental Colombiana, conformadas por las siguientes unidades sedimentarias: La Formación Yaví, Formación Caballos, Formación Hondita, Formación Loma Gorda, Grupo Olini, Formación La Tabla.

5.3.1.5. Paleógeno

En el Valle Superior del Magdalena afloran rocas sedimentarias del Terciario, Paleógenas correspondientes a la Formación Seca en la Subcuenca de Neiva y piedemonte de las cordilleras; así como al Grupo Chicoral y las formaciones Potrerillo y Doima de la Subcuenca de Neiva y la Cordillera Central, las cuales afloran principalmente en los bordes de la cordilleras, formando las morfologías colinadas y montañosas que limitan la parte plana del valle en los alrededores de Neiva.

5.3.1.6. Neógeno

En la Subcuenca de Neiva el Neógeno o Terciario superior, está representado por los Grupos Honda y Huila. El Lahar de Altamira y La Formación Guacacallo son de origen volcánico y se ubican hacia los márgenes de la Cordillera Central y en un tramo de la parte central de la cuenca del río Magdalena, y que son las principales unidades que afloran en los alrededores de la zona de estudio:

Grupo Honda NGh

Hettner (1892) usa por primera vez este nombre y propone como área tipo para la unidad los alrededores de la población de Honda en el Departamento del Tolima; Butler (1942) la redefine en el sector de San Antonio en el Departamento de Cundinamarca. Guerrero (1993) la caracteriza estratigráficamente en el área del desierto de La Tatacoa en el Departamento del Huila, donde se encuentran las mejores exposiciones de la unidad; propone ascender la unidad al rango de grupo y subdividirla en las formaciones La Victoria y Villavieja. El Grupo Honda aflora en el valle del Magdalena y forma cerros de altura baja con pendientes muy suaves.

El Grupo Honda está constituido por una alternancia de capas de arcillolitas plásticas de color rojo, verde, morado y rojo moteado de blanco en capas muy gruesas que varían lateralmente a limolitas, con cuarzoarenitas y litoarenitas de grano medio a grueso de color gris y blanco poco cementadas. Las arenitas presentan la textura conocida como “sal y pimienta” y concreciones de arena con cemento calcáreo que generan formas caprichosas. En las capas de arenitas se encuentran intercalados lentes conglomeráticos de tono rojizo por meteorización, conformados por guijos de cuarzo y chert principalmente. Las arcillolitas rojizas y verdosas expuestas en el desierto de La Tatacoa son ricas en fósiles de vertebrados que han sido estudiados entre otros por Royo y Gómez (1942), Stirton (1953) y Villarroel y Guerrero (1984).

Beltrán y Gallo (1968) mencionan un espesor máximo del Grupo Honda en la Subcuenca de Neiva de 1.500 m. Guerrero (1993) reporta un espesor de 1.150 m en el sector de Villavieja. El contacto inferior del Grupo Honda con la Formación Doima es de carácter discordante (Velandia et al., 1996, Marquínez et al., 2001, y Cossio et al., 1995). El contacto superior con el Grupo Huila es paraconcordante. De acuerdo con las mediciones isotópicas y paleomagnéticas presentadas en los trabajos de Hayashida (1984), Takemura y Danhara (1986) y Guerrero (1993) el Grupo Honda tiene una edad miocena media.

Grupo Huila

Esta unidad fue definida por Guerrero (1993) para agrupar las rocas de origen volcano-sedimentario que reposan discordantemente sobre rocas del Grupo Honda y que afloran en la Subcuenca de Neiva. El Grupo Huila está dividido en la Formación Neiva en su parte inferior, de origen fluvial con alguna influencia volcánica y la Formación Gigante en su parte superior, conformada en su mayoría por niveles de piroclastitas con retrabajamiento y algunas intercalaciones de cenizas volcánicas. El Grupo Huila está ampliamente distribuido en el Departamento del Huila; las mejores

exposiciones se encuentran en los alrededores de Neiva y se observan afloramientos en las carreteras Neiva–Aipe; Neiva–Tello y Neiva–Represa de Betania–Hobo.

Formación Neiva Ngn

Está conformada por paquetes gruesos de conglomerados compuestos por guijos hasta de 10 cm de diámetro de rocas ígneas y metamórficas, con matriz areno limosa, intercalados con capas de arenitas y niveles delgados de lodolitas y cenizas volcánicas; la unidad tiene poca diagénesis.

Formación Gigante NgQgi

Está constituida por intercalaciones de arcillolitas rojizas, arenitas tobáceas friables de color crema y conglomerados en paquetes gruesos. Intercalados con los niveles de arenitas aparecen capas gruesas de tobas de color gris claro, constituidas principalmente por pumita, vidrio volcánico y cuarzo. Van der Wiel (1991) calcula un espesor aproximado de 1000 m para la Formación Gigante que es correlacionable con el Grupo Huila en el sector meridional de la Subcuenca de Neiva. El contacto inferior de esta unidad con el Grupo Honda es discordante. Según las dataciones realizadas por Van der Wiel (1991) la edad de la Formación Gigante es Miocena tardía.

Formación Fortalecillas NgQf

Está constituida por depósitos de arenas pumíticas blancas azulosas y arcillas grises que descansan sobre los depósitos del Grupo Huila. Aflora en los alrededores del valle del río Fortalecillas, en la parte central del valle y al norte de Neiva. Corresponden a depósitos que representan el límite entre el Terciario superior y la base del cuaternario.

5.3.1.7. Cuaternario

En la Cordillera Central y Macizo Colombiano se registra evidencia de actividad volcánica durante el Cuaternario. Las lavas y depósitos piroclásticos de este vulcanismo son de tipo básico a intermedio. Respecto a los otros depósitos cuaternarios, éstos se encuentran ampliamente distribuidos, especialmente relacionados con las depresiones y valles de las corrientes fluviales más destacadas que drenan hacia el río Magdalena. Han sido clasificados en la cartografía geológica según su origen y morfología. Son el resultado de la Orogenia Andina durante el Plioceno-Pleistoceno y hasta el Holoceno, cuando ocurrió intensa actividad volcánica y fuerte denudación de las cordilleras Central y Oriental.

Abanicos antiguos

Aparecen en zonas de piedemonte y en cuencas restringidas como remanentes o en forma continua y relativamente elevados. Presentan distinto grado de disección. La composición de los abanicos depende de su ubicación y roca fuente denudada. Son depósitos clasto y matriz soportados con bloques de rocas graníticas, metamórficas y volcánicas en general, con matriz areno arcillosa a areno-guijosa de composición

similar. También presentan niveles arenosos friables delgados a medios. Es posible que estos depósitos sean contemporáneos con el levantamiento Plioceno-Pleistoceno de la Cordillera Oriental (Ruiz, 1981).

Terrazas altas y medias fluvio-volcánicas

Van der Wiel (1991) describe las terrazas como depósitos conformados por secuencias de flujos de escombros volcánicos, conglomerados de flujos torrenciales y aluviales y niveles arenosos de flujos fluvio-volcánicos algunos de ellos de composición tobácea.

Según la misma autora, las terrazas más altas son remanentes de la erosión del depósito de flujos que tuvo como fuente el material volcánico del Volcán Nevado del Huila, hace aproximadamente un millón de años. Posteriormente, la reactivación volcánica y el retrabajamiento de las anteriores acumulaciones conformaron nuevos depósitos que a su vez fueron erodados y cortados para delinear más terrazas, a las orillas del río Magdalena.

En el valle del río Magdalena se encuentran terrazas pumíticas, nombre con el cual se agrupan unos depósitos aterrazados presentes a lo largo del valle del río Magdalena. A medida que se acercan a la parte alta de la Cordillera Central estos depósitos se hacen más potentes y alcanzan espesores del orden de 60 m o más. Las terrazas pumíticas están conformadas básicamente por depósitos volcanoclásticos de gravas y arenas pumíticas con niveles y lentes de pómez tamaño grava, con estratificación cruzada festoneada plana paralela continua y gradación normal; los contactos entre los niveles y capas son ondulados y erosivos. Los depósitos observados fueron originados por flujos de lodo y flujos de escombros. La edad de estas acumulaciones puede ser cuaternaria, quizás pleistocénica tardía. La mayoría reposan sobre rocas del Grupo Honda, y forman pequeñas mesetas sobre las partes altas de las rocas mencionadas; de la misma manera, protegen de la erosión a los afloramientos que las subyacen.

En general, son depósitos no consolidados constituidos por gravas y cantos, de tamaño heterométrico, subangulares a redondeados, en una matriz areno arcillosa de baja compactación. En las márgenes del río Magdalena, la composición es principalmente de arenitas y limolitas silíceas, en una matriz arcillosa roja, con un espesor variable que puede alcanzar los 10 m.

Depósitos recientes

Se trata de los diversos tipos de acumulaciones que se supone ocurrieron desde finales del Pleistoceno y durante el Holoceno. Se incluyen los depósitos coluviales que generalmente se encuentran en las zonas de pendiente y alto fracturamiento asociado con fallas. Igualmente, depósitos fluvio-lacustres que usualmente rellenan áreas relativamente cerradas o cuencas intramontanas. También se consideran los depósitos aluviales relacionados con las corrientes fluviales actuales, que presentan terrazas aluviales, terrazas bajas asociadas con los afluentes fluviales y sedimentos transportados como material de arrastre formando islas estabilizadas, barras aluviales, y orillares que varían en granulometría y composición según la dinámica fluvial histórica del sector.

Depósitos de coluvión

Son depósitos no consolidados de corta extensión, ubicados en los piedemontes, presentan una topografía de colinas redondeadas y están conformados por material heterométrico con cantos angulares a subangulares. Consta de fragmentos desprendidos de las rocas provenientes de las formaciones adyacentes, principalmente de limolitas, arenitas y lodolitas.

Sector Neiva

En este sector la fosa del río Magdalena está limitada por fallas longitudinales de tipo inverso, las cuales han puesto en contacto las rocas del basamento con rocas cretácicas y terciarias. Al sureste de este sector, continúa la falla Garzón – Potrerillos que toma un rumbo N45E. Como resultado de los esfuerzos compresionales se desarrollaron al occidente de esta falla grandes pliegues anticlinales y sinclinales con rumbo general N-S.

Adyacente a la falla se encuentra el sinclinal de San Antonio, en el cual afloran rocas cretácicas y terciarias, contiguo al amplio anticlinal de Fortalecillas donde aflora en gran extensión la Formación Honda. Esta formación se pone en contacto con las rocas cretácicas del sinclinal de San Antonio por medio de una falla inversa (Falla de Rivera).

Al noroccidente de Neiva margen izquierda del río Magdalena, afloran las formaciones Honda y Gigante en un pliegue sinclinal (Sinclinal de Bache), el cual continúa hacia el norte pasando al W de Aipe. Esta unidad terciaria se pone en contacto con rocas cretácicas por medio de una falla inversa cuyo plano buza al occidente y se pierde bajo el cuaternario al noroccidente de Aipe; se denomina pliegue-falla de Palermo y tuvo su ocurrencia durante la depositación de la Formación Honda. Al sur de Neiva, los depósitos cuaternarios cubren una amplia zona recubriendo la mayoría de las fallas geológicas de la zona.

5.3.2. Tectónica del valle superior del Magdalena

El valle corresponde a una depresión de origen estructural de edad neógena, relacionada con el levantamiento de las cordilleras Central y Oriental, generado por la acción de fuerzas compresivas que actuaron en dos fases principales ocurridas durante el Oligoceno y Mioceno-Cuaternario. El límite con la Cordillera Central está dado por el Sistema de Fallas de Chusma, que corresponde a una serie de fallas apiladas que originan un cinturón de deformación con vergencia oriental; el límite con la Cordillera Oriental está formado por fallas con vergencia occidental, asociadas al Sistema de Fallas de Garzón-Suaza.

Esta provincia tectónica presenta dos sectores deformados bien definidos, uno que involucra a las unidades del Cretácico al Oligoceno con una deformación mayor de edad oligocena, y otro que involucra a las unidades del Mioceno-Plioceno hasta el Cuaternario que recubren discordantemente el sector anterior y que presenta una

deformación menos intensa. La relación discordante y las unidades involucradas indicarían una etapa de deformación post-Mioceno con reactivaciones en el post-Plioceno e inclusive en el Cuaternario.

Cordillera Central

La Cordillera está limitada hacia el oriente por el Sistema de Fallas de Chusma, cuyas fallas asociadas afectan las rocas ígneas y metamórficas que forman la parte más alta de la cordillera e incluso las rocas sedimentarias que se encuentran en sus estratificaciones y que geológicamente hacen parte del Valle Superior del Magdalena. El sistema integra las fallas de cabalgamiento que con vergencia al suroriente actuaron desde el Eoceno para el levantamiento de la Cordillera Central sobre el Valle Superior del Magdalena; incluye también las fallas de retrocabalgamiento asociadas que se presentan hacia la parte alta de la cordillera. El trazo principal de este sistema es la Falla La Plata-Chusma. En el macizo rocoso de la Cordillera Central se distinguen otras fallas longitudinales de trazo más recto hacia el NE y de carácter inverso relacionadas con el cabalgamiento principal de la Falla La Plata-Chusma

Piedemonte Cordillera Central

El bloque tectónico del piedemonte de la Cordillera Central está limitado por la Falla La Plata-Chusma al occidente y la Falla El Agrado-Betania al oriente, rasgo estructural más occidental de la zona de estudio. Pertenecen a este bloque las estratificaciones de la Cordillera Central, donde afloran rocas precámbricas hasta cretácicas cubiertas en algunos sectores por abanicos recientes. Estas elevaciones intermedias corresponden con cuñas levantadas por fallas de cabalgamiento y retrocabalgamiento entre los cuales se forman pliegues sinclinales y anticlinales.

Valle del Río Magdalena

El valle del río Magdalena está limitado del piedemonte de la Cordillera Central por la Falla El Agrado-Betania, y de la Cordillera Oriental por el Sistema de Fallas de Algeciras, que incluye la Falla de Pitalito y Algeciras hacia el sur y la Falla Potrerillos-Rivera hacia el norte.

- **Falla El Agrado-Betania**

Su nombre es un intento para aclarar la nomenclatura de los rasgos que se han conocido como “Fallas del Magdalena” y que Diederix y Gómez (1991), entre otros autores, han cartografiado asociados al recorrido del río Magdalena al bajar del Macizo Colombiano y a lo largo del piedemonte oriental de la Serranía de Las Minas. La Falla El Agrado-Betania tiene vergencia o transporte tectónico al sur oriente con inclinación del plano hacia el noroccidente. Pone en contacto principalmente rocas antiguas del Precámbrico, Paleozoico y Jurásico con las rocas sedimentarias del Cretácico, Paleógeno y Neógeno del Valle Superior del Magdalena.

- **Falla Baché**

Se trata de una falla de cabalgamiento del Sistema de Chusma, con vergencia al sur oriente, la cual comienza asociada con fallas que conforman cuñas de rocas cretácicas y paleógenas en el valle del río Tuné al sur occidente de Palermo (Huila). Después de aproximadamente 22 km. de extensión, termina abruptamente contra la Falla Neiva, una estructura transversal, para continuar al noroccidente bajo la cubierta del Neógeno. La Falla Baché limita el Anticlinal San Francisco al oriente. Las fallas Upar y Baché conforman una disposición especial, similar a una trenza, con orientación general norte-sur, en cuyas intersecciones pareciera que las fallas cambiaran su vergencia si se confunde su trazo, pero en realidad corresponden a cuñas de lomos o valles formadas localmente donde terminan unas contra otras. La Falla El Agrado-Betania se une a la Falla Baché y continuaría al norte del Lineamiento de Neiva hasta unirse con la Falla San Francisco, directamente asociada al cabalgamiento principal del Sistema de Fallas de Chusma, el cual, además de configurar el límite entre la Cordillera Central y el valle del Magdalena, constituiría también el límite entre las subcuencas de Girardot al norte y Neiva al sur, si hace parte del “Alto de Natagaima”, cerca al límite entre los departamentos de Huila y Tolima.

- *Falla de Neiva*

Corresponde a un lineamiento o estructura transversal que se desplaza de suroriente al noroccidente, desde el piedemonte del macizo de Garzón al este de la población de Caguán, hacia el occidente pasando por el subsuelo al sur de la Ciudad de Neiva y que choca contra el sistema de fallas Baché – el Agrado Betania. Esta falla se encuentra cubierta por los depósitos del Neogeno lo que se ha evidenciado por el direccionamiento que toma el cauce del río Magdalena hacia el noroccidente y que corresponde con la zona de mayor dinámica fluvial de este tramo, y donde se encuentra el mayor número de islas y barras aluviales dinámicas, objeto principal de este estudio.

- *Anticlinal Palogrande*

Se localiza al norte de la ciudad de Neiva, desde la margen izquierda del río Magdalena hasta la margen derecha con rumbo NW – SE. Afecta en superficie rocas neógenas de la Formación Honda, es decir una deformación relativamente reciente del Terciario superior.

Cordillera Oriental

El Valle Superior del Magdalena está separado geológicamente de la parte montañosa del Macizo Colombiano y la Cordillera Oriental por una serie de fallas con distinta inclinación, pero, en general, con vergencia al noroccidente que en su conjunto hacen parte del Sistema de Fallas de Algeciras. Bajo el nombre de Sistema de Fallas de Algeciras se integran las fallas que tienen que ver con el levantamiento de la Cordillera Oriental, con un estilo tectónico transpresivo donde se destaca el movimiento lateral derecho y estructuras de cabalgamiento que en superficie se cartografían como lentes y en profundidad se interpretan como “estructuras en flor” ligadas a la falla principal que es la de mayor inclinación (Velandia et al., 2001).

- *Sinclinal San Antonio*

Ubicado al oriente de Neiva en el vértice del bloque de rocas sedimentarias que se encuentra limitado por rocas precretácicas al oriente y acumulaciones terciarias y cuaternarias al occidente, entre las fallas Potrerillos-Rivera y Baraya, respectivamente. Involucra rocas del Neógeno en su núcleo y sus flancos están afectados por otras fallas menores.

6. ESTUDIOS DE GEOMORFOLOGÍA Y DINÁMICA FLUVIAL

6.1. GENERALIDADES

La evolución geomorfológica del sistema fluvial del río Magdalena en los alrededores de la ciudad de Neiva, es el resultado de la interacción de los procesos morfodinámicos asociados con la erosión, transporte y aporte de sedimentos del sector y el control morfoestructural local, lo cual puede potencialmente afectar las poblaciones locales, obras de infraestructura incluyendo puertos y puentes y la navegabilidad del mismo río. Para realizar el estudio del sector desde el estrechamiento del Juncal, sitio de ponteadero y Mira, hasta el sector de La Vega, aguas abajo de la ciudad de Neiva, en una longitud aproximada de 25 km, fue necesario considerar de manera general las condiciones de formación de la gran llanura aluvial del Valle Superior del Río Magdalena, la información básica sobre la naturaleza de los depósitos de aluvión reciente del fondo del valle y vega del cauce activo.

6.2. GEOMORFOLOGÍA

Con el fin de contribuir en el análisis de estabilidad del sistema de barras e islas del río Magdalena para el sector mencionado, se realizó el estudio geomorfológico en el tramo del valle (ver Plano 5), con especial énfasis en la definición de las condiciones de estabilidad de las orillas actuales del cauce, con base en la fotointerpretación histórica y reciente de su morfodinámica y su categorización desde el punto de vista de estabilidad.

El análisis comprendió la identificación de las geoformas en las márgenes del valle y en el cauce, delimitando las unidades litomorfológicas presentes, determinando la interacción entre el río y su valle mediante el análisis de su estado de equilibrio morfodinámico. Este análisis se apoyó en la identificación de las principales geoformas aluviales y en la dinámica fluvial del sector incluyendo fenómenos como divagación o migración lateral de sistema fluvial, cambios de curso, erosión, depositación e inundación.

6.2.1. Unidades geomorfológicas

Con base en la interpretación de fotografías aéreas existentes (Tabla 28), la información secundaria y el empleo de mapas topográficos, se realizó la cartografía geomorfológica donde se identifican y describen las principales unidades presentes,

estableciendo su origen (génesis), y los cambios (morfolodinámica y dinámica fluvial), a que han sido sometidas a través del tiempo.

Tabla 28. Listado de fotografías aéreas. Sector Juncal-Neiva

| VUELO | AÑO | FOTOS | ESCALA | DATOS |
|------------------------|------------|-------------|----------|--------------|
| Vuelo A.E 186 Faja 26 | 2004 | 907 a 916 | 1:24000 | Cormagdalena |
| Vuelo A.E 186, Faja 25 | 2004 | 875 a 886 | 1:24000 | Cormagdalena |
| C-2520 | 20/11/1993 | 141 - 145 | 1:49.800 | IGAC |
| M-1045 | 06/02/1961 | 2202 - 2206 | 1:50000 | IGAC |

En general el río Magdalena desde el sitio de la estación hidrométrica El Juncal hasta el sector de La Vega, aguas bajo del área urbana de la Ciudad de Neiva, es predominantemente de tipo unicanal recto, con muy baja sinuosidad (S) en algunos tramos especialmente, en promedio $S = 1.2$, en áreas donde el control litológico es predominante y transcurre disectando los depósitos cuaternarios de la planicie aluvial, unidad morfológica sobre la que se desarrolla su valle y los de sus ríos tributarios. Sin embargo, frente a la ciudad de Neiva, el río presenta una transformación morfológica con el desarrollo de un sector dominado por numerosas islas y brazos que lo asemejan a un cauce de tendencia trenzada a anastomosada por la alta carga sólida, más no por ser un río de piedemonte. Aguas abajo de la confluencia del río Las Ceibas, el cauce del Magdalena se vuelve, de nuevo, unicanal con una baja sinuosidad.

Entre las principales formas de acumulación se pueden destacar las terrazas y los depósitos aluviales recientes, entre los cuales se pueden diferenciar las barras móviles, islas y zonas de playas, orillares y zonas inundables o vegas de divagación. En sectores aledaños al valle y aún en las orillas, afloran elementos estables de fácil identificación entre la provincia aluvial, representando unidades geológicas asociadas con las terrazas cuaternarias. Adicionalmente, al norte de la confluencia del río Las Ceibas, se desarrollan un conjunto de colinas redondeadas de baja altura conformadas por rocas sedimentarias plegadas de edad Terciario.

De acuerdo con lo anterior, las principales unidades geomorfológicas descritas para la cuenca del Valle Superior del Magdalena y agrupadas en el Plano 5 son:

- Depósitos aluviales **(F)**
 - Vega de divagación **(Fa1)**
 - Barras aluviales recientes **(Fa3)**
 - Orillares y Playas
 - Depósitos aluviales Antiguos **(Fa4)**
 - Abanicos Aluviales Fluvio-volcánicos **(Fav)**
- Terrazas
 - Terrazas Bajas **(Ftb)**
 - Terrazas Medias **(Ftm)**

- Terrazas Altas **(Fta)**
- Lomeríos Disectados **(Sc)**
- Lomas Estructurales plegadas denudacionales **(Sud)**
- Lomas Volcánicas y volcanoclásticas **(Su)**
- Morfodinámicas
 - Lechos del río (Mayor y Menor)
 - Paleocanales - Meandros
 - Talud de socavación

Las principales unidades geomorfológicas observadas en el Valle Superior del río, especialmente asociadas a las márgenes del río Magdalena en los alrededores de Neiva se describen a continuación:

6.2.1.1. Depósitos aluviales (F)

Dentro de la unidad geomorfológica de la llanura aluvial del río Magdalena, se agrupan geoformas que se han desarrollado en el valle como planicies aluviales conformadas por terrazas (Ft), media y baja, junto con los depósitos en la vega de divagación (Fa1) con islas, barras longitudinales – laterales, orillares y zonas de playas; depósitos aluviales recientes (Fa3), asociados con orillares y barras antiguas formadas por la migración del cauce en los últimos años, de los que se tiene registro de su dinámica a partir de las fotografías aéreas históricas; y depósitos aluviales antiguos (Fa4). La zona aluvial está constituida por materiales en tránsito o barras del cauce, parcialmente estabilizados con gravas, arenas y limos sin consolidar con alta permeabilidad y que corresponden a las formas actuales de acumulación aluvial, en la mayoría de los casos como vega de divagación, afectada por los fenómenos de desbordes y socavación del río (ver Plano 5).

Se encuentran también limos y arenas en el lecho del río sobre las geoformas descritas anteriormente en canales y paleocanales, sinuosidades y en los escasos meandros abandonados correspondiendo con la planicie aluvial del río Magdalena. En este sector no se desarrollan depósitos lagunares comúnmente asociados con las depresiones inundables o cubetas de inundación y ciénagas del Magdalena medio, predominando los procesos de desborde ocasional con el depósito de sedimentos finos y medios sobre las vegas de divagación.

Estos sedimentos de la planicie aluvial son disectados durante períodos de poca o relativa estabilidad de la corriente, generándose así una vega de divagación por la incisión en el lecho del río, con socavación lateral por las corrientes, formándose así el talud de socavación y en algunos puntos sobre las terrazas emparejadas; terrazas aisladas en un lado del cauce o enfrentadas a zonas de barras o playas recientes a diferentes alturas del lecho.

Los suelos de las planicies aluviales son producto de depósitos recientes de desborde ocasional, areno-limosos y micáceos. El desarrollo de los perfiles está generalmente limitado por cambios en la estratificación, cambios en el tamaño de las partículas y en algunos casos por la presencia del nivel freático; tienen coloraciones café rojizas, son muy sueltos y friables y en algunos sectores algo compactos en estado seco, y localmente en los brazos y meandros abandonados fangosos, en estado húmedo y con materia orgánica. Las unidades principales que comprenden los depósitos aluviales son:

Vega de Divagación (Fa1)

La vega de divagación está constituida por el canal actual del río (lecho menor) y por las áreas aledañas al lecho mayor del río, donde frecuentemente en caudales altos existe desborde. Esta es la zona de mayor inundación y simultáneamente la zona de migración lateral del flujo a través del tiempo, conformada por depósitos aluviales recientes y antiguos, con existencia de barras u orillares y playas, junto con islas estables o parcialmente estabilizadas. Esta unidad se encuentra ampliamente distribuida a lo largo del cauce frente a Neiva donde predominan las barras e islas aluviales, estabilizadas y cartografiadas en el Plano 5

Barras Aluviales recientes (Fa3)

Se incluyen en esta unidad los depósitos aluviales recientes, relacionados con las geoformas móviles de la vega de divagación aluvial, formadas a partir de barras u orillares paralelos o curvos en las sinuosidades del cauce, junto con zonas de playa que se estabilizan y cubren de vegetación. En esta zona aluvial los sedimentos fueron acumulados de dos maneras: por la migración histórica lateral de los flujos dentro del cauce lo cual generó la formación de las unidades; y por la depositación vertical de sedimentos en épocas de crecidas transportados por los flujos de agua que inundan toda la planicie aluvial incluyendo aún, algunos niveles de terrazas y todo el lecho mayor, dando como resultado una acumulación de sedimentos en capas finas sobre los sedimentos antiguos.

Los sedimentos dentro del cauce en islas y barras, son generados por la divagación lateral alterna y se conservan por la divagación de los canales dentro del cauce. Estos sedimentos están constituidos esencialmente por limos, arenas y alto contenido de gravas. Las barras son acumulaciones inestables de materiales transportados por el río como carga de fondo y en suspensión que se forman en la mitad del cauce o en posición lateral, los cuales emergen en épocas de aguas bajas y medias.

Las islas son antiguas barras aluviales, temporal o permanentemente estabilizadas cubiertas por vegetación en medio del cauce del río, diferentes de las islas conformadas por terrenos de cualquier otra naturaleza y encerradas por brazos difluentes (similares a los ríos trenzados actuales). (Figura 50).

Figura 50: Fotografía aérea de 2004.



Se aprecia el sistema de barras e islas frente a la Ciudad de Neiva. Nótese en color más oscuro las zonas de bosque y vegetación que en las orillas controlan la socavación, así como los canales de inundación por donde se desborda el río en zonas de paleocanales o descargas. Los paleocanales se notan como líneas tenues dentro de las islas.

6.2.1.1.1. Orillares y Playas

Los orillares corresponden a sedimentos aluviales recientes adosados a las orillas de las barras antiguas, y cuya morfología y geometría corresponde a líneas de sedimentos que representan antiguas orillas migrantes. Las playas son las amplias zonas de sedimentos de forma irregular que se adosan a las islas, y su apariencia en las fotos aéreas está asociada con manchas blancas, expuestas en aguas medias y bajas.

Los depósitos aluviales en la vega de divagación, están relacionados con las geoformas móviles o en tránsito dentro del canal principal o lecho menor del río, formando barras longitudinales, laterales u orillares actuales, paralelos o curvos en las sinuosidades del cauce, junto con zonas de playa y desarrollo de nuevas islas.

Estos sedimentos están constituidos esencialmente por limos, arenas y alto contenido de gravas, lo cual dificulta el desarrollo de playas exclusivamente arenosas en las orillas de islas y barras. Las barras son acumulaciones inestables de materiales

transportados por el río como carga de fondo que se forman en la mitad del cauce o en posición lateral, los cuales emergen en épocas de aguas bajas y medias.

Depósitos Aluviales Antiguos (Fa4)

Se incluyen dentro de esta unidad los depósitos aluviales antiguos, generados de la misma forma que los depósitos aluviales recientes, pero en tiempos antiguos dentro de la vega de divagación aluvial y afluentes menores. Esta unidad está conformada por antiguas barras u orillares que se delinean bien en las fotografías aéreas históricas (lineamientos de color rojo en el Plano 5), paralelos o curvos de antiguos canales del río o antiguas sinuosidades del cauce, junto con zonas de playa que se estabilizan y cubren de vegetación, o son utilizadas actualmente para actividades agropecuarias. En esta zona aluvial los sedimentos fueron acumulados por la migración lateral de los flujos dentro de la vega, dando como resultado una acumulación antigua.

Abanicos aluviales y fluvio-volcánicos (Fav)

A esta unidad corresponden los depósitos formados en la parte de piedemonte y semiplana, conformados por los lóbulos interdigitados de los materiales acarreados por los ríos afluentes del río Magdalena, que conforman la llanura aluvial ligeramente inclinada. Sobre estos depósitos fluye y disectan los sistemas de drenaje actual formando una gran variedad de cauces y patrones de disección de la planicie.

Los abanicos aluviales y fluvio-volcánicos han sido disectados por el río Magdalena y sus afluentes durante el Cuaternario, con el cambio de nivel de base local y la reducción en el aporte de sedimentos proveniente de los abanicos de piedemonte. Este proceso forma un escarpe pronunciado, que refleja una morfología de terrazas o abanicos aterrazados, como en el caso de los cauces afluentes de los ríos Loro y Ceibas, que aportan sedimento al cauce principal.

Dentro de los principales cuerpos de abanicos aluviales y fluvio-volcánicos se destacan:

El abanico de Rivera al suroriente de Neiva, el cual es el principal depósito aluvial cuaternario del área. Este se encuentra ampliamente distribuido sobre la margen derecha del río Magdalena, relacionado con las corrientes fluvio-torrenciales que drenan el flanco occidental del Macizo de Garzón. Es el resultado de la Orogenia Andina reciente, actualmente visible en la actividad neotectónica de la Falla de Rivera, acompañado por la fuerte denudación de la cordillera Oriental.

Corresponde a depósitos de color gris claro a amarillento, conformados por cantos y fragmentos heterométricos con diámetros generalmente entre 2 a 30 cm., dentro de una matriz limo arenosa. Se observan niveles de ceniza y orientaciones de flujo, principalmente en los niveles gruesos que en ocasiones muestran gradaciones locales o disposición caótica de sus componentes. En general, la selección es regular a mala; presenta niveles plano-paralelos lenticulares y superficies onduladas. Los depósitos del abanico están en contacto discordante con las formaciones del Cenozoico que le infrayacen y cubren una paleotopografía principalmente conformada por arenitas, lodolitas y conglomerados.

6.2.1.2. Terrazas (Fta, Ftm, Ftb)

Se definen como planicies aluviales antiguas a subrecientes, disectadas y abandonadas por el río. Dependiendo de su relación topográfica, las terrazas están constituidas por dos partes: el escarpe o talud y las planicies escalonadas encima del escarpe.

Estas geoformas aterrazadas constituyen acumulaciones aluviales o depósitos fluviales a torrenciales, asociados con los antiguos niveles de base del sistema fluvial del río Magdalena y sus afluentes. Una característica importante observada en las terrazas, es su diferenciación en niveles tal como sucede frente a Neiva, en el sector del Juncal, y en los cauces afluentes principales como los ríos Arenoso, Loro, Ceibas y quebradas menores. En general, las terrazas están caracterizadas por un buen drenaje, con suelos fértiles donde se desarrolla vegetación y cultivos sobre los depósitos aluviales.

Terraza Alta (Fta)

Aflora en las márgenes del río, aguas arriba y fuera de la zona de estudio. Se encuentra constituida por conglomerados gruesos con clastos de rocas sedimentarias en tamaños entre 5 y 20 cm., bien redondeados, embebidos en una matriz areno-arcillosa, generalmente rojizos, con taludes entre 3 y 5 m. de altura sobre la planicie. Este tipo de terraza genera zonas estables y más resistentes a la migración lateral, y a la vez constituye el límite del lecho mayor del río, evitando la divagación y controlando parcialmente la erosión lateral, lo cual hace a estos sectores muy atractivos desde el punto de vista de estabilidad.

Terraza Media (Ftm)

Aflora igualmente en las márgenes del río de manera diferenciable y no continua, claramente visible desde el sector del Juncal, hasta aguas abajo de la ciudad de Neiva. Se encuentra constituida por arenas y limos y en menor porcentaje por gravas poco consolidadas, generalmente con suelos rojizos, con taludes entre 3 y 5 m. de altura sobre la planicie limitando la vega de divagación, generando zonas estables y resistentes a la migración lateral. En algunos casos constituye el límite del lecho mayor del río, controlando en gran parte la divagación y la erosión de las márgenes.

Terraza Baja (Ftb)

Esta unidad hace referencia a las superficies formadas sobre la planicie aluvial y constituidas por sedimentos finos y medios, desde limos hasta arenas y gravas depositadas por el río y disectadas a la vez por él mismo, generándose socavación, fenómeno morfodinámico observado localmente en el cauce. Estas terrazas se han generado por la depositación de materiales finos en las épocas de crecida generándose una terraza baja por la incisión en el lecho del río y con socavación lateral por la corriente principal formándose el talud de las terrazas, las cuales en algunos puntos son emparejadas a lado y lado; aisladas en un lado del cauce; o enfrentadas a zonas de barras o playas recientes a diferentes alturas del lecho. Los suelos de las terrazas aluviales bajas son producto de depósitos recientes, limosos y micáceos.

Lomeríos Disectados (Sc)

La unidad geomorfológica de lomeríos disectados corresponde a pequeñas colinas redondeadas que no sobrepasan la cota 600 m.s.n.m, y que se encuentran ubicadas principalmente sobre la margen izquierda del río en el sector de los puentes cerca de Neiva. La unidad se deriva de una estructura sedimentaria subhorizontal del Terciario Superior, constituida por sedimentos arcillosos, arenosos y conglomeráticos con aspecto general de peneplanicie. Presenta suelos rojizos por alteración y con perfiles poco profundos, indiferenciables, conformados por rocas de los Grupos Huila y Honda, (mayor unidad litológica distribuida en el valle superior) altamente permeables y con un bajo contenido de materia orgánica. Generalmente en el fondo del valle, esta unidad se encuentra cubierta por sedimentos aluviales que en algunos casos cubrieron la paleotopografía del Terciario Superior.

La unidad de Lomeríos disectados en la Subcuenca de Neiva está representada por los Grupos Honda y Huila del Neógeno formando cerros de altura baja con pendientes muy suaves. Está constituida por una alternancia de capas de arcillolitas plásticas de color rojo, verde, morado y rojo moteado de blanco en capas muy gruesas que varían lateralmente a limonitas, con cuarzoarenitas y litoarenitas de grano medio a grueso de color gris y blanco poco cementadas. Las arenitas presentan la textura conocida como "sal y pimienta" y concreciones de arena con cemento calcáreo que generan formas caprichosas o cerros testigos.

Esta unidad se manifiesta como cuerpos resistentes que en algunos sectores actúan como un control litológico y como límite de divagación del río en el lecho actual o en el lecho mayor de inundación, como ocurre en la margen izquierda del cauce frente a los puentes de Neiva.

Lomas Estructurales Plegadas Denudacionales (Sud)

Está conformada por serranías y elevaciones del terreno cuya altura y morfología dependen de los procesos degradacionales determinados por el agua y la erosión laminar. Esta unidad se encuentra fuertemente deformada en la margen izquierda del río entre la ciudad de Neiva y el Peaje del norte, donde se desarrollan lomeríos asociados litológicamente a las rocas sedimentarias friables de los Grupos Honda, Chicoral y Huila, en donde la denudación ha jugado un papel importante en las geoformas actuales debido a la incompetencia de los estratos.

Estas unidades estructurales plegadas forman cuchillas con pendientes o planos estructurales buzando al oriente u occidente y contrapendientes o escarpes fuertes, por ser flancos de estructuras de plegamiento como el sinclinal de Bache, y los anticlinales de Palogrande, y de Dina, en los alrededores de Neiva. La litología de este relieve corresponde a las capas arcillosas con intercalaciones de areniscas de las formaciones terciarias, afectadas por el sistema de fallas de los bordes del Valle, generando inestabilidad de taludes y con valles intramontanos disectados por los principales cauces afluentes, incluyendo los principales sistemas de drenaje en las dos vertientes que drenan hacia el valle.

Esta unidad erosional o degradacional, aporta sedimentos a la red de drenaje, por los procesos morfodinámicos imperantes en la zona del alto Magdalena. Los escarpes son relieves claramente identificables en el área y a partir de las imágenes de sensores remotos, que corresponden litológicamente a las areniscas. Presentan cimas agudas, y un drenaje dendrítico el cual se hace denso a medida que se desciende; son frecuentes los desprendimientos y derrumbes (ver Plano 5).

Lomas Ígneas-Volcánicas y volcanoclásticas (Sv)

La unidad de lomas ígneas-volcánicas y volcanoclásticas, como fue definida, está conformada por rocas ígneas y volcánicas que afloran tanto en el fondo, como en los flancos del Valle Superior del Magdalena, y expuesta en la porción sur del área de estudio cerca de El Juncal, margen izquierda del Valle. Las rocas más representativas corresponden a las de edad Jurásico, conformadas por la Formación Saldaña de origen Vulcano-sedimentario. Las unidades del Triásico-Jurásico pueden estar intruídas localmente por rocas ígneas de composición intermedia, que conforman diques, stocks, plutones y batolitos expuestos en el flanco occidental de la cordillera. Por la ubicación sobre los flancos de la cordillera Central, esta unidad no aparece en el sector local del río Magdalena en Neiva.

6.2.1.3. Unidades morfodinámicas

Se presenta a continuación una descripción general de las principales morfologías generadas por los procesos dinámicos que se destacan en el área, asociados fundamentalmente con la migración lateral del cauce en tiempos históricos y que aún es un proceso imperante y responsable de las variaciones en la estabilidad de las orillas del río.

Lechos del río Magdalena

El análisis geomorfológico y las restituciones de las aerofotografías permiten distinguir dos tipos de lechos en el río Magdalena: el lecho mayor o de aguas altas, y el lecho menor o de aguas bajas, limitados en sus márgenes por orillas estables o inestables, orillares o por controles litológicos de roca o terrazas.

Lecho Mayor

Es una unidad morfológica e hidrológica, que contiene al lecho menor y por la cual circulan las aguas altas del río de manera esporádica en desbordes sobre la unidad o vega de divagación (Fa1). Sus límites están demarcados por el contacto entre los depósitos aluviales antiguos y recientes con las terrazas de la llanura aluvial. En algunos casos este límite está demarcado por la aparición de rocas que estabilizan las orillas, aunque en el lecho mayor se desarrollan o han desarrollado desbordes e inundaciones laminares de forma esporádica.

En general, el fondo del lecho mayor presenta una disposición heterogénea de los materiales, como es mostrado en las restituciones de fotografías de diferentes épocas,

debido a la divagación del lecho menor dentro de él. Cada variación en posición del lecho menor, permite la depositación del material tipo arena o grava en el fondo o lateralmente, que son cubiertos por materiales finos a medida que se produce disminución en la capacidad de carga y erodados para ser transportados, en época de aguas altas.

Lecho Menor

El lecho menor es el canal conocido como "el río" propiamente dicho, por el cual circulan las aguas bajas y probablemente medias, ya que en aguas altas después de desbordarlo, circulan por parte del lecho mayor. Se encuentra limitado en las orillas generalmente por taludes verticales que sufren procesos morfodinámicos como socavación lateral y colapsos, y se caracteriza por presentar migración lateral de las zonas de barras activas, cuyo material se desplaza durante las crecidas.

Paleocanales - meandros

Corresponde a otra unidad morfodinámica generada como una respuesta a la dinámica fluvial de migración lateral del río Magdalena y sus afluentes, por su divagación y difluencia sobre la planicie aluvial y la vega de divagación. Se define la zona de paleocanales y meandros, a aquellas partes donde se han, o se están generando curvas en el cauce, lo cual no está muy bien desarrollado en la planicie aluvial en el área de influencia del tramo estudiado.

Se aprecian más los paleocanales sobre las barras aluviales estables o sobre los sedimentos aluviales antiguos, así como en algunos tramos donde la meandrificación se presenta en roca, aguas abajo de Neiva, en el sector de la Mira de Angostura. Esta unidad no es muy frecuente en el valle superior del río.

Talud de socavación

Corresponde a los escarpes originados por los procesos de socavación lateral en las márgenes del río socavando rocas, depósitos de terraza o sedimentos aluviales recientes y antiguos (Fa1- Fa3), conformados principalmente por gravas, arenas finas, limos y arcillas poco cohesivos y fáciles de erodarse por acción del agua en épocas de aguas bajas cuando la gravedad y la acción de oleajes naturales o por acción de las embarcaciones, desprenden bloques del material aluvial. En las zonas de rocas y terrazas el proceso de socavación y divagación lateral es más lento por lo tanto la migración lateral del cauce se hace casi imposible.

6.2.2. Análisis de orillas Sector El Juncal-Neiva

El tramo del río Magdalena entre el Juncal y Neiva, se caracteriza por presentar rasgos geomorfológicos, diferenciables y asociados con los principales tipos de materiales que conforman las orillas y que dependen de las unidades rocosas y geomorfológicas presentes. A continuación se presenta un análisis de la evolución morfodinámica de las orillas del río, teniendo como base los estudios anteriores y el análisis fotointerpretativo que dio origen al análisis de dinámica fluvial con base en los diferentes vuelos aéreos de varios años, agrupados en los periodos de 1950 a 1970 y de 1990 al 2000 (Tabla 28), con base en el vuelo tomado en noviembre de 2004, y con el control de campo a lo largo del tramo estudiado cuyos resultados están representados en el mapa de estabilidad de orillas (ver Plano 6).

Estos materiales permiten categorizar las orillas del río como de Resistencia Alta, Resistencia Media-Alta; Resistencia Media y Resistencia Baja a la erosión fluvial, asociadas con los principales tipos de materiales que conforman las orillas dependiendo de las unidades geológicas y geomorfológicas presentes. Estos materiales permiten categorizar las orillas del río como estable, poco estable, inestables y muy inestables así:

6.2.2.1. Orillas de resistencia alta

La primera categorización de las orillas del río corresponde a las de resistencia alta, identificadas con color verde en la cartografía (Plano No 6), y que representan la exposición de rocas competentes que se agrupan en las unidades geomorfológicas, que de manera indistinta están formadas por Abanicos Aluviales Fluvio-volcánicos (Fav), y Lomeríos Disectados (Sc). Estas unidades son las que forman taludes y escarpes pronunciados, son más resistentes a la erosión y a la socavación lateral y la litología genera control e impide o disminuye la velocidad de migración lateral, presentándose en los análisis morfodinámicos históricos sin cambios laterales.

Para el sector de estudio, el río Magdalena presenta controles litológicos por la presencia de rocas sedimentarias terciarias que afloran de manera localizada en ambos márgenes, a partir del Juncal hasta la Curva del río en La Vega, aguas abajo de Neiva.

Tabla 29. Clasificación de orillas en el río Magdalena. Sector Juncal-Neiva

| RESISTENCIA | UNIDAD GEOMORFOLÓGICA | MATERIALES | RASGOS | CLASE |
|--|-----------------------|--|---|--------------|
| Resistencia Alta (Color Verde) | Lomeríos disectados | Rocas sedimentarias | Orillas Permanentes | Estables |
| Resistencia Media – Alta (Color Amarillo) | Terrazas | Sedimentos conglomerados arenas y arcillas | Menos permanente susceptible a la erosión | Poco Estable |

Tabla 29. Clasificación de orillas en el río Magdalena. Sector Juncal-Neiva

| RESISTENCIA | UNIDAD GEOMORFOLÓGICA | MATERIALES | RASGOS | CLASE |
|--------------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------|---------------|
| Resistencia Media (Color Naranja) | Depósitos aluviales antiguos y recientes Barras e islas | Sedimentos aluvio-lacustres | Orilla Móvil | Inestables |
| Resistencia Baja (Color Rojo) | Depósito aluviales recientes, vega de divagación | Barras, orillares, Aluvión Reciente | Orillas muy Móviles | Muy Inestable |

6.2.2.2. Orillas de resistencia alta-media

El segundo tipo de orilla de resistencia Alta Media, identificado en la cartografía con color amarillo, está conformado principalmente por Lomeríos disectados (Sc) y por los sedimentos aluviales antiguos (Fa3) de la llanura aluvial formado por sedimentos de terrazas (Ft), sedimentos conglomerados arenas y arcillas finos de arenas y arcillas menos permanente y susceptible a la erosión ocasional, que podría presentar erosión y permitir la disminución de la banca y ser puntos incipientes para la migración, asociada a los demás factores.

En estas unidades el río ha generado socavación leve de las orillas, debido a la susceptibilidad de los materiales a erodarse, a la alteración por las condiciones atmosféricas, y por presentar desplomes de los taludes de manera eventual. Para el sector, el río presenta orillas de resistencia media alta por controles litológicos formados por la presencia de rocas sedimentarias terciarias más susceptibles a erodarse, que afloran de manera localizada en ambas márgenes.

6.2.2.3. Orillas de resistencia media

El tercer tipo de orilla de Resistencia Media, identificado en la cartografía con color café, está conformado de manera indistinta por sedimentos aluviales depositados por el mismo cauce de manera histórica en forma de Terrazas Bajas (Ftb), Terrazas Medias (Ftm), y por algunos de los Depósitos aluviales Antiguos (Fa4), conformados por antiguas barras aluviales y orillares que habían sido estabilizados y que presentan gran susceptibilidad a erodarse, generándose migración lateral, y donde se encuentran las evidencias de este proceso morfodinámico histórico.

Estas orillas están conformadas principalmente por sedimentos de origen aluvial formados por conglomerados, arenas de medias a finas y arcillas menos frecuentes y susceptibles a la erosión, que podrían presentar erosión y permitir la disminución de la banca y ser puntos muy vulnerables para la migración lateral, asociada con los demás factores dinámicos. Para el sector, el río Magdalena presenta orillas de resistencia media por la presencia de sedimentos aluviales más susceptibles a erodarse, que están ampliamente expuestos en ambas márgenes, en zonas donde predominan orillas de resistencia baja a la erosión.

6.2.2.4. Orillas de resistencia baja

El cuarto tipo de orilla de Resistencia Baja, identificado en la cartografía con color rojo, está conformado de manera definida por sedimentos aluviales depositados por el mismo cauce de manera histórica y reciente, asociados a la vega de divagación (Fa1), Barras aluviales recientes (Fa3), y en menor proporción con Depósitos Aluviales Antiguos (Fa4).

Estas orillas están conformadas principalmente por sedimentos de origen aluvial formado por el material de arrastre y que migran dentro de la vega de divagación reciente formando barras, que no tienen orillas permanentes y que están migrando dependiendo del caudal, sedimentos, y condiciones atmosféricas e hidráulicas y cambiantes imperantes en la zona del Valle Superior del río Magdalena. Están formados por conglomerados, arenas de tamaño medio a fino y arcillas menos frecuentes y susceptibles a la erosión continua y permiten la disminución de la banca, y son los puntos más vulnerables para el inicio de procesos de migración lateral y ampliación del cauce, procesos de dinámica fluvial asociados a los demás factores dinámicos.

Para el sector de estudio, el río Magdalena presenta orillas de resistencia Baja donde el cauce se hace más sinuoso a meándrico, evidencia de la migración lateral y la inestabilidad de las orillas por la presencia de sedimentos aluviales más susceptibles a erodarse, que están ampliamente expuestos en ambas márgenes, a lo largo del recorrido del sector de estudio.

6.3. DINÁMICA FLUVIAL – MORFOGÉNESIS Y ESTABILIDAD DE ORILLAS

Se realizó el estudio morfodinámico con especial énfasis en el análisis de la dinámica fluvial histórica, la definición de las características de las orillas y la categorización geomorfo-dinámica con base en el estudio foto-interpretativo a partir del material aerofotográfico histórico existente (Tabla 28).

6.3.1. Dinámica fluvial

La dinámica fluvial se entiende como el proceso de identificar y cartografiar los principales cambios morfodinámicos del cauce y las orillas del río Magdalena incluyendo la migración lateral del cauce sobre los sedimentos aluviales, poco o nada consolidados, generando cambios en la posición del canal principal, formación de canales secundarios o paleocanales, erosión y sedimentación de barras y orillares dependiendo de la carga sólida transportada, desbordes e inundaciones, sobre los sedimentos aluviales antiguos, erosión de orillas y definición de orillas estables por la exposición de rocas competentes poco o nada erodables, las cuales limitan el lecho mayor o menor del río. Potencialmente, también debe incluirse el control del nivel de base, es decir, la potencial inestabilidad de la pendiente del río dado que se encuentra en una zona tectónicamente activa

- **PERIODO 1950 -1970**

Para este período se seleccionaron las fotografías aéreas del año 1961, de los diferentes tramos debido a que para ese período, no existen fajas completas a lo largo del cauce, y fue necesario agrupar las más cercanas en edad, para definir las unidades roca y unidades geomorfológicas, la morfodinámica, la variabilidad de las orillas, la formación de nuevas barras, islas, orillares o inundaciones, etc.

- **PERIODO 1990 A 2000**

Para este período se seleccionaron las fotografías de fajas aéreas del año 1993, de los diferentes tramos y de igual manera se agruparon las existentes, para complementar los cambios morfodinámicos con énfasis en la variabilidad de las orillas, la migración y/o formación de nuevas barras, islas, orillares, etc.

- **PERIODO ACTUAL**

Con base en la información de un vuelo aéreo del año 2004, se realizó un análisis detallado del estado de erodabilidad y migración lateral de orillas, formación de nuevas barras ya que la dinámica fluvial es bastante activa por lo menos para algunos tramos donde la llanura aluvial es más amplia.

6.3.1.1. Sinuosidad del canal del río Magdalena

Desde el punto de vista morfométrico se determinó principalmente la sinuosidad del canal a lo largo del sector de estudio a partir de la relación de longitud, midiendo la longitud de los tramos estudiados en el valle en línea recta, y la misma longitud a lo largo de la vaguada del canal, donde sinuosidad $S = \text{Distancia } AB/A'B'$ donde A y B son el mismo punto pero de longitudes diferentes, así cuando $S \leq 1.5$ el cauce es recto, o $S \geq 1.5$ el cauce es sinuoso.

De acuerdo con lo anterior la sinuosidad obtenida para el primer sector de estudio, es de $S = 1.2$, teniendo entonces el río Magdalena, un cauce unicanal recto (Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32) para el tramo 1. Para el tramo 2 entre los afluentes de la Qda. Arenosa y el río Las Ceibas, el río Magdalena presenta un cambio marcado a un patrón multibrazo (trenzado a anastomosado). Finalmente, en el tramo 3 el cauce se vuelve de nuevo unicanal recto con una sinuosidad similar al primer tramo.

Se analizaron los procesos dinámicos que han modificado las márgenes y sedimentos que conforman las áreas aledañas al cauce junto con los modelados geomorfológicos preexistentes asociados al sistema fluvial de erosión natural y de divagación lateral generando para el río Magdalena, en general un cauce de tipo unicanal, a ligeramente meándrico en algunos tramos fuera del área de estudio, con desarrollo de desplazamientos laterales, taludes rocosos estables, brazos migrantes, terrazas, orillares, playas, barras e islas sinuosas, que conforman tanto los sedimentos aluviales antiguos como los sedimentos recientes.

La morfogénesis del cauce del río debe relacionarse en primer lugar con los aportes de sedimentos, tanto antiguos como recientes, representados por los afluentes activos de la Qda. Arenosa y el río Las Ceibas, las terrazas aluviales asociadas y los conos torrenciales recientes y antiguos tal como el de Rivera. En forma pasiva, los controles geológicos regionales tanto estructurales como litológicos también imponen ciertos controles sobre el rumbo y dirección general del curso del río. Finalmente, la morfogénesis del cauce debe reflejar las condiciones de pendiente local y regional, variable resultado del autoajuste hidráulico bajo la influencia del aporte de sedimentos y la tectónica potencialmente activa en la zona, capaz de alterar localmente el gradiente del cauce (Schumm, 1977)

6.3.2. Morfogénesis

El río Magdalena disecta sobre sub-cuencas de origen tectónico con importante cantidad de relleno de origen aluvial y coluvial separadas por sistemas de colinas, lomas y terrazas de poca elevación, junto con sedimentos aluviales asociados con los procesos morfogenéticos. Aún en estos últimos, los valles que convergen hacia la llanura del río, se encuentran obturados por los sedimentos que componen ésta, o sedimentos nuevos que causan eventualmente el bloqueo de las aguas como en Río Neiva, Río Bache, etc. Esto indica que regionalmente este sector, se caracteriza por una tendencia generalizada a la disección y en menor proporción a la acumulación de sedimentos.

Como consecuencia de este fenómeno, el río frente a Neiva, presenta subdivisiones en varios brazos, pero es predominantemente unicanal, con pocos cambios de curso por desviación a raíz de los pocos desbordamientos que caracterizan tanto la morfología de la llanura aluvial como la dinámica actual, caso del sector entre Neiva y Aipe, donde el río presenta una de las mayores zonas de migración lateral histórica.

Desde el Juncal el río utiliza el cauce mayor estable dentro del lecho mayor y aguas abajo en Neiva, posee una dinámica de conexión de una serie de brazos, islas y barras presentándose apenas sinuoso, de orillas con taludes inestables o estables según la unidad morfológica presente, y con taludes muy estables cuando la orilla está formada por rocas con mínima erosión, salvo en los tramos cortos en donde ocupa el lecho mayor de antiguos brazos y su comportamiento es inestable.

El río transcurre principalmente en un cauce unicanal recto a ligeramente sinuoso y de lecho aluvial predominantemente y poco rocoso, debido a que la sinuosidad en el lecho del río representa curvas alternas que se desplazan más o menos activamente. Esta morfogénesis está presente en algunos puntos por encontrarse sedimentos aluviales recientes, donde fluye sobre materiales en tránsito y transportados por él mismo, donde hay libertad para ajustar dimensiones, forma y patrón del cauce, limitado por orillares y preferencia de sedimentos aluviales antiguos y recientes.

Como se aprecia en los Planos 6 y 7 cuando se generan estos fenómenos en ambas márgenes del río dentro del tramo estudiado, algunas de las sinuosidades permanecen como canales entre barras y zonas de inundación del río, es decir, que son ocupados durante las crecientes alcanzando gran parte del lecho mayor, generando en algunos

casos zonas de recarga o alimentación natural para madre viejas (ver Planos 6 y 7). Por otra parte, algunas de estas sinuosidades, que generan además barras longitudinales y zonas de playa pueden ser taponadas en sus extremos originando lagos curvos y alargados, donde se produce sedimentación de limos y arcillas acompañados a veces de abundante material vegetal.

En general, la dinámica fluvial histórica representada en los mapas respectivos, la presencia de paleocauces, activos, no activos o parcialmente activos en la llanura aluvial, cierre de brazos de manera natural, y cambios de cauces, indican que esta zona está en proceso de continuo cambio asociado a eventos tectónicos y sedimentológicos.

Se puede resumir que en el sector de estudio, donde se concentra un conjunto anómalo de islas aluviales entre dos tramos de carácter unicanal recto, la morfodinámica parece estar influenciada por los aportes locales de sedimentos y una tectónica de origen reciente. Los hechos más sobresalientes de este último factor son el alineamiento de la denominada Falla de Neiva y el anticlinal de Palogrande, este último una estructura de origen reciente con levantamiento y plegamiento de las formaciones geológicas superficiales, incluyendo las terrazas fluvio torrenciales altas en el sector oriental de Neiva. Este hecho abre la posibilidad de una deformación neotectónica del lecho del río Magdalena aguas abajo de Neiva, de carácter leve, pero suficiente para alterar la morfodinámica del sistema fluvial y su capacidad de transporte de su carga de fondo.

6.3.3. Análisis morfodinámico y sectorización del río.

Una de las características sobresalientes del sector estudiado, corresponde con tramos en los que se destacan estrechamientos en materiales rocosos más resistentes, como en la Mira de El Juncal, puntos a partir de los cuales el río se ensancha, tanto aguas arriba como aguas abajo y que genera un comportamiento hidrodinámico propio que afecta los procesos de sinuosidad, migración, socavación, erosión y depositación, lo que hace importante conocer su composición, génesis y comportamiento histórico.

Para caracterizar las orillas y el análisis de dinámica fluvial, el sector del río se ha dividido en 3 tramos principales, listados a continuación y en los cuales se realizaron mediciones morfométricas las cuales se presentan para cada tramo individualmente, así:

1. Tramo 1 - Mira El Juncal - Bocas de Quebrada el Arenoso
2. Tramo 2- Bocas de Quebrada el Arenoso - Bocas del río Ceibas
3. Tramo 3- Río Ceibas - Bocas de Quebrada El Venado

6.3.3.1. Tramo 1. Mira El Juncal – Bocas de quebrada El Arenoso

Desde la Mira del Juncal, Km., 1375, sitio de ponteadero del nuevo puente sobre el río, el cauce del río se estrecha con patrón de tipo unicanal sin evidencias históricas de migración lateral, hasta la confluencia de la Quebrada el Arenoso en el Km. 1366 sobre la margen derecha, (Figura 51). A partir de la Q. Arenoso, el valle del río Magdalena se amplía de manera considerable desapareciendo las unidades de resistencia alta a la erosión y predominando las orillas de resistencia media a resistencia baja, conformadas por depósitos aluviales antiguos, terrazas y depósitos aluviales, donde depósitos recientes forman las orillas.

La Tabla 30 muestra las principales características morfométricas del tramo 1.

Tabla 30. Morfometría El Juncal – Bocas Quebrada El Arenoso

| LONGITUD | SINUOSIDAD | PATRÓN DE CANAL | ANCHO MÍNIMO | ANCHO DE MIGRACIÓN | ISLAS Y BARRAS | CURVAS | RESISTENCIA DE ORILLAS |
|-----------------|-------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|---------------|-------------------------------|
| 9 Km. | 1.16 | Recto | 80 m. | 1500 m. El Edén | Escasas | Suaves | Media |

Dinámica Fluvial: Para este tramo el análisis se basó en las fotografías aéreas seleccionadas para los periodos de 1950–1970 y 1990-2000, y con las fotografías del año 2004 vuelo A.E 186 Fajas 27 y 26 (Tabla 28).

Para el período 1950-1970, las fotografías muestran que desde el Juncal, el flujo principal se desplazaba recto con poca tendencia de socavación y con sedimentación de algunas barras aluviales longitudinales, hasta el sitio de las bocas de la Q. Arenoso. Para el año 1961 se aprecia un gran aporte de sedimentos de la quebrada el Arenoso, reflejándose en el cauce principal del río Magdalena, cambiando de manera notoria la forma de las barras e islas aguas abajo en el tramo 2.

Figura 51: Fotografía aérea de 1961



Donde se aprecia el tramo 1, desde el Juncal hasta La Quebrada Arenoso. Nótese el alto aporte de sedimentos de esta fuente que ha influido en la dinámica del sector insular aguas abajo en el tramo 2. Para este tramo el cauce es unicanal recto con algunas barras en las partes sinuosas del cauce.

Para el periodo 1990-2000, con base en las fotografías de 1993, se aprecia una migración del flujo hacia la orilla izquierda, desplazándose la gran barra ubicada aguas arriba del Juncal hacia la orilla derecha y conformando el cauce de manera igual al actual de tipo unicanal hasta la confluencia de la quebrada el Arenoso.

Figura 52: Fotografía aérea de 1993.



Donde se aprecia el tramo 1, desde el Juncal hasta La Quebrada Arenoso. Nótese el incremento en el tamaño de las barras con respecto a la imagen anterior, las cuales están estabilizadas, tanto en el cauce como en las orillas. Los sedimentos de la Q. Arenoso han sido distribuidos aguas abajo, hacia el sector insular aguas abajo en el tramo 2. Para este tramo el cauce es unicanal recto sin cambios y con escasas barras en las partes sinuosas del cauce.

Figura 53: Mosaico de fotografías aéreas del año 2004.



Situación actual del tramo 1, desde el sitio de ponteadero en la Mira del Juncal, donde se aprecia la obra del puente, hasta la Quebrada Arenoso.

Para el año 2004 (Figura 53), los principales cambios que se han presentado en el cauce para este tramo han sido la posición de las barras migrantes dentro de la vega de inundación, se han agrandado las barras y algunas se estabilizaron por el

desarrollo de vegetación. No se aprecian zonas de migración lateral, ni socavación. Los cauces afluentes sobre la margen derecha aportan sedimentos a partir del piedemonte de la cordillera Oriental y el Abanico de Rivera, presentando cauces trenzados de piedemonte, principalmente la Qda. El Arenoso y río Frío. Estos sedimentos hacen parte de la carga sólida que influye en la dinámica del tramo 2, en el sector de barras frente a Neiva.

En la Figura 53 se nota que las orillas del cauce en general son estables y están conformadas por vegetación de bosque de galería, que hace que sus orillas sean estables. Se notan zonas blancas sobre los depósitos aluviales en la margen derecha que evidencian zonas de inundación por desbordes del cauce, en la única curva pronunciada sobre la margen derecha. En general las orillas están formadas por sedimentos aluviales del abanico, terrazas y depósitos aluviales antiguos. Este tramo es estable por procesos de dinámica fluvial lateral o migración.

6.3.3.2. Tramo 2. Bocas de quebrada El Arenoso – Bocas del río Ceibas

Desde la confluencia de la Quebrada El Arenoso, el cauce del río se amplía notoriamente con patrón de tipo anastomosado a trenzado y el valle del río Magdalena se amplía de manera considerable predominando las orillas de resistencia media a resistencia baja, conformadas por depósitos aluviales antiguos, terrazas y depósitos aluviales desde el Km 1366 a 1358, donde depósitos recientes forman las orillas con tendencia a migrar lateralmente y el cauce continúa con tramos rectos difluentes de tipo multicanal.

Es notoria la gran barra o isla de la parte central desde la boca de la quebrada, sitio a partir del cual el cauce presenta sus bifurcaciones con evidencias históricas de intensa migración lateral, hasta la confluencia con las bocas del río Ceibas, en el área urbana de Neiva.

Se diferencia para este tramo, que en la margen izquierda del río, en el sector de la Hacienda el Hoyo hasta la quebrada Gallinazo, afloran rocas terciarias del Grupo Honda, que conforman la unidad geomorfológica de lomeríos disectados, dando límite al lecho mayor del cauce y una zona estable donde se controla la migración lateral del cauce hasta la aparición de los niveles de terraza baja, frente a la desembocadura del río Ceibas. La Tabla 31 muestra las principales características morfométricas del tramo 2.

Tabla 31. Morfometría Quebrada El Arenoso – Bocas del río Ceibas

| LONGITUD | SINUOSIDAD | PATRÓN DE CANAL | ANCHO MÍNIMO | ANCHO DE MIGRACIÓN | ISLAS Y BARRAS | CURVAS | RESISTENCIA DE ORILLAS |
|----------|------------|----------------------|--------------|--------------------|----------------|----------|------------------------|
| 9 Km. | 1.27 | Recto a anastomosado | 80 m. | 1500 m. Neiva | Numerosas | Sinuosas | Media; Baja |

Dinámica Fluvial: Para este tramo el análisis se basó en las fotografías aéreas seleccionadas para los períodos de 1950–1970 y 1990-2000, y con las fotografías del año 2004 vuelo A.E 186 Fajas 27 y 26 (Tabla 28).

Para el periodo 1950-1970, las fotografías muestran desde la boca de la quebrada Arenoso y hacia aguas abajo la aparición de numerosas barras centrales e islas y barras longitudinales, entre brazos difluentes.

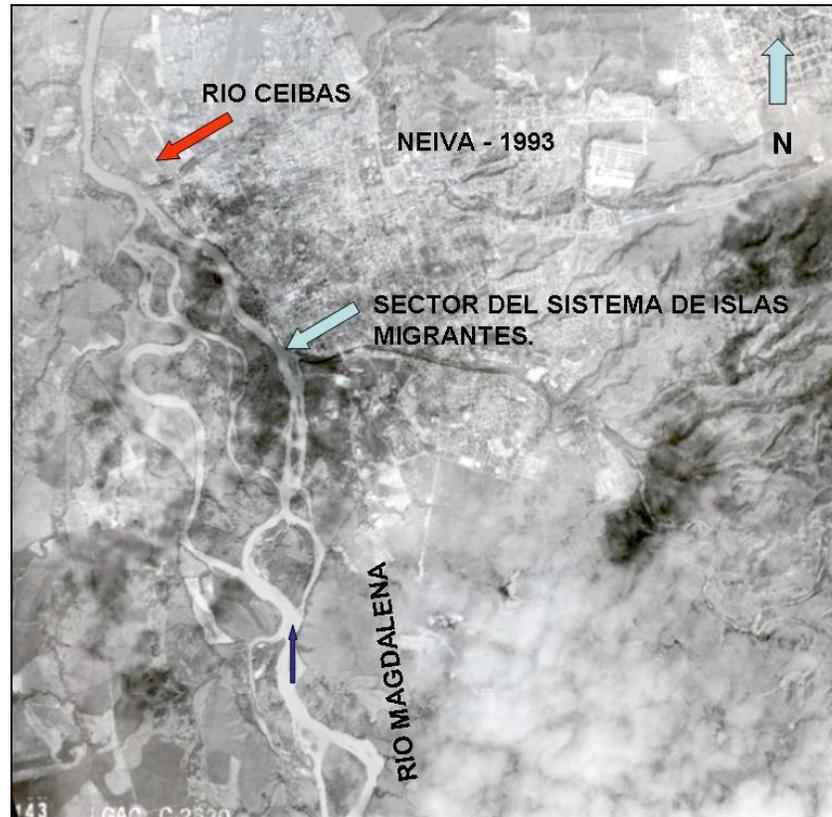
Figura 54: Fotografía aérea del año 1961.



Sector insular frente a Neiva, tramo 2 de estudio, donde se aprecian en color blanco las zonas de barras en formación, sin vegetación con canales intermedios, migrantes entre los sedimentos en tránsito, y con zonas de desborde sobre la margen derecha. Nótese el alto aporte de sedimentos de la Q. Arenoso, los cuales son arrastrados hacia aguas abajo, y modifican la zona de barras.

Para el año 1961 se aprecia un gran aporte de sedimentos de la quebrada el Arenoso, reflejándose en el cauce principal del río Magdalena, cambiando de manera notoria la forma de las barras e islas. Los colores blancos indican una alta sedimentación y migración de la carga sólida, evidencias del ensanchamiento del cauce. Nótese en la Figura 54 como para esa época, el flujo principal del cauce cruzaba pegado a la zona urbana de Neiva, marcado con la flecha de color rojo.

Figura 55: Fotografía aérea del año 1993.



Sector insular frente a Neiva, tramo 2 de estudio con mucha nubosidad, donde se aprecian las islas estabilizadas con vegetación y la geometría de las barras cambiada con relación a las fotos de 1961. La tendencia del cauce ha sido migrar hacia la izquierda o al occidente, formándose canales meándricos. Nótese el alto aporte de sedimentos, los cuales fueron arrastrados y depositados en este tramo.

Para el año 1993 (Figura 55), es notoria la variación en la geometría y forma de las barras e islas en el tramo 2, cambio de la forma de las barras, incremento de la sedimentación en las orillas con vegetación, y la geometría de las barras ha cambiado con relación a las fotos de 1961. La tendencia del cauce ha sido migrar hacia la izquierda o al occidente, formándose canales meándricos y sinuosos, muy activos en este año 1993. El flujo se distribuye en varios canales siendo más activos los laterales atacando las orillas, mientras que el canal principal es de menor caudal, continuando así hasta llegar a la confluencia con el río Ceibas, sitio a partir del cual, el cauce principal cambia a tipo unicanal controlado parcialmente por orillas estables de sedimentos antiguos.

Con base en las fotografías de 1993 (Figura 55), se aprecia el desarrollo de dos brazos principales, uno sobre la margen izquierda y otro sobre la margen derecha con brazos secundarios interconectantes, una modificación parcial de sistema anterior pero que mantiene un patrón anastomosado dominante hasta el río Ceibas. El análisis multitemporal de esta parte muestra una migración lateral moderada donde el cauce mayor alcanza anchos máximos de 1500 m. dentro de la vega de divagación, con orillas de resistencia baja a la erosión lateral, conformadas por sedimentos aluviales

antiguos y recientes, limitados por la presencia de los abanicos aluviales provenientes de la quebrada Loro y el río Ceibas..

El sector sur desde la boca de la Q. Arenoso, para 1993 muestra el ensanchamiento del canal que comienza con la formación de una gran isla en la mitad del cauce a la altura del sector de la quebrada Sardinata, margen izquierda y las haciendas de Trapichito y el Triunfo en la margen derecha. Esta gran isla no existía en el año 1961, periodo dominado por la erosión y socavación de la orilla. Posterior a 1993, la Quebrada Sardinata incrementó sus aportes aluviales mediante el arrastre de carga de fondo, y se generó la isla recostada sobre la orilla, materiales que migraron en el año 1993, aumentando la migración y socavación sobre la orilla derecha del Magdalena, como se ven en las fotografías.

Para el año 2004, los principales cambios que se han presentado en el cauce para este tramo corresponden a la posición de las barras migrantes dentro de la vega de inundación (Figura 56), las cuales han aumentado y algunas se estabilizaron por el desarrollo de vegetación. El cauce ha tendido a migrar más hacia la margen derecha aguas abajo de la desembocadura de la quebrada El arenoso, formándose una gran barra central, socavando sobre la orilla a la altura del Km. 1365 a 1364, para luego bifurcarse el caudal en dos canales principales laterales afectando con mayor intensidad las orillas, en sitios notorios como la confluencia con el río Loro en la margen derecha. Sobre la margen izquierda se aprecia una gran tendencia a migrar hacia la izquierda con un brazo sinuoso y meándrico, hasta llegar al nivel de terraza y lomeríos, disectados (Figura 56). Este fenómeno podría desencadenar, más adelante, en migración del canal hacia el norte, sobre los sedimentos aluviales de barras y terrazas que existen allí, hasta la desembocadura del río Ceibas. Las orillas han cambiado por socavación en especial en cercanías a la ciudad de Neiva, hasta el río Ceibas. Las demás orillas en general permanecen constantes.

Desde el punto de vista de estabilidad este tramo presenta ciertas dificultades debido a la difluencia de los brazos, su tendencia a migrar, hacia la izquierda, haciendo este sector de muy baja profundidad para la navegación como se puede ver en el perfil longitudinal, por la presencia de numerosas barras, una alta sedimentación de barras sumergidas y ser muy migrante dentro de la vega, canales que se vuelven a unir cerca a la confluencia con el río Ceibas, donde de nuevo el cauce se hace unicanal tipo recto.

Cabe resaltar que el río Las Ceibas también aporta una cantidad apreciable de sedimentos incluyendo un volumen de carga de fondo, visible en su desembocadura en el río Magdalena. Según las aerofotografías recientes, esta carga de sedimentos es comparable con el volumen de sedimentos aportado por la Qda. El Arenoso. Aunque este hecho debe ser comprobado con estudios complementarios, llama la atención que el río Magdalena se vuelve unicanal recto aguas abajo de un nuevo afluente con alta carga de sedimentos.



Figura 56: Fotografía aérea del año 1993.



Situación actual del tramo 2, desde el sitio de las bocas de la Quebrada Arenoso, hasta las bocas del río Ceibas, área urbana de la Ciudad de Neiva. Nótese en colores más oscuros las islas estabilizadas en la parte central del cauce, con canales activos en medio de las islas, y barras recientes adosadas a las islas. Aunque se produce el recorte del brazo izquierdo en el meandro de Playa Ángel el río intenta de nuevo construir un meandro para mantener su sinuosidad

6.3.3.3. Tramo 3. Bocas del río Ceibas – Bocas de quebrada El Venado

El tercer tramo desde Río Ceibas, hasta las Bocas de la Quebrada el Venado, aguas abajo del área urbana de Neiva, presenta un cauce unicanal recto de $S= 1.16$ con presencia de barras aluviales y formas de las orillas ligeramente sinuosas al finalizar el tramo en el sitio La Vega, donde el cauce se hace curvo hasta las bocas de la Quebrada, donde afloran depósitos aluviales de terrazas que limitan la migración lateral, junto con sedimentos aluviales móviles. La Tabla 32 muestra las principales características morfométricas del tramo 3.

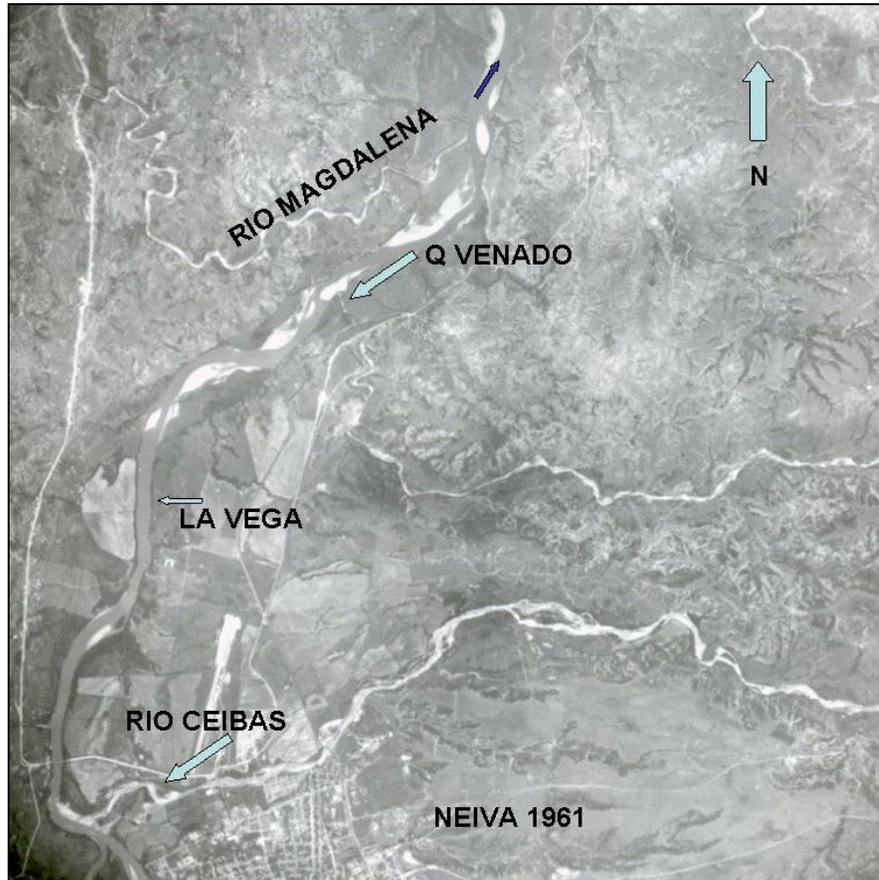
Tabla 32. Morfometría río Ceibas – Bocas de Quebrada El Venado

| LONGITUD | SINUOSIDAD | PATRÓN DE CANAL | ANCHO MÍNIMO | ANCHO DE MIGRACIÓN | ISLAS Y BARRAS | CURVAS | RESISTENCIA DE ORILLAS |
|-----------------|-------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|---------------|-------------------------------|
| 7 Km. | 1.16 | Recto | 80 m. | 150 m. Q. El Venado | Escasas | Sinuosas | Alta; Media; Baja |

Dinámica Fluvial: Para este tramo el análisis se basó en las fotografías aéreas seleccionadas para los períodos de 1950–1970 y 1990-2000, y con las fotografías del año 2004 vuelo A.E 186 Fajas 26 y 25 (Tabla 28).

Para el periodo 1950-1970, las fotografías de 1961 (Figura 57) muestran desde la boca del río Ceibas, un flujo principal unicanal que divaga entre numerosas barras recientes sin vegetación, adosadas a las orillas de resistencia Media a Baja en sedimentos aluviales antiguos que evidencian paleocanales, barras y orillares antiguos sobre la margen izquierda en el sector de La Vega. A partir de la desembocadura de la Q. El Venado el cauce y lecho mayor se amplían, con barras aluviales y evidencias de migración lateral histórica, que alcanza los 500 m. dentro de la amplia vega de divagación en sedimentos antiguos.

Figura 57: Fotografía aérea de 1961.



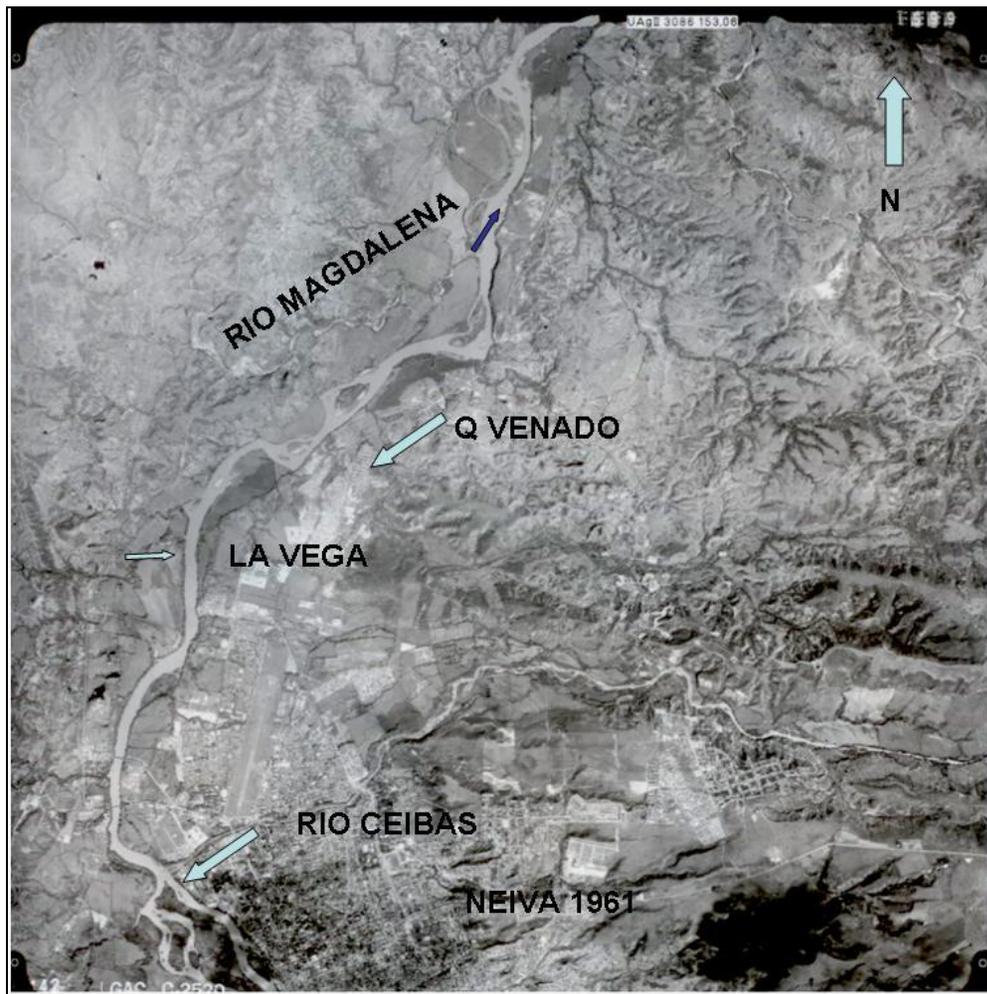
Donde se aprecia el tramo 3, al norte de Neiva, desde el río Ceibas, hasta las bocas de la Q. Venado. Al igual que en el tramo 1, el cauce es unicanal, recto, con la presencia de algunas barras aluviales, inestables para esa fecha, ya que las coloraciones, blancas evidencian que son barras migrantes, de arenas y gravas. Nótese la gran cantidad de sedimentos transportados en esa fecha, asociado a la intensa disección o erosión de los abanicos aluviales aguas arriba.

Para el periodo 1990-2000, con base en las fotografías de 1993 (Este tramo 3 al norte de Neiva presenta un cauce unicanal recto, controlado por orillas estables, presumiblemente al tener un subsuelo rocoso por la cercanía de los afloramientos de las rocas terciarias, una zona de confinamiento que se puede asociar con el anticlinal de Palogrande y un levantamiento neotectónico leve. También merece mencionarse la presencia de los dos puentes sobre el río Magdalena que dan acceso al casco urbano de Neiva, el más viejo el Puente Santander que data de los años 40 sin presentar problemas en sus estribos o estructura, un indicio fuerte de la estabilidad de este tramo.

Figura 58), se aprecia que no hay migración de las orillas del río pero sí una notoria migración de los sedimentos de las barras aluviales, las cuales han desaparecido casi en su totalidad, y solo en las bocas de la Quebrada Nevado se nota más la erosión de las margen derecha, y variaciones en el tamaño de las barras medias y laterales indicando un proceso migratorio pronunciado de las orillas, especialmente al aumentar los depósitos aluviales antiguos mas susceptibles de erosionarse.

Este tramo 3 al norte de Neiva presenta un cauce unicanal recto, controlado por orillas estables, presumiblemente al tener un subsuelo rocoso por la cercanía de los afloramientos de las rocas terciarias, una zona de confinamiento que se puede asociar con el anticlinal de Palogrande y un levantamiento neotectónico leve. También merece mencionarse la presencia de los dos puentes sobre el río Magdalena que dan acceso al casco urbano de Neiva, el más viejo el Puente Santander que data de los años 40 sin presentar problemas en sus estribos o estructura, un indicio fuerte de la estabilidad de este tramo.

Figura 58: Fotografía aérea de 1993.

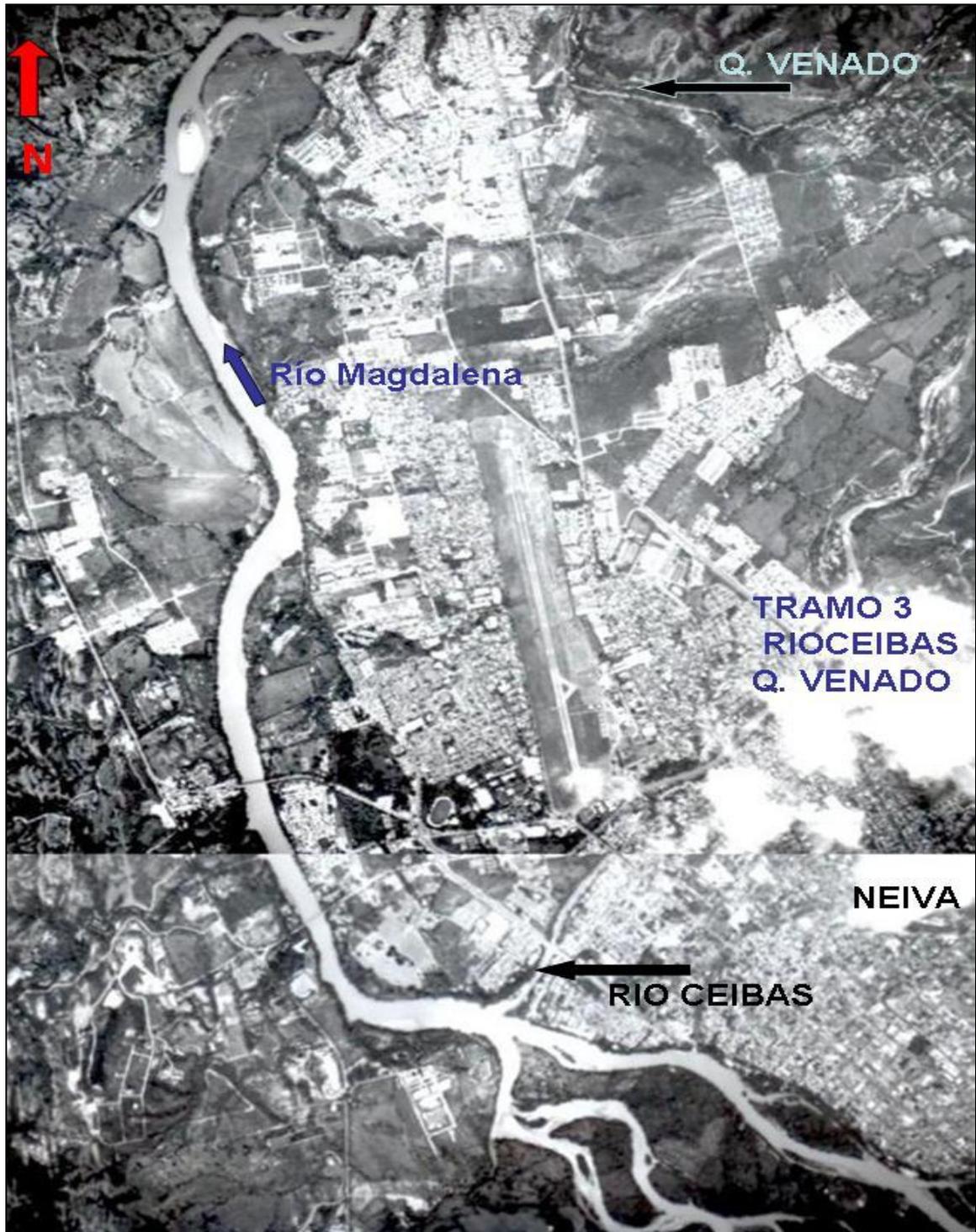


Donde se aprecia el tramo 3, al norte de Neiva, desde el río Ceibas, hasta las bocas de la Q. Venado. Al igual que en el tramo 1, el cauce es unicanal, recto, con la presencia de muy pocas barras aluviales. Nótese la poca cantidad de sedimentos transportados en esa fecha, ya que los sedimentos han migrado aguas abajo.

Para el año 2004, (Figura 59) los principales cambios que ha presentado el cauce para este tramo han sido la posición de las barras laterales migrantes dentro del cauce desde el río Ceibas, las cuales han migrado aguas abajo, y donde el cauce continúa siendo unicanal se han agrandado algunas barras y algunas se estabilizaron por el desarrollo de vegetación en especial adosadas a las orilla en el sector de la Vega.

Desde el punto de vista de estabilidad este tramo y a pesar del rápido transporte de sedimentos en este tramo, no presenta dificultades por socavación lateral, ni por migración lateral.

Figura 59: Mosaico de fotografías aéreas del año 2004.



Situación actual del tramo 3, desde el sitio de las bocas del río Ceibas hasta la Quebrada El Nevado. Nótese la disminución de las barras aluviales en el cauce con respecto a las épocas anteriores y la ausencia de migraciones o cambios de orilla en este tramo, el cual es tan estable como el tramo 1.

7. ESTUDIO DE SUELOS

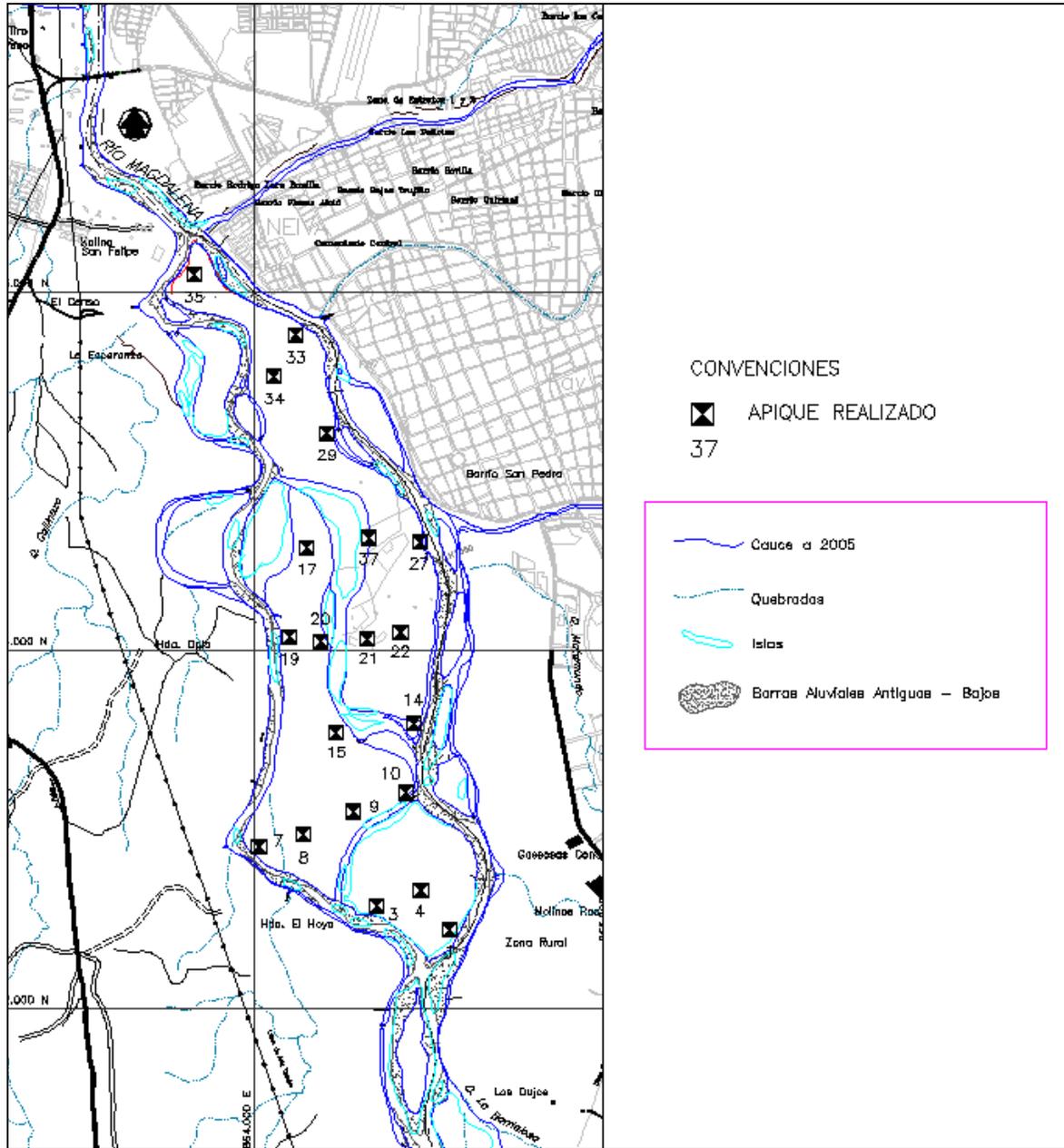
7.1. GENERALIDADES

En este capítulo, se describen los resultados de la caracterización de los materiales que conforman algunas barreras del río Magdalena ubicadas al frente de la ciudad de Neiva. Esto con el fin de establecer el potencial de socavación de estos materiales, en la zona de las islas donde se ubicará el parque temático.

Por lo anterior, la exploración del terreno y los diferentes ensayos de laboratorio efectuados, se enfocaron en estudiar principalmente la composición y características de los materiales, más que en analizar su comportamiento ingenieril, lo cual se deberá hacer, una vez se determine el tipo de estructuras a colocar en el área de estudio.

Con ésta finalidad, se efectuaron labores de exploración del terreno, por medio de trincheras manuales y observaciones en sectores del río donde fue posible obtener la secuencia de materiales en un total del orden de 3 a 4 metros. A los materiales recuperados de las trincheras se les efectuaron ensayos de laboratorio como granulometrías, mecánicas y por hidrómetro, y además ensayos de dispersión o PinHole con el fin de evaluar el potencial de erodabilidad de los materiales. La ubicación exacta de los sitios de exploración fue establecida como se explicó en el capítulo de levantamiento topográfico.

Figura 60: Ubicación de barreras e islas.



7.2. EXPLORACIÓN DEL TERRENO

En un comienzo para esta actividad se planteó la exploración por medio de perforaciones manuales a máximo cinco (5) metros de profundidad. Sin embargo y dada la presencia importante de gravas de gran tamaño dentro del depósito, este tipo de exploración no se pudo llevar a cabo, siendo necesario recurrir a la elaboración de

apiques de 1.5x1.5 de sección transversal para así explorar hasta 1.70 metros de profundidad.

Para establecer la composición de materiales por debajo de esta profundidad, se recurrió a la observación y toma de información en algunas secciones o cortes expuestos por el río dado que en la época que se efectuó la exploración, mediados de enero de 2006, los niveles del río se encontraban relativamente bajos.

En la Tabla 33, se consignan las coordenadas de los sitios en donde se efectuó la exploración del terreno.

Tabla 33. Localización de apiques

| Apique | Este | Norte |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 865093 | 812442 | 8 | 864270 | 812975 | 27 | 864924 | 814608 | 17 | 864291 | 814577 |
| 4 | 864931 | 812664 | 15 | 864454 | 813544 | 21 | 864631 | 814064 | 35 | 863658 | 816098 |
| 3 | 864686 | 812577 | 10 | 864846 | 813209 | 37 | 864639 | 814629 | 33 | 864227 | 815793 |
| 7 | 864022 | 812909 | 14 | 864894 | 813593 | 20 | 864369 | 814051 | 34 | 864107 | 815531 |
| 9 | 864552 | 813103 | 22 | 864818 | 814101 | 19 | 864196 | 814078 | 29 | 864400 | 815215 |

Como se observa, en total se realizaron veinte (20) apiques. La localización en planta de los apiques, se muestra en la Figura 60

En cada uno de los apiques, se efectuó la descripción del perfil del terreno de los materiales encontrados (ver Anexo 9) y se tomó el registro fotográfico correspondiente, (ver Anexo 10). Adicionalmente, se tomó información fotográfica del perfil del terreno en algunos sitios en donde éste se encontraba expuesto, esto se realizó específicamente en las márgenes del río (Ver Anexo 11).

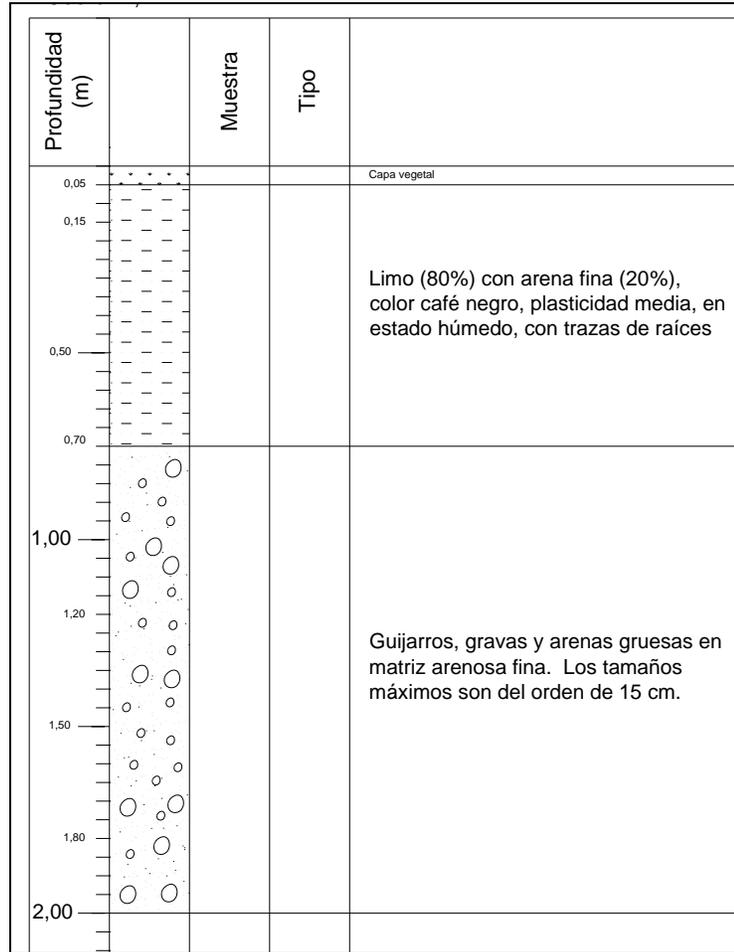
7.2.1. Perfiles típicos del depósito

De la información de los apiques, se puede concluir que existen dos tipos de perfiles del terreno hasta los 2 metros, que fue la profundidad máxima explorada por este método. Estos perfiles se describen a continuación:

7.2.1.1. Perfil tipo uno

Consiste en una capa vegetal de aproximadamente 5 centímetros seguida de una capa de limo que en algunas ocasiones se torna orgánico y en otras se encuentra limpio, esta capa tiene un espesor aproximado de 0.7 a 1.0 metro; luego de esta capa, por lo general se encuentra una capa de guijarros, gravas finas y arenas en matriz arenosa fina por lo general esta capa tiene de unos 1.5 a 2.0 metros de espesor; por debajo de esta capa se encuentran gravas y guijarros que dificultaron el avance de la exploración, el tamaño de los guijarros llegan a ser del orden de 0.2 a 0.3 metros de diámetro en promedio. En la siguiente la Figura 61, se muestra éste perfil típico.

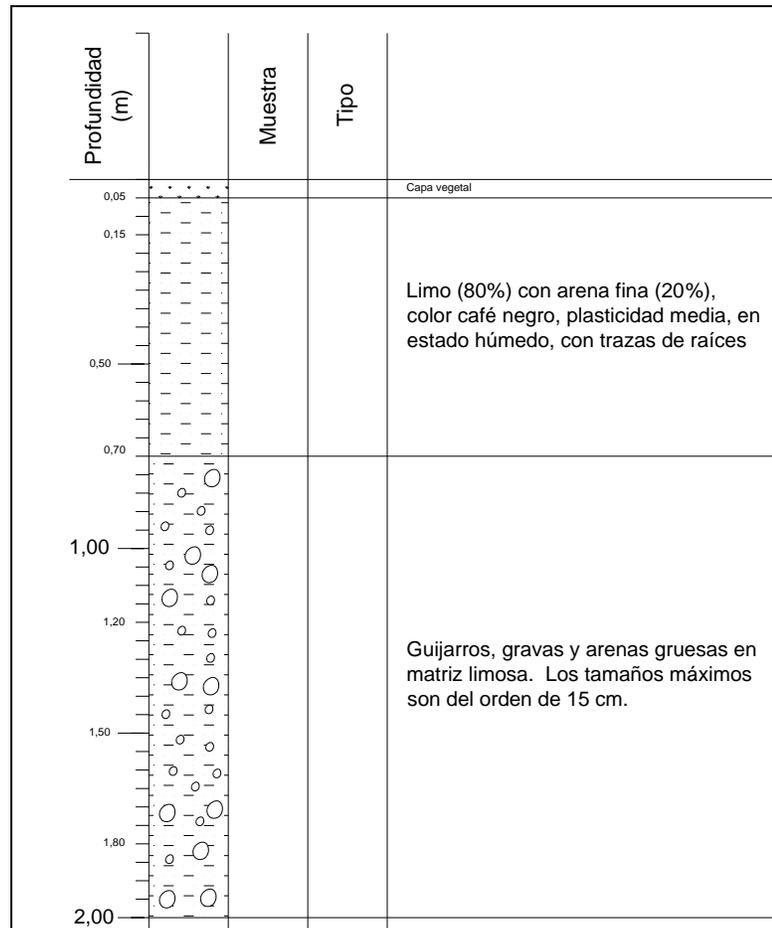
Figura 61: Perfil tipo uno.



7.2.1.2. Perfil tipo dos

Es similar al tipo uno en cuanto a que también presenta una capa vegetal de aproximadamente 5 centímetros seguida de una capa de limo que en algunas ocasiones se torna orgánico y en otras se encuentra limpio, esta capa tiene un espesor aproximado de 0.7 a 1.0 metro, la diferencia esencial con el tipo uno es que luego de la capa de limo orgánico, por lo general se encuentra una capa de guijarros, gravas finas y arenas en matriz limosa que igualmente tiene de unos 1.5 a 2.0 metros de espesor, por debajo de esta capa se encuentran gravas y guijarros, (Ver Figura 62).

Figura 62: Perfil tipo dos.



En los afloramientos, el perfil del terreno que se observó coincide más con el tipo dos. Se observa en la fotografía de la Figura 63.

7.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

Con el fin de establecer la erodabilidad de estos materiales, en total se efectuaron 20 granulometrías de tipo mecánico y dos por hidrómetro. Adicionalmente fue posible efectuar tres límites de Atterberg y un ensayo de dispersión o ensayo de Pinhole el cual consiste en hacer pasar agua con diferentes energías a través de un orificio efectuado previamente a la muestra de suelo y observar de que manera la muestra se ve afectada por el flujo de agua, esto se mide con el aumento en el diámetro del orificio efectuado inicialmente.

Figura 63: Afloramiento de las capas en la margen del río.



La Tabla 34 presenta el resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio. En el Anexo 12 se muestra con detalle cada uno de los ensayos.

Tabla 34. Resumen resultados de ensayos de laboratorio

| Apique Muestra Profundidad (m) | Descripción | Resultados |
|---|-----------------------------|--|
| Ap 1 M 1 (0.90m) | Grava arenosa de color gris | Grava 65.3% Arena 32.4% Finos 2.3% GP |
| Ap 4 M1 | Limo arenoso con gravas | Grava 13.2% Arena 37.8% |

Tabla 34. Resumen resultados de ensayos de laboratorio

| Apique Muestra Profundidad (m) | Descripción | Resultados |
|---|---|--|
| (1.0m) | | Finos 49.0% SM |
| Ap 7 M ² (1.0m) | Grava arenosa color café | Grava 59.3% Arena 36.7% Finos 4.0% GW |
| Ap 8 M ² (1.0m) | Grava arenosa gris | Grava 60.7% Arena 37.9% Finos 1.4% GP |
| Ap 9 M 2 (1.50m) | Arena de color café, presencia de mica | Grava 2.4% Arena 94.5% Finos 3.0% SP |
| Ap 10 M 1 (0.80m) | Grava arenosa de color gris | Grava 56.0% Arena 41.9% Finos 2.1% GP |
| Ap 14 M ² (1.30m) | Grava arenosa gris | Grava 56.1% Arena 39.7% Finos 4.2% GP |
| Ap 15 M 2 (0.70m) | Arena limosa color habano | Grava 0.0% Arena 72.2% Finos 27.8% SM |
| Ap 17 M 1 (0.70m) | Arena con gravas y algo de limos | Grava 20.9% Arena 74.1% Finos 5.0% SM – SP |
| Ap 17 M 2 (1.10m) | Arena limosa con gravas | Grava 18.4% Arena 59.1% Finos 22.4% SM |
| Ap 19 M 1 (1.60m) | Grava areno limosa color café | Grava 52.0% Arena 37.5% Finos 10.5% GM – GP |
| Ap 20 M 1 (1.10m) | Arena limosa color café, presencia importante de mica | Grava 0.0% Arena 84.4% Finos 15.6% |

Tabla 34. Resumen resultados de ensayos de laboratorio

| Apique Muestra Profundidad (m) | Descripción | Resultados |
|---|-----------------------------------|--|
| | | SM |
| Ap 21 M 1 (1.10m) | Grava arenosa de color gris | Grava 56.7% Arena 42.1% Finos 1.3% GP |
| Ap 22 M1 (0.30m) | Arena de color gris | Grava 0.6% Arena 96.2% Finos 3.2% SP |
| Ap 27 M 3 (1.60m) | Arena limosa gris | Grava 2.4% Arena 84.8% Finos 12.8% SM |
| Ap 29 M 2 (1.70m) | Arena con gravas | Grava 18.8% Arena 80.5% Finos 0.7% SP |
| Ap 33 M 1 (1.10m) | Grava arenosa | Grava 55.1% Arena 43.3% Finos 1.6% GP |
| Ap 33 M 2 (1.30m) | Grava arenosa | Grava 58.5% Arena 40.1% Finos 1.4% GP |
| Ap 35 M 2 (1.70m) | Arena limosa con gravas | Grava 10.4% Arena 75.4% Finos 14.2% SM |
| Ap 37 M 1 (0.60m) | Arena con gravas y limos | Grava 16.5% Arena 77.8% Finos 5.7% SM – SP |
| Ap 20 M 1 (1.10m) | Arena limosa de color café | Clasificación Pinhole D1: Suelo altamente dispersivo |
| Ap 27 M 2 (1.10m) | Limo de color gris | Límite líquido: 32.1% Límite plástico: 27.4% Índice de plasticidad: 4.7% |
| Ap 29 M 1 | Arcilla limo arenosa | Límite líquido: 25.2% Límite plástico: 16.9% |

Tabla 34. Resumen resultados de ensayos de laboratorio

| Apique Muestra Profundidad (m) | Descripción | Resultados |
|---|--------------------|--|
| (0.40m) | | Índice de plasticidad: 8.3% |
| Ap 35 M 1 (0.30m) | Limo arcillosos | Limite líquido: 36.5% Limite plástico: 27.3% Índice de plasticidad: 9.2% |

En estos resultados, es de resaltar que a la muestra 1 del apique 20 cuya composición es la siguiente:

Grava 0.0%, arena 84.4%, finos 15.6%, SM, indica que se trata de una arena mal gradada con limos y una alta presencia de mica, a esta muestra se le efectuó el ensayo de dispersión o Pinhole, encontrando que este material es altamente dispersivo de donde se concluye que estas arenas son fácilmente erodables.

Por otra parte, se trataron de efectuar los límites de Atterberg a varios finos de las muestras recolectadas encontrando en el caso de la muestra 1 del apique 4 que la parte fina no presenta minerales arcillosos. De todas las muestras, solo fue posible efectuar tres límites de Atterberg dando como resultado en la parte fina principalmente una composición de tipo limosa. Esto indica que la cohesión de los materiales es baja o nula presentando una alta susceptibilidad a la erosión.

7.4. SUSCEPTIBILIDAD DE LOS MATERIALES A LA EROSIÓN

En la literatura existen innumerables propuestas para la evaluación de la susceptibilidad de erosión de los suelos. Estas metodologías van desde relaciones entre el tamaño característico de las partículas que componen los materiales y las velocidades de flujo, hasta relaciones en donde se involucran aspectos como la precipitación, la pendiente, la temperatura y en general el clima de una zona con el riesgo de erosión potencial.

Dado que en nuestro medio, la práctica común para la evaluación de la erodabilidad de un material se establece a partir del diámetro medio de las partículas que es la medida de posición media aritmética el cual se puede reemplazar en ocasiones por el D_{50} el cual representa el tamaño de partícula que es la mediana de la distribución de tamaños en una muestra de suelo. A partir de los ensayos de granulometría efectuados, se resumen los valores de este parámetro para las diferentes muestras ensayadas en la Tabla 35.

Tabla 35. Tamaños D_{50} de las muestras ensayadas

| Apique Muestra | Tipo de Material | D_{50} |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Ap 1 | Grava | 15 mm |

Tabla 35. Tamaños D_{50} de las muestras ensayadas

| Apique Muestra | Tipo de Material | D_{50} |
|-----------------------|-------------------------|----------------------------|
| <i>M1</i> | | |
| <i>Ap 4 M1</i> | <i>Limos</i> | <i>0.075 mm</i> |
| <i>Ap 7 M 2</i> | <i>Grava</i> | <i>8 mm</i> |
| <i>Ap 8 M 2</i> | <i>Grava</i> | <i>9 mm</i> |
| <i>Ap 9 M 2</i> | <i>Arena</i> | <i>0.3 mm</i> |
| <i>Ap 10 M 1</i> | <i>Grava</i> | <i>6 mm</i> |
| <i>Ap 14 M 2</i> | <i>Grava</i> | <i>8 mm</i> |
| <i>Ap 15 M 2</i> | <i>Arena</i> | <i>0.13 mm</i> |
| <i>Ap 17 M 1</i> | <i>Arena</i> | <i>0.55 mm</i> |
| <i>Ap 17 M 2</i> | <i>Arena</i> | <i>0.55 mm</i> |
| <i>Ap 19 M 1</i> | <i>Grava</i> | <i>5.5 mm</i> |
| <i>Ap 20 M 1</i> | <i>Arena</i> | <i>0.21 mm</i> |
| <i>Ap 21 M 1</i> | <i>Grava</i> | <i>7 mm</i> |
| <i>Ap 22 M 1</i> | <i>Arena</i> | <i>0.31 mm</i> |
| <i>Ap 27 M 3</i> | <i>Arena</i> | <i>0.33 mm</i> |
| <i>Ap 29 M 2</i> | <i>Arena</i> | <i>1.2 mm</i> |
| <i>Ap 33 M 1</i> | <i>Grava</i> | <i>7mm</i> |
| <i>Ap 33 M 2</i> | <i>Grava</i> | <i>8 mm</i> |
| <i>Ap 35 M 2</i> | <i>Arena</i> | <i>0.8 mm</i> |
| <i>Ap 37 M 1</i> | <i>Arena</i> | <i>0.55 mm</i> |

De manera general, se puede establecer que los siguientes tamaños son los característicos para los diferentes materiales que componen el depósito (Tabla 36)

Tabla 36. Tamaños promedio D_{50} de los materiales encontrados

| |
|----------------|
| Grava 8.17 mm |
| Arena 0.49 mm |
| Limos 0.075 mm |

Cabe anotar que estos tamaños son representativos de los dos perfiles de suelo promedio que se definieron en el numeral 9.2.1.

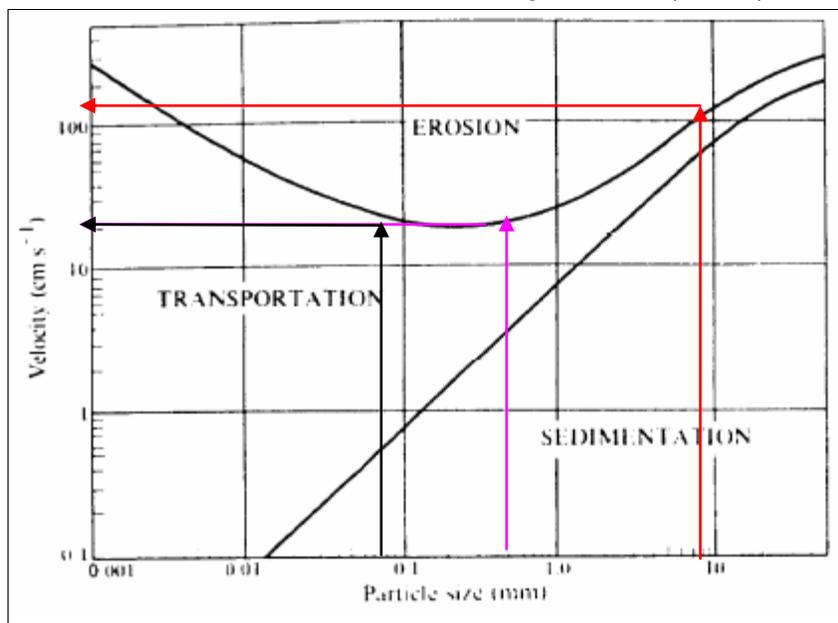
Por otra parte, por debajo de los 2 a 4 metros y posiblemente hasta el fondo del cauce del río, los materiales que componen el cauce están compuestos por materiales de tamaños mucho mayores (guijarros de más de 15 cm de diámetro). Sin embargo, debido a que la erosión afecta principalmente a los materiales de menores tamaños, se considera que el río afectará principalmente a los tamaños de materiales dados en la Tabla 36.

Una vez establecidos estos diámetros, por ejemplo al seguir la propuesta de Hjulstrom (1935), la cual relaciona el tamaño de la partícula con la velocidad de flujo para que se presente erosión, transporte o sedimentación (Ver Figura 64), se tiene que en el caso de los diferentes tamaños, las velocidades necesarias para que se presente erosión son las siguientes:

Tabla 37. Velocidades de erosión para los diferentes tamaños encontrados

| |
|------------------|
| Grava 110 cm/seg |
| Arena 30 cm/seg |
| Limos 25 cm/seg |

Figura 64: Tamaño de partícula Vs Velocidad de erosión, transporte y sedimentación. Tomado de Hjulstrom (1935).



Otra propuesta se basa en la textura de los materiales del lecho y las márgenes del río la cual se define como una expresión cualitativa y cuantitativa del tamaño de las partículas; cualitativa ya que se refiere al comportamiento que resulta del tamaño y de la naturaleza de los constituyentes del suelo y cuantitativa por ser una expresión porcentual (Honorato, 1993). Según el triángulo textural del Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América (U.S.D.A.), los suelos se pueden agrupar según su textura de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 38.

Tabla 38. Agrupamiento de los materiales según la textura U.S.D.A

| Textura | Agrupamiento textural | Textura | Agrupamiento textural |
|---------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|
| Arcillosa | Muy fina | Franco arenosa fina | Moderadamente Gruesa |
| Arcillo limosa | Fina | Franco arenosa | |
| Arcillo arenosa | | Moderadamente fina | Areno francosa muy fina |
| Franco arcillo limosa | Areno francosa | | |
| Franco arcillosa | Areno francosa gruesa | | |
| Franco arcillo | Arenosa muy fina | | |
| Arenosa | Arenosa fina | | |
| Limosa | Media | arenosa media | |
| Franco limosa | | Arenosa media | |
| Franca | | | |
| Franco arenosa muy limosa | | | |

Fuente: Ciren Corfo, 1989

A partir de este agrupamiento, Almorox et al (1994) basado en el diagrama de USDA, plantea la agrupación para las texturas según su grado de erosionabilidad mostrada en la Tabla 39.

Tabla 39. Erosionabilidad según textura

| Descripción | Texturas |
|---------------------------|---|
| Ligeramente erosionable | Arcillosa, arcillo-arenosa y arcillo-limosa |
| Moderadamente erosionable | Franco-arcillo-arenosa, franco-arcillosa, franco-arcillo-limosa, arenosa y arenoso-franca |
| Altamente erosionable | Franco-arenosa, franca, franco-limosa y limosa. |

Fuente: Almorox et al, 1994

En el caso de los materiales encontrados, en este estudio y debido a que no fue posible efectuar ensayos de límites de Atterberg, lo cual indica la ausencia total de minerales arcillosos, se tiene que para los dos perfiles típicos la textura de la matriz es franco arenosa y franco limosa, lo cual clasifica los materiales según esta propuesta en materiales altamente erosionables.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los estudios presentados en este informe ha permitido realizar la caracterización topobatimétrica, hidrológica, hidráulica, geológica, geomorfológica y de morfodinámica de la islas ubicadas en el río Magdalena en frente de la ciudad de Neiva, sobre las cuales se planea construir el Parque Temático Islas de Aventura. A la luz de los resultados obtenidos se considera que la implantación de la infraestructura del Parque Temático en las islas es factible, pero se requieren estudios complementarios que permitan refinar los modelos utilizados, caracterizar desde el punto de vista geotécnico la zona de estudio, identificar si existen o no problemas de calidad de agua, fundamentalmente debidos a aportes del río el Loro, y en general obtener información adicional que permita ampliar el conocimiento de la zona y reducir los niveles de incertidumbre de los resultados discutidos aquí.

Los análisis topobatimétricos adelantados como parte de este estudio, han permitido actualizar la cartografía existente e identificar sitios en los cuales se requieren ajustes en el proyecto arquitectónico desarrollado con anterioridad. Uno de estos hitos es el pequeño cauce ubicado en las parte intermedia de las islas, y considerado en el proyecto conceptual como el eje articulador del Parque Islas de Aventura, el cual en la fecha del levantamiento topográfico se encontraba casi cerrado. Debe anotarse que durante la fecha del levantamiento (enero de 2006) los niveles estuvieron bajos, pero se cree que aún con niveles medios, este canal no permitirá movimiento de botes o embarcaciones de recreación pequeñas. En este sentido es necesario hacer un levantamiento complementario en el tramo en estudio, en época de niveles altos. Esto requeriría una programación conjunta con la CHB debido a lo errático de los desembalses de Betania. De forma anticipada se cree que de mantenerse el cauce como el eje del proyecto, posiblemente se requerirán intervenciones de tipo hidráulico, con estructuras de control y de pronto profundización y estabilización de este cauce, a fin de garantizar un flujo continuo y controlado de agua que permita el desarrollo de las actividades recreativas y culturales planeadas para este sector del Parque. La otra opción sería ajustar el proyecto arquitectónico a las condiciones actuales del cauce mencionado.

Se han caracterizado a nivel promedio diario los niveles y caudales en el tramo estudiado, confirmandose la importante influencia que tienen los desembalses de Betania. Igualmente los estudios permiten concluir que con la construcción del embalse se ha logrado una relativamente baja regulación de los caudales, debido fundamentalmente al limitado tamaño del almacenamiento. Adicionalmente, se ha observado que los desembalses de Betania ocurren de forma errática y por lo general en forma de pulsos, los cuales en general no están relacionados con la climatología de la cuenca alta del río Magdalena. En este sentido, grandes desembalses podrían

ocurrir en cualquier época del año, con lo cual es indispensable que las entidades promotoras del Parque Islas de Aventura realicen una socialización del proyecto con las directivas de la CHB, con el fin de garantizar su concurso en el futuro desarrollo del proyecto.

Los análisis hidrológicos realizados en este estudio con el fin de obtener las magnitudes de eventos extremos, han provenido de series máximas mensuales de corta longitud. Aunque se considera que dada la información disponible los valores obtenidos representan los mejores estimativos, estos valores deben analizarse con precaución debido a la gran incertidumbre asociada.

En términos generales puede decirse que los aportes del río El Loro y el río Las Ceibas al caudal registrado en la estación Puente Santander, representan menos del 5% del caudal del río Magdalena en esta estación, y en este sentido el tramo estudiado pudiera considerarse con condiciones de flujo aproximadamente permanente.

Se ha realizado la modelación hidráulica preliminar del tramo estudiado utilizando el modelo HEC-RAS, obteniéndose que las áreas más susceptibles de inundación se encuentran en la parte baja del tramo estudiado, y que en general existen desbordes en todas las islas para caudales con período de retorno mayor de 25 años. Es importante comentar que los datos de niveles utilizados para calibrar el modelo hidráulico HEC-RAS provinieron de lecturas en miras temporales, leídas en la campaña de campo, dos veces al día durante tres días. Es claro que para mejorar la calibración del modelo HEC-RAS, y teniendo en cuenta la rápida fluctuación de niveles y que el tiempo de viaje de la onda entre las estaciones El Juncal y Puente Santander es de alrededor de una hora, es necesario contar con información de niveles de agua con mayor resolución temporal, para épocas de niveles altos y bajos, por lo que se sugiere la pronta instalación de miras en el río Magdalena y cauces secundarios antes, en y después de las islas, para lograr una mejor calibración del modelo y corroborar algunas de las conclusiones que en cuanto a niveles para diferentes períodos de retorno fueron obtenidas en este estudio.

En cuanto a calidad de agua, aunque no se realizaron trabajos en este sentido, es claro que la zona del proyecto se encuentra impactada por la descarga del río Loro, la cual incluye aguas servidas de algunos barrios de Neiva (Bogotá, El Limonar y El Caracol) y ha producido inundaciones en la zona antes de la confluencia con el río Magdalena, siendo la más reciente la de diciembre de 2005 (El Tiempo, 2005). En este sentido es necesario realizar la caracterización de la cantidad y calidad del agua proveniente del río Loro, y evaluar las características de autopurificación del río Magdalena en el sector analizado, que preliminarmente se consideran más que suficientes.

Con respecto a geología, el sector de estudio es ante todo de origen tectónico, sin embargo, la profundización por el río Magdalena y sus afluentes dentro de los depósitos aluviales y fluvio-volcánicos que en varias oportunidades lo invadieron, debe tenerse en cuenta para explicar muchos de los rasgos de la morfología del fondo del valle, así como el cambio de dirección que presenta el río Magdalena frente a Neiva y donde predominan las barras e islas, y que geológicamente parece corresponder con el alineamiento de la denominada Falla de Neiva.

En general, la dinámica fluvial histórica del río Magdalena en el sector estudiado muestra la presencia de paleocauces, activos, no activos o parcialmente activos en la llanura aluvial, cierre de brazos de manera natural, y cambios de cauces, los cuales indican que la zona de estudio está en proceso de continuo cambio asociado con eventos tectónicos y sedimentológicos.

En la zona de estudio y sus alrededores el río Magdalena presenta varios cambios morfológicos en su cauce, los cuales pueden indicar variaciones en la dinámica fluvial. Morfológicamente hablando, el cauce del río Magdalena, en cercanías de la zona de estudio, presenta tres tramos claramente definidos: el tramo uno, desde la Mira de El Juncal hasta la Quebrada El Arenoso, caracterizado por un cauce de tipo unicanal recto, seguido por el tramo dos urbano, de tipo anastomosado entre la Quebrada El Arenoso y Las Ceibas, y finalmente el tramo tres de tipo unicanal recto entre Las Ceibas y el río Fortalecillas.

A nivel regional se destaca el tramo central dos, conformado por el conjunto de islas en frente de Neiva, con una sinuosidad compleja de varios brazos, ubicado entre dos tramos sin islas y de baja sinuosidad. El análisis multitemporal realizado mediante la comparación de aerofotografías entre los años 1950 y 2004, también confirma que estas tendencias y morfologías han persistido en tiempos recientes. Igualmente resalta la dinámica fluvial de las islas, las cuales han permanecido a través del tiempo, pero cuyos contornos han sufrido periodos de erosión y sedimentación. En los años más recientes se ha presentado una tendencia de consolidación de las islas centrales y de los dos brazos principales por las márgenes izquierda y derecha de la vega de divagación.

Aguas arriba del tramo central dos, el río Magdalena recibe varios aportes de sedimentos, entre los cuales se destacan los de los ríos Neiva y Frío y la Quebrada El Arenoso, alcanzando en esta última a formar barras apreciables en el cauce del río Magdalena en su confluencia. En la zona urbana el río Las Ceibas también constituye una fuente importante de sedimentos al formar barras amplias en su desembocadura. El aporte de sedimentos de varias fuentes en este sector parece ser una de las causas del desarrollo de un tramo anastomosado con islas semi-estables. Esta conclusión está apoyada por la acresión sedimentológica de las islas con el aporte de sedimentos de desborde laminar esporádico, resultando en alrededor de dos metros de limos y arenas superpuestos sobre las antiguas gravas de las barras del lecho aluvial.

Con respecto al tramo tres, con ausencia casi total de islas y mayor pendiente que el tramo dos, solo puede explicarse su morfología por el confinamiento geológico, probablemente asociado con el plegamiento del anticlinal de Palogrande, una estructura en rocas terciarias (formación Gigante) con una deformación cuaternaria leve en las terrazas altas al este de Neiva. Esta estructura de rumbo NW – SE y transversal al cauce del río Magdalena podría estar ejerciendo un control sobre la pendiente del río con un levantamiento neotectónico leve, lo cual confinaría el cauce entre rocas terciarias de la formación Gigante. Este control estructural y litológico obligaría al río Magdalena a entallar su cauce y reduciría las posibilidades de divagación y la formación de islas en el tramo inferior aguas abajo de Las Ceibas.

Podría entonces caracterizarse la zona de estudio como bastante activa, con orillas de resistencia media a resistencia baja, conformadas por depósitos aluviales antiguos, terrazas y depósitos aluviales que han permitido en los últimos años la intensa migración lateral del cauce hacia el occidente.

Desde el punto de vista de estabilidad el tramo estudiado presenta ciertas dificultades debido a la difluencia de los brazos, su tendencia a migrar hacia la izquierda, haciendo este sector de muy baja profundidad para la navegación mayor por la presencia de numerosas barras, una alta sedimentación de barras sumergidas y ser muy migrante dentro de la vega.

En cuanto a las características de los suelos se realizaron varios apiques y se tomaron muestras para ensayos granulométricos, determinación de límites y ensayo de Pinhole, cuyos resultados indican que el contenido de materiales arcillosos es muy inferior al 30% por lo que los materiales en general no son cohesivos y no forman agregados estables, lo que genera un comportamiento erosionable.

En el diseño de la infraestructura del parque temático se deberán caracterizar desde el punto de vista geotécnico los suelos y se deberá tener en cuenta que en las márgenes de las islas los primeros tres metros exponen materiales altamente erosionables.

Estudios preliminares de caracterización microsísmica de la ciudad de Neiva adelantados por un estudiante de la Universidad Javeriana (Pinto, 2001) han determinado la posibilidad de licuefacción de los materiales granulares no consolidados existentes en las riberas de los ríos Magdalena, Loro y Ceibas (criterio que podrían extenderse a las islas consideradas en este estudio), por lo que las estructuras que se planean ubicar como parte del Parque Temático podrían verse seriamente afectadas en el momento en que se genere un evento sísmico importante. En este sentido es necesario acometer estudios geotécnicos detallados que permitan establecer los niveles y tipo de cimentación que se requerirían para las estructuras del Parque Temático.

En esta primera evaluación técnica, los estudios realizados permiten concluir que es factible la construcción del proyecto Parque Islas de Aventura. Sin embargo, es necesario complementar la información existente con el fin de refinar los modelos y cálculos. Aún con la mejor información y la aplicación de los mejores modelos, existirá una pequeña incertidumbre en cuanto a los niveles de inundación, la estabilidad de las islas, y el comportamiento de las estructuras ante la ocurrencia de eventos sísmicos importantes. Por este motivo se recomienda adicionalmente como parte de la segunda fase del proyecto, adelantar los estudios que permitan diseñar el plan de emergencia y contingencia.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DE NEIVA – Departamento Administrativo de Planeación Municipal (2000). “Acuerdo No. 016 de 2000 por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial para el Municipio de Neiva”.

ALMOROX, J., R. DE ANTONIO, A. SAA, M. DÍAZ, J. GASCO. (1994). *Métodos de estimación de la erosión hídrica*. Ed. Agrícola la Española, S.A. 152p.

BELTRAN, N. Y GALLO, J. (1968): *Guidebook to the geology of the Neiva Sub - basin, Upper Magdalena Basin (Southern Portion)*. En: *Geological Field Trips, Colombia, 1958-1978*. Col. Soc. Petrol. Geol. and Geophys. 253-276. Bogotá.

BUTLER, J. W. (1942): *Geology of Honda district, Colombia*. Bull. Am. Ass. Petr. Geol., 26(5):793-837. Tulsa.

CHB. (2006). *Central Hidroeléctrica de Betania*. EMGESA S.A. E.S.P.

CIREN CORFO, 1989. *Descripción de suelos y materiales y símbolos. Estudio agrológico del área del proyecto Laja-Diguillín*. Santiago, Chile. Publicación CIREN N° 80 166p.

COSSIO, U.; RODRIGUEZ, G. Y RODRIGUEZ, M. (1995): *Mapa Geológico Plancha 283-Purificación*. Escala: 1:100.000. INGEOMINAS. Santa Fe de Bogotá.

CUERPO DE INGENIEROS DE LOS ESTADOS UNIDOS (2000). *Hydrologic Modelling System*. HEC-HMS. Technical Referente Manual. CPD-74B.

DIEDERIX, H. Y GÓMEZ, H. (1991). *Geología del sistema de fallas de Chusmas, Valle Superior del Magdalena*. Centro Interamericano de Fotointerpretación-Informe Interno 243. Instituto geográfico Agustín Codazzi.

EL TIEMPO – Tolima 7 días (2005) “Las Lluvias no dan tregua en el Huila donde cinco municipios se encuentran en emergencia”. Diciembre 23 de 2005.

ESLAVA, J., LÓPEZ, V., OLAYA, O. (1986) “Los Climas de Colombia Sistema de Caldas-Lang Atmósfera (7). pp 41-77.

GEOINGENIERÍA LTDA, (1999). *Mapas de amenaza por inundaciones del río Magdalena sector embalse de Betania desembocadura del río Saldaña*.

GRUBB, F.E., Beck, G. (1974). *Technometrics* 14: 847-854.

GUERRERO, J. (1993): *Magnetostratigraphy of the upper part of the Honda Group and Neiva Formation. Miocene Uplift of the Colombian Andes. Thesis PhD. Duke Univ., 108 p.*

HAYASHIDA, A. (1984): *Paleomagnetic study of the Miocene continental deposits in La Venta Badlands, Colombia. Kyoto Univ., Overseas Research Reports New World Monkeys, 4:77-83. Kyoto.*

HETTNER, A. (1892): *Die Kordillere von Bogotá. Peterm. Mitt., Erg., 22(104):1-131.*

HJULSTROM, F (1935). *Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by river Fyris. Bulletin of the Geological Institution, 25pp 221-455.*

HONORATO, R (1993). *Manual de edafología. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago. 195p*

LÓPEZ, H. (2005). *Parque Temático Islas de Aventura – Neiva. Informe Final.*

MARQUÍNEZ, G.; MORALES, C. Y CAICEDO, J. C. (2001): *Memoria explicativa levantamiento geológico de la Plancha 344 Tesalia. INGEOMINAS. Bogotá.*

MOJICA, J. Y BAYER, K. (1987): *Características esenciales del Valle Superior del Magdalena, una cuenca cretácica interandina de Colombia. Aporte Proyecto IGCP-UNESCO 242, Cuencas Petrolíferas Cretácicas de América latina, Tucumán.*

MOJICA, J. Y FRANCO, R. (1990): *Estructura y evolución tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena. Geol. Col., 17: 41-64. Bogotá.*

PINTO NAVARRETE, R., (2001) “*Microzonificación sísmica preliminar de Neiva*”. Trabajo de grado Departamento de Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Javeriana.

ROYO Y GÓMEZ, J. (1942): *Contribución al conocimiento de la geología del Valle Superior del Magdalena, Departamento del Huila. CCEGOC, 5: 261-318. Bogotá.*

RUIZ, E. (1981): *El Cuaternario de la región Garzón - Gigante, Alto Magdalena (Colombia). Rev. CIAF, 6: 505-523. Bogotá.*

SCHUMM, S., 1977. *The fluvial system. Wiley, New York. 338 p.*

SCHUMM, S., 1986. *Alluvial river response to active tectonics. p. 63-79. en Active Tectonics, National Academic Press, Washington.*

STIRTON, R. A. (1953): *Vertebrate paleontology and continental stratigraphy in Colombia. Geol. Soc. Am. Bull., 64: 603-622. Denver.*

TAKEMURA, K.; DANHARA, T. (1986): *Fission-track dating the upper part of Miocene Honda Group in La Venta Badlands, Colombia. Kyoto Univ., Overseas Research Reports New World Monkeys, 5: 31-38. Kyoto.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Laboratorio de Ensayos Hidráulicos (2000). "Análisis de la calidad, validez y consistencia de la información hidrométrica utilizada en los estudios de caracterización del río Magdalena en el sector Neiva – El Banco". Informe No. 50.

VAN DER WIEL, A. M. (1991): *Uplift and volcanism of the SE Colombian Andes in relation to Neogene sedimentation in the Upper Magdalena Valley*. Tesis PhD, Agriculture Univ. Wageningen. Amsterdam. The Netherlands.

VELANDIA, F.; FERREIRA, P.; RODRIGUEZ, G. Y NÚÑEZ, A. (1996): *Memoria explicativa levantamiento geológico de la Plancha 366 Garzón*. Ingeominas, Informe 1321, 122 p. Santa Fe de Bogotá.

VELANDIA, F.; TERRAZA, R. Y VILLEGAS, H. (2001): *El Sistema de Fallas de Algeciras hacia el suroeste de Colombia y la actual transpresión de los Andes del Norte*. 8 Congr. Col. Geol., Mem. Manizales. Colombia.

VILLARROEL, C. Y GUERRERO, J. (1984): *Un nuevo y singular representante de la familia Leontiniidae? (Notoungulata, Mammalia) en el Mioceno de La Venta, Colombia*. Geol. Norandina, 9: 35-40. Bogotá.

REVISIÓN CARTOGRÁFICA

ACOSTA, J.; GUATAME, R.; TORRES, O. & SOLANO, F. (1999): *Geología de la Plancha 245-Girardot. Escala 1.100.000. INGEOMINAS. Bogotá.*

ACOSTA, J.; CARO, P.; FUQUEN, J. & OSORNO, J. (2002): *Geología de la Plancha 303-Colombia. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.*

BARRERO, D. & VESGA, C. (1976): *Mapa Geológico del Cuadrángulo K-9 Armero y parte sur del J-9 La Dorada. Escala 1:100.000. INGEOMINAS.*

CAICEDO, J. C. & TERRAZA, R. (2000): *Geología de la Plancha 264-Espinal. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.*

COSSIO U.J., RODRIGUEZ M.A., RODRIGUEZ G., (1995): *Geología de la Plancha 283 Purificación Departamento del Tolima, Escala 1:100.000 INGEOMINAS.*

FUQUEN J., RODRIGUEZ. G., COSSIO U., (1993) *Geología de la Plancha 302- Aipe. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.*

FERREIRA P., NUÑEZ A., RODRIGUEZ M.A, (1998): *Geología de la Plancha 323-Neiva. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.*

RAASVELDT, H. C. (1956): *Mapa Geológico de la República de Colombia, Plancha L-9 Girardot. Escala: 1.200.000. Inst. Geol. Nal. Bogotá.*

RAASVELDT, H. C. & CARVAJAL, J. M. (1957): *Mapa Geológico de la República de Colombia, Plancha K-9 Armero. Escala 1:200.000. Servicio Geológico Nacional.*

VELANDIA, F.; MORALES, C. J.; CAICEDO, J. C. & NUÑEZ, A. (1999): *Geología de la Plancha 345-Campoalegre. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.*

ANEXO 1: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE CAMPO

Fotografía 1: Mojón GPS 33 Isla Gaitana



Fotografía 2: Mojón GPS 36 Embarcadero La Gaitana



Fotografía 3: Mojón GPS 36 Embarcadero La Gaitana, detalle.



Fotografía 4: Vegetación densa en sección Isla Opia



Fotografía 5: Alineamiento de secciones con varas



Fotografía 6: Sección isla Gaitana



Fotografía 7: Levantamiento de secciones con estación total



Fotografía 8: Levantamiento topográfico de secciones. Se observa rápido incremento de niveles



Fotografía 9: Vista aguas abajo desde Isla Los Dujos



Fotografía 10: Vista aguas arriba isla Los Dujos



Fotografía 11: Erosión en tramos de islas



Fotografía 12: Incremento de niveles



Fotografía 13: Orilla típica cubierta de árboles



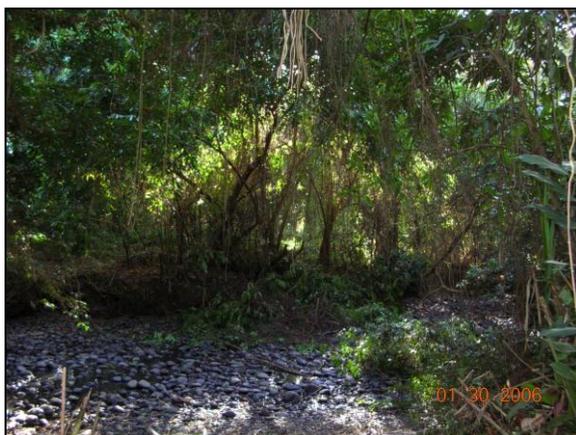
Fotografía 14: Vista aguas arriba de Neiva, alta erosión



Fotografía 15: Orilla isla Gaitana



Fotografía 16: Caño interior de las islas



Fotografía 17: Caño interior de las islas, sitio del proyecto



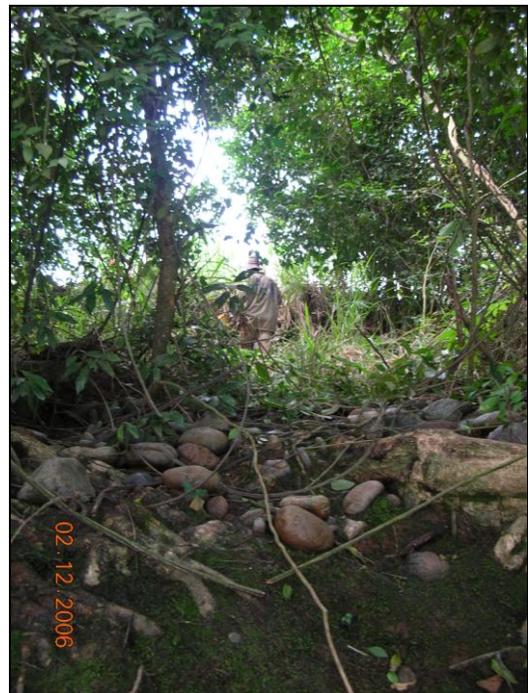
Fotografía 18: Caño interior de las islas, sitio del proyecto



Fotografía 19: Puente para cruce de equipo de medición



Fotografía 21: Orilla izquierda aguas arriba del sector de islas



Fotografía 20: Caño interior



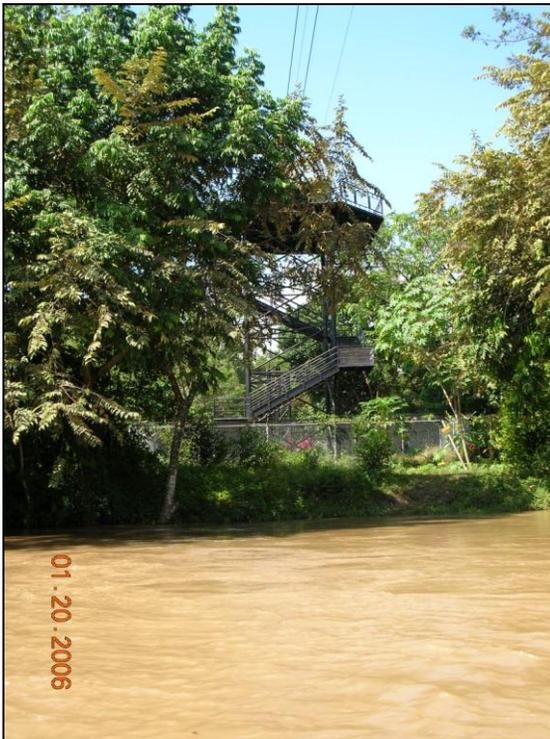
Fotografía 22: Vista de fauna nativa



Fotografía 23: Cultivo isla Gaitana



Fotografía 24: Vista del teleférico



Fotografía 25: Extracción de materiales de construcción



***ANEXO 2: CERTIFICACIÓN IGAC PUNTO NP 107 S2 Y
PENDIENTE HIDRÁULICA TOMADA EN CAMPO***

PENDIENTE HIDRÁULICA REGISTRADA EN CAMPO.

| Estación Santander | Distancia (m) | |
|-----------------------|---------------|---------|
| | Brazo_1 | Brazo_2 |
| Ceibas | 1200 | |
| Isla | 5400 | 5700 |
| Juncal | 11700 | |

ene-18-2006

| Estación Santander | NA (msnm) | Pendiente (m/m) | Pendiente (cm/km) |
|-----------------------|--------------|--------------------|----------------------|
| Ceibas | | | |
| Isla | 433.48 | | |
| Juncal | | | |

ene-19-2006

| Estación | NA (msnm) | Pendiente (m/m) | Pendiente (cm/km) |
|-----------|--------------|--------------------|----------------------|
| Santander | 421.95 | | |
| Ceibas | 424.49 | 0.002115556 | 211.56 |
| Isla | | | |
| Juncal | | | |

ene-20-2006

| Estación | NA (msnm) | Pendiente (m/m) | Pendiente (cm/km) |
|-----------|--------------|--------------------|----------------------|
| Santander | 423.51 | | |
| Ceibas | 425.743667 | 0.001861389 | 186.14 |
| Isla | | | |
| Juncal | | | |

ene-21-2006

| Estación | NA (msnm) | Pendiente (m/m) | Pendiente (cm/km) |
|-----------|--------------|--------------------|----------------------|
| Santander | 423.59 | | |
| Ceibas | 425.82 | 0.001857222 | 185.72 |
| Isla | 435.01 | 0.001612515 | 161.25 |
| Juncal | 449.11 | 0.001205157 | 120.52 |

| ene-22-2006 | | | |
|--------------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|
| Estación | NA (msnm) | Pendiente (m/m) | Pendiente (cm/km) |
| Santander | 422.10 | | |
| Ceibas | 424.49 | 0.00198634 | 198.63 |
| Isla | 433.90 | 0.001742447 | 174.24 |
| Juncal | | | |

| ene-23-2006 | | | |
|--------------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|
| Estación | NA (msnm) | Pendiente (m/m) | Pendiente (cm/km) |
| Santander | 422.63 | | |
| Ceibas | | | |
| Isla | | | |
| Juncal | | | |

| feb-06-2006 | | | |
|--------------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|
| Estación | NA (msnm) | Pendiente (m/m) | Pendiente (cm/km) |
| Santander | | | |
| Ceibas | | | |
| Isla | | | |
| Juncal | 447.187 | | |

***ANEXO 3: INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA
RECOPIADA***

1. Registros medios diarios

INFORMACIÓN HIDROLÓGICA DISPONIBLE Nivel medio diario

| ESTACIÓN | AÑO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|
| | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 |
| El Juncal | / | | | | | | | | | | | / | / | / | 104 | 60 | / | / | / | / |
| Puente Santander | / | | | | | | | | | | | 15 | | | | | | | | / |

CONVENCIONES

| | |
|-----|-------------------------------|
| | Registros completos |
| 104 | Número de registros faltantes |
| / | No hay registros |

INFORMACIÓN HIDROLÓGICA DISPONIBLE Caudal medio diario

| ESTACIÓN | AÑO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|
| | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 |
| El Guayabo | / | / | / | / | / | / | / | / | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | 10 | 231 | / | / | / | / |
| Puente Santander | / | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 15 | | | | | | | | |

CONVENCIONES

| | |
|-----|-------------------------------|
| | Registros completos |
| 231 | Número de registros faltantes |
| / | No hay registros |

INFORMACIÓN HIDROLÓGICA DISPONIBLE Precipitación total mensual

| ESTACIÓN | AÑO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|---------|----|---------|--|--|
| | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 a 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 a 66 | 67 | 68 a 87 | 88 | 89 a 05 | | |
| Apto. Benito Salas | 1 | 5 | | | 8 | 5 | 1 | | 4 | 5 | | 6 | 6 | / | / | / | 10 | / | / | 8 | | 3 | | 2 | / | / | / | | | 2 | | | 1 | | |

CONVENCIONES

| | |
|-----|-------------------------------|
| | Registros completos |
| 231 | Número de registros faltantes |
| / | No hay registros |

2. Registros máximos mensuales

INFORMACIÓN HIDROLÓGICA DISPONIBLE Niveles máximos mensuales

| ESTACIÓN | AÑO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 a 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | |
| El Juncal | / | / | / | / | / | / | / | 3 | | | | / | / | / | 4 | / | / | / | / | 1 | / |
| Puente Santander | / | 6 | | | | | | 2 | 2 | 2 | | 1 | | | | | | | | | / |

CONVENCIONES

| | |
|-----|-------------------------------|
| | Registros completos |
| 104 | Número de registros faltantes |
| / | No hay registros |

INFORMACIÓN HIDROLÓGICA DISPONIBLE Caudales máximos mensuales

| ESTACIÓN | AÑO | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|----|----|---------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 47 | 48 | 49 | 50 a 79 | 80 a 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 |
| El Guayabo | / | / | / | / | | | | 1 | 1 | / | / | / | / | / |
| Puente Santander | / | 6 | 6 | | | | 1 | 1 | | / | / | / | / | / |

CONVENCIONES

| | |
|-----|-------------------------------|
| | Registros completos |
| 231 | Número de registros faltantes |
| / | No hay registros |

INFORMACIÓN HIDROLÓGICA DISPONIBLE Precipitaciones máximas en 24 horas

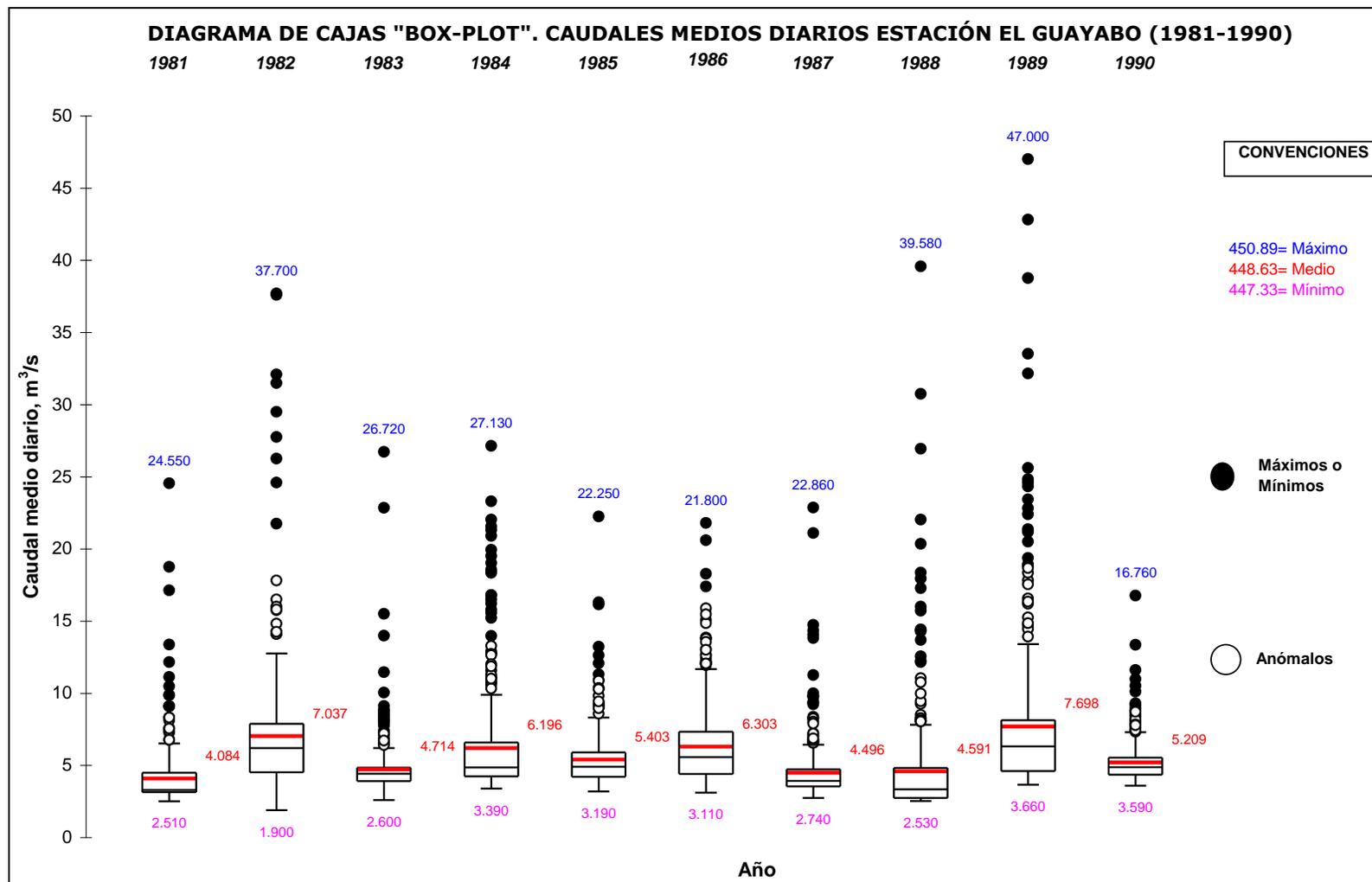
| ESTACIÓN | AÑO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|---------|----|---------|----|---------|----|---------|---|--|--|
| | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 a 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 a 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 a 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 a 70 | 71 | 72 a 77 | 78 | 79 a 87 | 88 | 89 a 05 | | | |
| Apto. Benito Salas | 1 | 8 | 1 | | 8 | 6 | 1 | | 4 | 5 | | 6 | 6 | / | / | 10 | / | 8 | | 3 | | 2 | / | / | 3 | | 2 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | |

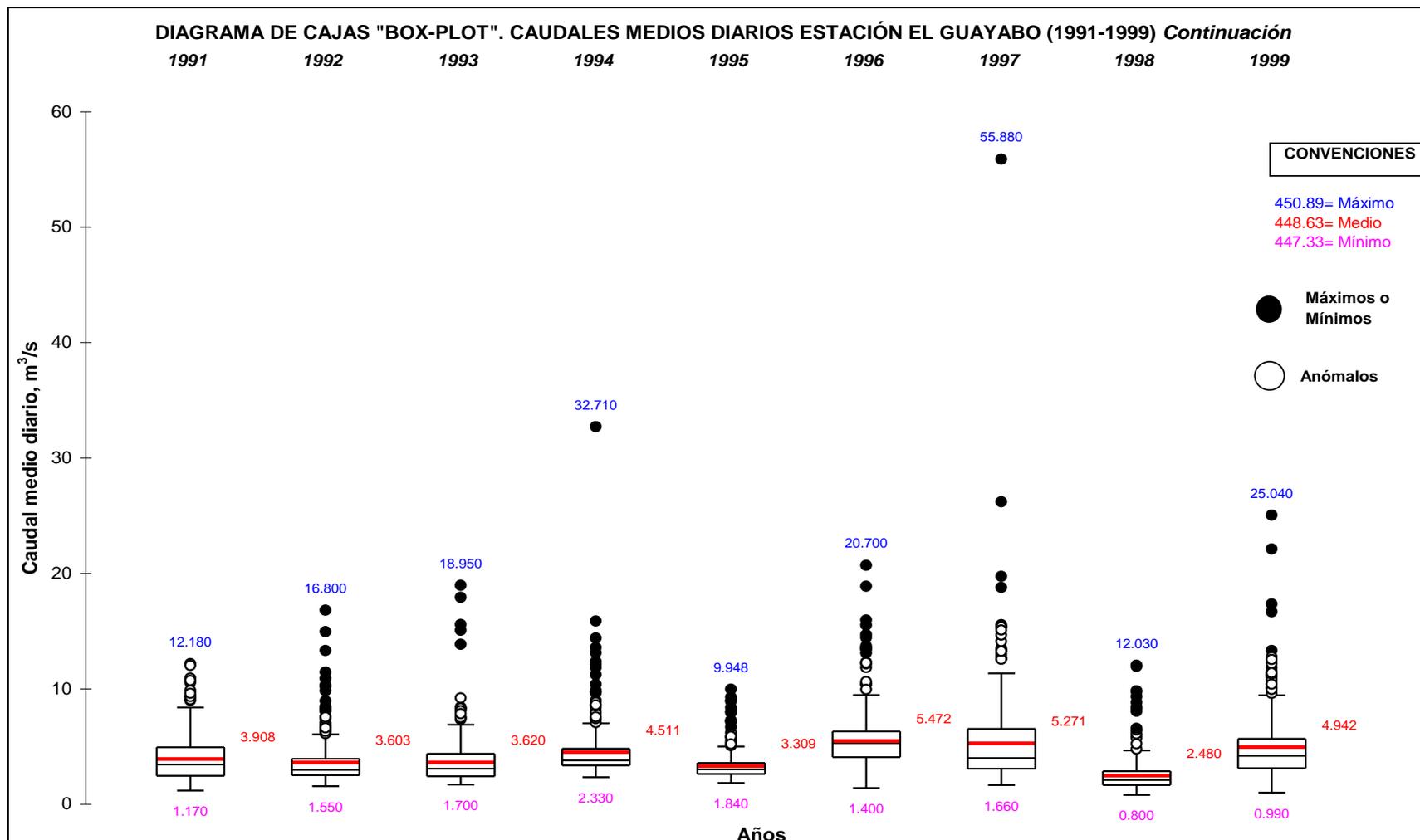
CONVENCIONES

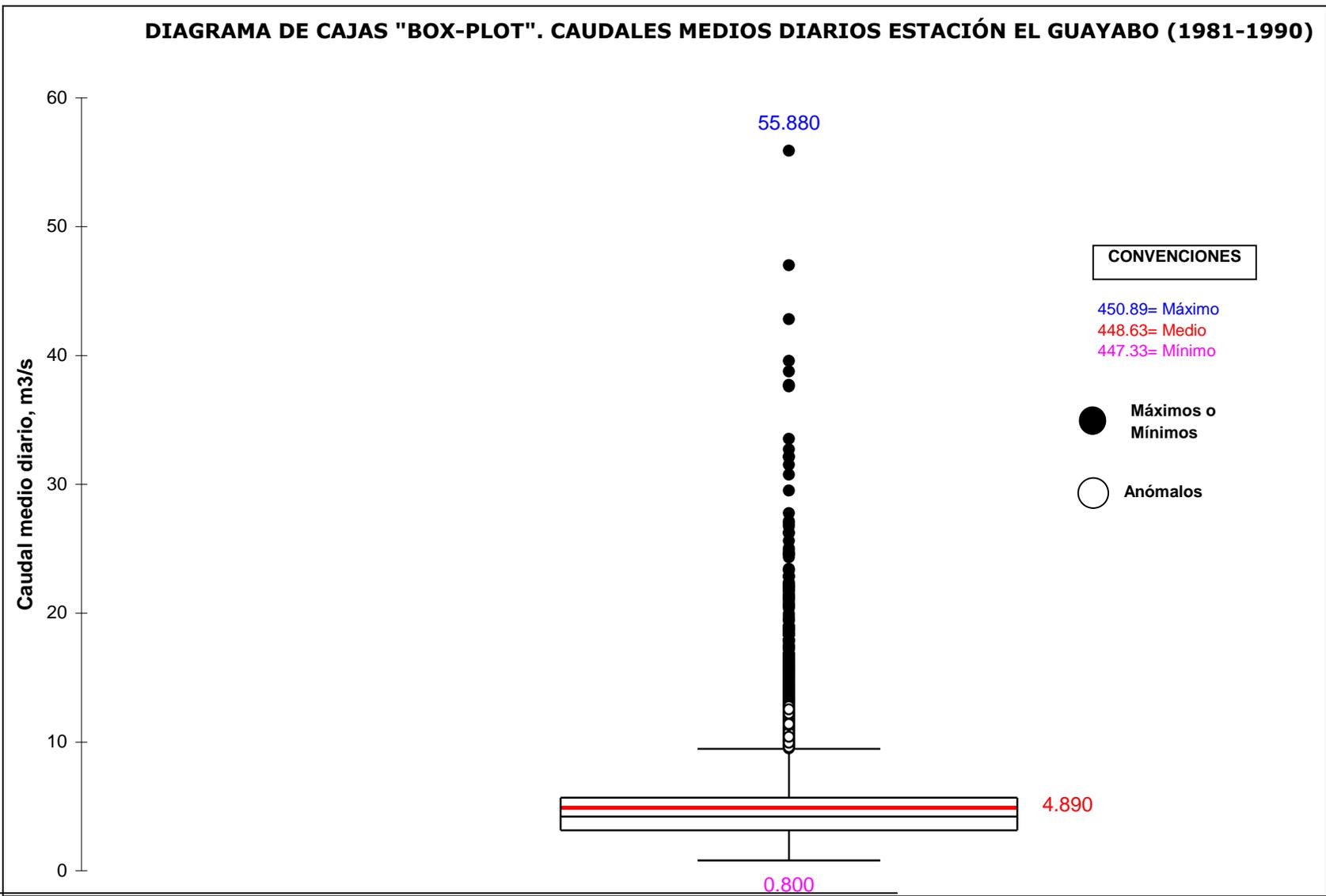
| | |
|-----|-------------------------------|
| | Registros completos |
| 231 | Número de registros faltantes |
| / | No hay registros |

***ANEXO 4: ANÁLISIS DE CONSISTENCIA Y VALIDEZ DE
LA INFORMACIÓN PARA LAS SERIES DE NIVELES Y
CAUDALES MEDIOS DIARIOS***

DIAGRAMAS DE CAJAS Y PATILLAS (BOX-PLOTS) PARA LOS REGISTROS MEDIOS DIARIOS







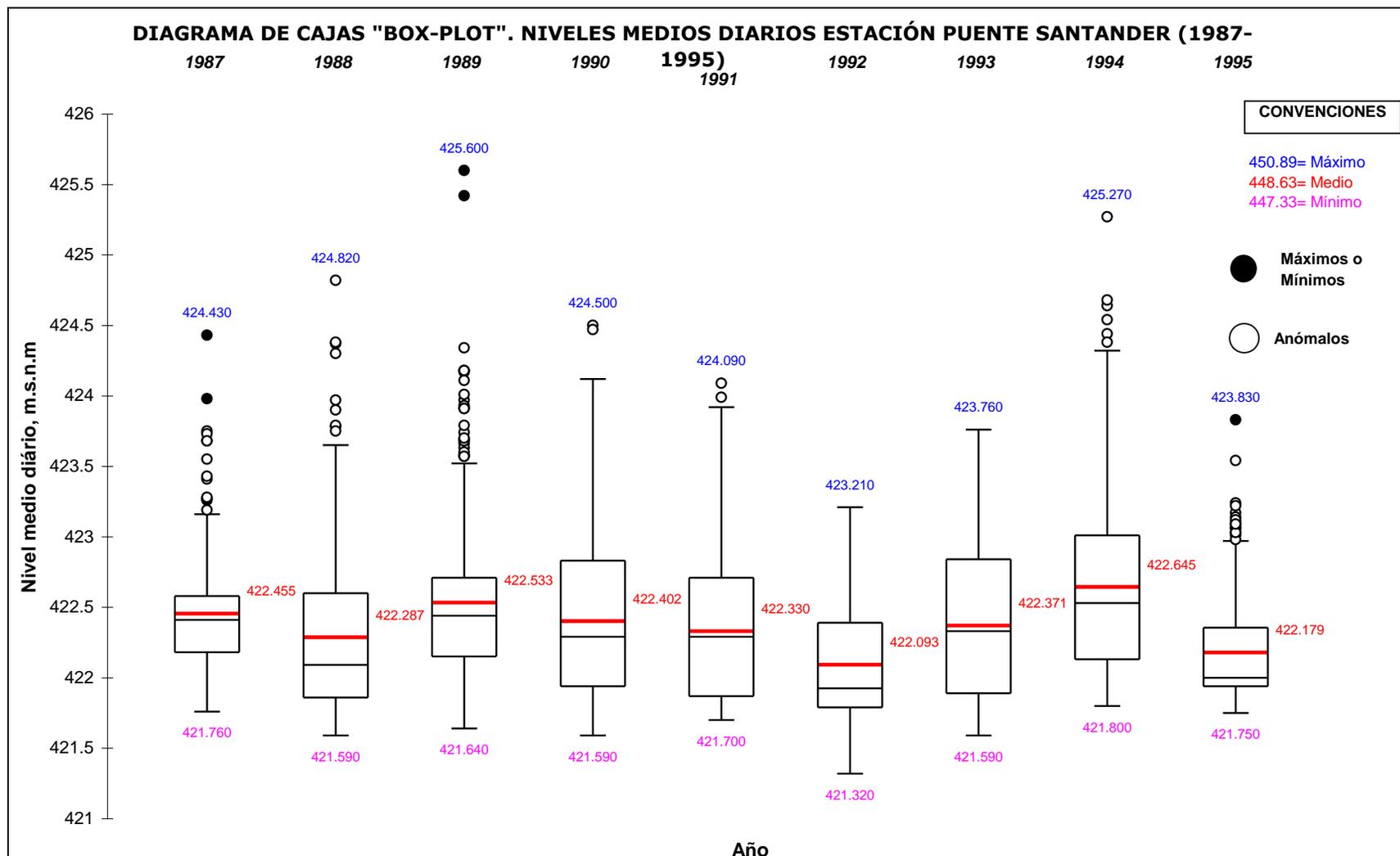
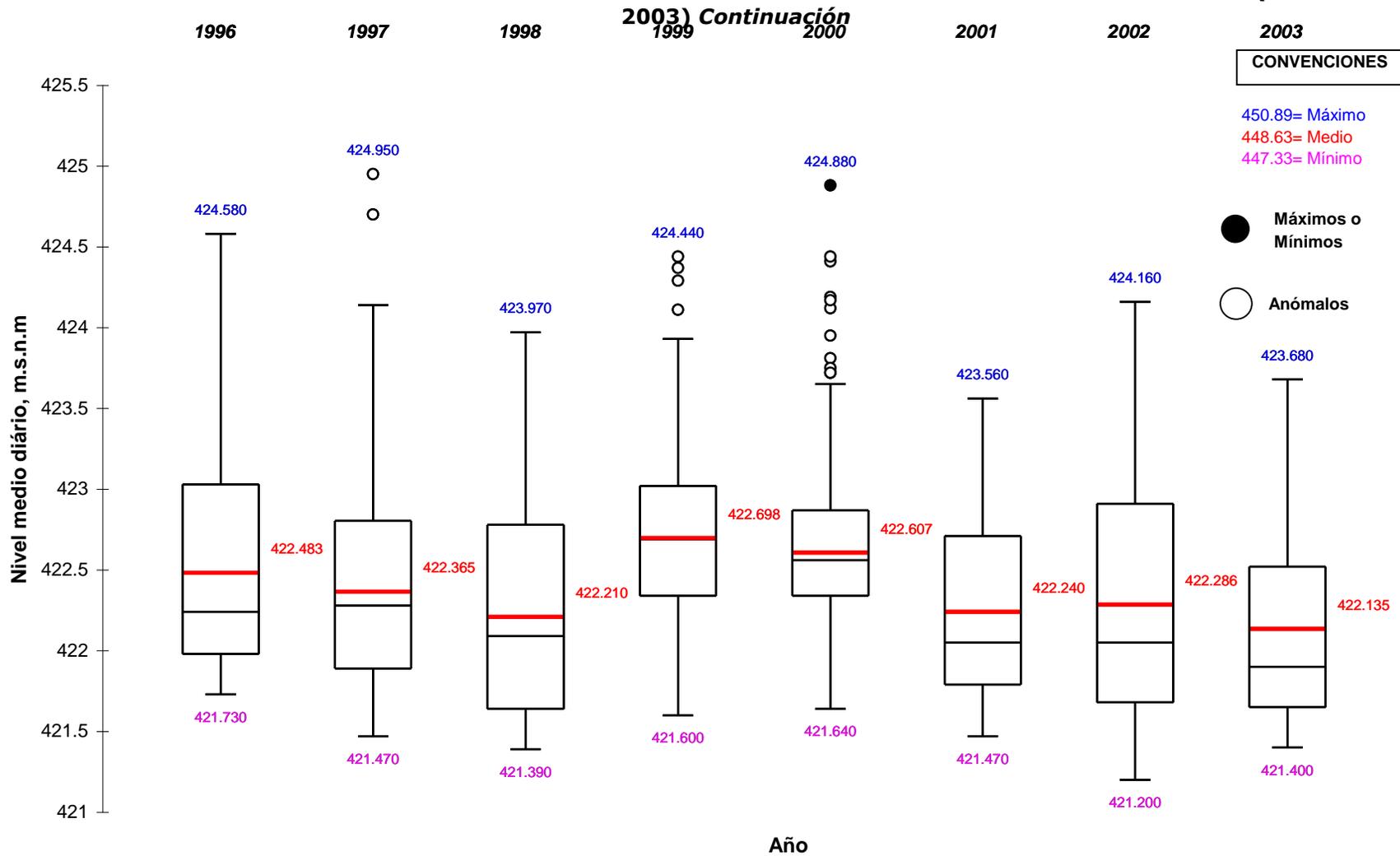
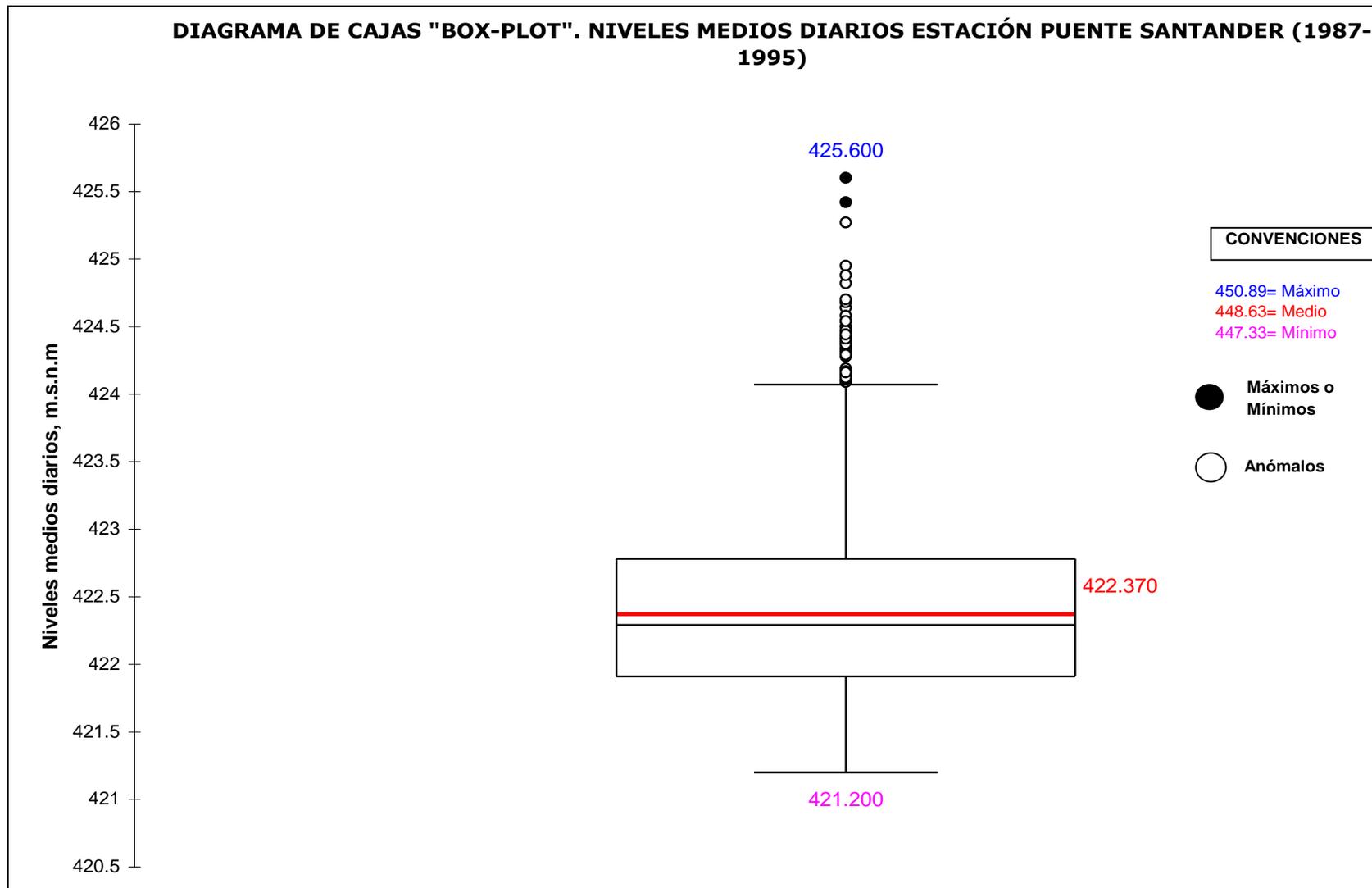
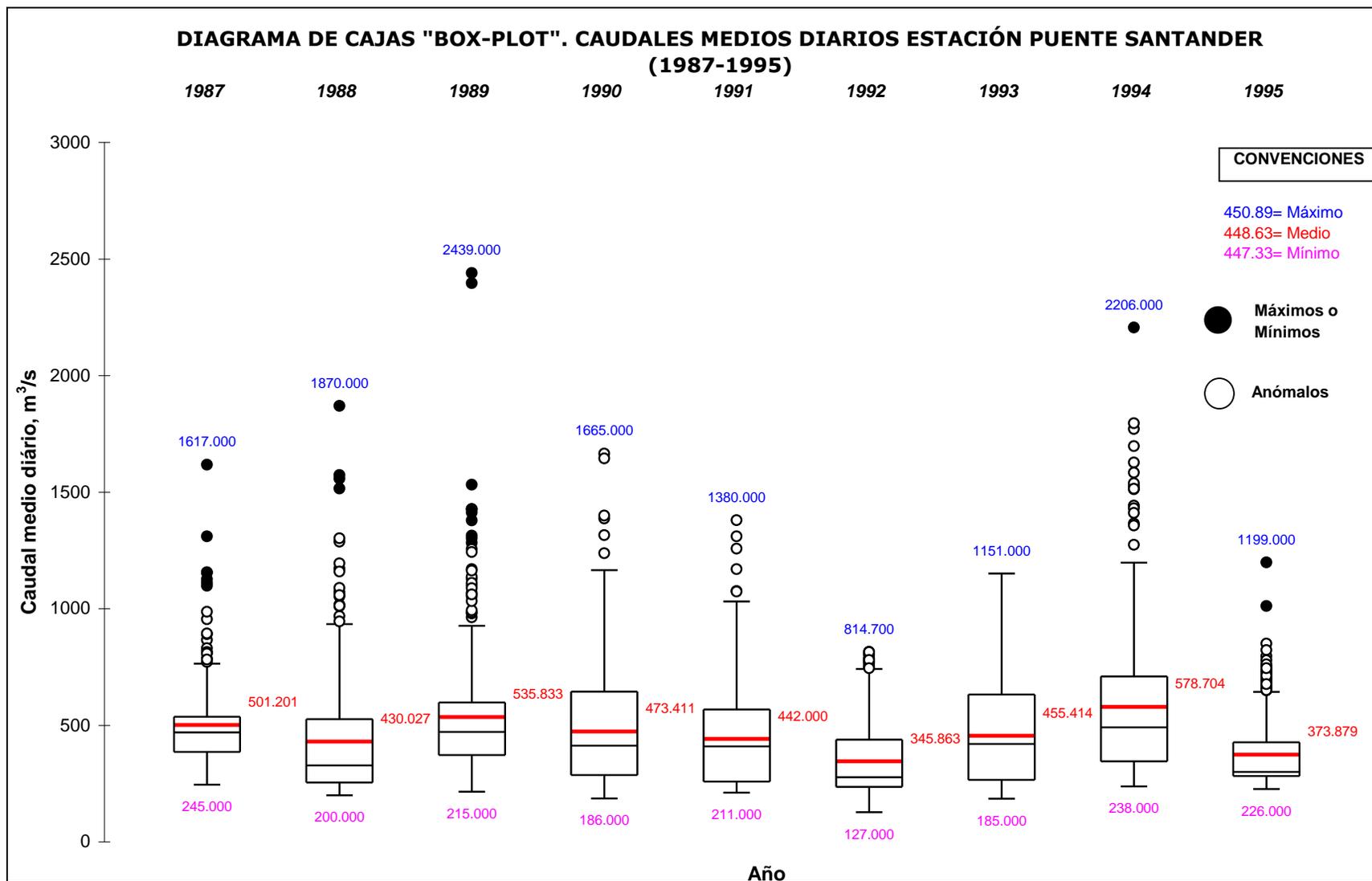
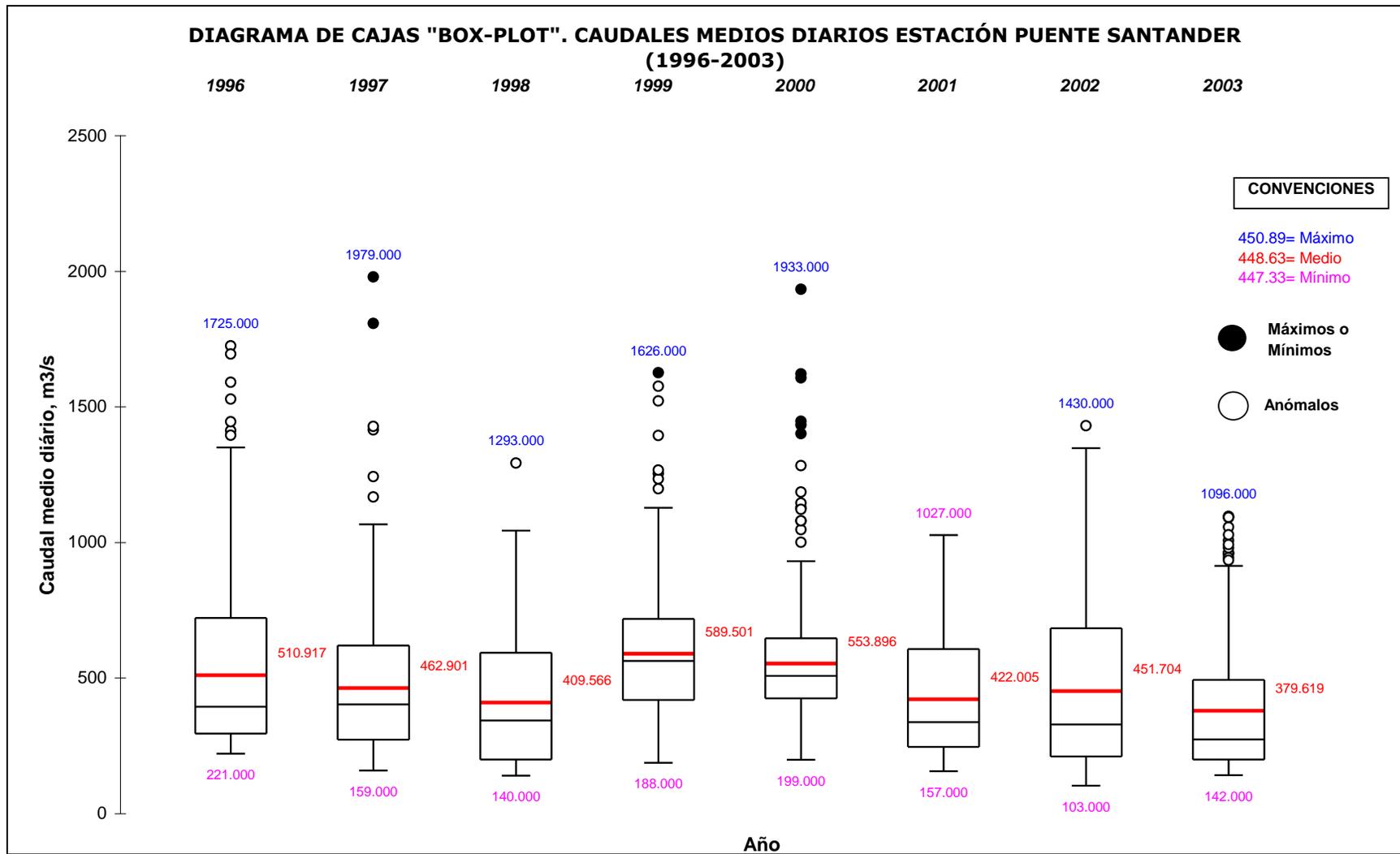


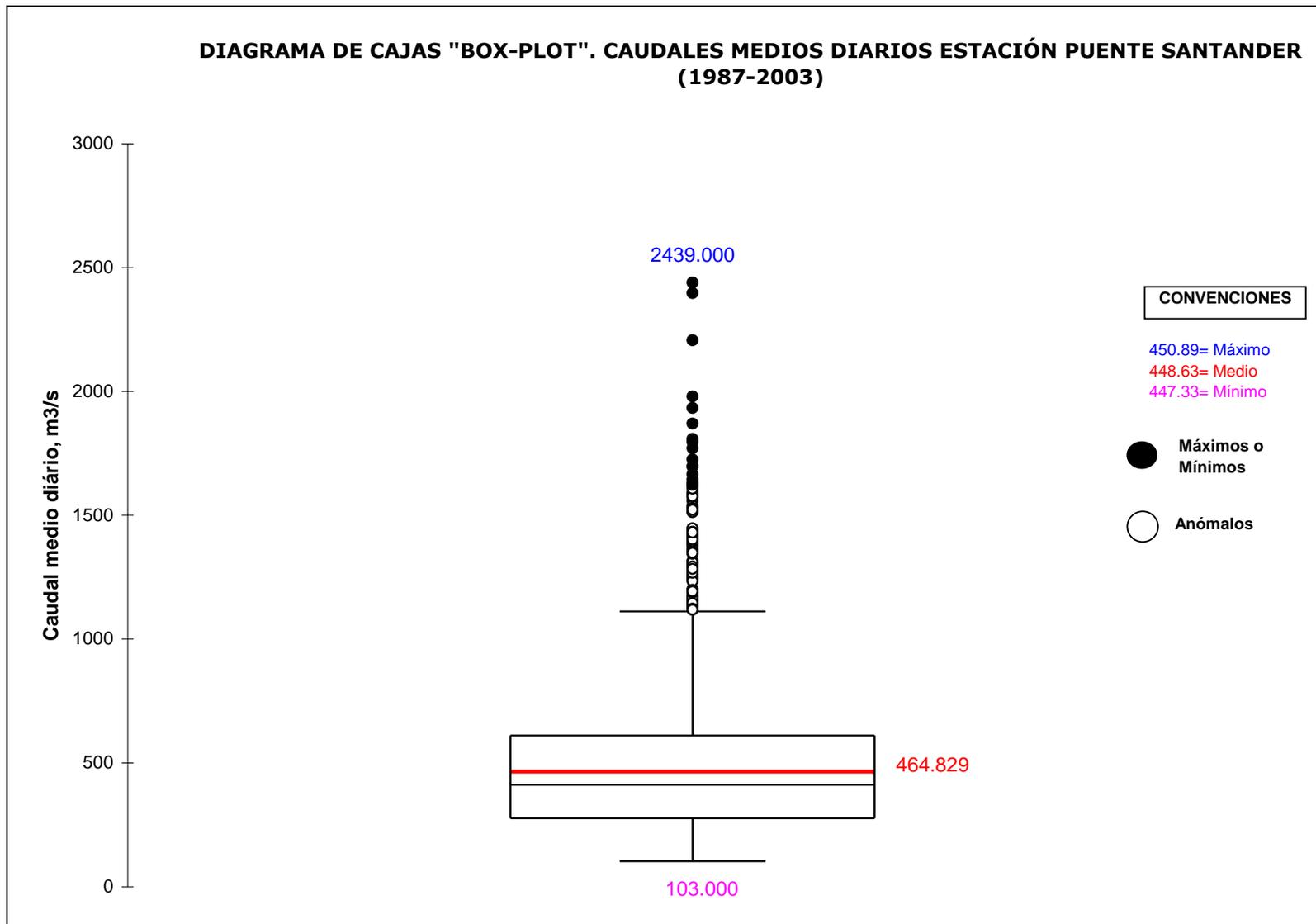
DIAGRAMA DE CAJAS "BOX-PLOT". NIVELES MEDIOS DIARIOS ESTACIÓN PUENTE SANTANDER (1996-

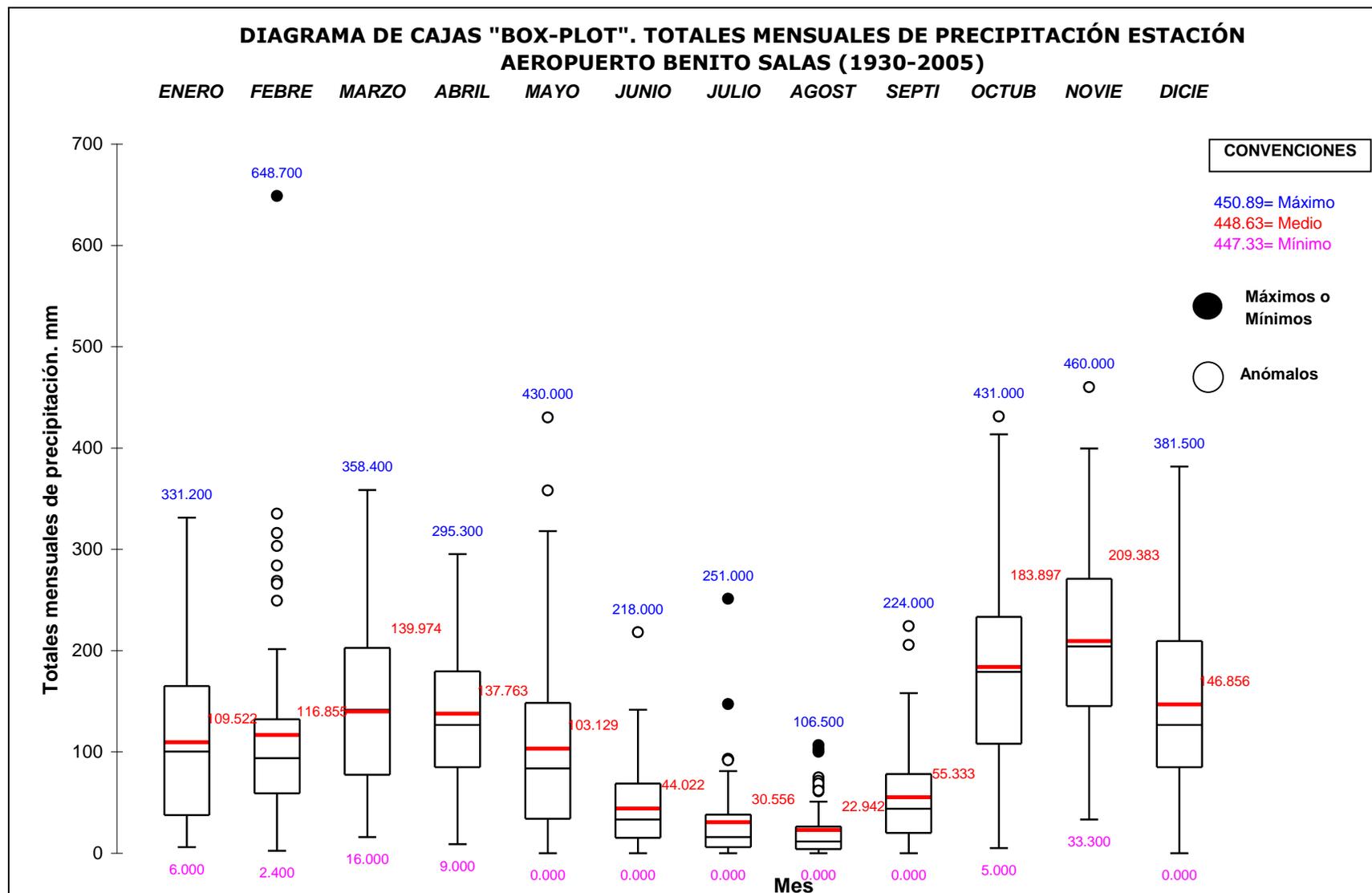


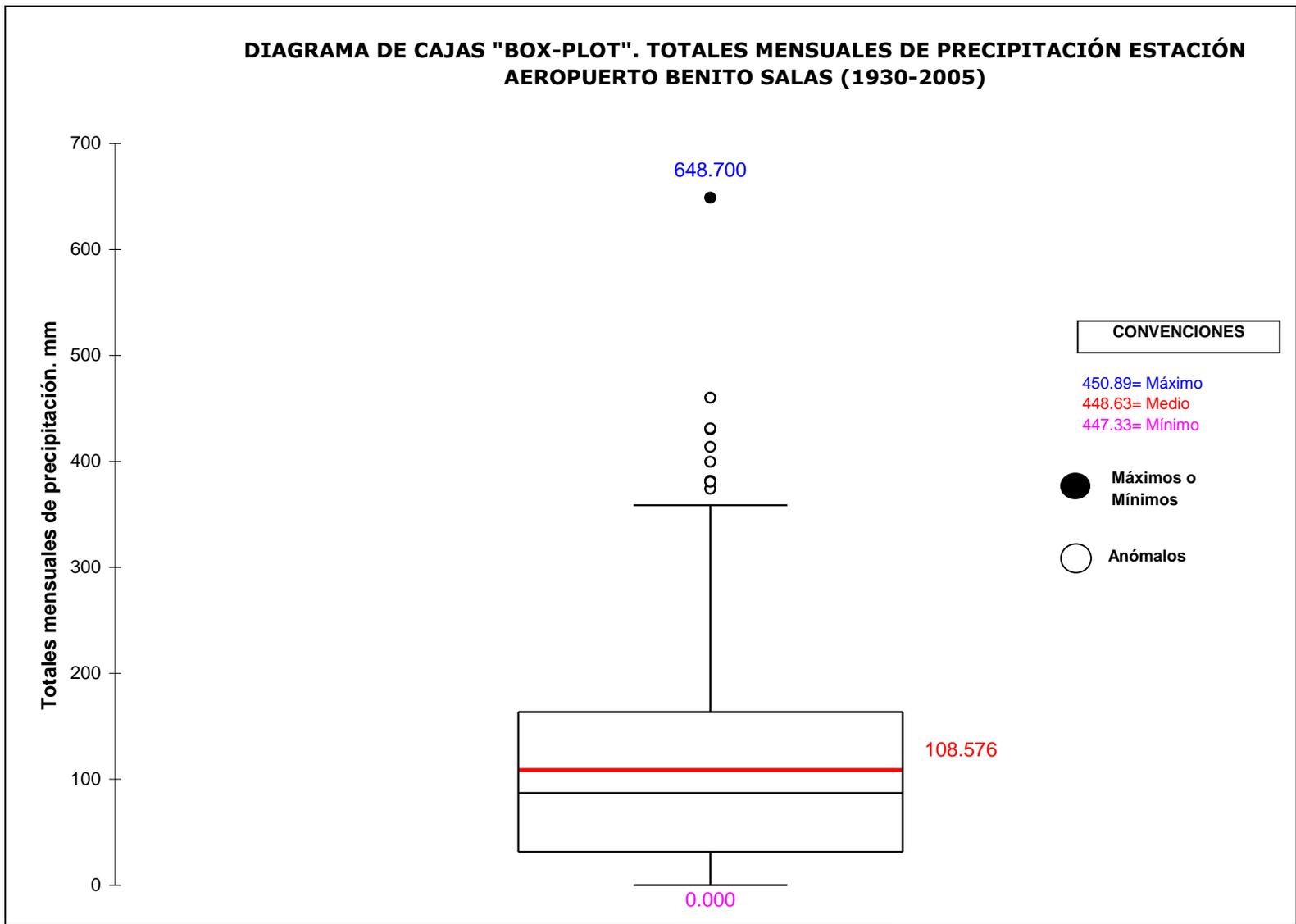












TEST DE GRUBB PARA LOS REGISTROS MEDIOS DIARIOS

| VALORES EXTREMOS DE NIVELES PARA EL TEST DE GRUBB'S. NIVELES MEDIOS DIARIOS ESTACIÓN PUENTE SANTANDER | | | | |
|--|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| Año | Máximo, m.s.n.m | Ln (Máx) | Mínimo, m.s.n.m | Ln (Mín) |
| 1987 | 424.43 | 6.051 | 421.76 | 6.044 |
| 1988 | 424.82 | 6.052 | 421.59 | 6.044 |
| 1989 | 425.6 | 6.053 | 421.64 | 6.044 |
| 1990 | 424.5 | 6.051 | 421.59 | 6.044 |
| 1991 | 424.09 | 6.050 | 421.7 | 6.044 |
| 1992 | 423.21 | 6.048 | 421.32 | 6.043 |
| 1993 | 423.76 | 6.049 | 421.59 | 6.044 |
| 1994 | 425.27 | 6.053 | 421.8 | 6.045 |
| 1995 | 423.83 | 6.049 | 421.75 | 6.044 |
| 1996 | 424.58 | 6.051 | 421.73 | 6.044 |
| 1997 | 424.95 | 6.052 | 421.47 | 6.044 |
| 1998 | 423.97 | 6.050 | 421.39 | 6.044 |
| 1999 | 424.44 | 6.051 | 421.6 | 6.044 |
| 2000 | 424.88 | 6.052 | 421.64 | 6.044 |
| 2001 | 423.56 | 6.049 | 421.47 | 6.044 |
| 2002 | 424.16 | 6.050 | 421.2 | 6.043 |
| 2003 | 423.68 | 6.049 | 421.4 | 6.044 |

| Grubb's test for outliers | | | | |
|---|--------------------|-------------------------------|-------|----------|
| <i>Data:</i> | <i>P<0.05??</i> | Descriptive statistics | | |
| <i>LN Niveles Máximos Estación Puente Santander</i> | | | | |
| 6.0507 | | | | |
| 6.0517 | | | Mean= | 6.050527 |
| 6.0535 | No | | SD= | 0.001513 |
| 6.0509 | | | N= | 17 |
| 6.0499 | | | | |
| 6.0478 | | | | |
| 6.0492 | | | | |
| 6.0527 | | | | |
| 6.0493 | | | | |
| 6.0511 | | | | |
| 6.0520 | | | | |
| 6.0497 | | | | |
| 6.0508 | | | | |

| Grubb's test for outliers | | | | |
|---|--------------------|--|-------------------------------|----------|
| <i>Data:</i> | <i>P<0.05??</i> | | Descriptive statistics | |
| 6.0518 | | | | |
| 6.0487 | | | | |
| 6.0501 | | | | |
| 6.0490 | | | | |
| <i>LN Niveles Mínimos Estación Puente Santander</i> | | | | |
| 6.0444 | | | | |
| 6.0440 | | | <i>Mean=</i> | 6.043979 |
| 6.0442 | | | <i>SD=</i> | 0.000401 |
| 6.0440 | | | <i>N=</i> | 17 |
| 6.0443 | | | | |
| 6.0434 | | | | |
| 6.0440 | | | | |
| 6.0445 | | | | |
| 6.0444 | | | | |
| 6.0444 | | | | |
| 6.0437 | | | | |
| 6.0436 | | | | |
| 6.0440 | | | | |
| 6.0442 | | | | |
| 6.0437 | | | | |
| 6.0431 | No | | | |
| 6.0436 | | | | |

VALORES EXTREMOS DE CAUDALES PARA EL TEST DE GRUBB. CAUDALES MEDIOS DIÁRIOS ESTACIÓN EL GUAYABO

| Año | Máximo, m³/s | Ln (Máx) | Mínimo, m³/s | Ln (Mín) |
|------------|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|
| 1981 | 24.55 | 3.201 | 2.51 | 0.920 |
| 1982 | 37.7 | 3.630 | 1.9 | 0.642 |
| 1983 | 26.72 | 3.285 | 2.6 | 0.956 |
| 1984 | 27.13 | 3.301 | 3.39 | 1.221 |
| 1985 | 22.25 | 3.102 | 3.19 | 1.160 |
| 1986 | 21.8 | 3.082 | 3.11 | 1.135 |
| 1987 | 22.86 | 3.129 | 2.74 | 1.008 |
| 1988 | 39.58 | 3.678 | 2.53 | 0.928 |
| 1989 | 47 | 3.850 | 3.66 | 1.297 |
| 1990 | 16.76 | 2.819 | 3.59 | 1.278 |
| 1991 | 12.18 | 2.500 | 1.17 | 0.157 |
| 1992 | 16.8 | 2.821 | 1.55 | 0.438 |

VALORES EXTREMOS DE CAUDALES PARA EL TEST DE GRUBB. CAUDALES MEDIOS DIÁRIOS ESTACIÓN EL GUAYABO

| Año | Máximo, m³/s | Ln (Máx) | Mínimo, m³/s | Ln (Mín) |
|------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| 1993 | 18.95 | 2.942 | 1.7 | 0.531 |
| 1994 | 32.71 | 3.488 | 2.33 | 0.846 |
| 1995 | 9.948 | 2.297 | 1.84 | 0.610 |
| 1996 | 20.7 | 3.030 | 1.4 | 0.336 |
| 1997 | 55.88 | 4.023 | 1.66 | 0.507 |
| 1998 | 12.03 | 2.487 | 0.8 | -0.223 |
| 1999 | 25.04 | 3.220 | 0.99 | -0.010 |

| <i>Grubb's test for outliers.</i> | | | |
|--|--------------------|-------------------------------|----------|
| <i>LN Caudales Máximos Estación El Guayabo</i> | | | |
| <i>Data:</i> | <i>P<0.05??</i> | <i>Descriptive statistics</i> | |
| 3.20 | | | |
| 3.63 | | Mean= | 3.151936 |
| 3.29 | | SD= | 0.459214 |
| 3.30 | | N= | 19 |
| 3.10 | | | |
| 3.08 | | | |
| 3.13 | | | |
| 3.68 | | | |
| 3.85 | | | |
| 2.82 | | | |
| 2.50 | | | |
| 2.82 | | | |
| 2.94 | | | |
| 3.49 | | | |
| 2.29 | | | |
| 3.03 | | | |
| 4.02 | No | | |
| 2.49 | | | |
| 3.22 | | | |

| Grubb's test for outliers | | | |
|--|--------------------|-------------------------------|----------|
| LN Caudales Mínimos Estación El Guayabo | | | |
| Data | P<0.05?? | Descriptive statistics | |
| 0.92 | | | |
| 0.64 | | Mean= | 0.722975 |
| 0.96 | | SD= | 0.444996 |

| Grubb's test for outliers | | | |
|--|--------------------|-------------------------------|----|
| LN Caudales Mínimos Estación El Guayabo | | | |
| Data | P<0.05?? | Descriptive statistics | |
| 1.22 | | N= | 19 |
| 1.16 | | | |
| 1.13 | | | |
| 1.01 | | | |
| 0.93 | | | |
| 1.30 | | | |
| 1.28 | | | |
| 0.16 | | | |
| 0.44 | | | |
| 0.53 | | | |
| 0.86 | | | |
| 0.61 | | | |
| 0.34 | | | |
| 0.51 | | | |
| -0.22 | No | | |
| -0.01 | | | |

| VALORES EXTREMOS DE CAUDALES PARA EL TEST DE GRUBB. CAUDALES MEDIOS DIÁRIOS ESTACIÓN PUENTE SANTANDER | | | | |
|--|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| Año | Máximo, m³/s | Ln (Máx) | Mínimo, m³/s | Ln (Mín) |
| 1987 | 1617 | 7.388 | 245 | 5.501 |
| 1988 | 1870 | 7.534 | 200 | 5.298 |
| 1989 | 2439 | 7.799 | 215 | 5.371 |
| 1990 | 1665 | 7.418 | 186 | 5.226 |
| 1991 | 1380 | 7.230 | 211 | 5.352 |
| 1992 | 814.7 | 6.703 | 127 | 4.844 |
| 1993 | 1151 | 7.048 | 185 | 5.220 |
| 1994 | 2206 | 7.699 | 238 | 5.472 |
| 1995 | 1199 | 7.089 | 226 | 5.421 |
| 1996 | 1725 | 7.453 | 221 | 5.398 |
| 1997 | 1979 | 7.590 | 159 | 5.069 |
| 1998 | 1293 | 7.165 | 140 | 4.942 |
| 1999 | 1626 | 7.394 | 188 | 5.236 |
| 2000 | 1933 | 7.567 | 199 | 5.293 |
| 2001 | 1027 | 6.934 | 157 | 5.056 |
| 2002 | 1430 | 7.265 | 103 | 4.635 |

| VALORES EXTREMOS DE CAUDALES PARA EL TEST DE GRUBB. CAUDALES MEDIOS DIÁRIOS ESTACIÓN PUENTE SANTANDER | | | | |
|--|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| Año | Máximo, m³/s | Ln (Máx) | Mínimo, m³/s | Ln (Mín) |
| 2003 | 1096 | 6.999 | 142 | 4.956 |

| Grubb's test for outliers | | | |
|---|--------------------|-------------------------------|----------|
| LN Caudales Máximos Puente Santander | | | |
| Data: | P<0.05?? | Descriptive statistics | |
| 7.39 | | | |
| 7.53 | | Mean= | 7.310363 |
| 7.80 | | SD= | 0.294046 |
| 7.42 | | N= | 17 |
| 7.23 | | | |
| 6.70 | No | | |
| 7.04 | | | |
| 7.70 | | | |
| 7.09 | | | |
| 7.45 | | | |
| 7.60 | | | |
| 7.16 | | | |
| 7.40 | | | |
| 7.57 | | | |
| 6.93 | | | |
| 7.27 | | | |
| 7.00 | | | |

| Grubb's test for outliers | | | |
|---|--------------------|-------------------------------|----------|
| LN Caudales Mínimos Puente Santander | | | |
| Data: | P<0.05?? | Descriptive statistics | |
| 5.50 | | | |
| 5.29 | | Mean= | 5.193554 |
| 5.37 | | SD= | 0.24179 |
| 5.22 | | N= | 17 |
| 5.35 | | | |
| 4.84 | | | |
| 5.22 | | | |
| 5.47 | | | |
| 5.42 | | | |
| 5.39 | | | |

| Grubb's test for outliers | | | |
|---|--------------------|-------------------------------|--|
| LN Caudales Mínimos Puente Santander | | | |
| Data: | P<0.05?? | Descriptive statistics | |
| 5.06 | | | |
| 4.94 | | | |
| 5.23 | | | |
| 5.29 | | | |
| 5.05 | | | |
| 4.63 | No | | |
| 4.95 | | | |

**VALORES EXTREMOS DE PRECIPITACIONES
 PARA EL TEST DE GRUBB'S.
 PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES
 ESTACIÓN AEROPUERTO BENITO SALAS**

| Año | Máximo, mm | Ln (Máx) | Mínimo, mm |
|------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| Enero | 331.2 | 5.803 | 6 |
| Febrero | 648.7 | 6.475 | 2.4 |
| Marzo | 358.4 | 5.882 | 16 |
| Abril | 295.3 | 5.688 | 9 |
| Mayo | 430 | 6.064 | 0 |
| Junio | 218 | 5.384 | 0 |
| Julio | 251 | 5.525 | 0 |
| Agosto | 106.5 | 4.668 | 0 |
| Septiembre | 224 | 5.412 | 0 |
| Octubre | 431 | 6.066 | 5 |
| Noviembre | 460 | 6.131 | 33.3 |
| Diciembre | 381.5 | 5.944 | 0 |

| Grubb's test for outliers | | | |
|---|--------------------|-------------------------------|----------|
| LN Precipitaciones Máximas Aeropuerto Benito Salas | | | |
| Data: | P<0.05?? | Descriptive statistics | |
| 5.80 | | | |
| 6.47 | | Mean= | 5.753525 |
| 5.88 | | SD= | 0.46707 |
| 5.69 | | N= | 12 |
| 6.06 | | | |
| 5.38 | | | |
| 5.52 | | | |
| 4.67 | No | | |
| 5.41 | | | |

| Grubb's test for outliers | | | |
|---|--------------------|-------------------------------|--|
| LN Precipitaciones Máximas Aeropuerto Benito Salas | | | |
| Data: | P<0.05?? | Descriptive statistics | |
| 6.06 | | | |
| 6.13 | | | |
| 5.94 | | | |

| Grubb's test for outliers | | | |
|--|--------------------|-------------------------------|----------|
| Precipitaciones Mínimas Aeropuerto Benito Salas | | | |
| Data: | P<0.05?? | Descriptive statistics | |
| 6 | | | |
| 2.4 | | Mean= | 5.975 |
| 16 | | SD= | 9.928117 |
| 9 | | N= | 12 |
| 0 | | | |
| 0 | | | |
| 0 | | | |
| 0 | | | |
| 0 | | | |
| 5 | | | |
| 33.3 | Yes | | |
| 0 | | | |

DATOS ANÓMALOS SELECCIONADOS SEGÚN CADA CRITERIO O PRUEBA PARA LOS REGISTROS MEDIOS DIARIOS.

Según los registros de la series de tiempo

| POSIBLES DATOS ANÓMALOS EN LOS REGISTROS DE TIEMPO. SEGÚN LA INSPECCIÓN DE LAS SERIES DE TIEMPO | | | | |
|--|------------------------|---------------|----------------|----------------|
| Estación | Unidad | Fecha | Máximos | Mínimos |
| <i>Nivel Juncal</i> | <i>m.s.n.m</i> | 28/10/1988 | | 447.54 |
| | | 01/12/1995 | | 447.56 |
| <i>Nivel Puente Santander</i> | <i>m.s.n.m</i> | 30/09/2002 | | 421.20 |
| | | 01/10/2002 | | 421.20 |
| <i>Caudal El Guayabo</i> | <i>m³/s</i> | 21/03/1997 | 55.88 | |
| | | 01/05/1998 | | 0.8 |
| <i>Caudal Puente Santander</i> | <i>m³/s</i> | 07/07/1989 | 2439 | |
| | | 30/09/2002 | | 103 |
| | | 01/10/2002 | | 103 |
| <i>Precipitación Apto Benito Salas</i> | <i>mm</i> | <i>Feb-99</i> | 648.7 | |

Según diagramas de cajas (Box-Plots)

| NIVELES MEDIOS DIÁRIOS EL JUNCAL. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS | | | | | |
|--|--------------|------------------------|-----------|--------------|------------------------|
| No | Fecha | Nivel (m.s.n.m) | No | Fecha | Nivel (m.s.n.m) |
| 1 | 21/06/1987 | 450.14 | 34 | 06/07/1990 | 450.29 |
| 2 | 31/07/1987 | 450.1 | 35 | 02/08/1991 | 450.46 |
| 3 | 29/10/1987 | 450.55 | 36 | 03/08/1991 | 449.96 |
| 4 | 13/07/1988 | 451.81 | 37 | 09/08/1991 | 449.99 |
| 5 | 22/07/1988 | 451.06 | 38 | 02/09/1991 | 449.92 |
| 6 | 26/07/1988 | 451.19 | 39 | 16/10/1992 | 450 |
| 7 | 16/11/1988 | 450.8 | 40 | 16/11/1993 | 451.06 |
| 8 | 23/11/1988 | 450.27 | 41 | 29/11/1993 | 450.01 |
| 9 | 26/11/1988 | 449.87 | 42 | 02/04/1994 | 451.26 |
| 10 | 01/12/1988 | 450.21 | 43 | 03/04/1994 | 451.81 |
| 11 | 02/12/1988 | 450.05 | 44 | 04/04/1994 | 450.54 |
| 12 | 02/01/1989 | 450.16 | 45 | 09/04/1994 | 450.7 |
| 13 | 17/03/1989 | 450.46 | 46 | 10/04/1994 | 449.97 |
| 14 | 18/03/1989 | 450.36 | 47 | 06/05/1994 | 450.74 |
| 15 | 19/03/1989 | 449.93 | 48 | 07/05/1994 | 451.39 |
| 16 | 20/05/1989 | 450.66 | 49 | 08/05/1994 | 450.69 |
| 17 | 21/05/1989 | 450.68 | 50 | 09/05/1994 | 450.29 |
| 18 | 22/05/1989 | 450.91 | 51 | 03/06/1994 | 449.91 |
| 19 | 23/05/1989 | 450.41 | 52 | 04/06/1994 | 451.04 |
| 20 | 24/05/1989 | 450.76 | 53 | 05/06/1994 | 450.45 |
| 21 | 25/05/1989 | 450.26 | 54 | 07/06/1994 | 450.74 |
| 22 | 13/06/1989 | 450.67 | 55 | 17/06/1994 | 450.34 |
| 23 | 14/06/1989 | 449.99 | 56 | 27/06/1994 | 450.66 |
| 24 | 15/06/1989 | 449.9 | 57 | 28/06/1994 | 450.29 |
| 25 | 07/07/1989 | 452.74 | 58 | 10/07/1994 | 451.05 |
| 26 | 08/07/1989 | 451.91 | 59 | 11/07/1994 | 451.46 |
| 27 | 17/07/1989 | 449.96 | 60 | 12/07/1994 | 450.82 |
| 28 | 24/05/1990 | 450.46 | 61 | 13/07/1994 | 449.96 |
| 29 | 13/06/1990 | 450.14 | 62 | 28/09/1994 | 450.07 |
| 30 | 14/06/1990 | 450.14 | 63 | 29/09/1994 | 449.89 |
| 31 | 18/06/1990 | 450.92 | | | |
| 32 | 19/06/1990 | 450.73 | | | |
| 33 | 05/07/1990 | 450.31 | | | |

% DEL TOTAL DE DATOS 1.99

| CAUDALES MEDIOS DIÁRIOS EL GUAYABO. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|------------------------|-----------|--------------|------------------------|-----------|--------------|------------------------|-----------|--------------|------------------------|
| No | Fecha | m³/s | No | Fecha | m³/s | No | Fecha | m³/s | No | Fecha | m³/s |
| 1 | 08/01/1981 | 17.12 | 87 | 07/11/1984 | 15.57 | 173 | 21/11/1988 | 17.94 | 259 | 06/03/1991 | 12.02 |
| 2 | 02/03/1981 | 10.47 | 88 | 08/11/1984 | 16.8 | 174 | 22/11/1988 | 39.58 | 260 | 07/03/1991 | 12.18 |
| 3 | 15/03/1981 | 12.15 | 89 | 09/11/1984 | 19.02 | 175 | 23/11/1988 | 22.03 | 261 | 26/03/1991 | 10.53 |
| 4 | 17/03/1981 | 11.13 | 90 | 10/11/1984 | 19.94 | 176 | 24/11/1988 | 18.36 | 262 | 03/04/1991 | 9.86 |
| 5 | 18/03/1981 | 24.55 | 91 | 13/11/1984 | 10.59 | 177 | 25/11/1988 | 12.15 | 263 | 13/04/1991 | 9.6 |
| 6 | 04/05/1981 | 9.86 | 92 | 14/11/1984 | 12.72 | 178 | 26/11/1988 | 14.41 | 264 | 01/09/1991 | 10.91 |
| 7 | 02/06/1981 | 18.75 | 93 | 15/11/1984 | 11.28 | 179 | 30/11/1988 | 11.04 | 265 | 15/11/1991 | 10.71 |
| 8 | 20/11/1981 | 13.37 | 94 | 16/11/1984 | 10.73 | 180 | 01/12/1988 | 26.94 | 266 | 14/02/1992 | 14.95 |
| 9 | 21/11/1981 | 9.86 | 95 | 17/11/1984 | 10.81 | 181 | 02/12/1988 | 17.27 | 267 | 24/07/1992 | 9.82 |
| 10 | 01/01/1982 | 9.75 | 96 | 18/11/1984 | 10.32 | 182 | 03/12/1988 | 12.22 | 268 | 02/12/1992 | 13.31 |
| 11 | 02/01/1982 | 11.7 | 97 | 19/11/1984 | 9.89 | 183 | 04/12/1988 | 15.71 | 269 | 03/12/1992 | 10.88 |
| 12 | 03/01/1982 | 11.25 | 98 | 20/11/1984 | 9.68 | 184 | 05/12/1988 | 20.36 | 270 | 11/12/1992 | 10.17 |
| 13 | 04/01/1982 | 12 | 99 | 25/11/1984 | 12.64 | 185 | 06/12/1988 | 10.75 | 271 | 12/12/1992 | 16.8 |
| 14 | 05/01/1982 | 12.75 | 100 | 28/11/1984 | 11 | 186 | 07/12/1988 | 12.55 | 272 | 13/12/1992 | 11.44 |
| 15 | 06/01/1982 | 16.5 | 101 | 09/12/1984 | 9.54 | 187 | 25/12/1988 | 9.98 | 273 | 18/12/1992 | 10.32 |
| 16 | 07/01/1982 | 26.25 | 102 | 17/12/1984 | 12 | 188 | 11/03/1989 | 12.58 | 274 | 03/02/1993 | 15.57 |
| 17 | 08/01/1982 | 27.75 | 103 | 18/12/1984 | 11.86 | 189 | 12/03/1989 | 32.15 | 275 | 25/02/1993 | 15.07 |
| 18 | 09/01/1982 | 14.25 | 104 | 12/01/1985 | 11.3 | 190 | 13/03/1989 | 47 | 276 | 18/12/1993 | 17.91 |
| 19 | 10/01/1982 | 12.75 | 105 | 23/01/1985 | 10.32 | 191 | 14/03/1989 | 42.82 | 277 | 19/12/1993 | 13.84 |
| 20 | 11/01/1982 | 10.05 | 106 | 19/03/1985 | 10.9 | 192 | 15/03/1989 | 16.56 | 278 | 26/12/1993 | 18.95 |
| 21 | 29/01/1982 | 29.5 | 107 | 20/03/1985 | 16.15 | 193 | 16/03/1989 | 25.6 | 279 | 09/01/1994 | 13.1 |
| 22 | 17/02/1982 | 24.6 | 108 | 26/04/1985 | 16.3 | 194 | 17/03/1989 | 20.51 | 280 | 10/01/1994 | 14.39 |
| 23 | 18/02/1982 | 37.6 | 109 | 27/04/1985 | 22.25 | 195 | 18/03/1989 | 22.39 | 281 | 04/02/1994 | 32.71 |
| 24 | 19/02/1982 | 37.7 | 110 | 28/04/1985 | 12.62 | 196 | 19/03/1989 | 11.75 | 282 | 02/04/1994 | 9.73 |
| 25 | 20/02/1982 | 31.5 | 111 | 30/04/1985 | 10.85 | 197 | 20/03/1989 | 21.37 | 283 | 06/05/1994 | 11.22 |
| 26 | 21/02/1982 | 21.75 | 112 | 01/05/1985 | 10.36 | 198 | 21/03/1989 | 15.24 | 284 | 10/07/1994 | 12.36 |
| 27 | 22/02/1982 | 15.75 | 113 | 02/05/1985 | 9.81 | 199 | 22/03/1989 | 33.53 | 285 | 11/07/1994 | 15.87 |
| 28 | 23/02/1982 | 14.1 | 114 | 14/07/1985 | 12.08 | 200 | 23/03/1989 | 38.76 | 286 | 12/07/1994 | 12.11 |
| 29 | 24/02/1982 | 12.45 | 115 | 21/08/1985 | 13.22 | 201 | 24/03/1989 | 24.82 | 287 | 13/07/1994 | 11.84 |
| 30 | 25/02/1982 | 11.85 | 116 | 13/11/1985 | 10.28 | 202 | 25/03/1989 | 21.17 | 288 | 16/07/1994 | 13.56 |
| 31 | 26/02/1982 | 11.7 | 117 | 20/02/1986 | 13.04 | 203 | 26/03/1989 | 23.43 | 289 | 17/07/1994 | 9.84 |
| 32 | 27/02/1982 | 11.7 | 118 | 21/02/1986 | 13.85 | 204 | 27/03/1989 | 22.82 | 290 | 18/11/1994 | 9.75 |
| 33 | 28/02/1982 | 11.55 | 119 | 22/02/1986 | 11.94 | 205 | 28/03/1989 | 24.6 | 291 | 19/11/1994 | 10.37 |
| 34 | 01/03/1982 | 12 | 120 | 25/02/1986 | 10.17 | 206 | 29/03/1989 | 24.32 | 292 | 21/11/1994 | 9.63 |
| 35 | 02/03/1982 | 12 | 121 | 28/02/1986 | 15.05 | 207 | 30/03/1989 | 19.37 | 293 | 22/02/1995 | 9.948 |
| 36 | 03/03/1982 | 11.85 | 122 | 01/03/1986 | 12.43 | 208 | 31/03/1989 | 18.83 | 294 | 18/01/1996 | 13.08 |
| 37 | 04/03/1982 | 10.5 | 123 | 03/03/1986 | 21.8 | 209 | 01/04/1989 | 17.83 | 295 | 19/01/1996 | 18.87 |
| 38 | 05/03/1982 | 10.5 | 124 | 04/03/1986 | 18.27 | 210 | 02/04/1989 | 18.93 | 296 | 18/02/1996 | 10.38 |
| 39 | 06/03/1982 | 10.5 | 125 | 05/03/1986 | 14.85 | 211 | 03/04/1989 | 18.34 | 297 | 11/03/1996 | 15.5 |

**CAUDALES MEDIOS DIÁRIOS EL GUAYABO. POSIBLES VALORES ANÓMALOS
 SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS**

| No | Fecha | m ³ /s | No | Fecha | m ³ /s | No | Fecha | m ³ /s | No | Fecha | m ³ /s |
|----|------------|-------------------|-----|------------|-------------------|-----|------------|-------------------|-----|------------|-------------------|
| 40 | 16/03/1982 | 32.1 | 126 | 06/03/1986 | 11.08 | 212 | 04/04/1989 | 17.55 | 298 | 12/03/1996 | 14.43 |
| 41 | 17/03/1982 | 14.1 | 127 | 07/03/1986 | 12.66 | 213 | 05/04/1989 | 14.72 | 299 | 15/03/1996 | 14.68 |
| 42 | 18/03/1982 | 11.25 | 128 | 08/03/1986 | 9.79 | 214 | 06/04/1989 | 13.41 | 300 | 16/03/1996 | 11.84 |
| 43 | 20/03/1982 | 14.81 | 129 | 09/03/1986 | 13.76 | 215 | 07/04/1989 | 12.72 | 301 | 17/03/1996 | 20.7 |
| 44 | 21/03/1982 | 11.25 | 130 | 10/03/1986 | 12.17 | 216 | 08/04/1989 | 12.29 | 302 | 18/03/1996 | 12.3 |
| 45 | 26/03/1982 | 11.7 | 131 | 11/03/1986 | 15.88 | 217 | 09/04/1989 | 12.02 | 303 | 17/07/1996 | 10.4 |
| 46 | 27/03/1982 | 10.5 | 132 | 12/03/1986 | 12.05 | 218 | 10/04/1989 | 11.61 | 304 | 18/07/1996 | 13.41 |
| 47 | 28/03/1982 | 10.5 | 133 | 13/03/1986 | 15.47 | 219 | 11/04/1989 | 11.34 | 305 | 19/07/1996 | 12.15 |
| 48 | 29/03/1982 | 10.5 | 134 | 14/03/1986 | 13.76 | 220 | 12/04/1989 | 11.07 | 306 | 20/07/1996 | 12.25 |
| 49 | 04/04/1982 | 17.81 | 135 | 15/03/1986 | 12.05 | 221 | 13/04/1989 | 10.67 | 307 | 21/07/1996 | 10.62 |
| 50 | 09/04/1982 | 16 | 136 | 16/03/1986 | 11.1 | 222 | 14/04/1989 | 10.4 | 308 | 22/07/1996 | 13.49 |
| 51 | 10/04/1982 | 11.25 | 137 | 17/03/1986 | 10.91 | 223 | 15/04/1989 | 10.13 | 309 | 14/10/1996 | 13.69 |
| 52 | 19/04/1982 | 11.1 | 138 | 20/06/1986 | 12.05 | 224 | 16/04/1989 | 9.86 | 310 | 15/10/1996 | 15.94 |
| 53 | 21/05/1982 | 11.25 | 139 | 21/06/1986 | 12.24 | 225 | 17/04/1989 | 10.13 | 311 | 16/10/1996 | 13.5 |
| 54 | 22/05/1982 | 15.8 | 140 | 02/07/1986 | 13.55 | 226 | 18/04/1989 | 9.86 | 312 | 05/12/1996 | 9.94 |
| 55 | 02/07/1982 | 14.25 | 141 | 07/07/1986 | 10.01 | 227 | 19/04/1989 | 9.86 | 313 | 13/01/1997 | 26.2 |
| 56 | 31/01/1983 | 26.72 | 142 | 08/07/1986 | 9.56 | 228 | 20/04/1989 | 9.86 | 314 | 14/01/1997 | 12.6 |
| 57 | 08/02/1983 | 15.5 | 143 | 22/07/1986 | 12.62 | 229 | 21/04/1989 | 9.86 | 315 | 16/01/1997 | 9.7 |
| 58 | 15/02/1983 | 22.85 | 144 | 23/07/1986 | 9.99 | 230 | 22/04/1989 | 9.86 | 316 | 17/01/1997 | 12.7 |
| 59 | 01/12/1983 | 10.05 | 145 | 13/10/1986 | 10.57 | 231 | 23/04/1989 | 9.86 | 317 | 18/01/1997 | 10.83 |
| 60 | 07/12/1983 | 13.98 | 146 | 14/10/1986 | 20.6 | 232 | 28/04/1989 | 11.87 | 318 | 19/01/1997 | 10.97 |
| 61 | 08/12/1983 | 11.45 | 147 | 15/10/1986 | 13 | 233 | 06/05/1989 | 9.49 | 319 | 20/01/1997 | 13.49 |
| 62 | 03/01/1984 | 13.97 | 148 | 16/10/1986 | 17.4 | 234 | 13/05/1989 | 16.19 | 320 | 21/01/1997 | 15.54 |
| 63 | 06/01/1984 | 20.9 | 149 | 17/10/1986 | 10.17 | 235 | 25/05/1989 | 10.34 | 321 | 22/01/1997 | 12.61 |
| 64 | 07/01/1984 | 15.21 | 150 | 18/10/1986 | 11.68 | 236 | 26/05/1989 | 9.92 | 322 | 23/01/1997 | 15.38 |
| 65 | 08/01/1984 | 15.78 | 151 | 19/10/1986 | 12.06 | 237 | 12/06/1989 | 9.57 | 323 | 24/01/1997 | 15.39 |
| 66 | 09/01/1984 | 16.8 | 152 | 20/10/1986 | 10.17 | 238 | 07/07/1989 | 10.06 | 324 | 25/01/1997 | 13.23 |
| 67 | 10/01/1984 | 11.06 | 153 | 27/10/1986 | 10.17 | 239 | 16/07/1989 | 10.86 | 325 | 26/01/1997 | 15.35 |
| 68 | 11/01/1984 | 9.6 | 154 | 28/10/1986 | 9.99 | 240 | 05/11/1989 | 11.75 | 326 | 27/01/1997 | 10.51 |
| 69 | 16/02/1984 | 27.13 | 155 | 05/11/1986 | 10.74 | 241 | 08/11/1989 | 18.68 | 327 | 28/01/1997 | 9.93 |
| 70 | 17/02/1984 | 11.57 | 156 | 10/11/1986 | 9.81 | 242 | 09/11/1989 | 16.34 | 328 | 30/01/1997 | 13.28 |
| 71 | 18/02/1984 | 16.5 | 157 | 01/04/1987 | 11.25 | 243 | 10/11/1989 | 13.1 | 329 | 31/01/1997 | 19.73 |
| 72 | 19/03/1984 | 11.07 | 158 | 02/04/1987 | 22.86 | 244 | 11/11/1989 | 14.45 | 330 | 01/02/1997 | 13.38 |
| 73 | 13/05/1984 | 9.76 | 159 | 03/04/1987 | 21.1 | 245 | 12/11/1989 | 13.91 | 331 | 02/02/1997 | 12.97 |
| 74 | 14/05/1984 | 9.63 | 160 | 04/04/1987 | 9.82 | 246 | 13/11/1989 | 10.94 | 332 | 03/02/1997 | 11.33 |
| 75 | 21/09/1984 | 12.89 | 161 | 23/05/1987 | 13.82 | 247 | 14/11/1989 | 10.4 | 333 | 04/02/1997 | 9.74 |
| 76 | 22/09/1984 | 9.66 | 162 | 24/05/1987 | 9.78 | 248 | 13/12/1989 | 9.86 | 334 | 05/02/1997 | 14.09 |
| 77 | 28/10/1984 | 18.34 | 163 | 24/06/1987 | 9.75 | 249 | 27/12/1989 | 10.4 | 335 | 06/02/1997 | 9.79 |
| 78 | 29/10/1984 | 12.72 | 164 | 20/10/1987 | 10 | 250 | 28/12/1989 | 10.4 | 336 | 10/02/1997 | 9.94 |
| 79 | 30/10/1984 | 13.27 | 165 | 30/10/1987 | 14.34 | 251 | 29/12/1989 | 14.85 | 337 | 19/03/1997 | 14.64 |
| 80 | 31/10/1984 | 18.55 | 166 | 20/11/1987 | 14.05 | 252 | 18/02/1990 | 10.51 | 338 | 21/03/1997 | 55.88 |

| CAUDALES MEDIOS DIÁRIOS EL GUAYABO. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS | | | | | | | | | | | |
|--|------------|-------------------|-----|------------|-------------------|-----|------------|-------------------|-----|------------|-------------------|
| No | Fecha | m ³ /s | No | Fecha | m ³ /s | No | Fecha | m ³ /s | No | Fecha | m ³ /s |
| 81 | 01/11/1984 | 23.29 | 167 | 04/12/1987 | 14.74 | 253 | 19/02/1990 | 11.61 | 339 | 22/03/1997 | 18.77 |
| 82 | 02/11/1984 | 21.55 | 168 | 27/02/1988 | 14.37 | 254 | 21/06/1990 | 10.11 | 340 | 23/03/1997 | 10 |
| 83 | 03/11/1984 | 16.22 | 169 | 18/10/1988 | 30.75 | 255 | 06/12/1990 | 13.35 | 341 | 06/07/1997 | 12.63 |
| 84 | 04/11/1984 | 19.51 | 170 | 19/10/1988 | 13.68 | 256 | 08/12/1990 | 16.76 | 342 | 12/07/1997 | 15.08 |
| 85 | 05/11/1984 | 21.3 | 171 | 20/10/1988 | 14.28 | 257 | 09/12/1990 | 10.98 | 343 | 23/07/1997 | 12.56 |
| 86 | 06/11/1984 | 22.03 | 172 | 20/11/1988 | 16 | 258 | 05/03/1991 | 12.18 | 344 | 24/07/1997 | 13.25 |

% DEL TOTAL DE DATOS 4.97

| NIVELES MEDIOS DIÁRIOS PUENTE SANTANDER. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS | | | | | |
|---|------------|---------|----|------------|---------|
| No | Fecha | m.s.n.m | No | Fecha | m.s.n.m |
| 1 | 23/08/1987 | 424.43 | 16 | 6/07/1990 | 424.12 |
| 2 | 13/07/1988 | 424.82 | 17 | 2/08/1991 | 424.09 |
| 3 | 22/07/1988 | 424.3 | 18 | 2/04/1994 | 424.64 |
| 4 | 26/07/1988 | 424.37 | 19 | 3/04/1994 | 425.27 |
| 5 | 16/11/1988 | 424.38 | 20 | 4/04/1994 | 424.18 |
| 6 | 17/03/1989 | 424.17 | 21 | 9/04/1994 | 424.28 |
| 7 | 18/03/1989 | 424.11 | 22 | 6/05/1994 | 424.16 |
| 8 | 21/05/1989 | 424.18 | 23 | 7/05/1994 | 424.68 |
| 9 | 22/05/1989 | 424.34 | 24 | 8/05/1994 | 424.3 |
| 10 | 13/06/1989 | 424.18 | 25 | 4/06/1994 | 424.44 |
| 11 | 7/07/1989 | 425.6 | 26 | 5/06/1994 | 424.13 |
| 12 | 8/07/1989 | 425.42 | 27 | 7/06/1994 | 424.32 |
| 13 | 18/06/1990 | 424.5 | 28 | 10/07/1994 | 424.54 |
| 14 | 19/06/1990 | 424.47 | 29 | 11/07/1994 | 424.38 |
| 15 | 5/07/1990 | 424.09 | 30 | 12/07/1994 | 424.28 |

% DEL TOTAL DE DATOS 0.49

| CAUDALES MEDIOS DIÁRIOS PUENTE SANTANDER. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS | | | | | | | | | | | |
|--|------------|-------------------|----|------------|-------------------|----|------------|-------------------|----|------------|-------------------|
| No | Fecha | m ³ /s | No | Fecha | m ³ /s | No | Fecha | m ³ /s | No | Fecha | m ³ /s |
| 1 | 21/06/1987 | 1111 | 19 | 14/05/1989 | 1137 | 37 | 19/06/1990 | 1644 | 55 | 4/06/1994 | 1627 |
| 2 | 31/07/1987 | 1154 | 20 | 20/05/1989 | 1282 | 38 | 5/07/1990 | 1387 | 56 | 5/06/1994 | 1411 |
| 3 | 1/08/1987 | 1156 | 21 | 21/05/1989 | 1426 | 39 | 6/07/1990 | 1399 | 57 | 7/06/1994 | 1538 |
| 4 | 2/08/1987 | 1126 | 22 | 22/05/1989 | 1532 | 40 | 13/06/1991 | 1258 | 58 | 17/06/1994 | 1274 |
| 5 | 23/08/1987 | 1617 | 23 | 23/05/1989 | 1255 | 41 | 28/06/1991 | 1170 | 59 | 27/06/1994 | 1365 |
| 6 | 29/10/1987 | 1310 | 24 | 24/05/1989 | 1313 | 42 | 2/08/1991 | 1380 | 60 | 28/06/1994 | 1357 |

CAUDALES MEDIOS DIÁRIOS PUENTE SANTANDER. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS

| No | Fecha | m ³ /s |
|----|------------|-------------------|----|------------|-------------------|----|------------|-------------------|----|------------|-------------------|
| 7 | 13/07/1988 | 1870 | 25 | 25/05/1989 | 1243 | 43 | 3/08/1991 | 1310 | 61 | 10/07/1994 | 1697 |
| 8 | 14/07/1988 | 1172 | 26 | 13/06/1989 | 1427 | 44 | 29/11/1993 | 1151 | 62 | 11/07/1994 | 1583 |
| 9 | 22/07/1988 | 1515 | 27 | 14/06/1989 | 1170 | 45 | 2/04/1994 | 1770 | 63 | 12/07/1994 | 1514 |
| 10 | 26/07/1988 | 1557 | 28 | 15/06/1989 | 1111 | 46 | 3/04/1994 | 2206 | 64 | 13/08/1994 | 1130 |
| 11 | 16/11/1988 | 1573 | 29 | 7/07/1989 | 2439 | 47 | 4/04/1994 | 1442 | 65 | 28/09/1994 | 1198 |
| 12 | 18/11/1988 | 1194 | 30 | 8/07/1989 | 2396 | 48 | 8/04/1994 | 1169 | 66 | 29/09/1994 | 1172 |
| 13 | 23/11/1988 | 1287 | 31 | 9/07/1989 | 1163 | 49 | 9/04/1994 | 1512 | 67 | 23/04/1995 | 1199 |
| 14 | 1/12/1988 | 1302 | 32 | 17/07/1989 | 1302 | 50 | 10/04/1994 | 1150 | | | |
| 15 | 2/12/1988 | 1159 | 33 | 24/05/1990 | 1315 | 51 | 6/05/1994 | 1430 | | | |
| 16 | 2/01/1989 | 1127 | 34 | 13/06/1990 | 1165 | 52 | 7/05/1994 | 1795 | | | |
| 17 | 17/03/1989 | 1413 | 35 | 14/06/1990 | 1238 | 53 | 8/05/1994 | 1524 | | | |
| 18 | 18/03/1989 | 1379 | 36 | 18/06/1990 | 1665 | 54 | 9/05/1994 | 1167 | | | |

% DEL TOTAL DE DATOS 1.10

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL APTO BENITO SALAS. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS

| No. | MES-AÑO | mm |
|-----|---------|-------|
| 1 | Nov-34 | 460 |
| 2 | May-36 | 430 |
| 3 | Oct-54 | 374 |
| 4 | Oct-56 | 381.4 |
| 5 | Oct-86 | 431 |
| 6 | Dic-88 | 381.5 |
| 7 | Nov-93 | 399.4 |
| 8 | Oct-94 | 413.5 |
| 9 | Feb-99 | 648.7 |
| 10 | Dic-05 | 380.6 |

% DEL TOTAL DE DATOS 1.34

Según Diagrama Bilineal

NIVELES MEDIOS DIÁRIOS. POSIBLES DATOS ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA BILINEAL

| No | Fecha | El Juncal Nivel (m.s.n.m) | Puente Santander Nivel (m.s.n.m) |
|----|------------|---------------------------|----------------------------------|
| 1 | 27/06/1986 | 449.64 | 424.07 |
| 2 | 01/08/1987 | 448.42 | 423.73 |
| 3 | 11/08/1987 | 448.25 | 423.43 |

| NIVELES MEDIOS DIÁRIOS. POSIBLES DATOS ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA BILINEAL | | | |
|--|--------------|----------------------------------|---|
| No | Fecha | El Juncal Nivel (m.s.n.m) | Puente Santander Nivel (m.s.n.m) |
| 4 | 22/08/1987 | 447.94 | 423.55 |
| 5 | 23/08/1987 | 447.90 | 424.43 |
| 6 | 13/07/1988 | 451.81 | 424.82 |
| 7 | 07/07/1989 | 452.74 | 425.60 |
| 8 | 08/07/1989 | 451.91 | 425.42 |
| 9 | 13/06/1991 | 448.86 | 423.92 |
| 10 | 28/06/1991 | 448.71 | 423.79 |
| 11 | 23/02/1992 | 449.14 | 422.18 |
| 12 | 28/03/1992 | 447.79 | 421.33 |
| 13 | 29/03/1992 | 447.65 | 421.33 |
| 14 | 30/03/1992 | 447.51 | 421.32 |
| 15 | 16/10/1992 | 450.00 | 422.94 |
| 16 | 20/05/1993 | 449.56 | 422.16 |
| 17 | 21/05/1993 | 449.51 | 422.23 |
| 18 | 24/05/1993 | 449.46 | 422.30 |
| 19 | 07/06/1993 | 449.51 | 422.09 |
| 20 | 08/08/1993 | 449.04 | 421.89 |
| 21 | 16/11/1993 | 451.06 | 423.48 |
| 22 | 03/04/1994 | 451.81 | 425.27 |
| 23 | 11/07/1994 | 451.46 | 424.38 |
| 24 | 12/11/1994 | 449.46 | 422.08 |
| 25 | 13/11/1994 | 449.36 | 422.18 |
| 26 | 29/11/1994 | 449.56 | 422.29 |
| 27 | 23/04/1995 | 449.04 | 423.83 |

% DEL TOTAL DE DATOS 0.74

Según el Test de Grubb.

Según el test de Grubb sólo se obtuvo un valor como posible dato anómalo y este es un valor mínimo de precipitación total mensual multianual del mes de Noviembre con valor de 33.3 mm.

***ANEXO 5: ANÁLISIS DE CONSISTENCIA Y VALIDEZ DE
LA INFORMACIÓN PARA LAS SERIES DE NIVELES Y
CAUDALES MÁXIMOS MENSUALES***

Figura 65: Niveles máximos mensuales estación El Juncal (1978 – 2003)

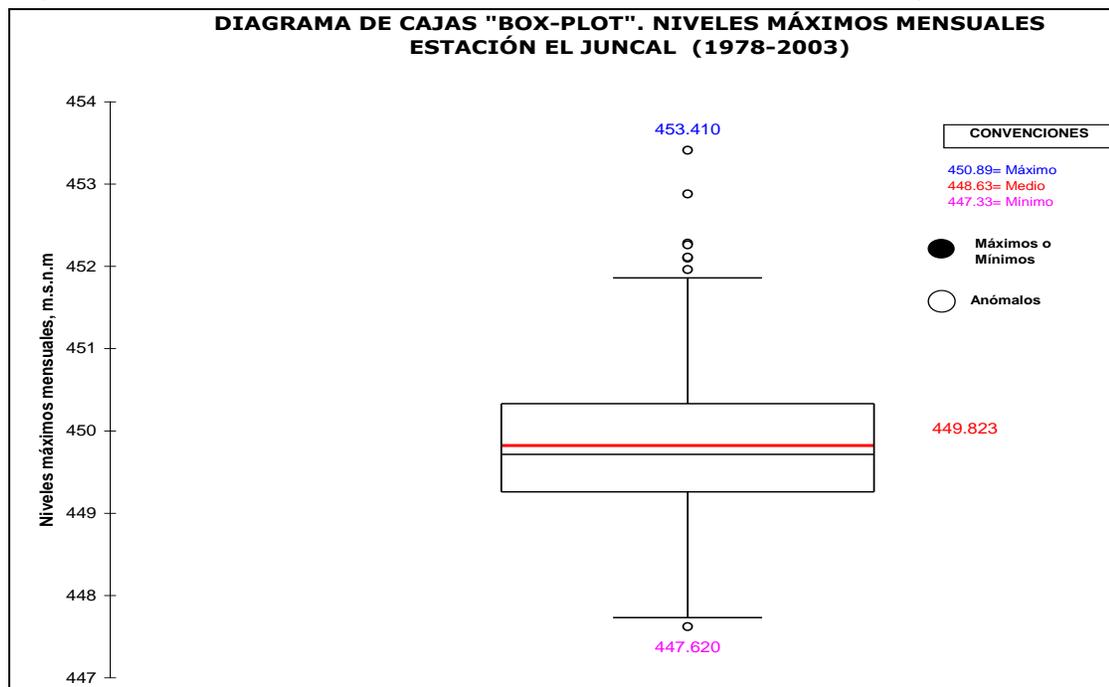


Figura 66: Niveles máximos mensuales estación de Puente Santander (1972 – 2003)

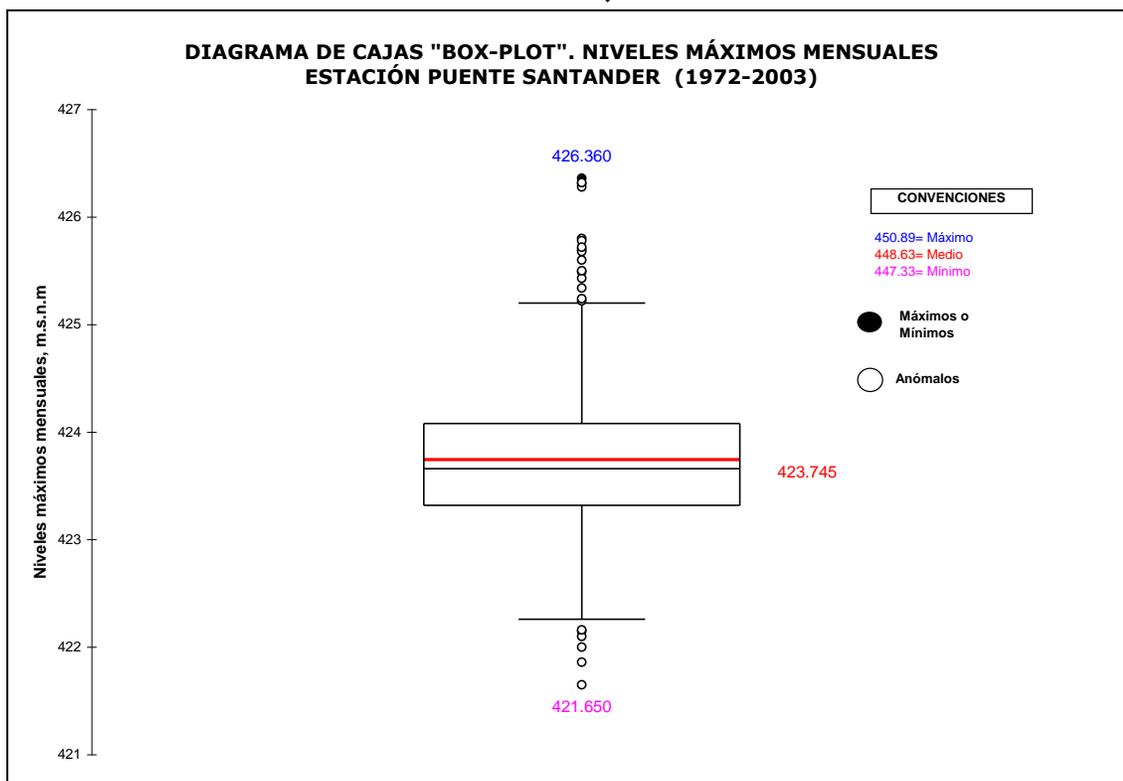
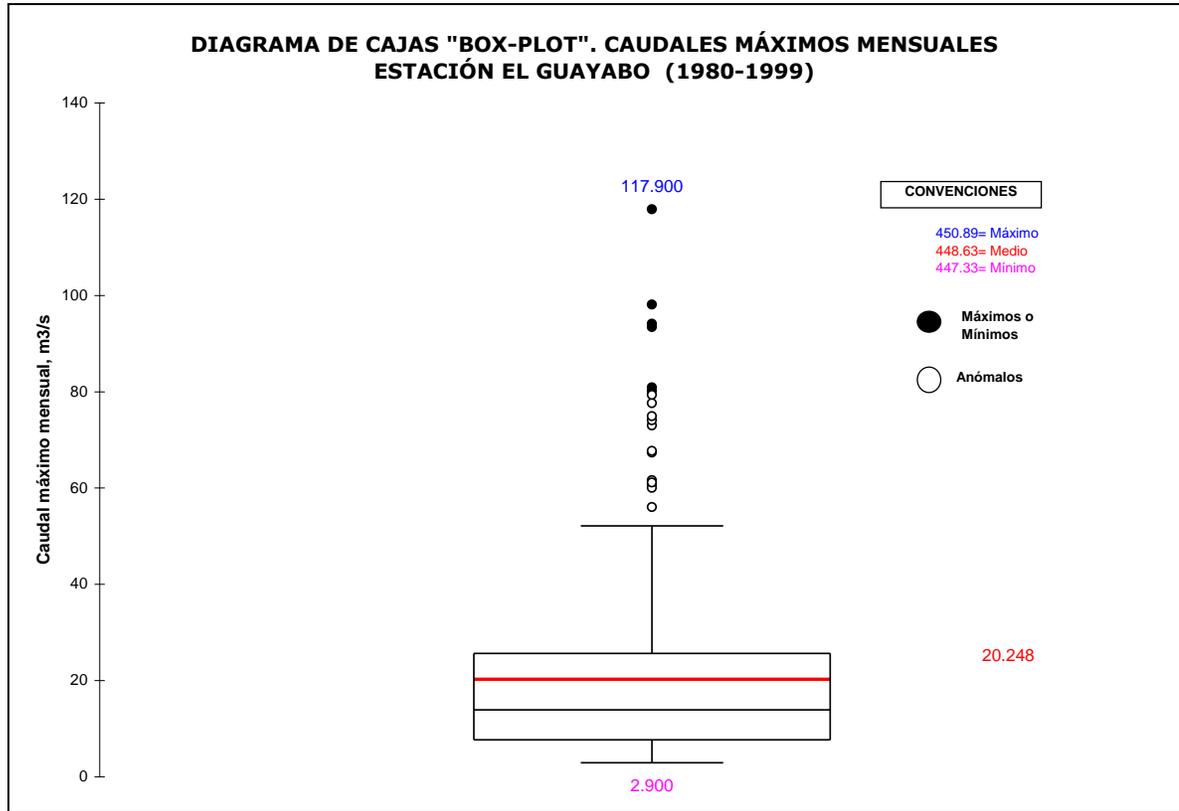


Figura 67: Caudales máximos mensuales estación El Guayabo (1980 - 1999)



DATOS ANÓMALOS SELECCIONADOS SEGÚN CADA CRITERIO O PRUEBA PARA LOS REGISTROS MÁXIMOS MENSUALES

Según diagramas de cajas

| NIVELES MÁXIMOS MENSUALES PUENTE SANTANDER. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS | | |
|--|--------------|------------------------|
| No | Fecha | Nivel (m.s.n.m) |
| 1 | Ene-73 | 421.65 |
| 2 | Feb-73 | 422.15 |
| 3 | Mar-73 | 422.1 |
| 4 | Jul-74 | 425.8 |
| 5 | Jun-75 | 426.31 |
| 6 | Mar-76 | 425.78 |
| 7 | May-76 | 425.49 |
| 8 | Jun-76 | 425.7 |
| 9 | Jul-76 | 426.28 |
| 10 | Ago-76 | 425.43 |
| 11 | Abr-78 | 425.34 |
| 12 | Ago-78 | 426.32 |

| NIVELES MÁXIMOS MENSUALES PUENTE SANTANDER. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS | | |
|--|--------------|------------------------|
| No | Fecha | Nivel (m.s.n.m) |
| 13 | May-82 | 425.5 |
| 14 | Jul-82 | 425.6 |
| 15 | Oct-84 | 425.22 |
| 16 | Ene-87 | 422.16 |
| 17 | Feb-87 | 421.86 |
| 18 | Mar-87 | 422 |
| 19 | Jul-88 | 425.24 |
| 20 | Jul-89 | 426.36 |
| 21 | Abr-94 | 425.68 |
| 22 | Feb-99 | 425.72 |

% DEL TOTAL DE DATOS 5.93

| NIVELES MÁXIMOS MENSUALES EL JUNCAL. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS | | |
|---|--------------|------------------------|
| No | Fecha | Nivel (m.s.n.m) |
| 1 | Ago-78 | 452.88 |
| 2 | Jun-80 | 452.1 |
| 3 | May-82 | 452.11 |
| 4 | Jul-82 | 452.28 |
| 5 | Mar-87 | 447.62 |
| 6 | Jul-88 | 451.96 |
| 7 | Jul-89 | 453.41 |
| 8 | Abr-94 | 452.26 |

% DEL TOTAL DE DATOS 3.45

| CAUDALES MÁXIMOS MENSUALES PUENTE SANTANDER. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS | | |
|---|--------------|---------------------------------|
| No | Fecha | Caudal (m³/s) |
| 1 | Jul-48 | 2582 |
| 2 | May-49 | 2400 |
| 3 | Jun-61 | 3247 |
| 4 | Jun-62 | 2575 |
| 5 | Ago-62 | 2761 |
| 6 | Jul-68 | 3049 |

| CAUDALES MÁXIMOS MENSUALES PUENTE SANTANDER. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS | | |
|---|--------------|---------------------------------|
| <i>No</i> | <i>Fecha</i> | <i>Caudal (m³/s)</i> |
| 7 | Ago-68 | 2301 |
| 8 | Ago-70 | 2640 |
| 9 | Sep-70 | 2510 |
| 10 | Abr-71 | 2590 |
| 11 | Jul-71 | 3382 |
| 12 | Jul-72 | 2534 |
| 13 | Jul-74 | 2392 |
| 14 | Jun-75 | 2743 |
| 15 | Mar-76 | 2380 |
| 16 | Jun-76 | 2333 |
| 17 | Jul-76 | 2722 |
| 18 | Ago-78 | 2750 |
| 19 | May-82 | 2380 |
| 20 | Jul-82 | 2450 |
| 21 | Jul-89 | 3018 |
| 22 | Abr-94 | 2486 |
| 23 | Feb-99 | 2514 |
| % DEL TOTAL DE DATOS | | 4.28 |

| CAUDALES MÁXIMOS MENSUALES EL GUAYABO. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS | | |
|---|--------------|------------------------|
| No | Fecha | Nivel (m.s.n.m) |
| 1 | Ene-82 | 60.75 |
| 2 | Feb-82 | 80.09 |
| 3 | Mar-82 | 60 |
| 4 | Feb-84 | 61.6 |
| 5 | Nov-85 | 67.34 |
| 6 | Abr-87 | 67.7 |
| 7 | Oct-87 | 94.1 |
| 8 | Nov-87 | 80.9 |
| 9 | Dic-87 | 117.9 |
| 10 | Oct-88 | 77.62 |
| 11 | Nov-88 | 73 |
| 12 | Dic-88 | 61.12 |
| 13 | Mar-89 | 98.08 |
| 14 | Feb-94 | 56.02 |
| 15 | Ene-97 | 74.04 |
| 16 | Mar-97 | 79.32 |

| CAUDALES MÁXIMOS MENSUALES EL GUAYABO. POSIBLES VALORES ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA DE CAJAS | | |
|---|--------------|------------------------|
| No | Fecha | Nivel (m.s.n.m) |
| 17 | Ene-98 | 2.9 |
| 18 | Sep-98 | 2.9 |
| 19 | Ene-99 | 74.92 |
| 20 | Feb-99 | 93.4 |
| % DEL TOTAL DE DATOS | | 8.40 |

Según diagrama bilineal

| NIVELES MÁXIMOS MENSUALES. POSIBLES DATOS ANÓMALOS SEGÚN DIAGRAMA BILINEAL | | |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Mes/Año | Nivel (m.s.n.m) Puente | Nivel (m.s.n.m) El Juncal |
| sep-82 | 423.65 | 450.82 |
| ene-83 | 423.56 | 451.4 |
| ago-87 | 424.7 | 449.61 |
| oct-92 | 423.19 | 450.46 |
| mar-93 | 423.38 | 450.41 |
| nov-93 | 423.96 | 451.06 |
| ene-99 | 425.05 | 449.86 |

Según los registros de tiempo

| POSIBLES DATOS ANÓMALOS EN LOS REGISTROS DE TIEMPO. INSPECCIÓN DIRECTA DE LAS SERIES DE TIEMPO | | | |
|---|-------------------|--------------|----------------|
| Estación | Unidad | Fecha | Máximos |
| Nivel Juncal | m.s.n.m | oct-92 | 450.46 |
| Nivel Puente Santander | m.s.n.m | oct-92 | 423.19 |
| Caudal El Guayabo | m ³ /s | dic-87 | 117.9 |

***ANEXO 6: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE
FRECUENCIA CON EL SOFTWARE HYDROLÓGICAL
FREQUENCY ANALYSIS -HYFA- UTILIZADO EN LA
OBTENCIÓN DE NIVELES Y CAUDALES PARA
DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO***

Este análisis de frecuencias se realiza para los registros máximos mensuales.

T I T L E :

Niveles maximos anuales El Juncal

INPUT OF THE VARIATE VALUES & FILE COMMUNICATION

File : Datos

1 = 450.79 4 = 450.96 7 = 451.06

2 = 451.96 5 = 450.46 8 = 452.26

3 = 453.41 6 = 449.62 9 = 450.06

your x-values are stored in File : NJunmax

BASIC STATISTICS OF x and ln x

Descriptor x-stat ln x-stat

mean = 451.1756 6.1119

var = 1.3961 .0000

st.dev= 1.1816 .0026

biasskew= .5887 .5845

biaskurt= 2.4803 2.4756

skew = .8516 .8454

kurt = 5.3815 5.3711

RANKING OF THE DATA & THE PLOTTING POSITIONS

rank value value plotting position (percent) according to:

of x of ln(x)

WEIBULL

1 = 449.62 6.10840 10.0000

2 = 450.06 6.10938 20.0000

3 = 450.46 6.11027 30.0000

4 = 450.79 6.11100 40.0000

5 = 450.96 6.11138 50.0000

6 = 451.06 6.11160 60.0000

7 = 451.96 6.11359 70.0000

8 = 452.26 6.11426 80.0000

9 = 453.41 6.11680 90.0000

EVALUATION t-VALUE

one-tail Student t-value

degrees of freedom = 8

level of significance= .1000

t - v a l u e = 1.397

-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>

F R E Q U E N C Y A N A L Y S I S

-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>

>>> THE GUMBEL TYPE I DISTRIBUTION <<<

note : for relevant use of this distribution

skew should preferably be around 1.13

there is a perfect fit when skew = 1.1395

& kurt = 5.4002

---method of moments---

| Return per. Years | Probab. Exc. | Probab. Non.Exc. | Est. value | St.Error | Conf. Lim. Of Est. | |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|------------------|
| (T=1/p) | (p) | (1-p) | X _T | S _T | Lower (X-t.S) | upper (X+t.S) |
| 1.0101 | 0.99 | 0.01 | 449.237 | 0.57 | 448.441 | 450.033 |
| 1.02564 | 0.975 | 0.025 | 449.441 | 0.513 | 448.725 | 450.158 |
| 1.05263 | 0.95 | 0.05 | 449.633 | 0.464 | 448.985 | 450.281 |
| 1.11111 | 0.9 | 0.1 | 449.876 | 0.409 | 449.304 | 450.447 |
| 1.25 | 0.8 | 0.2 | 450.205 | 0.354 | 449.712 | 450.699 |
| 2 | 0.5 | 0.5 | 450.982 | 0.362 | 450.477 | 451.487 |
| 5 | 0.2 | 0.8 | 452.026 | 0.609 | 451.175 | 452.876 |

| Return per. Years | Probab. Exc. | Probab. Non.Exc. | Est. value | St.Error ----- | Conf. Lim. Of Est. | |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| | | | | | Lower | upper |
| 10 | 0.1 | 0.9 | 452.717 | 0.822 | 451.569 | 453.866 |
| 20 | 0.05 | 0.95 | 453.38 | 1.039 | 451.929 | 454.831 |
| 25 | 0.04 | 0.96 | 453.591 | 1.109 | 452.042 | 455.139 |
| 50 | 0.02 | 0.98 | 454.239 | 1.327 | 452.386 | 456.092 |
| 100 | 0.01 | 0.99 | 454.882 | 1.545 | 452.723 | 457.041 |
| alpha | = | 1.09E+00 | u | = | 4.51E+02 | |

T I T L E :

Niveles maximos anuales Puente Santander

INPUT OF THE VARIATE VALUES & FILE COMMUNICATION

File : DATOS

1 = 424.70 6 = 423.43 11 = 424.16 16 = 424.05

2 = 425.24 7 = 423.96 12 = 425.72

3 = 426.36 8 = 425.68 13 = 424.94

4 = 424.60 9 = 423.97 14 = 423.76

5 = 424.29 10 = 425.12 15 = 424.22

your x-values are stored in File : NPTEMAX2

BASIC STATISTICS OF x and ln x

Descriptor x-stat ln x-stat

mean = 424.6375 6.0512

var = .6613 .0000

st.dev= .8132 .0019

biasskew= .5634 .5601

biaskurt= 2.4224 2.4182

skew = .6869 .6828

kurt = 3.6345 3.6282

RANKING OF THE DATA & THE PLOTTING POSITIONS

rank value value plotting position (percent) according to:

of x of ln(x)

HAZEN WEIBULL

1 = 423.43 6.04839 3.1250 5.8824
2 = 423.76 6.04917 9.3750 11.7647
3 = 423.96 6.04964 15.6250 17.6471
4 = 423.97 6.04966 21.8750 23.5294
5 = 424.05 6.04985 28.1250 29.4118
6 = 424.16 6.05011 34.3750 35.2941
7 = 424.22 6.05025 40.6250 41.1765
8 = 424.29 6.05042 46.8750 47.0588
9 = 424.60 6.05115 53.1250 52.9412
10 = 424.70 6.05138 59.3750 58.8235
11 = 424.94 6.05195 65.6250 64.7059
12 = 425.12 6.05237 71.8750 70.5882
13 = 425.24 6.05265 78.1250 76.4706
14 = 425.68 6.05369 84.3750 82.3529
15 = 425.72 6.05378 90.6250 88.2353
16 = 426.36 6.05528 96.8750 94.1176

EVALUATION t-VALUE

one-tail Student t-value

degrees of freedom = 15

level of significance= .1000

t - v a l u e = 1.341

-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<

F R E Q U E N C Y A N A L Y S I S

-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<

>>> THE GUMBEL TYPE I DISTRIBUTION <<<

note : for relevant use of this distribution

skew should preferably be around 1.13

there is a perfect fit when skew = 1.1395

& kurt = 5.4002

---method of moments---

| Return per. Years | Probab. Exc. (p) | Probab. Non.Exc. (1-p) | Est. value X_T | St.Error S_T | Conf. Lim. Of Est. | |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------|
| (T=1/p) | (p) | (1-p) | X_T | S_T | Lower (X-t.S) | upper (X+t.S) |
| 1.0101 | 0.99 | 0.01 | 423.303 | 0.294 | 422.909 | 423.697 |
| 1.02564 | 0.975 | 0.025 | 423.444 | 0.265 | 423.089 | 423.799 |
| 1.05263 | 0.95 | 0.05 | 423.576 | 0.239 | 423.255 | 423.897 |
| 1.11111 | 0.9 | 0.1 | 423.743 | 0.211 | 423.46 | 424.026 |
| 1.25 | 0.8 | 0.2 | 423.97 | 0.183 | 423.725 | 424.214 |
| 2 | 0.5 | 0.5 | 424.504 | 0.187 | 424.254 | 424.754 |
| 5 | 0.2 | 0.8 | 425.223 | 0.314 | 424.801 | 425.644 |
| 10 | 0.1 | 0.9 | 425.698 | 0.424 | 425.129 | 426.267 |
| 20 | 0.05 | 0.95 | 426.155 | 0.536 | 425.436 | 426.874 |
| 25 | 0.04 | 0.96 | 426.3 | 0.572 | 425.532 | 427.067 |
| 50 | 0.02 | 0.98 | 426.746 | 0.685 | 425.828 | 427.664 |
| 100 | 0.01 | 0.99 | 427.188 | 0.798 | 426.119 | 428.258 |
| alpha | = | 1.58E+00 | u | = | 4.24E+02 | |

T I T L E :

Caudales Maximos Anuales Puente Santander

INPUT OF THE VARIATE VALUES & FILE COMMUNICATION

File : DATOS

1 = 1800.00 5 = 1513.00 9 = 1289.00 13 = 1464.00

2 = 2165.00 6 = 938.00 10 = 2094.00 14 = 1345.00

3 = 3018.00 7 = 1282.00 11 = 2514.00

4 = 1730.00 8 = 2486.00 12 = 1144.00

your x-values are stored in File : QPTES2

BASIC STATISTICS OF x and lnx

Descriptor x-stat lnx-stat

mean = 1770.1430 7.4255

var = .3678E+06 .1144

st.dev= 606.4469 .3383

biasskew= .5888 .1046

biaskurt= 2.3385 2.0548

skew = .7398 .1315

kurt = 3.7393 3.2858

RANKING OF THE DATA & THE PLOTTING POSITIONS

rank value value plotting position (percent) according to:

of x of ln(x)

WEIBULL

1 = 938.00 6.84375 6.6667

2 = 1144.00 7.04229 13.3333

3 = 1282.00 7.15618 20.0000

4 = 1289.00 7.16162 26.6667

5 = 1345.00 7.20415 33.3333

6 = 1464.00 7.28893 40.0000

7 = 1513.00 7.32185 46.6667

8 = 1730.00 7.45588 53.3333

9 = 1800.00 7.49554 60.0000

10 = 2094.00 7.64683 66.6667

11 = 2165.00 7.68018 73.3333

12 = 2486.00 7.81843 80.0000

13 = 2514.00 7.82963 86.6667

14 = 3018.00 8.01235 93.3333

EVALUATION t-VALUE

one-tail Student t-value

degrees of freedom = 13

level of significance= .1000

t - v a l u e = 1.350

-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇

F R E Q U E N C Y A N A L Y S I S

-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇-----◇

>>> THE GUMBEL TYPE I DISTRIBUTION <<<

note : for relevant use of this distribution

skew should preferably be around 1.13

there is a perfect fit when skew = 1.1395

& kurt = 5.4002

---method of moments---

| Return per. Years (T=1/p) | Probab. Exc. (p) | Probab. Non.Exc. (1-p) | Est. value X_T | St.Error S_T | Conf. Lim. Of Est. | |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|
| | | | | ----- | Lower (X-t.S) | upper (X+t.S) |
| 1.0101 | 0.99 | 0.01 | 775.119 | 234.402 | 458.637 | 1091.602 |
| 1.02564 | 0.975 | 0.025 | 880.024 | 211.15 | 594.935 | 1165.113 |
| 1.05263 | 0.95 | 0.05 | 978.44 | 190.886 | 720.711 | 1236.168 |
| 1.11111 | 0.9 | 0.1 | 1102.872 | 168.273 | 875.676 | 1330.069 |
| 1.25 | 0.8 | 0.2 | 1272.221 | 145.503 | 1075.767 | 1468.675 |
| 2 | 0.5 | 0.5 | 1670.546 | 148.771 | 1469.68 | 1871.413 |
| 5 | 0.2 | 0.8 | 2206.483 | 250.536 | 1868.218 | 2544.749 |
| 10 | 0.1 | 0.9 | 2561.32 | 338.389 | 2104.438 | 3018.203 |
| 20 | 0.05 | 0.95 | 2901.688 | 427.467 | 2324.535 | 3478.842 |
| 25 | 0.04 | 0.96 | 3009.658 | 456.259 | 2393.631 | 3625.685 |
| 50 | 0.02 | 0.98 | 3342.26 | 545.955 | 2605.128 | 4079.393 |
| 100 | 0.01 | 0.99 | 3672.407 | 635.995 | 2813.706 | 4531.108 |
| alpha | = | 2.11E-03 | u | = | 1.50E+03 | |

---maximum likelihood---

| Return per. Years (T=1/p) | Probab. Exc. (p) | Probab. Non.Exc. (1-p) | Est. value X_T | St.Error S_T | Conf. Lim. Of Est. | |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|
| | | | | ----- | Lower (X-t.S) | upper (X+t.S) |
| 1.0101 | 0.99 | 0.01 | 792.514 | 162.9 | 572.571 | 1012.457 |
| 1.02564 | 0.975 | 0.025 | 894.863 | 149.819 | 692.583 | 1097.144 |
| 1.05263 | 0.95 | 0.05 | 990.882 | 139.418 | 802.645 | 1179.119 |
| 1.11111 | 0.9 | 0.1 | 1112.284 | 129.55 | 937.37 | 1287.198 |
| 1.25 | 0.8 | 0.2 | 1277.508 | 123.423 | 1110.865 | 1444.15 |
| 2 | 0.5 | 0.5 | 1666.131 | 144.781 | 1470.651 | 1861.61 |

| Return per. Years (T=1/p) | Probab. Exc. (p) | Probab. Non.Exc. (1-p) | Est. value X_T | St.Error ----- S_T | Conf. Lim. Of Est. Lower (X-t.S) upper (X+t.S) | |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--|---|----------|
| 5 | 0.2 | 0.8 | 2189.014 | 222.318 | 1888.847 | 2489.181 |
| 10 | 0.1 | 0.9 | 2535.208 | 285.261 | 2150.058 | 2920.359 |
| 20 | 0.05 | 0.95 | 2867.286 | 349.039 | 2396.024 | 3338.549 |
| 25 | 0.04 | 0.96 | 2972.626 | 369.686 | 2473.487 | 3471.765 |
| 50 | 0.02 | 0.98 | 3297.127 | 434.115 | 2710.998 | 3883.256 |
| 100 | 0.01 | 0.99 | 3619.232 | 498.931 | 2945.591 | 4292.874 |
| alpha | = | 2.17E-03 | | u | = | 1.50E+03 |

-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<

G O O D N E S S O F F I T T E S T S

-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<

FREQUENCY ANALYSIS CORRESPONDING TO

PLOTTING POSITION ACCORDING WEIBULL

L.P.III DIR : LOG PEARSON TYPE III DIRECT METHOD OF MOMENTS

L.P.III IND : LOG PEARSON TYPE III INDIRECT METHOD OF MOMENTS

GUMBEL EVI : GUMBEL EXTREME VALUE TYPE I

~~~~~

~~~~~The Chi-square Test~~~~~

~~~~~

THE CHI-SQUARE TEST IS N O T A P P L I C A B L E :

The number of classes is : 5

The expected absolute frequency is : 2.80

~~~~~

~~~~~The Deviation Method~~~~~

~~~~~

Freq. Distribution Fitting method mean mean

_____ rel.at.dev sq.rel.dev.

GUMBEL EVI Moments 4.90438 36.40799

Max.Likelihood 5.19691 41.13717

~~~~~\*\*\*\*\*~~~~~

T I T L E :

**Caudales Maximos El Guayabo**

INPUT OF THE VARIATE VALUES & FILE COMMUNICATION

File : DATOS

1 = 26.60 6 = 67.34 11 = 36.32 16 = 28.72

2 = 35.00 7 = 52.14 12 = 28.27 17 = 45.00

3 = 80.09 8 = 117.90 13 = 33.45 18 = 79.32

4 = 42.00 9 = 77.62 14 = 31.60

5 = 61.60 10 = 98.08 15 = 56.02

your x-values are stored in File : QGUAYMAX2

BASIC STATISTICS OF x and ln x

Descriptor x-stat ln x-stat

mean = 55.3928 3.9117

var = .7052E+03 .2141

st.dev= 26.5561 .4627

biasskew= .8335 .2523

biaskurt= 2.7787 1.8312

skew = .9928 .3005

kurt = 3.9719 2.6175

RANKING OF THE DATA & THE PLOTTING POSITIONS

rank value value plotting position (percent) according to:

of x of ln(x)

WEIBULL

1 = 26.60 3.28091 5.2632

2 = 28.27 3.34180 10.5263

3 = 28.72 3.35759 15.7895  
4 = 31.60 3.45316 21.0526  
5 = 33.45 3.51005 26.3158  
6 = 35.00 3.55535 31.5789  
7 = 36.32 3.59237 36.8421  
8 = 42.00 3.73767 42.1053  
9 = 45.00 3.80666 47.3684  
10 = 52.14 3.95393 52.6316  
11 = 56.02 4.02571 57.8947  
12 = 61.60 4.12066 63.1579  
13 = 67.34 4.20975 68.4211  
14 = 77.62 4.35183 73.6842  
15 = 79.32 4.37349 78.9474  
16 = 80.09 4.38315 84.2105  
17 = 98.08 4.58578 89.4737  
18 = 117.90 4.76984 94.7368

EVALUATION t-VALUE

*\*\*one-tail Student t-value\*\**

*degrees of freedom = 17*

*level of significance= .1000*

*t - v a l u e = 1.333*

-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>

*F R E Q U E N C Y A N A L Y S I S*

-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>-----<>

*>>> THE GUMBEL TYPE I DISTRIBUTION <<<*

*note : for relevant use of this distribution*

*skew should preferably be around 1.13*

there is a perfect fit when skew = 1.1395

& kurt = 5.4002

---method of moments---

| <b>Return per. Years (T=1/p)</b> | <b>Probab. Exc. (p)</b> | <b>Probab. Non.Exc. (1-p)</b> | <b>Est. value <math>X_T</math></b> | <b>St.Error <math>S_T</math></b> | <b>Conf. Lim. Of Est.</b> |                      |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------|
|                                  |                         |                               |                                    | -----                            | <b>Lower (X-t.S)</b>      | <b>upper (X+t.S)</b> |
| 1.0101                           | 0.99                    | 0.01                          | 11.821                             | 9.052                            | -0.249                    | 23.891               |
| 1.02564                          | 0.975                   | 0.025                         | 16.415                             | 8.154                            | 5.542                     | 27.288               |
| 1.05263                          | 0.95                    | 0.05                          | 20.724                             | 7.372                            | 10.895                    | 30.554               |
| 1.11111                          | 0.9                     | 0.1                           | 26.173                             | 6.498                            | 17.508                    | 34.838               |
| 1.25                             | 0.8                     | 0.2                           | 33.589                             | 5.619                            | 26.097                    | 41.081               |
| 2                                | 0.5                     | 0.5                           | 51.031                             | 5.745                            | 43.371                    | 58.692               |
| 5                                | 0.2                     | 0.8                           | 74.5                               | 9.675                            | 61.599                    | 87.401               |
| 10                               | 0.1                     | 0.9                           | 90.038                             | 13.068                           | 72.613                    | 107.463              |
| 20                               | 0.05                    | 0.95                          | 104.943                            | 16.508                           | 82.931                    | 126.954              |
| 25                               | 0.04                    | 0.96                          | 109.671                            | 17.62                            | 86.176                    | 133.165              |
| 50                               | 0.02                    | 0.98                          | 124.235                            | 21.084                           | 96.122                    | 152.348              |
| 100                              | 0.01                    | 0.99                          | 138.692                            | 24.561                           | 105.942                   | 171.442              |
| alpha                            | =                       | 4.83E-02                      | u                                  | =                                | 4.34E+01                  |                      |

---maximum likelihood---

| <b>Return per. Years (T=1/p)</b> | <b>Probab. Exc. (p)</b> | <b>Probab. Non.Exc. (1-p)</b> | <b>Est. value <math>X_T</math></b> | <b>St.Error <math>S_T</math></b> | <b>Conf. Lim. Of Est.</b> |                      |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------|
|                                  |                         |                               |                                    | -----                            | <b>Lower (X-t.S)</b>      | <b>upper (X+t.S)</b> |
| 1.0101                           | 0.99                    | 0.01                          | 14.816                             | 5.884                            | 6.971                     | 22.662               |
| 1.02564                          | 0.975                   | 0.025                         | 19.008                             | 5.412                            | 11.793                    | 26.224               |
| 1.05263                          | 0.95                    | 0.05                          | 22.941                             | 5.036                            | 16.226                    | 29.656               |
| 1.11111                          | 0.9                     | 0.1                           | 27.913                             | 4.679                            | 21.674                    | 34.153               |
| 1.25                             | 0.8                     | 0.2                           | 34.68                              | 4.458                            | 28.736                    | 40.625               |
| 2                                | 0.5                     | 0.5                           | 50.597                             | 5.23                             | 43.624                    | 57.57                |
| 5                                | 0.2                     | 0.8                           | 72.013                             | 8.03                             | 61.306                    | 82.721               |
| 10                               | 0.1                     | 0.9                           | 86.192                             | 10.304                           | 72.453                    | 99.931               |
| 20                               | 0.05                    | 0.95                          | 99.793                             | 12.608                           | 82.983                    | 116.604              |
| 25                               | 0.04                    | 0.96                          | 104.108                            | 13.353                           | 86.303                    | 121.913              |
| 50                               | 0.02                    | 0.98                          | 117.398                            | 15.681                           | 96.49                     | 138.307              |
| 100                              | 0.01                    | 0.99                          | 130.591                            | 18.022                           | 106.561                   | 154.621              |
| alpha                            | =                       | 5.29E-02                      | u                                  | =                                | 4.37E+01                  |                      |

-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<

G O O D N E S S O F F I T T E S T S

-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<-----<

FREQUENCY ANALYSIS CORRESPONDING TO

PLOTTING POSITION ACCORDING WEIBULL

L.P.III DIR : LOG PEARSON TYPE III DIRECT METHOD OF MOMENTS

L.P.III IND : LOG PEARSON TYPE III INDIRECT METHOD OF MOMENTS

GUMBEL EVI : GUMBEL EXTREME VALUE TYPE I

~~~~~

~~~~~The Chi-square Test~~~~~

~~~~~

THE CHI-SQUARE TEST IS N O T APPLICABLE :

The number of classes is : 5

The expected absolute frequency is : 3.60

~~~~~

~~~~~The Deviation Method~~~~~

~~~~~

Freq. Distribution Fitting method mean mean

\_\_\_\_\_ relat.dev sq.rel.dev.

GUMBEL EVI Moments 8.30869 106.48790

Max.Likelihood 9.17972 119.52900

~~~~~\*\*\*\*\*~

***ANEXO 7: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN
HIDROLÓGICA PARA LA CUENCA DEL RÍO LORO***

TORMENTA DE DISEÑO PARA LA ZONA DE NEIVA.

| REGISTROS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 hrs PARA DIFERENTES AÑOS AEROPUERTO BENITO SALAS | | | | | |
|--|---------------|------|---------------|------|---------------|
| AÑO | PMáx24hr (mm) | AÑO | PMáx24hr (mm) | AÑO | PMáx24hr (mm) |
| 1933 | 101.0 | 1974 | 100.9 | 1991 | 55.2 |
| 1937 | 150.0 | 1975 | 84.9 | 1992 | 98.3 |
| 1940 | 98.5 | 1976 | 86.5 | 1993 | 97.5 |
| 1941 | 68.4 | 1977 | 72.3 | 1994 | 147.0 |
| 1942 | 102.5 | 1979 | 94.5 | 1995 | 72.5 |
| 1943 | 149.5 | 1980 | 87.1 | 1996 | 99.8 |
| 1953 | 80.0 | 1981 | 76.7 | 1997 | 63.7 |
| 1954 | 94.0 | 1982 | 83.3 | 1998 | 160.3 |
| 1956 | 76.0 | 1983 | 80.8 | 1999 | 130.0 |
| 1965 | 89.0 | 1984 | 116.5 | 2000 | 73.2 |
| 1968 | 110.0 | 1985 | 108.7 | 2001 | 84.0 |
| 1969 | 80.0 | 1986 | 82.8 | 2002 | 96.2 |
| 1970 | 77.0 | 1987 | 89.5 | 2003 | 74.8 |
| 1972 | 76.8 | 1989 | 83.9 | 2004 | 69.3 |
| 1973 | 98.4 | 1990 | 142.3 | 2005 | 86.3 |

Estimación de curvas I-D-F

Del análisis de frecuencias de la Pmax24h de la estación Aeropuerto Benito Salas se ha hecho un ajuste a la distribución de probabilidad de Gumbel, obteniéndose los siguientes resultados: (Estimación de parámetros utilizando el método de máxima verosimilitud).

| Tr (años) | Pmax24h (mm) |
|-----------|--------------|
| 2 | 90.289 |
| 5 | 110.07 |
| 10 | 123.168 |
| 25 | 139.716 |
| 50 | 151.993 |
| 100 | 164.179 |

Estimación de las curvas I-D-F siguiendo la metodología de Díaz-Granados et al., 1998¹³.

De acuerdo con la referencia,

¹³ Curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia. Rodrigo Vargas M. Mario Díaz Granados. XIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Agosto/1998. Cali.

$$I = aT^b \cdot M^d / t^c$$

Donde:

I: Intensidad de la lluvia, mm/hr.

T: Periodo de retorno, Años.

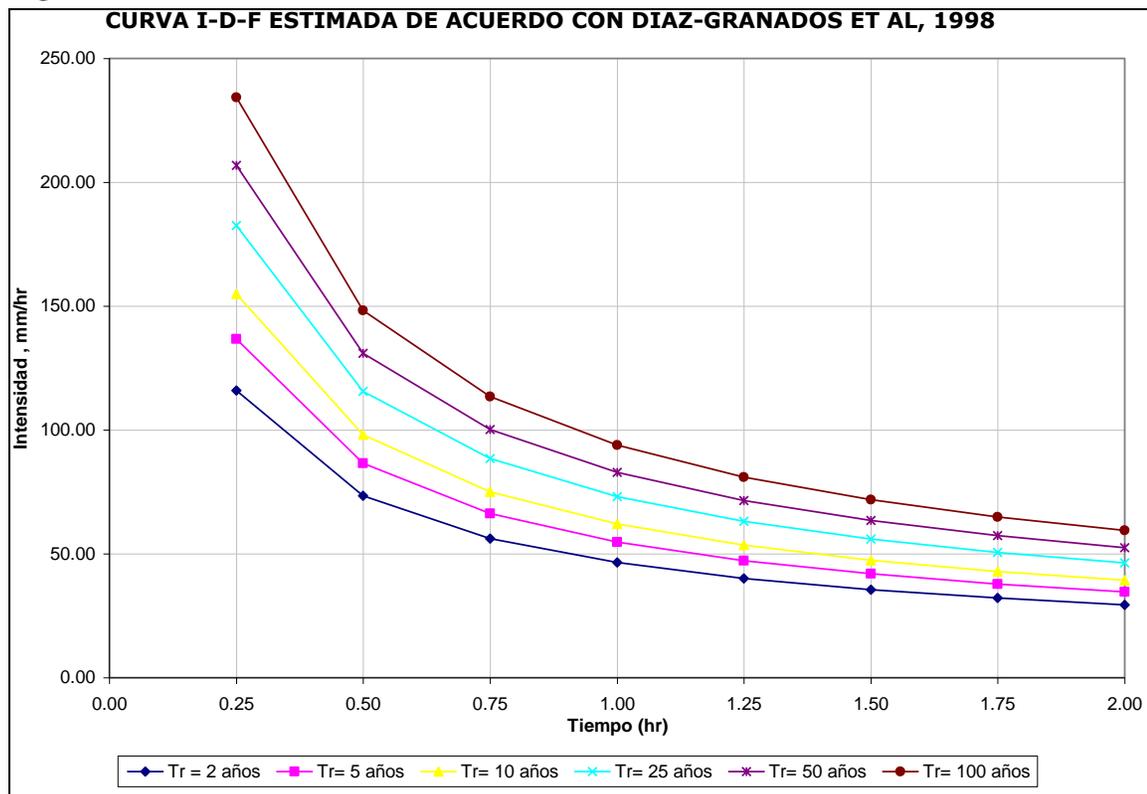
t: Duración, horas.

M: Promedio de las duración Pmax24hr, 94.44 mm.

Siendo a, b, c, d parámetros de la regresión que para el caso de la zona andina son a=0.94, b=0.18, c=0.66, d=0.83,

| ESTIMACIÓN DE LA CURVA I-D-F SIGUIENDO LA METODOLOGIA DE DIAZ-GRANADOS et al., 1998 | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| t, hrs | T=2 años | T=5 años | T=10 años | T=25 años | T= 50 años | T=100 años |
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| 0.25 | 115.89 | 136.67 | 154.83 | 182.60 | 206.86 | 234.35 |
| 0.5 | 73.35 | 86.50 | 97.99 | 115.56 | 130.92 | 148.32 |
| 0.75 | 56.12 | 66.19 | 74.98 | 88.43 | 100.18 | 113.49 |
| 1 | 46.42 | 54.74 | 62.02 | 73.14 | 82.86 | 93.87 |
| 1.25 | 40.06 | 47.25 | 53.52 | 63.12 | 71.51 | 81.01 |
| 1.5 | 35.52 | 41.89 | 47.46 | 55.96 | 63.40 | 71.83 |
| 1.75 | 32.08 | 37.84 | 42.86 | 50.55 | 57.27 | 64.88 |
| 2 | 29.38 | 34.65 | 39.25 | 46.29 | 52.44 | 59.41 |

Figura 68: Curva I-D estimada de acuerdo con Díaz - Granados Et Al, 1998

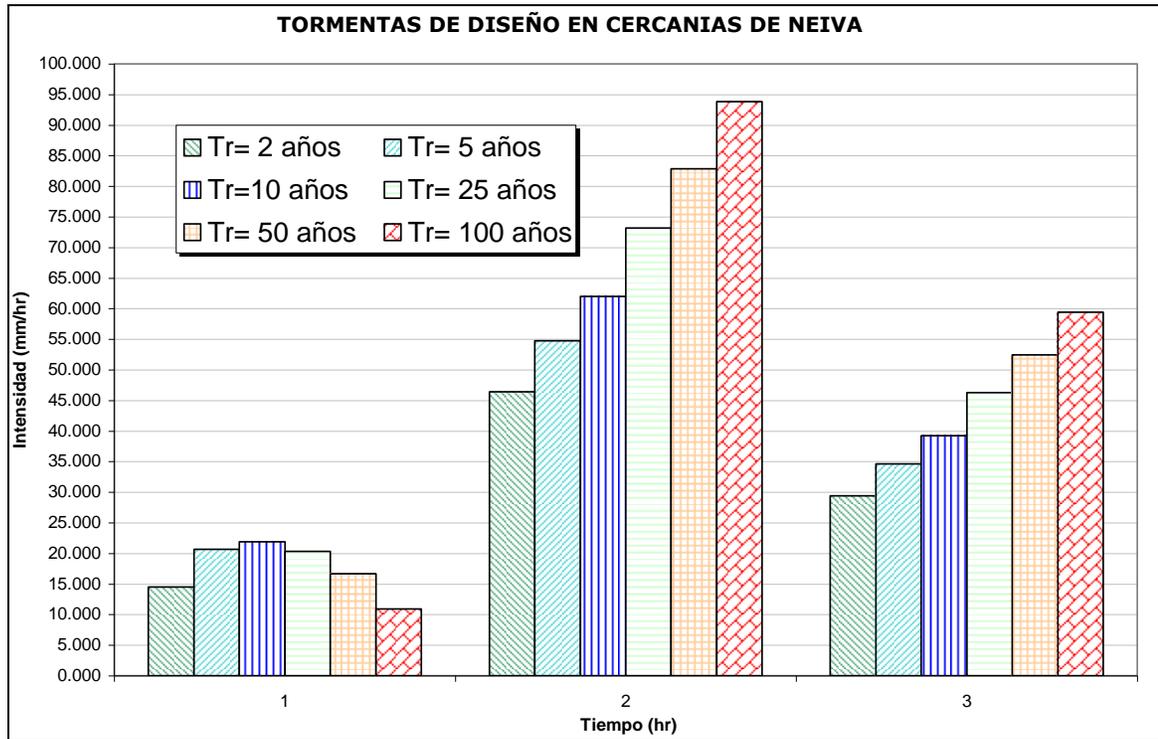


Para el cálculo de las tormentas de diseño se ha asumido una duración del aguacero típico de tres horas.

Según los valores anteriores de las I-D-F y para el aguacero típico se pueden calcular los valores de precipitación para las tormentas de diseño para diferentes periodos de retorno por medio del método del bloque alterno.

| PRECIPITACIÓN EN mm DE LA TORMENTA DE DISEÑO PARA LA ZONA DE NEIVA. METODOLOGÍA DEL BLOQUE ALTERNO | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|-------------------------|---------|---------|
| Tr | 1 | 2 | 3 | ACUMULADO POR Tr | | |
| 2 | 14.493 | 46.419 | 29.377 | 14.493 | 60.912 | 90.289 |
| 5 | 20.683 | 54.742 | 34.645 | 20.683 | 75.425 | 110.070 |
| 10 | 21.903 | 62.017 | 39.249 | 21.903 | 83.919 | 123.168 |
| 25 | 20.292 | 73.137 | 46.287 | 20.292 | 93.429 | 139.716 |
| 50 | 16.700 | 82.856 | 52.438 | 16.700 | 99.555 | 151.993 |
| 100 | 10.908 | 93.866 | 59.406 | 10.908 | 104.773 | 164.179 |

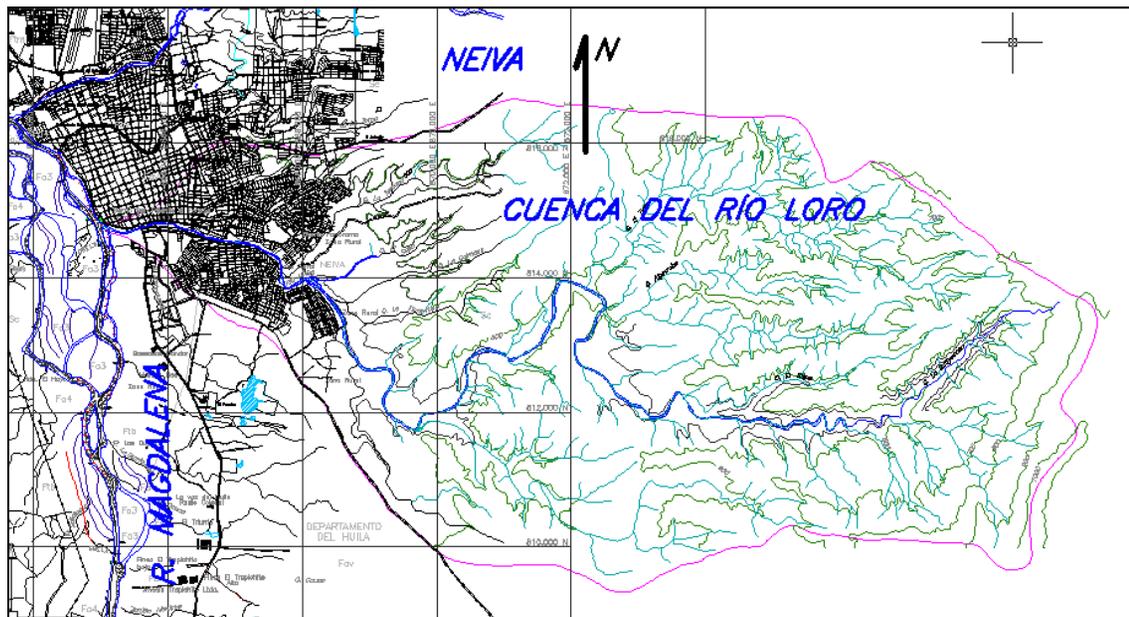
Figura 69: Tormentas de diseño en cercanías de Neiva



MORFOMETRÍA DE LA CUENCA DEL RÍO LORO.

Cuenca del Río Loro

Figura 70: Cuenca de Río Loro



Área

Se digitalizó la divisoria de aguas de la cuenca del río Loro por medio de la cual se pudo establecer un área de 71.2 km².

Longitud de corrientes

Se digitalizó de igual forma el cauce principal de la cuenca del río Loro obteniéndose una longitud de 21.8 km. Así mismo la longitud total de las corrientes es de 207.20 km.

Densidad de drenaje

Esta densidad de drenaje se obtiene de la relación entre la longitud total de las corrientes y el área de la cuenca, por lo tanto la densidad de drenaje para el río Loro es de 2.3 km/km²

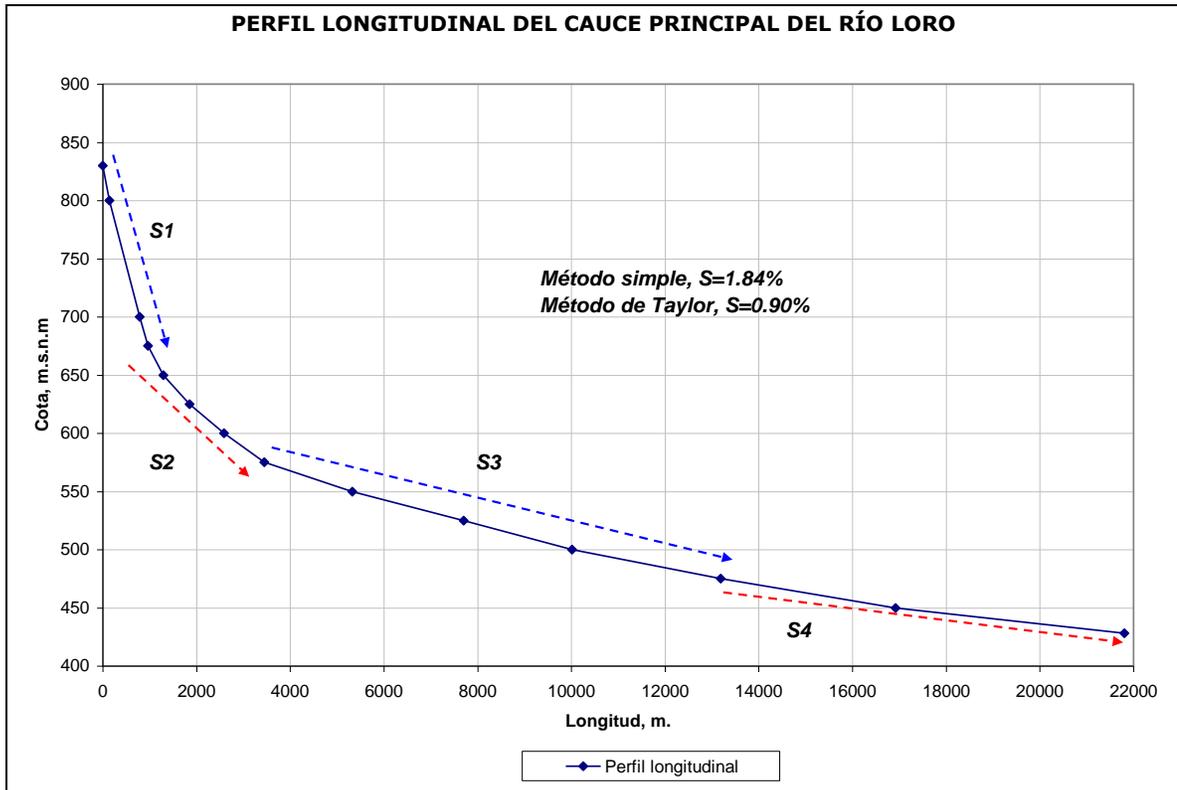
Perfil del cauce principal del río Loro

Se realizaron las medidas de longitud y diferencia de niveles a través del cauce principal del río Loro, obteniendo la información que se muestra en la siguiente tabla.

| PERFIL CAUCE PRINCIPAL RÍO LORO | | | |
|--|--------------------|--------------|--------------------|
| H (m.s.n.m) | Delta L (m) | L (m) | Observación |
| 830 | 0 | 0 | Aproximado |
| 800 | 142.46 | 142.46 | |
| 700 | 642.67 | 785.13 | |
| 675 | 177.74 | 962.87 | |
| 650 | 333.04 | 1295.91 | |
| 625 | 555.88 | 1851.79 | |
| 600 | 736.52 | 2588.31 | |
| 575 | 856.2 | 3444.51 | |
| 550 | 1885.69 | 5330.2 | |
| 525 | 2371.68 | 7701.88 | |
| 500 | 2315.43 | 10017.31 | |
| 475 | 3170.2 | 13187.51 | |
| 450 | 3734.14 | 16921.65 | |
| 428 | 4885.83 | 21807.48 | Desembocadura |

En la siguiente figura se muestra el perfil del cauce principal de la cuenca del río Loro; obsérvese que existen cuatro tipos de pendientes representativas.

Figura 71: Perfil longitudinal del cauce principal del Río Loro



El cálculo de la pendiente del cauce principal se realiza por el método simple y el de Taylor, donde el primer método consiste en la división de la diferencia de alturas y la longitud horizontal del cauce hasta el punto de la desembocadura con el río Magdalena esto se muestra en la siguiente ecuación¹⁴:

Método Simple:

$$S_{cauce} = \frac{CotaMáxima - CotaMinima}{Lcauce}$$

Donde:

S_{cauce} : pendiente media del cauce principal.

Cota máxima: Cota de la divisoria donde nace el cauce principal.

Cota mínima: Cota de la desembocadura del río Loro o confluencia con el río Magdalena.

14 Tomado de los apuntes de clase de Hidrología Aplicada. Profesor: Alfonso Estrada, Universidad Nacional de Colombia.

Reemplazando los valores en la ecuación anterior se obtiene una pendiente media del cauce principal igual a 1.84 %.

Método de Taylor

$$S_{cauce} = \left(\frac{L_c}{\frac{L_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{L_n}{\sqrt{S_n}}} \right)^2$$

Donde:

S_{cauce} : pendiente media del cauce principal.

S_i : Pendiente del subsector i del cauce principal.

L_i , longitud del tramo.

Analizando la ecuación de Taylor para la pendiente del cauce principal, se puede ver que es de fácil aplicación, por tanto se presenta de manera seguida los cálculos realizados con las anteriores ecuaciones.

| MÉTODO DE TAYLOR, S(%) | 0.9% |
|-------------------------------|-------------|
| S1 (Obtenida por m. simple) | 16.10% |
| S2 | 4.03% |
| S3 | 1.14% |
| S4 | 0.61% |

Efectuando los cálculos con el uso de la ecuación de Taylor se obtiene que la pendiente es del 0.9%.

Se considera que es más precisa la metodología de Taylor, por tanto la pendiente promedio del cauce principal se toma como 0.9%

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Para obtener el tiempo en que toda la cuenca aporta caudal simultáneamente se ha calculado el tiempo de concentración de la cuenca por diferentes metodologías, tal como se describe a continuación:

Soil Conservation Service –SCS¹⁵

$$Tr = 100 \frac{Lc^{0.8} * (S + 1)^{0.7}}{1900Sc_{cauce}}$$
$$tc = Tr / 0.7$$

Donde:

tc = Tiempo de concentración, minutos.

Tr = Tiempo de retardo, minutos.

Lc = Longitud del cauce principal, pies.

S = Pendiente del cauce principal, m/m.

Luego el tiempo de concentración, Tc es **1273.55 min.**

Bransby-Williams

$$tc = 21.3Lc * A^{-0.1} Sc^{-0.20}$$

Donde:

Tc : Tiempo de concentración, minutos.

Lc : Longitud del cauce principal, km.

Sc : Pendiente del cauce principal. m/m

A : Área de la cuenca, km².

Luego el tiempo de concentración, **Tc es 774.13 min.**

Método hidráulico

Considera el tiempo de concentración como la suma del tiempo empleado por la gota de lluvia en recorrer la ladera (antes e alcanzar un cauce principal) en combinación con el tiempo que tarda la partícula en trasportarse por el cauce, esto es:

$$tc = t_{ViajeCauce} + t_{ViajeSuperficie}$$

Donde:

tc : Es el tiempo de concentración.

¹⁵ Tomado de los apuntes de clase de Hidrología Aplicada. Profesor: Alfonso Estrada.

$t_{\text{ViajeCauce}}$: Tiempo de viaje por el cauce.

$t_{\text{ViajeSuperficie}}$: Tiempo de viaje medio de la gota de lluvia desde el punto más alejado en la cuenca hasta que llega al cauce.

$$t_{\text{ViajeCauce}} = \frac{Lc}{Vc}$$

Donde:

Lc : Longitud del cauce principal

Vc : Velocidad promedio en el cauce dependiendo de la pendiente media S_{cauce} . Esta velocidad para la pendiente 0.009 m/m es de aproximadamente¹⁶ 0.48 m/s (1.6 pie/s).

Para la longitud del cauce principal y la velocidad anterior se obtiene un tiempo de viaje por el cauce igual a 44719 segundos (745 min)

$$t_{\text{ViajeSuperficie}} = \frac{1/2D}{Vs}$$

Donde:

D : Densidad de drenaje de la cuenca.

Vs : Velocidad promedio en la superficie se estima en un valor aproximado de 0.60 m/s

Para la densidad de drenaje y la velocidad anterior se obtiene un tiempo de viaje en la ladera igual a 286 segundos (4.77 min).

Por lo tanto por medio del método hidráulico se obtiene un tiempo de concentración igual a **tc=750 minutos**.

Nótese que el tiempo de concentración obtenido por los dos anteriores métodos es muy similar: Se considera como tiempo de concentración en la cuenca del río Loro el obtenido por el método de Bransby Williams igual **774.13 minutos**.

A partir de las tormentas sintéticas generadas para cada período de retorno, con las características morfométricas calculadas arriba y suponiendo un número de curva igual a 65 y un área impermeable del 15%, se obtuvieron con ayuda del software

16 Figura 3-1. Average velocities for estimating travel time for shallow concentrated flow. Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55. <http://www.wcc.nrcs.usda.gov/hydro/hydro-tools-models-tr55.html>

HEC-HMS los valores de caudal máximo para diferentes períodos de retorno, los cuales son muy similares a los estimados siguiendo la ecuación de regionalización propuesta por Salazar (1995)¹⁷ para la cuenca Alta del Río Magdalena.

| Tr (años) | Q (m³/s) HEC-HMS | Q(m³/s) REGIONALIZACIÓN |
|----------------------|--|---|
| 2 | 37.8 | 37.0 |
| 5 | 51.1 | 50.2 |
| 10 | 60.3 | 59.0 |
| 25 | 72.4 | 67.5 |
| 50 | 81.8 | 78.4 |
| 100 | 91.2 | 86.6 |

¹⁷ Salazar, A., Ibáñez, D., (1995) Regionalización de crecientes máximas. IDEAM. Subdirección de Hidrología.

***ANEXO 8: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN
HIDRÁULICA PARA LOS EVENTOS DE CALIBRACIÓN Y
DIFERENTES ESCENARIOS DE MODELACIÓN***

Resultados de la modelación hidráulica para la condición de calibración y para el caudal de período de retorno 2 años.

| Sección | Perfil | Q Total | N.A | Prof. Crítica | Velocidad | Área mojada | # Froude |
|---------|-------------|---------------------|--------|------------------|-----------|-------------------|-------------|
| | | (m ³ /s) | (m) | (m) | (m/s) | (m ²) | |
| 1 | Calibración | 1146 | 423.58 | 422.08 | 3.06 | 382.36 | 0.48 |
| 2 | Calibración | 1146 | 424.28 | | 3.61 | 317.5 | 0.62 |
| 3 | Calibración | 1146 | 425.25 | | 3.58 | 352.38 | 0.64 |
| 4 | Calibración | 1146 | 425.91 | | 1.74 | 658.9 | 0.32 |
| 5 | Calibración | 1146 | 426.09 | | 2.2 | 520.15 | 0.62 |
| 6 | Calibración | 1146 | 427.51 | 427.22 | 2.51 | 456.58 | 0.76 |
| 7 | Calibración | 1146 | 428.48 | | 2.37 | 482.8 | 0.62 |
| 8 | Calibración | 1146 | 428.87 | | 1.37 | 836.56 | 0.34 |
| 9 | Calibración | 1146 | 429.18 | | 1.44 | 795.51 | 0.41 |
| 10 | Calibración | 1146 | 430 | | 1.67 | 685.67 | 0.48 |
| 11 | Calibración | 1146 | 430.89 | | 1.13 | 1010.55 | 0.36 |
| 12 | Calibración | 1146 | 431.72 | | 2.41 | 474.75 | 0.75 |
| 13 | Calibración | 1146 | 432.51 | | 0.95 | 1210.26 | 0.25 |
| 14 | Calibración | 1146 | 433.08 | | 2.19 | 524.45 | 0.57 |
| 15 | Calibración | 1146 | 434.69 | | 3.15 | 364.36 | 0.57 |
| 16 | Calibración | 1146 | 435.77 | 434.99 | 3.19 | 386.51 | 0.62 |
| 17 | Calibración | 1146 | 436.69 | | 2.47 | 464.22 | 0.45 |
| 1 | Tr=2 años | 1666 | 424.5 | 422.78 | 3.61 | 473.18 | 0.52 |
| 2 | Tr=2 años | 1666 | 425.2 | | 4.15 | 401.58 | 0.63 |
| 3 | Tr=2 años | 1666 | 426.22 | | 3.77 | 483.76 | 0.59 |
| 4 | Tr=2 años | 1666 | 426.88 | | 1.9 | 879.48 | 0.31 |
| 5 | Tr=2 años | 1666 | 427.09 | | 1.65 | 1006.81 | 0.4 |
| 6 | Tr=2 años | 1666 | 427.88 | 427.59 | 2.68 | 622.01 | 0.78 |
| 7 | Tr=2 años | 1666 | 429.03 | | 2.3 | 724.54 | 0.66 |
| 8 | Tr=2 años | 1666 | 429.39 | | 1.48 | 1125.01 | 0.35 |
| 9 | Tr=2 años | 1666 | 429.72 | | 1.41 | 1183.89 | 0.38 |
| 10 | Tr=2 años | 1666 | 430.45 | | 1.72 | 969.41 | 0.49 |
| 11 | Tr=2 años | 1666 | 431.26 | | 1.19 | 1397.25 | 0.33 |
| 12 | Tr=2 años | 1666 | 431.94 | | 2.87 | 580.44 | 0.84 |
| 13 | Tr=2 años | 1666 | 432.96 | | 1.01 | 1645.84 | 0.27 |
| 14 | Tr=2 años | 1666 | 433.55 | | 2.4 | 694.07 | 0.56 |
| 15 | Tr=2 años | 1666 | 435.61 | 434.26 | 2.86 | 583.36 | 0.65 |
| 16 | Tr=2 años | 1666 | 436.62 | | 3.04 | 660.74 | 0.51 |
| 17 | Tr=2 años | 1666 | 437.17 | | 3.1 | 538.19 | 0.53 |

Resultados de la modelación hidráulica para los caudal de período de retorno 5 y 10 años

| Sección | Perfil | Q Total (m ³ /s) | N.A (m) | Prof. Crítica (m) | Velocidad (m/s) | Área mojada (m ²) | # Froude |
|---------|------------|-----------------------------|---------|-------------------|-----------------|-------------------------------|----------|
| 1 | Tr=5 años | 2189 | 425.22 | 423.41 | 4.13 | 544.24 | 0.55 |
| 2 | Tr=5 años | 2189 | 425.96 | | 4.65 | 471.19 | 0.65 |
| 3 | Tr=5 años | 2189 | 427.1 | | 3.96 | 602.36 | 0.56 |
| 4 | Tr=5 años | 2189 | 427.78 | | 2.01 | 1141.6 | 0.29 |
| 5 | Tr=5 años | 2189 | 428.01 | | 1.44 | 1524.6 | 0.28 |
| 6 | Tr=5 años | 2189 | 428.38 | | 2.39 | 917.71 | 0.65 |
| 7 | Tr=5 años | 2189 | 429.24 | 428.87 | 2.57 | 852.88 | 0.72 |
| 8 | Tr=5 años | 2189 | 429.66 | | 1.69 | 1298.4 | 0.38 |
| 9 | Tr=5 años | 2189 | 430.06 | | 1.44 | 1518.28 | 0.39 |
| 10 | Tr=5 años | 2189 | 430.83 | | 1.66 | 1320.85 | 0.47 |
| 11 | Tr=5 años | 2189 | 431.57 | | 1.26 | 1735.29 | 0.33 |
| 12 | Tr=5 años | 2189 | 432.18 | 432.05 | 3.08 | 711.48 | 0.89 |
| 13 | Tr=5 años | 2189 | 433.28 | | 1.07 | 2043.23 | 0.27 |
| 14 | Tr=5 años | 2189 | 433.96 | | 2.5 | 873.88 | 0.66 |
| 15 | Tr=5 años | 2189 | 436.13 | 435.4 | 2.98 | 735.44 | 0.6 |
| 16 | Tr=5 años | 2189 | 437.05 | | 3.31 | 801.42 | 0.53 |
| 17 | Tr=5 años | 2189 | 437.56 | | 3.66 | 598.5 | 0.59 |
| 1 | Tr=10 años | 2535 | 425.7 | 423.8 | 4.41 | 591.62 | 0.57 |
| 2 | Tr=10 años | 2535 | 426.45 | | 4.92 | 515.24 | 0.66 |
| 3 | Tr=10 años | 2535 | 427.65 | | 4.07 | 677.03 | 0.55 |
| 4 | Tr=10 años | 2535 | 428.37 | | 2.01 | 1387.52 | 0.28 |
| 5 | Tr=10 años | 2535 | 428.58 | | 1.37 | 1848.87 | 0.24 |
| 6 | Tr=10 años | 2535 | 428.81 | | 2.08 | 1232.02 | 0.51 |
| 7 | Tr=10 años | 2535 | 429.34 | | 2.75 | 922.12 | 0.77 |
| 8 | Tr=10 años | 2535 | 429.82 | | 1.81 | 1400.93 | 0.4 |
| 9 | Tr=10 años | 2535 | 430.25 | | 1.46 | 1740.73 | 0.39 |
| 10 | Tr=10 años | 2535 | 431 | | 1.68 | 1512.4 | 0.48 |
| 11 | Tr=10 años | 2535 | 431.72 | | 1.33 | 1910.56 | 0.33 |
| 12 | Tr=10 años | 2535 | 432.28 | 432.2 | 3.28 | 773.34 | 0.92 |

| Sección | Perfil | Q Total (m ³ /s) | N.A (m) | Prof. Crítica (m) | Velocidad (m/s) | Área mojada (m ²) | # Froude |
|---------|------------|-----------------------------|---------|-------------------|-----------------|-------------------------------|----------|
| 13 | Tr=10 años | 2535 | 433.45 | | 1.12 | 2268.26 | 0.28 |
| 14 | Tr=10 años | 2535 | 434.12 | | 2.6 | 973.16 | 0.68 |
| 15 | Tr=10 años | 2535 | 436.34 | 435.58 | 3.17 | 799.61 | 0.61 |
| 16 | Tr=10 años | 2535 | 437.3 | | 3.48 | 883.24 | 0.54 |
| 17 | Tr=10 años | 2535 | 437.78 | | 4.01 | 631.94 | 0.63 |

Resultados de la modelación hidráulica para los caudal de periodo de retorno 25, 50 y 100 años.

| Sección | Perfil | Q Total (m ³ /s) | N.A (m) | Prof. Crítica (m) | Velocidad (m/s) | Área mojada (m ²) | # Froude |
|---------|------------|-----------------------------|---------|-------------------|-----------------|-------------------------------|----------|
| 1 | Tr=25 años | 2973 | 426.3 | 424.25 | 4.71 | 650.83 | 0.58 |
| 2 | Tr=25 años | 2973 | 427.04 | | 5.22 | 569.03 | 0.67 |
| 3 | Tr=25 años | 2973 | 428.33 | | 4.21 | 768.06 | 0.54 |
| 4 | Tr=25 años | 2973 | 429.1 | | 1.98 | 1746.53 | 0.26 |
| 5 | Tr=25 años | 2973 | 429.28 | | 1.32 | 2246.59 | 0.21 |
| 6 | Tr=25 años | 2973 | 429.45 | | 1.65 | 1888.28 | 0.39 |
| 7 | Tr=25 años | 2973 | 429.74 | | 2.41 | 1233.35 | 0.65 |
| 8 | Tr=25 años | 2973 | 430.1 | | 1.84 | 1615.89 | 0.42 |
| 9 | Tr=25 años | 2973 | 430.54 | | 1.41 | 2107.51 | 0.35 |
| 10 | Tr=25 años | 2973 | 431.17 | | 1.72 | 1724.2 | 0.47 |
| 11 | Tr=25 años | 2973 | 431.88 | | 1.42 | 2093.82 | 0.34 |
| 12 | Tr=25 años | 2973 | 432.42 | 432.33 | 3.49 | 852.73 | 0.94 |
| 13 | Tr=25 años | 2973 | 433.64 | | 1.18 | 2528.87 | 0.28 |
| 14 | Tr=25 años | 2973 | 434.28 | | 2.74 | 1086.89 | 0.71 |
| 15 | Tr=25 años | 2973 | 436.59 | 435.78 | 3.41 | 871.33 | 0.63 |
| 16 | Tr=25 años | 2973 | 437.6 | | 3.65 | 982.03 | 0.55 |
| 17 | Tr=25 años | 2973 | 438.03 | | 4.44 | 669.2 | 0.68 |
| 1 | Tr=50 años | 3297 | 426.75 | 424.57 | 4.9 | 695.23 | 0.58 |
| 2 | Tr=50 años | 3297 | 427.47 | | 5.42 | 608.38 | 0.67 |
| 3 | Tr=50 años | 3297 | 428.81 | | 4.3 | 833.77 | 0.53 |
| 4 | Tr=50 años | 3297 | 429.63 | | 1.93 | 2025.35 | 0.24 |
| 5 | Tr=50 años | 3297 | 429.78 | | 1.3 | 2537.46 | 0.2 |
| 6 | Tr=50 años | 3297 | 429.91 | | 1.42 | 2499.11 | 0.3 |
| 7 | Tr=50 años | 3297 | 430.04 | | 2.19 | 1507.11 | 0.54 |
| 8 | Tr=50 años | 3297 | 430.31 | | 1.84 | 1793.81 | 0.41 |
| 9 | Tr=50 años | 3297 | 430.73 | | 1.4 | 2347.93 | 0.34 |

| Sección | Perfil | Q Total (m³/s) | N.A (m) | Prof. Crítica (m) | Velocidad (m/s) | Área mojada (m²) | # Froude |
|----------------|---------------|--|--------------------|------------------------------|----------------------------|--|---------------------|
| 10 | Tr=50 años | 3297 | 431.3 | | 1.74 | 1892.52 | 0.46 |
| 11 | Tr=50 años | 3297 | 431.98 | | 1.49 | 2215.22 | 0.34 |
| 12 | Tr=50 años | 3297 | 432.54 | 432.46 | 3.55 | 929.67 | 0.96 |
| 13 | Tr=50 años | 3297 | 433.77 | | 1.22 | 2713.25 | 0.27 |
| 14 | Tr=50 años | 3297 | 434.38 | | 2.85 | 1156.3 | 0.71 |
| 15 | Tr=50 años | 3297 | 436.73 | 435.95 | 3.61 | 913.93 | 0.65 |
| 16 | Tr=50 años | 3297 | 437.81 | | 3.78 | 1050.06 | 0.55 |
| 17 | Tr=50 años | 3297 | 438.19 | | 4.75 | 693.41 | 0.71 |
| 1 | Tr=100 años | 3619 | 427.19 | 424.9 | 5.07 | 738.67 | 0.58 |
| 2 | Tr=100 años | 3619 | 427.89 | | 5.6 | 646.7 | 0.67 |
| 3 | Tr=100 años | 3619 | 429.29 | | 4.39 | 897.58 | 0.52 |
| 4 | Tr=100 años | 3619 | 430.14 | | 1.89 | 2299.78 | 0.22 |
| 5 | Tr=100 años | 3619 | 430.28 | | 1.28 | 2822.58 | 0.19 |
| 6 | Tr=100 años | 3619 | 430.38 | | 1.24 | 3192.96 | 0.24 |
| 7 | Tr=100 años | 3619 | 430.44 | | 1.93 | 1871.41 | 0.43 |
| 8 | Tr=100 años | 3619 | 430.61 | | 1.75 | 2064.5 | 0.37 |
| 9 | Tr=100 años | 3619 | 430.95 | | 1.37 | 2641.15 | 0.31 |
| 10 | Tr=100 años | 3619 | 431.42 | | 1.77 | 2048.75 | 0.44 |
| 11 | Tr=100 años | 3619 | 432.08 | | 1.55 | 2332.16 | 0.35 |
| 12 | Tr=100 años | 3619 | 432.64 | 432.6 | 3.62 | 1000.55 | 0.97 |
| 13 | Tr=100 años | 3619 | 433.89 | | 1.26 | 2877.17 | 0.28 |
| 14 | Tr=100 años | 3619 | 434.48 | | 2.96 | 1224.39 | 0.72 |
| 15 | Tr=100 años | 3619 | 436.87 | 436.1 | 3.8 | 953.62 | 0.67 |
| 16 | Tr=100 años | 3619 | 438.01 | | 3.89 | 1114.82 | 0.56 |
| 17 | Tr=100 años | 3619 | 438.33 | | 5.06 | 714.89 | 0.75 |

ANEXO 9: APIQUES Y PERFILES TÍPICOS

***ANEXO 10: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS
APIQUES***

APIQUE 01



Foto 1.1: Material de la excavación, matriz arenosa fina y trazas de grava fina y guijarros. Profundidad aproximada 0,5 m.

Perfil



Foto 1.2: Perfil de la excavación, guijarros embebidos en matriz arenosa a lo largo de todo el apique.

APIQUE 03



Foto 3 - 1: Material de excavación, matriz areno limosa con gravas y guijarros. Obsérvese el tamaño de los guijarros. Profundidad aproximada 0,5 m.



Foto 3 - 2: Se aprecia el fondo de la excavación consistente en matriz arenosa con guijarros de gran tamaño que dificultaron las perforaciones y obligaron a la ejecución de apiques.

APIQUE 04



Foto 4 - 1: Material de la excavación, matriz arenosa fina con grava gruesa subredondeada y trazas de limo. Profundidad aproximada 0,8 m.

APIQUE 07



Foto 7 - 1: Material de la excavación, matriz limo arenosa con guijarros. Profundidad aproximada 0,3 m.



Foto 7 - 2: Material de la excavación, Matriz areno limosa con guijarros de gran tamaño y trazas de grava. Profundidad aproximada 0,7 m.



Foto 7 - 3: Fondo de la excavación. Observar el tamaño y la gran cantidad de guijarros encontrados. Profundidad aproximada 0,80

Perfil



Foto 7 - 4: Transición de la matriz limosa con presencia de raíces a arenosa con guijarros. Profundidad aproximada 0,60 m.



Foto 7 - 5: Parte superior de la excavación, matriz areno limosa, en transición con la limosa, seguida de la capa vegetal. Profundidad aproximada 0,40.

APIQUE 08



Foto 8 - 1: Material de la excavación, Matriz limosa arcillosa con trazas de raíces. Profundidad aproximada 0,3 m.



Foto 8 - 2: Material de la excavación, Matriz arenosa con guijarros y grava gruesa. Profundidad aproximada 0,9 m.

Perfil

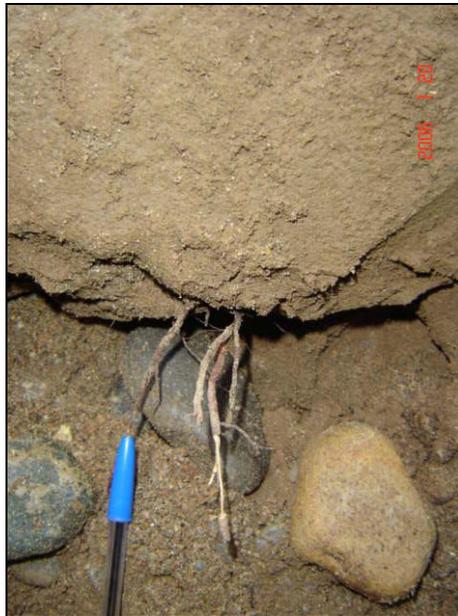


Foto 8 - 3: Transición de la matriz arenosa con guijarros y la limosa con raíces. Profundidad aproximada 0,80 m.



Foto 8 - 4: Matriz limo arcillosa, con trazas de raíces. Profundidad aproximada 0,40.



Foto 8 - 5: Parte superior de la excavación, matriz de limo arcilloso, y capa vegetal. Profundidad aproximada 0,20 m

APIQUE 09



Foto 9 - 1: Material de la excavación, Limo con presencia de raíces en estado seco. Profundidad aproximada 0,1 m.



Foto 9 - 2: Material de la excavación, Matriz arenosa con limo. Profundidad aproximada 1,20 m.



Foto 9 - 3: Material de la excavación, Matriz arenosa con limo. Profundidad aproximada 1,50 m.

Perfil



Foto 9 - 4: Fondo de la excavación. Presencia del nivel freático en el apique 09. Arena fina color rojizo. Profundidad 1,40 m.



Foto 9 - 5: Transición de la matriz areno limosa, y la limo arenosa con raíces. Profundidad aproximada 0,80.



Foto 9 - 6: Parte superior de la excavación, transición matriz limo arenosa con raíces, y la limosa. Aparece la capa vegetal. Profundidad aproximada 0,50 m

APIQUE 10



Foto 10 - 1: Material de la excavación, Matriz de arena limosa. Profundidad aproximada 0,7 m.

Perfil



Foto 10 - 2: Transición entre la matriz de arena fina limosa con raíces y la matriz de arena con gujarros y gravas Profundidad aproximada 0,50 m.



Foto 10 - 3: Transición entre la matriz de arena con gujarros y la matriz de arena fina limosa con raíces. Obsérvese el tamaño de los gujarros. Profundidad aproximada 0,50 m.



Foto 10 - 4: Matriz arena limosa con raíces. Profundidad aproximada 0,40 m



Foto 10 - 5: Parte superior de la excavación. Matriz limo arenosa con presencia de raíces. Se observa la capa vegetal en la parte superior.

APIQUE 14



Foto 14 - 1: Material de la excavación, limo con raíces. Profundidad aproximada 0,1 m.



Foto 14 - 2: Material de excavación. Matriz de arena limosa con algunas raíces. Profundidad aproximada 0,50 m.



Foto 14 - 3: Material de excavación. Matriz arena limosa con guijarros y gravas. Profundidad aproximada 0,50 m



Foto 14 - 4: Material de excavación. Tamaño máximo de fragmentos subredondeados. Profundidad aproximada 0,70 m.

Perfil



Foto 14 - 5: Transición entre la matriz de arena limosa con guijarros y la que no posee guijarros. Profundidad aproximada 1,00 m.



Foto 14 - 6: Matriz areno limosa. Profundidad aproximada 0,40 m.

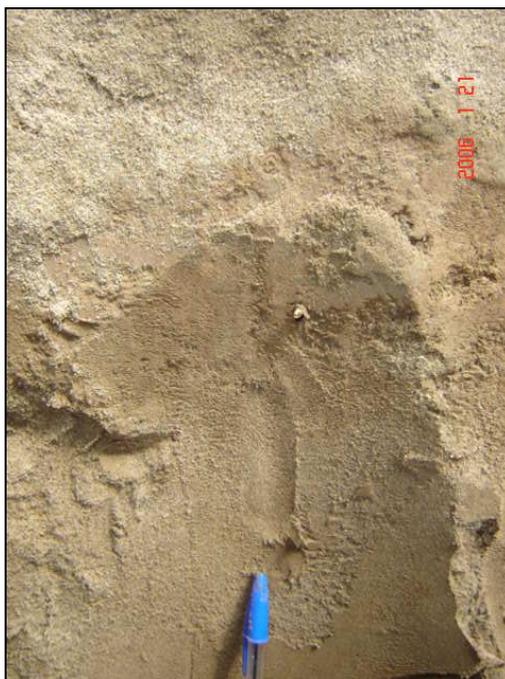


Foto 14 - 7: Transición entre las matrices areno limosas en estado húmedo y en estado seco. Profundidad aproximada 0,25 m



Foto 14 - 8: Transición entre la matriz arenosa limosa y la limo arenosa. Se observa la capa vegetal en la parte superior. Profundidad aproximada 0,1

APIQUE 15



Foto 15 - 1: Material de la excavación, Matriz de arena limosa con raíces. Profundidad aproximada 0,2 m.



Foto 15 - 2: Material de excavación. Matriz de arena limosa con algunas raíces. Profundidad aproximada 0,50 m.

Perfil



Foto 15 - 3: Transición entre la matriz de arena fina limosa y la misma matriz con raíces. Profundidad aproximada 0,60 m.



Foto 15 - 4: Parte superior de la excavación de arena fina limosa con raíces. Arriba la capa vegetal. Profundidad aproximada 0,30 m.

APIQUE 17



Foto 17 - 1: Material de la excavación. Limo arenoso con arenoso con presencia de raíces. Profundidad aproximada 0,40 m.



Foto 17 - 2: Material de la excavación, arena fina limosa. Profundidad aproximada 0,70 m.

Perfil



Foto 17 - 3: Fondo de la excavación. Presencia del nivel freático. Transición entre la matriz de arenosa saturada y húmeda. Profundidad aproximada 1,00 m.



Foto 17 - 4: Detalle matriz arenosa. Profundidad aproximada 1,00 m.

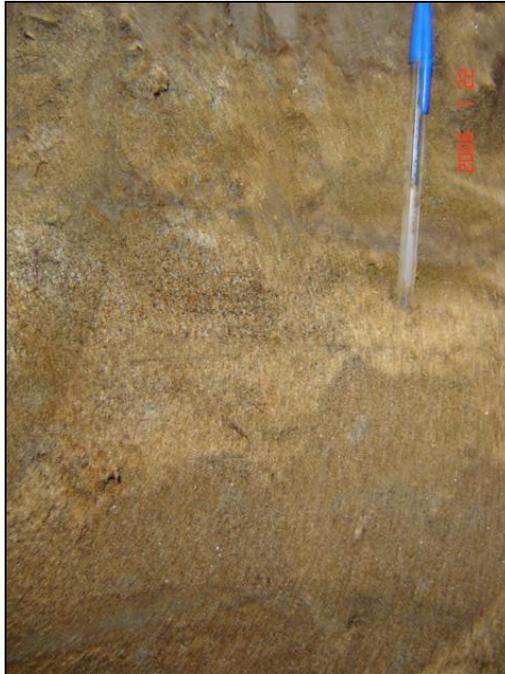


Foto 17 - 5: Transición entre la matriz areno limosa y limo arenosa, hacia la parte superior. Profundidad aproximada 0,50 m.



Foto 17 - 6: Detalle de la transición entre la matriz areno limosa y limo arenosa. Profundidad aproximada 0,50 m.

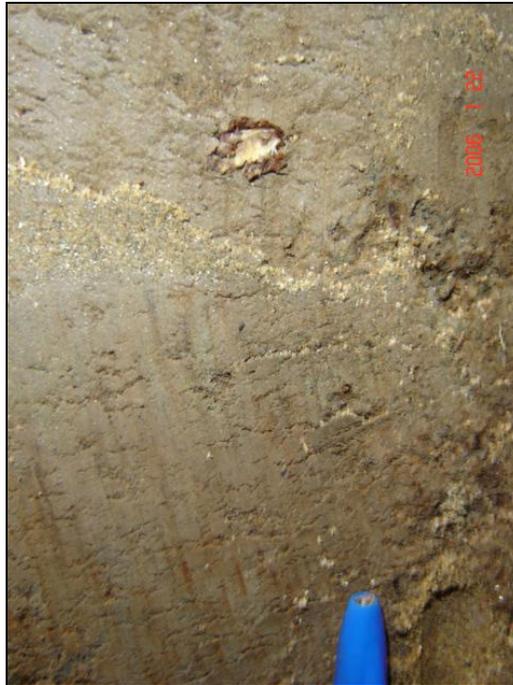


Foto 17 - 7: Matriz limo arenosa. Profundidad aproximada 0,40 m.



Foto 17 - 8: Transición entre las matrices areno limosa, limo arenosa y limosa. Profundidad aproximada 0,50 m.

APIQUE 19

Perfil



Foto 19 - 1: Transición entre la matriz arenosa con guijarros y la matriz areno limosa. Profundidad aproximada 1,50 m.



Foto 19 - 2: Matriz areno limosa. Profundidad aproximada 0,60 m.



Foto 19 - 3: Transición entre la matriz areno limosa y limo arenosa con raíces. Profundidad aproximada 0,30 m.



Foto 19 - 4: Parte superior de la excavación. Matriz limo arenosa con capa vegetal. Profundidad aproximada 0,20 m.

APIQUE 20



Figura 20 - 1: Material de la excavación. Limo arenoso con presencia de raíces. Profundidad aproximada 0,20 m.



Figura 20 - 2: Material de la excavación. Matriz de arena limosa. Profundidad aproximada 1,00 m.

Perfil

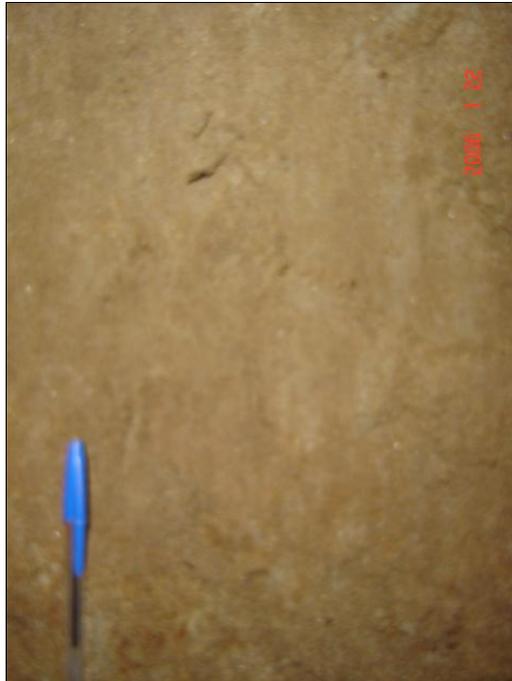


Figura 20 - 3: Matriz areno limosa. Profundidad aproximada 1,10 m.



Figura 20 - 4: Transición entre la matriz areno limosa y limo arenosa con raíces. Profundidad aproximada 0,50 m.



Figura 20 - 5: Parte superior de la excavación. Transición entre la matriz limo arenosa y la limosa. Presencia de capa vegetal. Profundidad aproximada 0,20 m.

APIQUE 21



Foto 21 - 1: Material de la excavación, limo arenoso con raíces. Profundidad aproximada 0,1 m.



Foto 21 - 2: Material de la excavación. Matriz de limo arenoso con algunas raíces y trazas de guijarros. Profundidad aproximada 0,40 m.

Perfil



Foto 21 - 3: Presencia al final de la excavación de una matriz arenosa con gujarros. Profundidad aproximada 1,10 m.



Foto 21 - 4: Detalle del tamaño de los gujarros embebidos en la matriz arenosa.



Foto 21 - 5: Transición entre la matriz arenosa y limo arenosa con guijarros. Profundidad aproximada 0,70 m.



Foto 21 - 6: Parte superior de la excavación. Se aprecia la transición entre la matriz limo arenosa con guijarros y la matriz limo arenosa con presencia de raíces. Profundidad

APIQUE 22



Foto 22 - 1: Material de la excavación. Matriz de arena limosa. Profundidad aproximada 0,20 m.



Foto 22 - 2: Material de la excavación. Matriz arenosa con gravas y guijarros. Profundidad aproximada 0,80 m.

Perfil



Foto 22 - 3: Fondo de la excavación. Presencia del nivel freático. Profundidad aproximada 1,30 m.



Foto 22 - 4: Detalle del fondo de la excavación. Matriz arenosa con presencia de gravas y guijarros.



Foto 22 - 5: Transición entre la matriz arenosa con guijarros y la matriz areno limosa. Se observa la capa limosa y vegetal al inicio de la excavación. Profundidad aproximada 0,40 m.

APIQUE 27



Foto 27 - 1: Material de la excavación. Matriz de arena limosa. Profundidad aproximada 1,00 m.

Perfil



Foto 27 - 2: Fondo de la excavación. Presencia del nivel freático. Transición entre la matriz de limo arenoso saturado y la de limo arenoso con presencia de raíces en estado seco. Profundidad aproximada 1,20 m.



Foto 27 - 3: Matriz areno limosa con presencia raíces. Profundidad aproximada 0,70 m.



Foto 27 - 4: Parte superior de la excavación matriz limo arenosa en la parte superior con una delgada franja en la parte inferior de la foto de limo arcilloso. Nótese la ausencia de capa vegetal. Profundidad aproximada 0,50 m.

APIQUE 29



Foto 29 - 1: Material de la excavación. Limo con presencia de raíces. Profundidad aproximada 0,30 m.



Foto 29 - 2: Material de la excavación. Matriz de arena limosa. Profundidad aproximada 0,60 m.



Foto 29 - 3: Matriz de arena limosa con presencia de guijarros. Nótese el tamaño de los guijarros. Profundidad aproximada 1,50 m.

Perfil



Foto 29 - 4: Parte final de la excavación. Matriz arenosa con guijarros de gran tamaño embebidos. Profundidad aproximada 1,80 m.

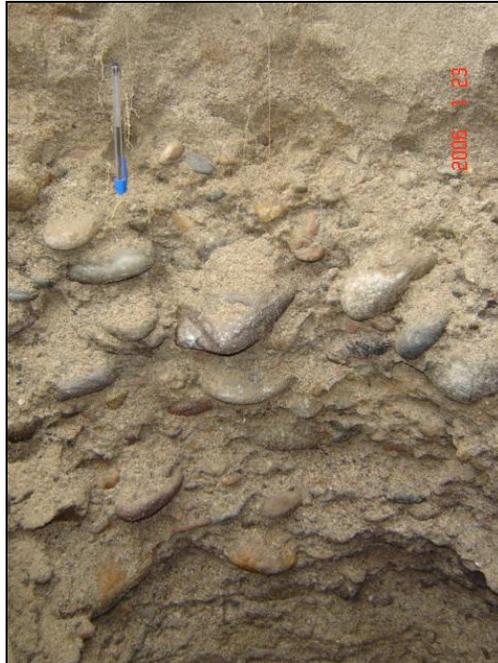


Foto 29 - 5: Transición entre la matriz arenosa con guijarros y la arena limosa y la limosa. Profundidad aproximada 0,90 m.



Foto 29 - 6: Transición entre la matriz arenosa con guijarros, la arena limosa, y la limo arenosa con presencia de raíces. Profundidad aproximada 0
APIQUE 33



Foto 33 - 1: Material de la excavación. Arena limosa. Profundidad aproximada 0,30 m.



Foto 33 - 2: Material de la excavación. Matriz de arena con gujarros de gran tamaño. Profundidad aproximada 0,80 m.

Perfil



Foto 33 - 3: Fondo de la excavación. Presencia del nivel freático. Matriz de arena con gujarros. Profundidad aproximada 1,00 m.



Foto 33 - 4: Transición entre la matriz arenosa con guijarros y la arena limosa con presencia de raíces. Profundidad aproximada 0,50 m.



Foto 33 - 5: Transición entre la matriz areno limosa y la limo arenosa con presencia de raíces. En la parte superior la matriz limosa y la capa vegetal. Profundidad aproximada 0,60 m.



Foto 33 - 6: Detalle de la matriz limosa con raíces. Profundidad aproximada 0,15 m.

APIQUE 34



Foto 34 - 1: Material de la excavación. Limo con presencia de raíces. Profundidad aproximada 0,15 m.

Perfil



Foto 34 - 2: Matriz de limo arenoso. Profundidad aproximada 0,90 m.



Foto 34 - 3: Transición entre la matriz de limo arenoso y arena limosa con raíces. Profundidad aproximada 0,60 m.



Foto 34 - 4: Transición entre la matriz de arena limosa y la de limo con presencia de raíces. Profundidad aproximada 0,30 m.

APIQUE 35



Foto 35 - 1: Material de la excavación. Limo arcilloso con presencia de raíces. Profundidad aproximada 1,00 m.



Foto 35 - 2: Material de la excavación. Matriz arenosa. Profundidad aproximada 1,80 m.

Perfil



Foto 35 - 3: Fondo de la excavación. Presencia del nivel freático. Matriz arenosa con guijarros. Profundidad aproximada 1,90 m.



Foto 35 - 4: Transición entre la matriz de arena y la de limo arcilloso. Profundidad aproximada 1,50 m.



Foto 35 - 5: Matriz de limo arcilloso con presencia ocasional de raíces. Profundidad aproximada 1,00 m.



Foto 35 - 6: Transición entre la matriz de limo arcilloso y la de limo con presencia de raíces. Profundidad aproximada 0, 30 m.



Foto 35 - 7: Parte superior de la excavación. Se observa la transición entre la capa de limo arcilloso y la de limo con presencia de capa vegetal en la parte superior. Profundidad aproximada 0, 20m.

APIQUE 37

Perfil



Foto 37 - 1: Matriz arenolimsa con guijarros. Profundidad aproximada 0,70 m.



Foto 37 - 2: Transición entre matriz arenosa y arenolimsa. Profundidad aproximada 0,50 m.



Foto 37 - 3: Transición entre la matriz areno limosa y limo arenosa con presencia de raíces. Profundidad aproximada 0,20 m.



Foto 37 - 4: Parte superior de la excavación. Matriz limo arenosa con presencia de raíces y capa vegetal. Profundidad aproximada 0,15 m.

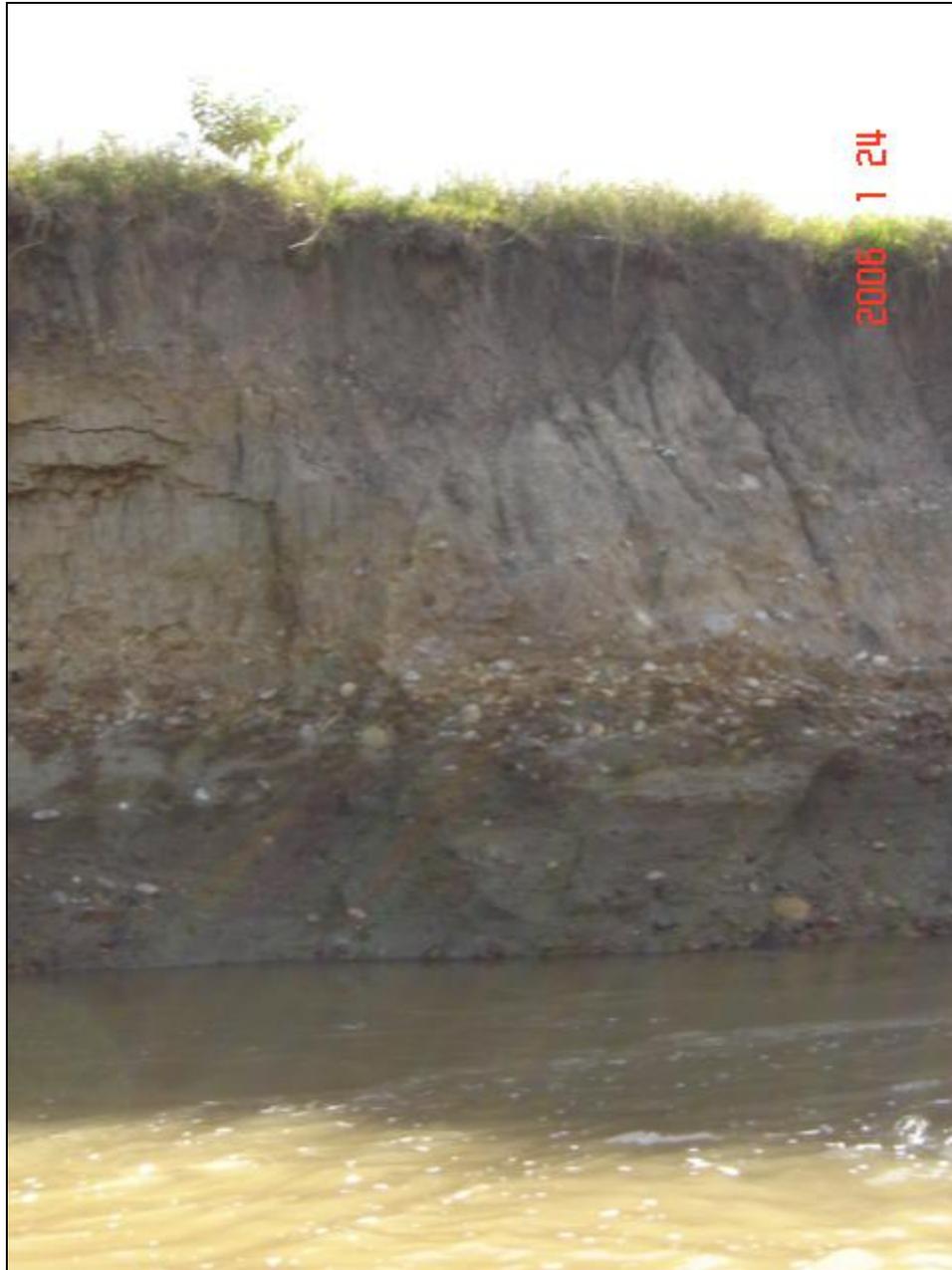
***ANEXO 11: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS
AFLORAMIENTOS ENCONTRADOS***



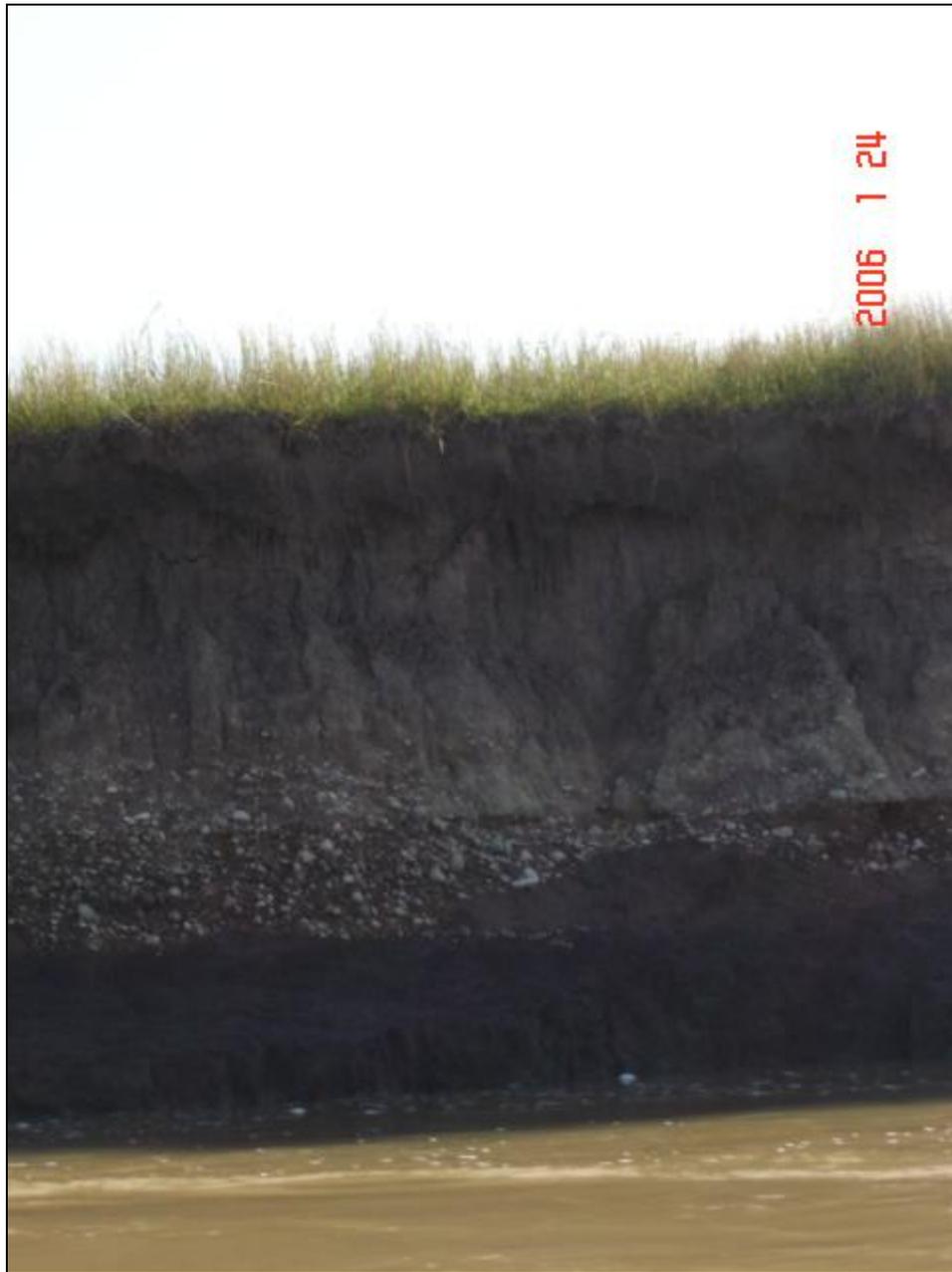
Fotografía No 1. En esta fotografía, se observa una capa de limo orgánico (0.7m), seguida de una capa de limo arenoso (2m) dentro de la cual se encuentran arenas gravas y clastos (1m) en matriz arenosa, hacia la base se observa nuevamente arenas gravas y clastos.



Fotografía No 2. En esta fotografía, se observa una capa de limo orgánico (0.7m), seguida de una capa de gravas finas en matriz limosa (1.5m). posteriormente, se encuentra nuevamente una capa de limo arenoso (1.5m) y en la base arenas, gravas y clastos.



Fotografía No 3. En esta fotografía, se observa una capa de limo orgánico (0.7m), seguida de una capa de limo arenoso con presencia de algunas gravas (3m), en la parte media baja se observa una capa de gravas finas de unos 0.6m de espesor.



Fotografía No 4. En esta fotografía, se observa una capa de limo orgánico (0.7m), seguida de una capa de limo arenoso con presencia de algunas gravas (3m), en la parte media baja se observa una capa de gravas finas de unos 0.6m de espesor.



Fotografía No 5. En esta fotografía, se observa una capa de limo orgánico (0.7m), seguida de una capa de limo arenoso con presencia de algunas gravas (3m), en la parte media baja se observa una capa de gravas finas de unos 0.4m de espesor.



Fotografía No 6. En esta fotografía, se observa una capa de limo orgánico (0.8m), seguida de una capa de limo arenoso limpio (3m), en la parte media baja se observa una capa de gravas finas y guijarros.

***ANEXO 12: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE
LABORATORIO***

Planos

Plano 1: Localización general del proyecto. (Ref. 964-05-497)

Plano 2: Levantamiento topobatimétrico. (Ref. 965-05-498)

Plano 3: Planta y Niveles de inundación. (Ref. 966-05-499)

Plano 4: Secciones transversales y niveles de inundación. (Ref. 967-05-500)

Plano 5: Geomorfología sector El Juncal-Neiva-Q. El Venado (Ref. 968-05-501)

Plano 6: Dinámica fluvial sector El Juncal-Neiva-Q. El Venado. (Ref. 969-05-502)

Plano 7: Análisis de dinámica. (Ref. 970-05-503)