



Convenio de Asociación No.001 de 2013  
**ASOCARS – UNIVERSIDAD DEL VALLE**



**ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR INUNDACIONES DEL  
RÍO CAUCA EN SU VALLE ALTO Y PLANTEAMIENTO  
DE OPCIONES DE PROTECCIÓN**

## **ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA**



*Fuente: CVC – Ojo Aéreo*

### **VOLUMEN I**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS  
NATURALES Y DEL AMBIENTE  
GRUPO DE INVESTIVACIÓN EN  
HIDRÁULICA FLUVIAL Y MARÍTIMA**



*Santiago de Cali, Septiembre de 2013*

El presente documento fue realizado en desarrollo del Proyecto: *Zonificación de amenazas por inundaciones del río cauca en su valle alto y planteamiento de opciones de protección*, dentro del Convenio 001 de 2013 suscrito entre ASOCARS, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y la Universidad del Valle.

Este informe fue elaborado por la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle. Participaron en el desarrollo del informe los siguientes profesionales:

Ing. Carlos Alberto Ramírez Callejas	Director del Proyecto
Ing. José Luis García Vélez	Subdirector del Proyecto
Ing. Ricardo Andrés Bocanegra Vinasco	Ingeniero ASOCARS
Ing. Carlos Omar Ayala Collazos	Ingeniero ASOCARS
Ing. Andrés Felipe Ojeda Arias	Ingeniero ASOCARS
Ing. Edwin Hurtado Orobio	Ingeniero Civil
Ing. Yeni Potes Sánchez	Ingeniera Agrícola

Personal Auxiliar:

Participaron durante la elaboración del presente informe los siguientes estudiantes de los últimos semestres de Ingeniería:

Carolina Urrego, Diana Gimena Martínez, Daniela Muñoz

Debe destacarse la colaboración de los profesionales y técnicos de la CVC y ASOCARS quienes suministraron información para el desarrollo de este estudio. El Comité de Seguimiento de CVC estuvo integrado principalmente por:

Ing. María Clemencia Sandoval García	Coordinadora General
Ing. Mary Loly Bastidas	Interventora ASOCARS
Ing. José Alberto Riascos	Asesor CVC
Ing. Álvaro Calero	Asesor CVC

<b>TABLA DE CONTENIDO</b>		<b>Pág.</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1.1</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS</b>	<b>2.1</b>
2.1	<b>DESCRIPCIÓN DE LAS INUNDACIONES EN EL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA</b>	<b>2.2</b>
2.1.1	Inundación del año 1950	2.5
2.1.2	Inundación del año 1966	2.6
2.1.3	Inundación del año 1967	2.7
2.1.4	Inundación del año 1970	2.7
2.1.5	Inundación del año 1971	2.8
2.1.6	Inundación del año 1974	2.10
2.1.7	Inundación del año 1975	2.12
2.1.8	Inundación del año 1982	2.13
2.1.9	Inundación del año 1984	2.15
2.1.10	Inundación del año 1988	2.17
2.1.11	Inundación del año 1997	2.19
2.1.12	Inundación del año 1999	2.21
2.1.13	Inundación del año 2008	2.23
2.1.14	Inundación del año 2010	2.25
2.1.15	Inundación del año 2011	2.27
2.1.16	Compendio de los caudales aportados por los ríos tributarios a las crecientes	2.30
2.1.17	Mapa de frecuencia de inundaciones históricas	2.36
2.1.18	Análisis global de las inundaciones	2.41
2.2	<b>ANÁLISIS DE TIEMPOS DE DURACIÓN Y VOLÚMENES DE AGUA TRANSITADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS</b>	<b>2.48</b>
2.2.1	Estación La Balsa	2.51
2.2.2	Estación Juanchito	2.52
2.2.3	Estación La Victoria	2.53
2.2.4	Compendio serie total de la información Volumen y Duración	2.54
2.2.5	Compendio de los volúmenes de agua aportados por los ríos tributarios a las crecientes	2.57
<b>3</b>	<b>SÍNTESIS DE DOCUMENTOS EXISTENTES SOBRE OBRAS PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES</b>	<b>3.1</b>
3.1	<b>ANILLO AGUABLANCA (1958)</b>	<b>3.3</b>
3.2	<b>ANILLO RUT (1959)</b>	<b>3.4</b>
3.3	<b>OBRAS COMPLEMENTARIAS (1964 - 1976)</b>	<b>3.5</b>
3.4	<b>PROYECTO DE REGULACIÓN DEL RÍO CAUCA (1975)</b>	<b>3.6</b>
3.4.1	Represa de Salvajina (1985)	3.11
3.5	<b>OBRAS COMPLEMENTARIAS (1976 - 1992)</b>	<b>3.12</b>
3.6	<b>ANILLOS PROYECTADOS (2000)</b>	<b>3.13</b>
3.6.1	Zanjón Tinajas - Río Claro	3.16
3.6.2	Río Claro – Canal Navarro	3.17
3.6.3	Mediacanoa – Quebrada Chimbilaco	3.19
3.6.4	Río Piedras – Quebrada Huasanó	3.21
3.6.5	Quebrada Huasanó - Río Pescador	3.22
3.6.6	Río Pescador –La Peña	3.23
3.6.7	Río Desbaratado – Paso del Comercio	3.25
3.6.8	Paso La Torre - Río Zabaletas	3.27
3.6.9	Río Sonso - Río Tuluá	3.28
3.6.10	Río Tuluá - Río Morales	3.30

3.6.11	Río Morales – Acequia Quintana	3.31
3.6.12	Anillo Acequia Quintana - Río Bugalagrande	3.33
3.6.13	Quebrada La Honda – Quebrada Los Micos	3.36
3.6.14	Quebrada Los Micos – Quebrada Aguaspretas	3.37
<b>3.7</b>	<b>ESTUDIOS CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (2011)</b>	<b>3.39</b>
3.7.1	Tramo Palmira- Bolo – Frayle - Guachal	3.41
3.7.2	Tramo río Cali – Puerto Isaacs	3.43
3.7.3	Tramo Quebrada Los Micos – Quebrada Aguaspretas	3.44
3.7.4	Tramo Paso La Torre - Río Amaine	3.45
3.7.5	Tramo Aguablanca	3.46
3.7.6	Tramo Quebrada La Honda – Quebrada Los Micos	3.48
3.7.7	Tramo Domingo Largo – Poblado Campestre	3.49
3.7.8	Tramo Paso del Comercio– Puerto Isaacs	3.50
<b>3.8</b>	<b>ESTUDIO Y DISEÑO DE LAS OBRAS DE MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DEL DIQUE MARGINAL Y DE PROTECCIÓN DE LAS ORILLAS DEL RÍO CAUCA EN EL RUT (2011)</b>	<b>3.51</b>
<b>3.9</b>	<b>COMPENDIO DE LA INFORMACIÓN</b>	<b>3.52</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE LAS INUNDACIONES EN EL PERIODO INVERNAL AÑOS 2010 - 2011</b>	<b>4.1</b>
<b>4.1</b>	<b>INUNDACIONES AÑOS 2010 - 2011</b>	<b>4.1</b>
4.1.1	Causas de las inundaciones del periodo invernal años 2010 - 2011	4.2
4.1.2	Causas de las fallas de diques	4.3
4.1.3	Inventario de sitios y causas de las inundaciones en la ola invernal 2010 - 2011	4.4
4.1.4	Principales soluciones implementadas	4.4
4.1.4.1	Soluciones Implementadas Durante la Emergencia	4.4
4.1.4.2	Soluciones implementadas después de la emergencia	4.5
4.1.5	Reconocimiento de algunas zonas afectadas en ola invernal años 2010 - 2011	4.6
4.1.5.1	Distrito de riego RUT	4.6
4.1.5.2	Distrito de riego ASONORTE	4.9
4.1.5.3	La Victoria	4.11
4.1.5.4	Bugalagrande (Octubre 26 de 2012)	4.15
4.1.5.5	Ingenio Pichichí (diciembre 04 de 2012)	4.17
4.1.5.6	CENCAR (Diciembre 04 de 2012)	4.19
4.1.5.7	Riopaila (Enero 10 de 2013)	4.20
<b>5</b>	<b>MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL RÍO CAUCA EN EL TRAMO LA Balsa – LA VIRGINIA</b>	<b>5.1</b>
<b>5.1</b>	<b>REVISIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DEL RÍO CAUCA CONSTRUIDO EN DESARROLLO DEL PROYECTO PMC</b>	<b>5.2</b>
5.1.1	Red de Modelación	5.2
5.1.1.1	Río Cauca	5.2
5.1.1.2	Ríos Tributarios	5.2
5.1.1.3	Llanura de Inundación - Humedales	5.2
5.1.2	Fronteras del modelo	5.5
5.1.2.1	Frontera Aguas Arriba	5.5
5.1.2.2	Fronteras Internas	5.6
5.1.3	Malla computacional	5.7
5.1.4	Parámetros de calibración	5.7
<b>5.2</b>	<b>MODELACIÓN DE CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA</b>	<b>5.12</b>
5.2.1	Crecientes Históricas Modeladas	5.13
5.2.1.1	Cálculo de caudales faltantes en ríos tributarios	5.13
5.2.2	Comparación de crecientes históricas del río Cauca	5.14
5.2.2.1	Caudales y niveles máximos alcanzados por las crecientes a lo largo del río Cauca	5.15

5.2.2.2	Comparación de las hidrógrafas registradas de las crecientes históricas	5.16
5.2.3	Limitaciones de la comparación de las crecientes del río Cauca	5.17
5.2.3.1	Información hidrológica faltante	5.17
5.2.3.2	Precisión del modelo hidráulico calibrado	5.17
5.2.3.3	Cambios morfológicos propios del río	5.18
<b>5.3</b>	<b>EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA REGULACIÓN DE CAUDALES REALIZADA POR EL EMBALSE DE SALVAJINA DURANTE LAS CRECIENTES</b>	<b>5.18</b>
5.3.1	Modelación de la creciente ocurrida en el año 2011 sin considerar el efecto del embalse de Salvajina	5.18
5.3.2	Modelación de la creciente ocurrida en el Año 1971 considerando una hipotética regulación de caudales del Río Cauca	5.20
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>6.1</b>
6.1	CONCLUSIONES	6.1
6.2	RECOMENDACIONES	6.6
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>7.1</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>8.1</b>
ANEXO 1	FICHAS DAR OLA INVERNAL 2010 - 2011	8.2
ANEXO 2	MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS Y LAS CAUSAS DE LAS INUNDACIONES OCURRIDAS EN EL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA DURANTE LA OLA INVERNAL 2010-2011	8.8
ANEXO 3	FIGURAS 5.5 A 5.82 (CAPÍTULO 5: MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL RÍO CAUCA EN EL TRAMO LA Balsa – LA VIRGINIA)	8.9

## LISTADO DE CUADROS

<b>Cuadro No.</b>	<b>TÍTULO</b>	<b>Pág.</b>
Cuadro 2.1	Crecientes históricas en el Valle del Cauca y áreas afectadas.....	2.1
Cuadro 2.2	Disminución del área de humedales .....	2.2
Cuadro 2.3	Disponibilidad de información de ríos tributarios .....	2.3
Cuadro 2.4	Caudal registrado en los tributarios para el día de ocurrencia del caudal máximo en la estación Juanchito .....	2.4
Cuadro 2.5	Caudal registrado en los tributarios para el día de ocurrencia del caudal máximo en la estación La Victoria .....	2.4
Cuadro 2.6	Aportes de los diferentes afluentes al máximo de las crecientes históricas en la estación Juanchito.....	2.30
Cuadro 2.7	Aportes de los diferentes afluentes al promedio de la crecientes históricas en la estación Juanchito.....	2.30
Cuadro 2.8	Aporte porcentual de los diferentes afluentes al máximo de las crecientes históricas en la estación Juanchito.....	2.31
Cuadro 2.9	Aportes porcentual de los diferentes afluentes al promedio de la crecientes históricas en la estación Juanchito.....	2.31
Cuadro 2.10	Aportes de los diferentes afluentes al máximo de las crecientes históricas en la estación La Victoria.....	2.32
Cuadro 2.11	Aportes de los diferentes afluentes al promedio de las crecientes históricas en la estación La Victoria.....	2.32
Cuadro 2.12	Aporte porcentual de los diferentes afluentes al máximo de las crecientes históricas en la estación La Victoria.....	2.33
Cuadro 2.13	Aportes porcentual de los diferentes afluentes al promedio de la crecientes históricas en la estación Juanchito.....	2.33
Cuadro 2.14	Caudales y niveles a banca llena en algunas estaciones hidrométricas sobre el río Cauca.....	2.48
Cuadro 2.15	Características de las crecientes históricas en el valle alto del río Cauca.....	2.49
Cuadro 3.1	Documentos previos consultados relacionados con el control de inundaciones en el valle del Cauca.....	3.1
Cuadro 3.2	Proyectos construidos en el Programa de Obras Intermedias.....	3.6
Cuadro 3.3	Proyectos de anillos de protección contra inundaciones en el valle alto del río Cauca .....	3.9
Cuadro 3.4	Principales obras de adecuación de tierras propuesta en el Proyecto de Regulación del río Cauca (1975).....	3.11
Cuadro 3.5	Adecuación de tierras del proyecto de regulación del río Cauca.....	3.12
Cuadro 3.6	Información disponible en los estudios de los 14 anillos de protección diseñados en el año 2000 en el río Cauca y Tributarios.....	3.13
Cuadro 3.7	Principales características de los diferentes anillos de protección diseñados en el año 2000 .....	3.15
Cuadro 3.8	Información disponible de los estudios realizados por la CVC y Fundación Pacífico Verde (2011).....	3.40

Cuadro 5.1 Fronteras definidas en la modelación Tramo La Balsa – La Virginia .....	5.1
Cuadro 5.2 Longitud y número de secciones transversales utilizadas en los ríos tributarios esquematizados como brazos laterales .....	5.4
Cuadro 5.3 Factores de rugosidad de Manning – Strickler ( $m^{1/3}/s$ ) y factores de resistencia del río Cauca definidas durante la calibración del modelo hidrodinámico .....	5.11
Cuadro 5.4 Niveles de Interfase definidas del río Cauca durante la Calibración del Modelo Hidrodinámico .....	5.11
Cuadro 5.5 Caudales máximos obtenidos a lo largo del río Cauca para las diferentes crecientes analizadas.....	5.15
Cuadro 5.6 Niveles máximos obtenidos a lo largo del río Cauca para las diferentes crecientes analizadas.....	5.15

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura No.</b>	<b>TÍTULO</b>	<b>Pág.</b>
Figura 2.1	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1950.....	2.6
Figura 2.2	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1966.....	2.6
Figura 2.3	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1967.....	2.7
Figura 2.4	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1970.....	2.8
Figura 2.5	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1971.....	2.9
Figura 2.6	Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 1971 .....	2.10
Figura 2.7	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1974.....	2.11
Figura 2.8	Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 1974 .....	2.11
Figura 2.9	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1975.....	2.12
Figura 2.10	Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 1975 .....	2.13
Figura 2.11	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1982.....	2.14
Figura 2.12	Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 1982 .....	2.14
Figura 2.13	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1984.....	2.16
Figura 2.14	Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 1984 .....	2.16
Figura 2.15	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1988.....	2.18
Figura 2.16	Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 1988 .....	2.18
Figura 2.17	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1997.....	2.20
Figura 2.18	Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 1997 .....	2.20
Figura 2.19	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1999.....	2.22
Figura 2.20	Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 1999 .....	2.22
Figura 2.21	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 2008.....	2.24
Figura 2.22	Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 2008 .....	2.25
Figura 2.23	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 2010.....	2.26
Figura 2.24	Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 2010 .....	2.26
Figura 2.25	Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 2011.....	2.28
Figura 2.26	Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 2011 .....	2.28
Figura 2.27	Aportes promedio de caudal de los tributarios y Efluente (río Cauca) al máximo y al promedio de las crecientes históricas en la estación Juanchito .....	2.34
Figura 2.28	Aportes promedio de caudal de los tributarios y Efluente (río Cauca) al máximo y al promedio de las crecientes históricas en la estación La Victoria .....	2.35
Figura 2.29	Mapa de frecuencia de las inundaciones en el valle alto del río Cauca en el período 1966 – 2011 .....	2.38
Figura 2.30	Mapas de frecuencia de inundaciones en el valle alto del río Cauca en los...	2.40
Figura 2.31	Matriz de inundaciones históricas en el valle alto del río Cauca: área total inundada y caudal máximo en Juanchito.....	2.43
Figura 2.32	Matriz de inundaciones históricas en el valle alto del río Cauca: área total inundada y caudal máximo en La Bolsa, Anacaro y Juanchito .....	2.44
Figura 2.33	Matriz de caudales máximos y volúmenes transitados durante las crecientes históricas en el valle alto del río Cauca .....	2.45

Figura 2.34 Matriz de duración y volúmenes transitados durante las crecientes históricas en el valle alto del río Cauca .....	2.46
Figura 2.35 Matriz de duración, caudales máximos y volúmenes de las crecientes históricas en el valle alto del río Cauca .....	2.47
Figura 2.36 Diagrama de cajas y alambres de las crecientes en las estaciones La Balsa, Juanchito y La Victoria para los periodos Pre - Salvajina y Post - Salvajina.....	2.50
Figura 2.37 Duración y volumen de la creciete. Estación La Balsa .....	2.52
Figura 2.38 Duración y volumen de la creciete. Estación Juanchito.....	2.53
Figura 2.39 Duración y volumen de la creciete. Estación La Victoria.....	2.53
Figura 2.40 Volúmenes de las crecientes históricas en las estaciones La Balsa, Juanchito y La Victoria.....	2.54
Figura 2.41 Duración de las crecientes históricas en las estaciones La Balsa, Juanchito y La Victoria .....	2.54
Figura 2.42 Curvas de duración de volúmenes transitados por encima de la banca llena en las estaciones Juanchito y la Victoria .....	2.55
Figura 2.43 Curvas de duración de crecientes por encima de banca llena en las estaciones Juanchito y La Victoria.....	2.55
Figura 2.44 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciete de 1971 en la estación Juanchito.....	2.59
Figura 2.45 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciete de 1974 en la estación Juanchito.....	2.59
Figura 2.46 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciete de 1975 en la estación Juanchito.....	2.60
Figura 2.47 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciete de 1982 en la estación Juanchito.....	2.60
Figura 2.48 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciete de 1984 en la estación Juanchito.....	2.60
Figura 2.49 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciete de 1988 en la estación Juanchito.....	2.61
Figura 2.50 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciete de 1997 en la estación Juanchito.....	2.61
Figura 2.51 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciete de 1999 en la estación Juanchito.....	2.61
Figura 2.52 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciete de 2008 en la estación Juanchito.....	2.62
Figura 2.53 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciete de 2010 en la estación Juanchito.....	2.62
Figura 2.54 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en el primer y segundo semestre de la creciete de 2011 en la estación Juanchito.....	2.62
Figura 2.55 Volumen de agua aportado por el Efluente (río Cauca) a la creciete en la estación Juanchito sobre el río Cauca.....	2.64
Figura 2.56 Volumen de agua aportado por el río Ovejas a la creciete en la estación Juanchito sobre el río Cauca.....	2.64
Figura 2.57 Volumen de agua aportado por el río Timba a la creciete en la estación Juanchito sobre el río Cauca.....	2.64
Figura 2.58 Volumen de agua aportado por el río Claro a la creciete en la estación Juanchito sobre el río Cauca.....	2.65

Figura 2.59 Volumen de agua aportado por el río Quinamayó a la creciente en la estación Juanchito sobre el río Cauca.....	2.65
Figura 2.60 Volumen de agua aportado por el río Palo a la creciente en la estación Juanchito sobre el río Cauca.....	2.65
Figura 2.61 Volumen de agua aportado por el río Jamundí a la creciente en la estación Juanchito sobre el río Cauca.....	2.66
Figura 2.62 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1971 en la estación La Victoria .....	2.67
Figura 2.63 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1974 en la estación La Victoria .....	2.67
Figura 2.64 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1975 en la estación La Victoria .....	2.68
Figura 2.65 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1982 en la estación La Victoria .....	2.68
Figura 2.66 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1984 en la estación La Victoria .....	2.68
Figura 2.67 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1988 en la estación La Victoria .....	2.69
Figura 2.68 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1997 en la estación La Victoria .....	2.69
Figura 2.69 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1999 en la estación La Victoria .....	2.69
Figura 2.70 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 2008 en la estación La Victoria .....	2.70
Figura 2.71 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 2010 en la estación La Victoria .....	2.70
Figura 2.72 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en (a) el primer semestre y (b) segundo semestre de la creciente de 2011 en la estación La Victoria.....	2.70
Figura 2.73 Volumen de agua aportado por el Efluente (río Cauca) a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca.....	2.72
Figura 2.74 Volumen de agua aportado por el río Ovejas a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca .....	2.72
Figura 2.75 Volumen de agua aportado por el río Timba a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca .....	2.72
Figura 2.76 Volumen de agua aportado por el río Claro a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca .....	2.73
Figura 2.77 Volumen de agua aportado por el río Quinamayó a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca.....	2.73
Figura 2.78 Volumen de agua aportado por el río Palo a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca .....	2.73
Figura 2.79 Volumen de agua aportado por el río Jamundí a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca .....	2.74
Figura 2.80 Volumen de agua aportado por el río Desbaratado a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca.....	2.74
Figura 2.81 Volumen de agua aportado por el río Cali a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca .....	2.74

Figura 2.82 Volumen de agua aportado por el río Guachal a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca .....	2.75
Figura 2.83 Volumen de agua aportado por el río Amaime a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca .....	2.75
Figura 2.84 Volumen de agua aportado por el río Tuluá a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca .....	2.75
Figura 2.85 Volumen de agua aportado por el río Bugalagrande a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca .....	2.76
Figura 2.86 Volumen de agua aportado por el río Riofrio a la creciente en la estación La Victoria sobre el río Cauca .....	2.76
Figura 2.87 Aportes promedio de los volúmenes de agua de los tributarios y Efluente a las crecientes históricas en la estación Juanchito .....	2.77
Figura 2.88 Aportes promedio de los volúmenes de agua de los tributarios y Efluente a las crecientes históricas en la estación La Victoria .....	2.77
Figura 2.89 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en las crecientes históricas en la estación Juanchito .....	2.78
Figura 2.90 Porcentaje de volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en las crecientes históricas en la estación Juanchito .....	2.78
Figura 2.91 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en las crecientes históricas en la estación La Victoria .....	2.79
Figura 2.92 Porcentaje de volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en las crecientes históricas en la estación La Victoria .....	2.80
Figura 3.1 Ubicación general del distrito de riego RUT .....	3.5
Figura 3.2 Caudales en el río Cauca para una frecuencia de 1:10 años .....	3.7
Figura 3.3 Anillos de protección contra inundaciones planteados en el Proyecto de regulación del río Cauca .....	3.8
Figura 3.4 Esquema típico de anillos de protección y perfil de la llanura de inundación en la cuenca del Río Cauca .....	3.11
Figura 3.5 Características geométricas de los diques para el Control de Inundaciones....	3.11
Figura 3.6 Localización general del proyecto Zanjón Tinajas – Río Claro.....	3.16
Figura 3.7 Localización general del proyecto Río Claro – Canal Navarro .....	3.18
Figura 3.8 Localización general del proyecto Mediacanoa – Quebrada Chimbilaco.....	3.19
Figura 3.9 Localización general del proyecto Río Piedras – Quebrada Huasanó .....	3.21
Figura 3.10 Localización general del proyecto Q. Huasanó – Río Pescador .....	3.23
Figura 3.11 Localización general del proyecto Río Pescador – La Peña .....	3.24
Figura 3.12 Localización general del proyecto Río Desbaratado – Paso del Comercio ...	3.25
Figura 3.13 Localización general del proyecto Paso La Torre - Río Zabaletas .....	3.28
Figura 3.14 Localización general del proyecto Río Sonso – Río Tuluá.....	3.29
Figura 3.15 Localización general del proyecto Río Tuluá – Río Morales .....	3.30
Figura 3.16 Localización general del proyecto Río Morales – Acequia Quintana .....	3.32
Figura 3.17 Localización general del proyecto Anillo Acequia Quintana – Río Bugalagrande .....	3.34
Figura 3.18 Localización general del proyecto Quebrada La Honda – Quebrada Los Micos .....	3.36
Figura 3.19 Localización general del proyecto Quebrada Los Micos – Quebrada Aguaspietas .....	3.38
Figura 3.20 Localización general del proyecto Palmira - Bolo – Frayle – Guachal .....	3.41

Figura 3.21 Localización general del proyecto Tramo río Cali - Puerto Isaacs .....	3.43
Figura 3.22 Localización general del proyecto Quebrada Los Micos – Quebrada Aguaspietas .....	3.45
Figura 3.23 Localización general del proyecto Paso La Torre – Río Amaime .....	3.45
Figura 3.24 Localización general del proyecto Aguablanca .....	3.47
Figura 3.25 Localización general del proyecto Quebrada La Honda – Quebrada Los Micos .....	3.48
Figura 3.26 Localización general del proyecto Domingo Largo – Poblado Campestre ...	3.49
Figura 3.27 Localización general del proyecto Paso del Comercio – Puerto Isaacs .....	3.51
Figura 3.28 Esquemmatización de los 14 anillos planteados a lo largo del río Cauca.....	3.54
Figura 4.1 Áreas inundadas por municipio en la temporada invernal noviembre-diciembre 2010 .....	4.1
Figura 4.2 Caso de inundaciones en el Municipio de La Victoria .....	4.14
Figura 4.3 Esquema de las inundaciones en CENCAR – Yumbo.....	4.19
Figura 4.4 Tabla de monitoreo niveles de ríos Riopaila.....	4.21
Figura 5.1 Esquemmatización del Sistema río Cauca – Tributarios – Planicie – Humedales	5.3
Figura 5.2 Condición hidrodinámica en la frontera aguas arriba .....	5.6
Figura 5.3 Condición hidrodinámica en la frontera aguas abajo curva de calibración Nivel – Caudal Estación: La Virginia Periodo: Octubre 1998 – Marzo 1999 .....	5.7
Figura 5.4 Zonas y niveles de interfase en una sección típica del río Cauca .....	5.11

**LISTADO DE FOTOS**

<b>Foto No.</b>	<b>TÍTULO</b>	<b>Pág.</b>
Foto 2.1	Sector sur laguna de Sonso: El río Cauca ingresando a la Laguna de Sonso por rompimiento del dique margen derecha .....	2.2
Foto 2.2	Panorámica de la ciudad de Cali y la ciénaga de Aguablanca al fondo tomada en la década del 50 .....	2.5
Foto 2.3	Falla de dique del Río Cauca en el sector del municipio de La Victoria (1999) .....	2.21
Foto 2.4	Falla de dique Río Guachal (2008) .....	2.24
Foto 4.1	Reconstrucción del dique marginal del RUT y Reconstrucción de talud dique cara seca contra el canal marginal.....	4.6
Foto 4.2	Construcción colchones enrocados y Distancia entre el dique y el río .....	4.6
Foto 4.3	Conformación de una re-borda con costales llenos de tierra para afrontar los niveles altos del río Cauca .....	4.8
Foto 4.4	Emergencia causada por la rotura del dique en el distrito RUT.....	4.8
Foto 4.5	Rotura de dique por acción del río Cauca en la Hacienda San José en el distrito de Asonorte .....	4.9
Foto 4.6	Zanjón Guineo. Entrega del canal de drenaje, instalación de unidades de bombeo móviles pequeñas y de poca capacidad que drenan de manera ineficiente .....	4.10
Foto 4.7	(a) Rotura de dique aguas arriba de La Victoria. Falla de 33 m en el cuerpo del dique y (b) Panorámica de la inundación 2011, aguas arriba de La Victoria.....	4.11
Foto 4.8	(a) Inundación año 2011 aguas arriba del municipio de La Victoria, sitio de entrada causante de la inundación de San Pedro y emergencia en La Victoria y (b) Situación actual del dique en el mismo punto .....	4.12
Foto 4.9	Estación de bombeo zanjón Tinajón – Municipio de La Victoria. Cuando los niveles de agua en el río Cauca son altos y no permiten descarga a gravedad, una compuerta se cierra y se pone en funcionamiento la estación de bombeo .....	4.12
Foto 4.10	Dique recién construido de cierre sur perpendicular al río Cauca .....	4.13
Foto 4.11	Problemas de cierre del dique sur contra la montaña en el municipio de la Victoria. (a) Cierre impedido por un propietario y (b) Dique inconcluso.....	4.15
Foto 4.12	Dique inconcluso en la curva de Caramanta en el municipio de Bugalagrande .....	4.16
Foto 4.13	Laguna de Sonso. Obra de protección de emergencia realizada a la banca de la cara seca del dique contra la Laguna de Sonso .....	4.17
Foto 4.14	Reconstrucción dique en sitio de falla, margen derecha Río Sonso.....	4.18
Foto 4.15	Panorámica de inundaciones en CENCAR (Yumbo) en diciembre de 2010....	4.19
Foto 4.16	a) Estación de bombeo del canal de drenaje principal El Mateo del anillo de protección de Riopaila.....	4.20

## 1 INTRODUCCIÓN

La ubicación de los diques en las márgenes de los ríos para proteger las zonas adyacentes de los desbordamientos durante las crecientes debe considerar diferentes aspectos relevantes. En primer lugar, se debe tener en cuenta que los ríos no son solamente aquellos canales (llamados algunas veces cauces menores, y otros cauces principales) que transportan las aguas durante los períodos de verano. Durante los períodos de invierno, los ríos transportan grandes volúmenes de agua, tanto en sus cauces principales como a través de importantes franjas de la planicie de inundación. Es decir, las reales dimensiones de un río están definidas por las áreas que ocupan sus aguas durante el invierno. Es decir, las planicies de inundación adyacentes al cauce principal son parte importante de los ríos y pueden abarcar amplitudes o extensiones de cientos de metros o incluso kilómetros en las mismas.

Por otra parte, los ríos aluviales presentan una dinámica morfológica relativamente intensa debido a que las márgenes o taludes del cauce principal tienden a ser erosionadas por la acción directa de la corriente, ocasionando el desplazamiento y la progresión de los meandros, llegando incluso a producirse el corte de los mismos, para dar origen a los cauces abandonados o madre viejas. Estos cauces abandonados se constituyen en humedales que siguen siendo parte importante del ecosistema fluvial, permitiendo, entre otras funciones, la regulación de las crecientes. Los cauces aluviales tienden a moverse o desplazarse horizontalmente dentro de una franja que se conoce como el cinturón meándrico.

La llanura o planicie de inundación constituye una parte importante del ecosistema fluvial pues es soporte básico para la fauna y la flora autóctonas y cumple importantes funciones naturales en la recarga de acuíferos subterráneos y la laminación de los caudales de las crecientes en el río al almacenar volúmenes importantes de agua al paso de las mismas y descargarlas o retornarlas luego lentamente al cauce principal. También es necesario señalar que las crecientes de los ríos y las inundaciones originadas sobre la planicie aluvial son parte de la dinámica natural de los ríos y, además, son necesarias para el buen estado ecológico de los mismos. Durante los desbordamientos e inundación de la planicie se produce un aporte significativo de sedimentos y nutrientes, contribuyendo a la fertilización de las tierras de cultivo.

Cualquier intervención antrópica que se pretenda realizar para proteger de las inundaciones una cierta zona debería considerar todos los aspectos mencionados anteriormente. La experiencia acumulada en diferentes regiones en el mundo indica la imperiosa necesidad de comprender primero que todo la naturaleza y el funcionamiento de los ríos y los ecosistemas fluviales antes de acometer cualquier intervención; se trata de trabajar con la naturaleza y no en contra de ella, es decir, no se debe pretender dominarla, se debe defender a los ríos y no defenderse de ellos. En varios países se han iniciado desde hace algunos años planes que contemplan retirar o distanciar de los cauces principales los diques existentes, para de esta manera recuperar o devolverle a los ríos parte de la planicie de inundación de la cual habían sido despojados.

Los nuevos enfoques apuntan a considerar toda la cuenca como unidad básica para la gestión del riesgo por inundaciones, se trata de recuperar la capacidad de retención de agua en las partes alta y media de la cuenca, ubicar los diques marginales de protección lo suficientemente distanciados del cauce principal para permitir la laminación de las crecientes en la planicie de inundación adyacente, zonas de amortiguación y humedales conectados al río, entre otros. Así los diques marginales deben ubicarse suficientemente distanciados del cauce principal para permitir que la planicie adyacente o llanura aluvial cumpla con sus funciones naturales (laminación de los caudales pico de las crecientes, soporte básico de flora y fauna, recarga de acuíferos subterráneos, etc.). Los diques construidos muy cerca del cauce principal originan mayores niveles de agua, lo cual a su vez obliga a diseñar y construir diques cada vez más altos, aumentando la presión sobre ellos y, por ende, el riesgo de falla o rotura.

A raíz de las graves inundaciones ocurridas en la pasada ola invernal de 2010 y 2011 en todo el país y en particular en el departamento del Valle del Cauca, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC, planteó un proyecto piloto en la zona hidrográfica del alto Cauca, consistente en la construcción de un modelo conceptual para la restauración del corredor de conservación y uso sostenible del sistema río Cauca en su valle alto, considerando escenarios de cambio climático. Con éste se pretende realizar una planificación regional de mediano y largo plazo en el nivel de zona hidrográfica, que permitirá definir la ruta a seguir en gestión del riesgo por crecientes en cauces aluviales.

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC está llevando a cabo la primera fase de este proyecto y a partir de sus conclusiones y propuestas se pretende desarrollar un plan director para el río Cauca con un horizonte al año 2050, llevando a cabo una serie de medidas de sensibilización e intervención para conservar en buen estado el río Cauca, siempre desde el marco de la participación de la población y de los principales actores de la región.

En el marco de esta primera fase, la Universidad del Valle adelanta para la CVC y ASOCARS los estudios de *“Zonificación de amenazas por desbordamientos del río Cauca en su valle alto y planteamiento y selección de opciones de protección a partir del análisis de información y modelación de escenarios”*.

En el presente informe, la Universidad del Valle realiza el análisis hidráulico de las crecientes históricas registradas en el período 1950 – 2011, de las cuales se dispone de algún tipo de información, incluyendo la extensión de las áreas afectadas, la duración y volúmenes de agua transitados durante las crecientes, los aportes de los diferentes tributarios, las posibles causas de las inundaciones y de fallas de las diferentes estructuras de protección existentes, etc.

En el capítulo 2 se presenta una síntesis de las inundaciones históricas ocurridas en el valle alto del río Cauca, utilizando información cartográfica e hidrométrica disponible en las estaciones del río Cauca. En el capítulo 3 se presenta un compendio de los documentos existentes sobre obras para el control de inundaciones, realizados para el valle alto del río Cauca por diferentes instituciones. Por otra parte. En el capítulo 4 se presenta el análisis de las inundaciones ocurridas en el periodo 2010 - 2011, en donde se plantean las posibles

causas de las inundaciones; igualmente se describen las principales soluciones implementadas. Posteriormente, en el capítulo 5 se realiza un análisis comparativo de las diferentes crecientes históricas, utilizando para ello el modelo matemático disponible en CVC, del río Cauca en el departamento del Valle del Cauca. Finalmente, en el capítulo 6 se incluyen las principales conclusiones y recomendaciones del estudio de análisis hidráulico de las crecientes en el valle alto del río Cauca.

## 2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS INUNDACIONES HISTÓRICAS

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca dispone de registros desde 1950 de las inundaciones ocurridas en el valle alto del río Cauca. En el Cuadro 2.1 se presenta la relación de los años de ocurrencia de las inundaciones, la extensión de las áreas afectadas, el caudal máximo registrado en la estación Juanchito y su mes de ocurrencia, además del estado del fenómeno ENSO durante la creciente.

**Cuadro 2.1 Crecientes históricas en el Valle del Cauca y áreas afectadas**

	<b>Año inundación</b>	<b>Área Afectada (ha)</b>	<b>Mes de ocurrencia del Q<sub>max</sub></b>	<b>Estado ENSO</b>	<b>Q<sub>máx</sub> Juanchito (m<sup>3</sup>/s)</b>
<i>Periodo Pre-Salvajina</i>	1950	86.768	Febrero	Niña	1.044
	1966	70.502	Diciembre	Neutral	1.057
	1967	16.000	Noviembre	Neutral	805
	1970	36.774	Noviembre	Niña	936
	1971	66.382	Abril	Niña	1.067
	1974	41.914	Marzo	Niña	990
	1975	43.115	Diciembre	Niña	943
	1982	11.000	Noviembre	Neutral	837
	1984	35.391	Noviembre	Niña	1.018
<i>Periodo Post-Salvajina</i>	1988	12.882	Diciembre	Niña	929
	1997	5.400	Enero	Neutral	955
	1999	13.370	Febrero	Niña	966
	2008	8.290	Noviembre	Niña	1.009
	2010	44.023	Diciembre	Niña	991
	2011	39.316	Abril	Niña	1.052

La desaparición de cuerpos de amortiguamiento de inundaciones como madre viejas y/o humedales ha disminuido la capacidad de regulación de inundaciones del valle. En la década del 50 éstos cuerpos de agua superaban los 160 y cubrían un área aproximada de 10.049 ha, la gran mayoría asociados a la dinámica del río (CVC, 2007). En la década del 60 el aumento poblacional y el crecimiento socioeconómico del Valle del Cauca estimularon la expansión urbana y de la frontera agrícola, la cual, ya exigía la construcción de obras de adecuación de tierras para la protección contra las inundaciones. Estas modificaciones incidieron en la disminución del número de humedales y su extensión a menos de 3.000 ha aproximadamente a finales de los años 80 (CVC – UNIVALLE, 2007). Para el año 2009 el registro era alrededor de 1.248 ha (CVC, 2009), las cuales representan el 12.4% del área de humedales en la década de los 50's (ver Cuadro 2.2). Uno de los cuerpos de agua más importantes que también ha sufrido la disminución de su capacidad es la laguna de Sonso (ver Foto 2.1).

**Cuadro 2.2 Disminución del área de humedales**

Año	Área Humedales (ha)
1957	10.049 <sup>1</sup>
1986	2.795 <sup>1</sup>
2009	1.248 <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fuente: Perafán (2005)    <sup>2</sup>Fuente: CVC (2009)

**Foto 2.1 Sector sur laguna de Sonso: El río Cauca ingresando a la Laguna de Sonso por rompimiento del dique margen derecha**

Fuente: Revista PROCAÑA (2012)

**DESCRIPCIÓN DE LAS INUNDACIONES EN EL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA**

La historia del valle alto del río Cauca ha estado marcada por numerosos eventos de inundación, los cuales tienden a ser cada vez más catastróficos conforme los límites agrícolas y urbanos se han ido expandiendo. Adicional a esto, factores como el cambio climático, la variabilidad climática y el cambio en el uso del suelo agudizan los eventos extremos.

A continuación se presenta la descripción y el análisis, de las principales características de las inundaciones ocurridas en las últimas décadas en el valle alto del río Cauca. Para el análisis se emplearon las series de caudales diarios en las estaciones hidrométricas sobre el río Cauca en el departamento del Valle del Cauca en los períodos Pre-Salvajina y Post-Salvajina, teniendo en cuenta que después de la puesta en operación de la central hidroeléctrica de Salvajina en el año 1985 se tiene un régimen de caudales regulados en el valle alto del río Cauca. Estas estaciones se escogieron dada la cobertura de información que poseen de gran parte del recorrido del río Cauca en su valle alto.

Se estimó el aporte de los principales ríos tributarios durante las crecientes al río Cauca, con base en la información disponible de las series de caudales en las estaciones hidrométricas localizadas más cercanas a la confluencia en el río Cauca. Este análisis se llevo a cabo para el día de ocurrencia del caudal máximo de la creciete registrado en la estación sobre el río Cauca y, además, para el promedio de los caudales aportados durante la creciete en el río Cauca. Para ello se adoptó como duración de la creciete el periodo en el cual el nivel de agua en el río Cauca se encontraba por encima del nivel de banca llena en una estación hidrométrica determinada. De acuerdo con la información hidrológica disponible de los ríos tributarios, este análisis se realizó para los eventos ocurridos desde el año 1971 en adelante. Conviene señalar que solamente en los años 1997 y 1999 se dispone de las series de caudales en todos los trece ríos afluentes considerados en el análisis, tal y como se registra en los Cuadro 2.3 a Cuadro 2.5.

**Cuadro 2.3 Disponibilidad de información de ríos tributarios**

Fecha de inundación	Efluente Río Cauca	R. Ovejas	R. Timba	R. Claro	R. Quinamayó	R. Palo	R. Jamundi	R. Desbaratado	R. Cali	R. Guachal	R. Amaine	R. Tuluá	R. B/grande	R. Riofrio	R. La Paila	R. Guadaluajara
1971	✓	ND	✓	✓	✓	✓	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
1974	✓	ND	✓	✓	✓	✓	ND	✓	ND	ND	ND	✓	ND	ND	✓	✓
1975	✓	ND	✓	✓	✓	✓	ND	✓	ND	ND	ND	✓	ND	ND	✓	✓
1982	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	ND	✓	✓	ND	✓	✓
1984	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	ND	✓	✓	ND	✓	✓
1988	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	ND	✓	✓	ND	✓	✓
1997	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1999	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2008	✓	ND	✓	✓	ND	✓	✓	✓	✓	✓	ND	✓	✓	✓	✓	✓
2010	✓	ND	✓	✓	ND	✓	✓	✓	✓	✓	ND	✓	✓	✓	✓	✓
2011	✓	ND	✓	✓	ND	✓	ND	✓	✓	✓	ND	✓	✓	✓	✓	✓

ND : No existe registro de caudal

Los resultados obtenidos dan una idea del orden de magnitud de la participación de los tributarios en los caudales de las crecientes del río Cauca. Esto debido a las limitaciones en la información disponible, como son: las series de datos de carácter diaria, (y no horaria) la falta de información de algunos tributarios importantes, los aportes de la escorrentía en la zona plana (no censada por las estaciones de los tributarios porque dichas estaciones se encuentran generalmente en el piedemonte) y los intercambios de flujos de agua entre el río y el acuífero.

**Cuadro 2.4 Caudal registrado en los tributarios para el día de ocurrencia del caudal máximo en la estación Juanchito**

Fecha de inundación	Efluente Río Cauca	R. Ovejas	R. Timba	R. Claro	R. Quinamayó	R. Palo	R. Jamundi	R. Desbaratado
1971	480	ND	22,5	14	8,1	153,9	ND	ND
1974	403	ND	29,3	8,2	12,4	167	ND	6,07
1975	380	ND	54,5	15,3	14,3	143,8	ND	9,64
1982	437	64,4	55,6	23,2	10	72,5	47,5	6,7
1984	404	75,7	50,4	16,9	15	252,9	80	20,29
1988	279	87,81	71,99	17,82	32,12	132,85	35,39	27,56
1997	346	95	32,06	13,27	9,51	103,31	29,89	6,2
1999	288	24,55	73,93	18,36	2,29	180,65	53,56	13,06
2008	290	ND	26,01	23,99	ND	182	77,95	11,76
2010	309	ND	34,28	12,73	ND	67	15,69	2,58
2011	315	ND	14,26	7,38	ND	196,84	ND	9,52

ND : No existe registro de caudal

**Cuadro 2.5 Caudal registrado en los tributarios para el día de ocurrencia del caudal máximo en la estación La Victoria**

Fecha de inundación	Efluente Río Cauca	R. Ovejas	R. Timba	R. Claro	R. Quinamayó	R. Palo	R. Jamundi	R. Desbaratado	R. Cali	R. Guachal	R. Amaine	R. Tuluá	R. B/grande	R. Riofrio
1971	221	ND	16,4	6,8	7,9	64,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1974	267	ND	22,5	8,5	9,5	197,9	ND	5,54	ND	ND	ND	46	ND	ND
1975	416	ND	42,3	17,3	14,6	128,2	ND	7,49	ND	ND	ND	41,1	ND	ND
1982	284	58,7	43,6	13,7	9,5	62,1	24,1	4,8	13,1	34,1	ND	31,7	17,2	ND
1984	253	53,6	33,8	12,5	11,1	135,7	43,6	4,36	15,8	59,5	ND	85,4	40,8	ND
1988	353	80,17	50,66	12,87	23,21	121,44	26,75	16,1	7,65	70,56	ND	46,48	55,12	ND
1997	292	68,67	23,15	11,36	7	71,44	22	4,88	6,67	37,35	17,03	6,82	36,88	12,92
1999	293	30,18	61,76	19,44	5,72	331,77	55,9	11,33	14,66	50,88	27,38	129,88	51,3	17,31
2008	290	ND	26,01	19,11	ND	146	46,73	5,78	8,11	46,23	ND	33,55	58,52	39,54
2010	342	ND	39,82	16,49	ND	76	17,69	3,96	5,95	47,24	ND	24,78	28,47	19,84
2011	313	ND	13,48	5,54	ND	110	ND	5,13	7,23	42,68	ND	39,13	36,78	17,65

ND : No existe registro de caudal

### **2.1.1 Inundación del año 1950**

En el año 1950 se presentó la inundación más grande ocurrida en el valle alto del río Cauca de las que tengan registro, en términos del área total afectada. Se inundaron 86.768 ha, distribuidas a lo largo de todo el valle alto geográfico como una gran mancha continua desde el corregimiento de Robles en el municipio de Jamundí, al sur del departamento del Valle del Cauca, hasta la zona rural del municipio de Cartago, contiguo al aeropuerto Santa Ana, al norte del Valle del Cauca. Para este año no se tienen registros ni inventarios (informes, diseño, planos) de ningún proyecto de adecuación de tierras, lo que en parte podría explicar la magnitud de las áreas afectadas.

En la Foto 2.2 se puede apreciar las ciénagas ubicadas en zona oriental de la ciudad de Cali contigua al río Cauca, sector que en la actualidad está en gran parte urbanizado y se conoce como distrito de Aguablanca.

**Foto 2.2 Panorámica de la ciudad de Cali y la ciénaga de Aguablanca al fondo tomada en la década del 50**

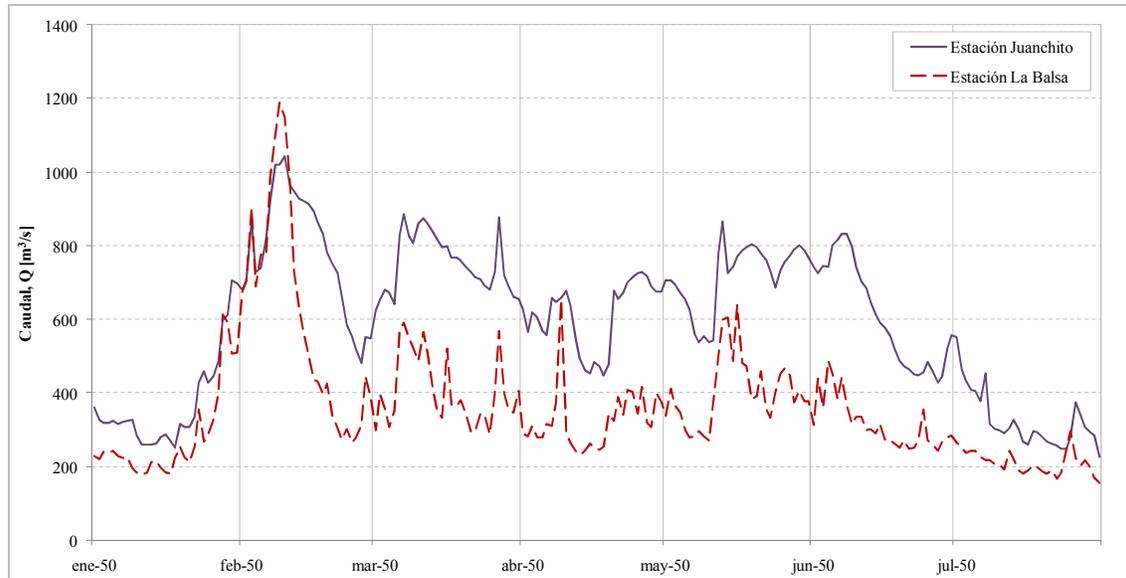


*Fuente: Jiménez (2005)*

Es preciso indicar que en el año 1950 sólo se tenían sobre el río Cauca las estaciones hidrométricas de La Balsa y Juanchito. El caudal máximo o pico de creciente se presentó en el mes de febrero, registrándose un valor de 1.044 m<sup>3</sup>/s en la estación Juanchito. La duración de la creciente fue de 23 días en la estación Juanchito (considerando el tiempo en que los niveles de agua en el río Cauca se encontraban por encima del nivel de banca llena). Según los registros de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration) este evento de

inundación se presentó en presencia del fenómeno de La Niña, el cual que se prolongó por más de un año.

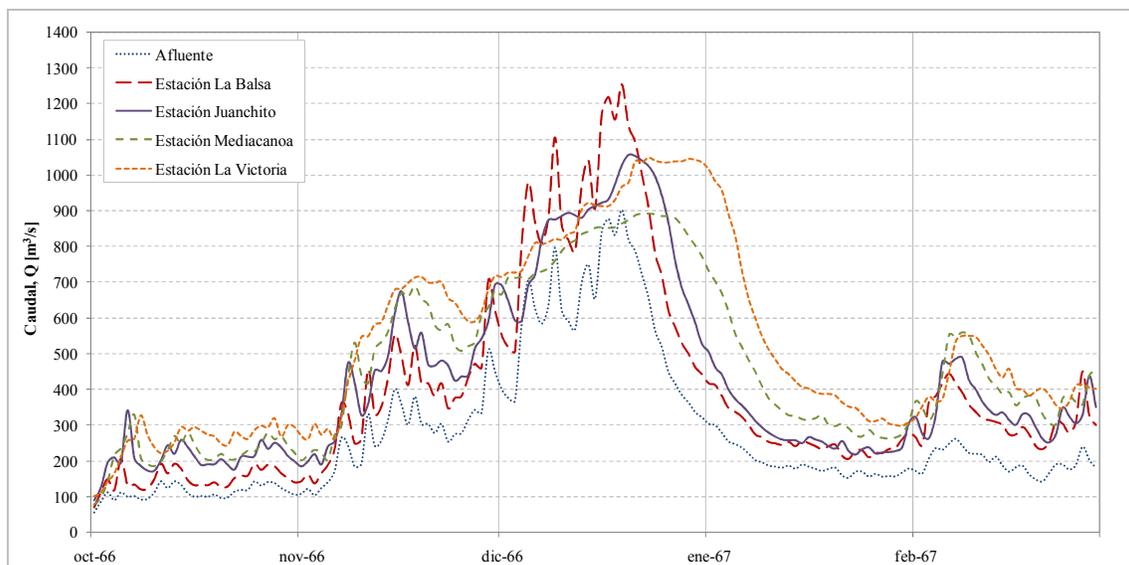
**Figura 2.1 Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1950**



### 2.1.2 Inundación del año 1966

En diciembre de 1966 el valle alto del río Cauca sufrió una gran inundación durante la cual se pusieron a prueba los dos grandes proyectos construidos hasta ese año por la CVC, como lo son los distritos de Aguablanca y el RUT. Estas obras evitaron las inundaciones dentro de sus áreas protegidas, contrario a lo acontecido en la inundación de 1950.

**Figura 2.2 Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1966**

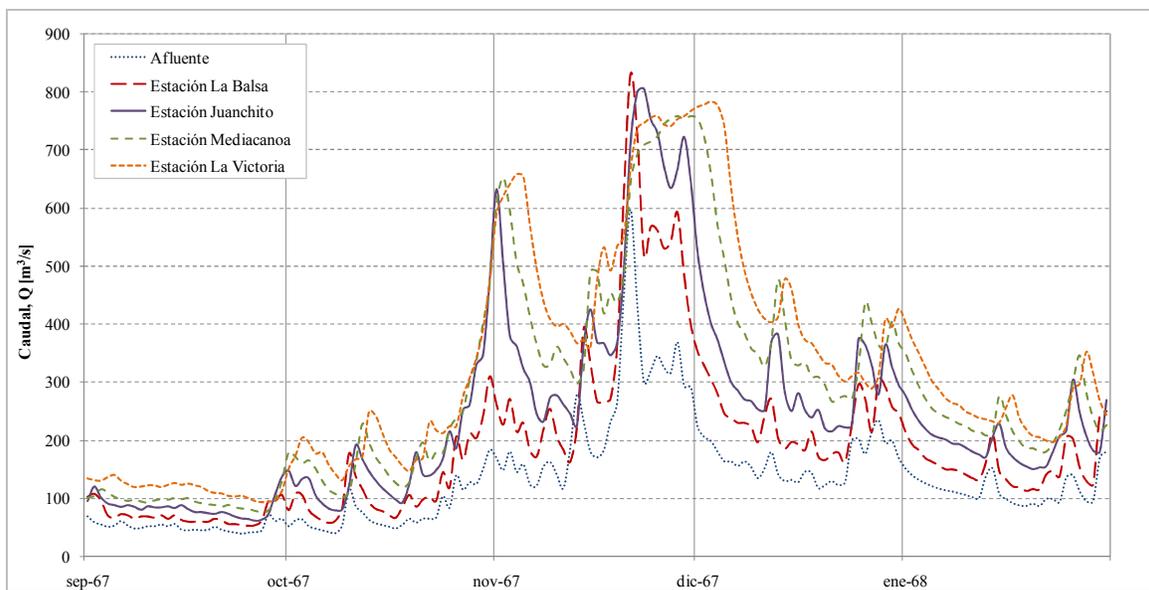


En esta ocasión se inundaron 70.502 ha a lo largo del valle alto, especialmente desde la desembocadura del río Timba, hasta el municipio de La Victoria; aguas abajo de este municipio, en la zona más al norte del Valle del Cauca, no se presentaron inundaciones. La creciente duró alrededor de 20 días (nivel de agua en el río Cauca por encima de la banca llena del cauce) y ocurrió durante un periodo de neutralidad (sin la presencia del fenómeno de La Niña). El caudal máximo durante la creciente del año 1966, registrado en el mes de diciembre en la estación La Balsa, fue 1.254 m<sup>3</sup>/s, que corresponde al caudal máximo histórico registrado en esta estación. Este caudal representa cerca de 2,5 veces el caudal a banca llena en esta estación.

### 2.1.3 Inundación del año 1967

La creciente del año 1967 ocurrió durante un periodo de neutralidad (sin presencia del fenómeno de La Niña). Durante la creciente se presentaron dos picos, el primero no alcanzó el nivel de banca llena en la estación Juanchito y estuvo influenciado por los tributarios que descargan entre La Balsa y Juanchito (Desbaratado, Palo, Jamundí, Claro y Quinamayó). En el segundo pico se presentaron caudales más altos, alcanzando en Juanchito un valor máximo de 805 m<sup>3</sup>/s un mes después del primer pico, a finales del mes de noviembre, y los mayores aportes se presentaron aguas arriba de La Balsa; para este año no se tenían registros de tributarios. El área afectada por la inundación, según los registros de la CVC, fue de 16.000 ha aproximadamente; sin embargo, no se tiene levantada información cartográfica para este evento.

**Figura 2.3 Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1967**

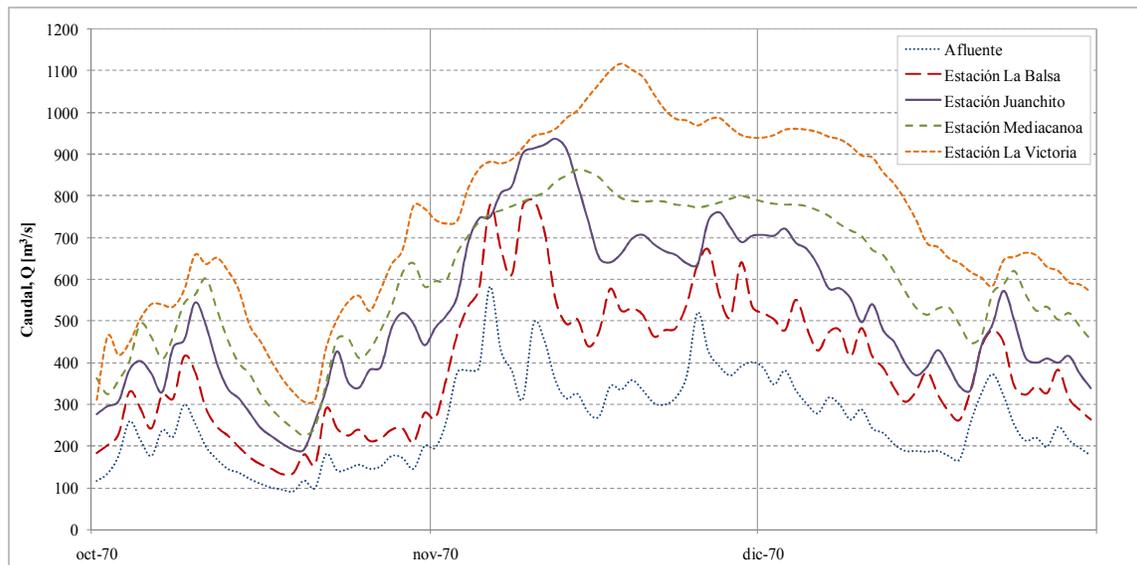


### 2.1.4 Inundación del año 1970

En el año 1970 se presentó una creciente en el río Cauca con un caudal máximo de 936 m<sup>3</sup>/s en la estación Juanchito en el mes de noviembre y dentro de la influencia del fenómeno de La Niña, el cual se prolongó hasta el primer periodo de lluvias del siguiente

año (1971). El evento duró casi un mes por encima de la banca llena en casi todas las estaciones, con excepción de la estación Juanchito, donde duró apenas una semana. Se presentaron fuertes inundaciones a la altura del municipio de Jamundí, toda la zona central del Valle del Cauca entre Mediacanoa y Tuluá y la zona norte del Valle del Cauca entre Obando y Cartago, sumando un total de 36.774 ha inundadas, aproximadamente. La configuración de la creciente puede considerarse balanceada, entre el río Cauca (Afluente) y los tributarios; es decir, que tanto el río Cauca antes de entrar al Valle del Cauca como los ríos tributarios aportaron al desarrollo de la creciente.

**Figura 2.4 Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1970**



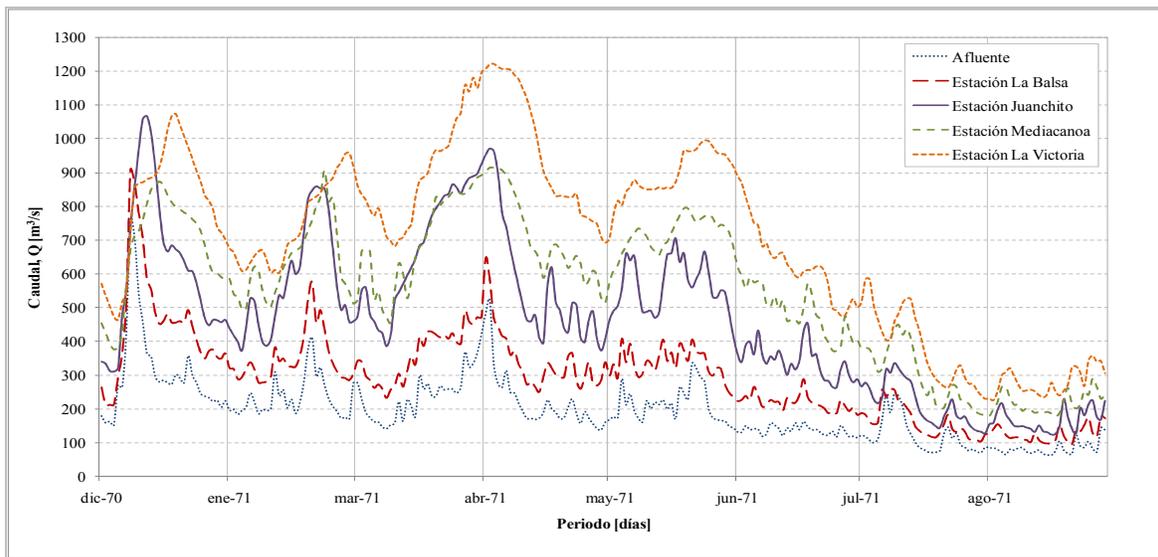
### 2.1.5 Inundación del año 1971

El evento de inundación del año 1971 está relacionado con el evento de finales de 1970, ya que el fenómeno de La Niña se prolongó durante 19 meses, influenciando los periodos de lluvias del segundo semestre de 1970 y del primero de 1971. Los efectos para este año fueron superiores a los del año anterior, llegando a inundar aproximadamente 66.382 ha de manera generalizada desde la desembocadura del río Timba al sur del departamento hasta el municipio de Cartago, al norte del Valle del Cauca.

Después de las inundaciones ocurridas en el año 1971, la CVC toma la decisión de contratar en 1973 y con recursos propios el diseño definitivo del *Proyecto de Regulación del Río Cauca*, el cual se componía de una represa en Salvajina al norte del departamento del Cauca y diques, canales y estaciones de bombeo en la zona plana, conformando 71 anillos de protección en la zona de la planicie aluvial, similares a los construidos en Aguablanca y el RUT que habían demostrado su efectividad durante las crecientes de 1966, 1970 y 1971 (Procaña, 2008).

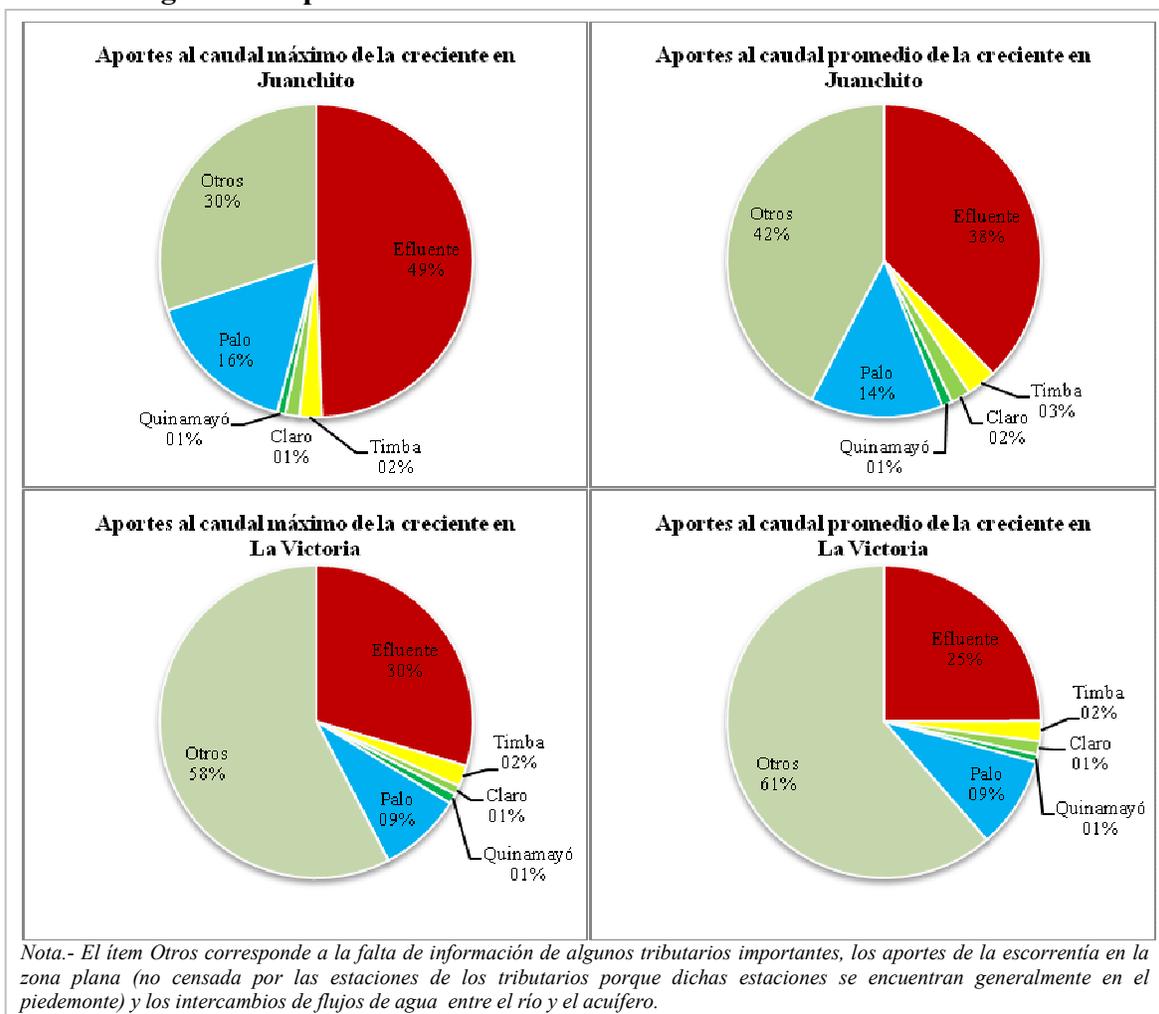
En la creciente del año 1971 se presentaron caudales máximos, durante los primeros cinco meses aproximadamente, uno cada mes, siendo abril el mes más crítico al alcanzar un caudal de  $1.222 \text{ m}^3/\text{s}$  en La Victoria, casi 1,5 veces el caudal a banca llena. En esta estación, el caudal máximo en el mes de enero se debió principalmente a los aportes de la cuenca del río Cauca en el departamento del Cauca con un máximo de  $760 \text{ m}^3/\text{s}$  en Afluente. Los demás picos de creciente, incluido el de abril, son configuraciones balanceadas, donde el río Cauca y los ríos afluentes aportaron caudales apreciables a la creciente.

**Figura 2.5 Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1971**



En la Figura 2.6 se puede apreciar la distribución de aportes a la creciente entre el río Cauca con la estación Efluente y los tributarios (los que tenían registro de caudales). Es preciso resaltar la contribución del río Cauca (Efluente) al pico de la creciente con cerca del 50% en Juanchito y del 30% en La Victoria. En ambas estaciones también se puede apreciar el gran aporte del río Palo, del orden del 15% y 9%, respectivamente, lo cual marca la relevancia de este tributario en las crecientes. Existe también un porcentaje alto llamado Otros (entre el 30 y el 40%), el cual hace referencia a los tributarios sin información de caudales, a los aportes de la escorrentía directa en la zona plana (no censada por las estaciones de los tributarios) y los aportes por nivel freático.

Figura 2.6 Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 1971



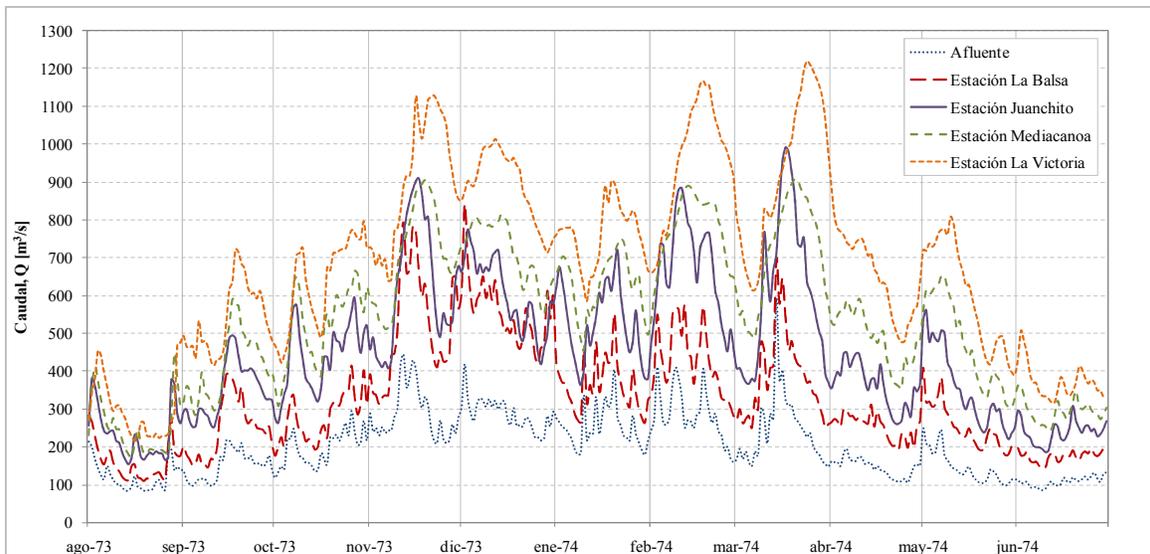
### 2.1.6 Inundación del año 1974

En el año 1994 se presentó una gran creciente que inundó cerca de 41.914 ha en el valle alto del río Cauca debido a las fuertes lluvias ocurridas en el primer semestre. La creciente tuvo duración de dos meses y generó dos caudales máximos muy similares, el primero en febrero y el segundo en marzo. Este evento se presentó durante la ocurrencia del fenómeno de La Niña, evento que duró un poco más de un año y venía desde mayo de 1973. La inundación se concentró en la zona centro del Valle del Cauca, desde Yumbo hasta Zarzal, sobre ambas márgenes del río Cauca. En ambos picos de la creciente se puede observar una gran influencia de los tributarios, especialmente los ubicados entre Mediacanoa y La Victoria, como son los ríos Guadalajara, Tuluá, Morales, Bugalagrande, Riofrío y Pescador, entre otros.

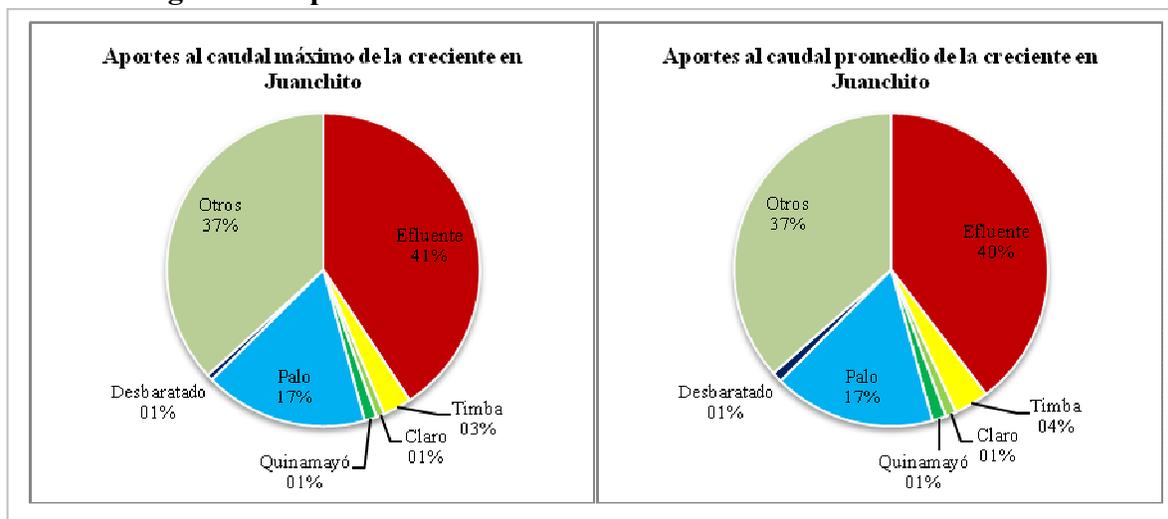
La participación del río Cauca (Efluente) en la creciente a la altura de la estación Juanchito es casi el doble que en La Victoria, donde se puede proyectar como podría ser el efecto que

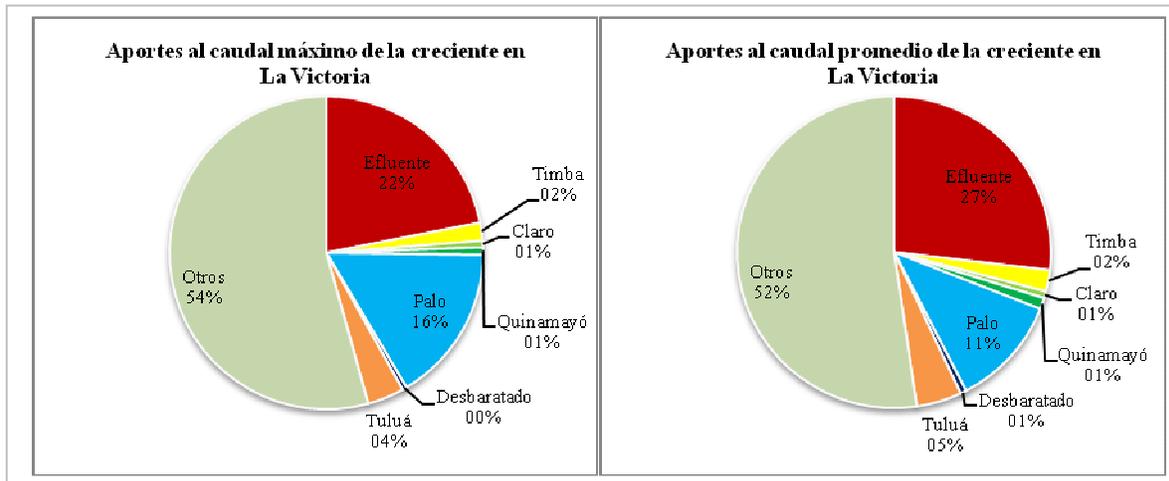
llegara a tener la regulación de Salvajina a lo largo del río Cauca. El río Palo nuevamente tiene una participación relevante del orden del 16% en ambas estaciones de referencia. Es necesario que aunque en las hidrógrafas de caudales se puede identificar la gran influencia de los tributarios entre Mediacanoa y La Victoria, en el año 1974 no se contaba con registros de caudal de los mismos, sólo en el río Tuluá se establece una contribución a los caudales en el río Cauca, en la estación La Victoria, del orden del 4 al 5%.

**Figura 2.7 Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1974**



**Figura 2.8 Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 1974**

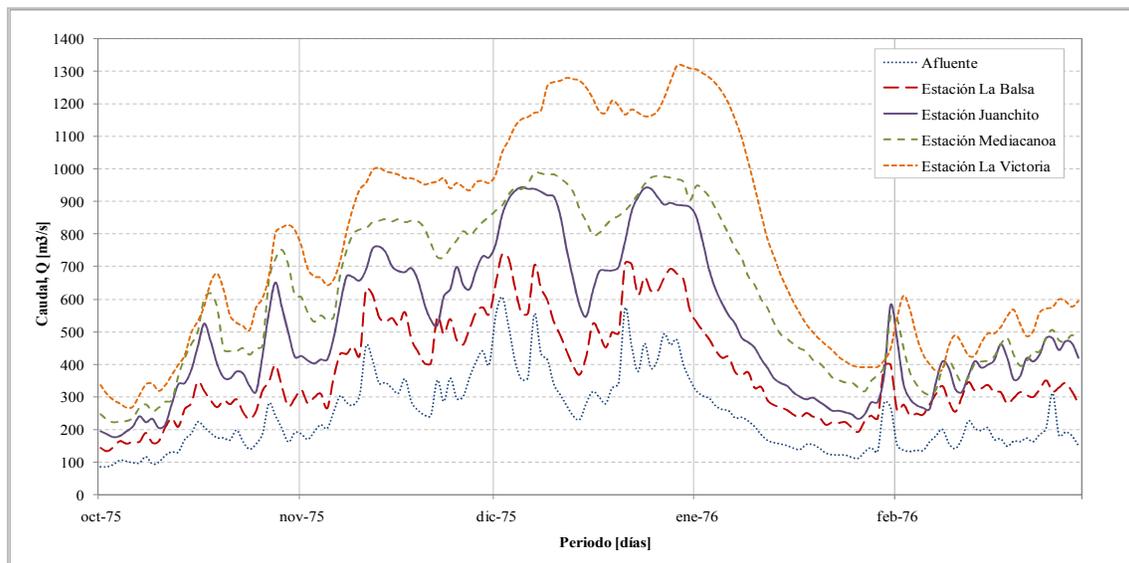




### 2.1.7 Inundación del año 1975

La creciente de este año duró, por encima del nivel de banca llena en el río Cauca, un poco más de dos meses en La Victoria y un mes en Juanchito. Presentó su caudal máximo en el mes de diciembre dentro de un periodo prolongado del fenómeno de La Niña (19 meses) que venía desde 1974 y llegó hasta 1976. En este evento los tributarios tuvieron mucha influencia en los caudales en el río Cauca, en especial entre Mediacanoa y La Victoria, muestran diferencias de hasta un poco más de  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  durante el pico de la creciente. En la Victoria se presentó un caudal máximo de  $1.317 \text{ m}^3/\text{s}$ , superando 1,6 veces el caudal a banca llena de la estación; se destaca que este caudal es el máximo registrado en la estación hasta la fecha.

**Figura 2.9 Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1975**

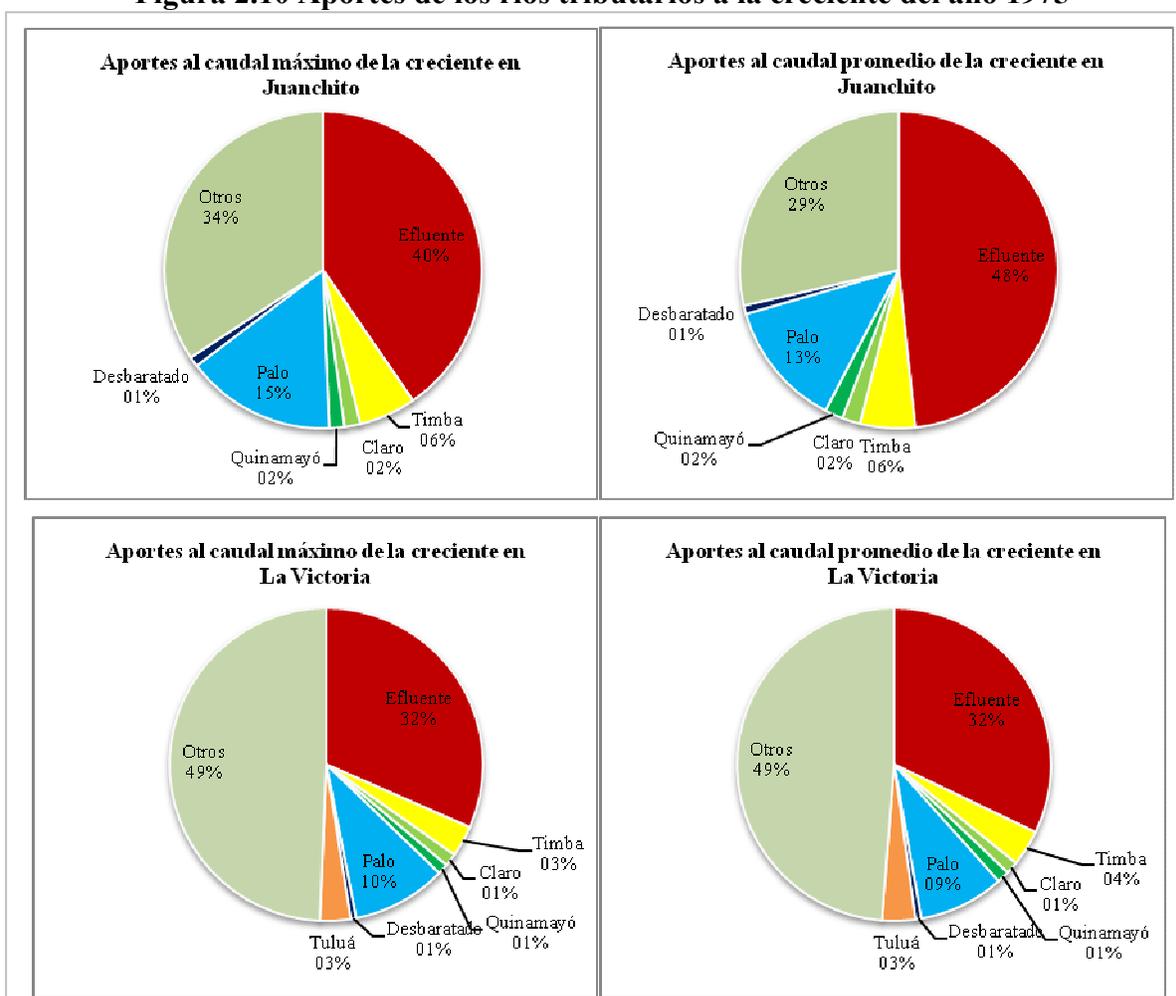


El área de inundación en el año 1975 fue inferior a la del año inmediatamente anterior, con una extensión de 41.914 ha, distribuidas sobre la zona sur del Valle del Cauca entre Timba y Cali, sobre ambas márgenes del río Cauca, y en la zona central de Valle del Cauca desde Vijes hasta Zarzal. En la zona norte del departamento sólo se presentaron inundaciones en

La Victoria (margen derecha) y algunas pequeñas áreas aguas arriba del distrito de riego RUT sobre la margen izquierda.

Para el año 1975 no se disponía de información de caudales de un importante tributario como el río Ovejas y aunque en la hidrógrafa de caudales del río Cauca se muestra una fuerte contribución de los tributarios entre Mediacanoa y La Victoria, no es posible establecer cómo fue su distribución de sus caudales de aporte por falta de información, solo se contaba con información del río Tuluá, el cual tuvo una contribución de 3.4% al pico de la creciete en la estación La Victoria. En la estación Juanchito se observa la participación importante del río Timba de cerca del 6% y un gran aporte del río Palo, con poco menos del 10%. ( Figura 2.10)

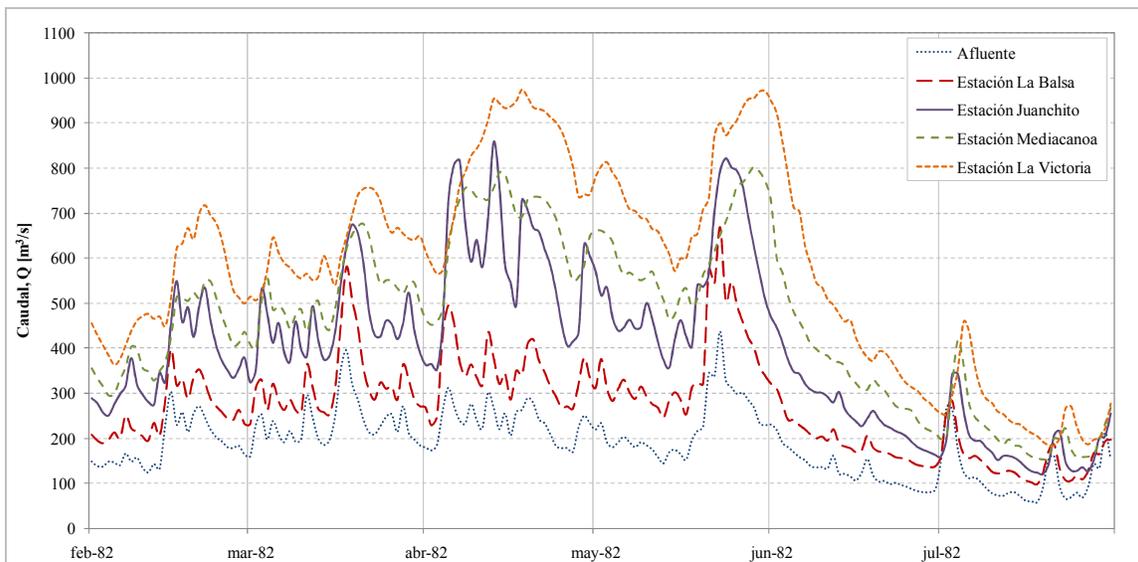
**Figura 2.10 Aportes de los ríos tributarios a la creciete del año 1975**



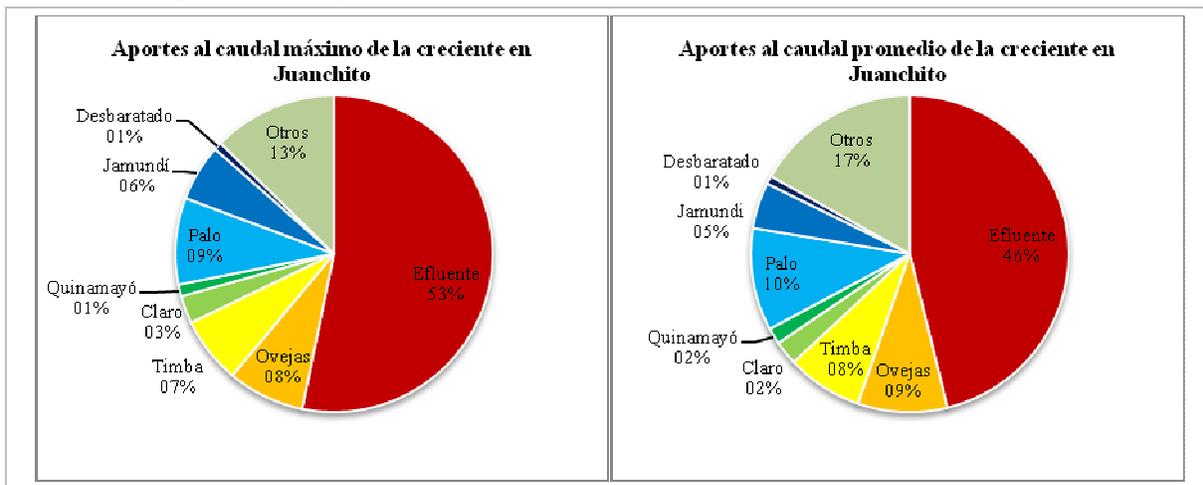
### 2.1.8 Inundación del año 1982

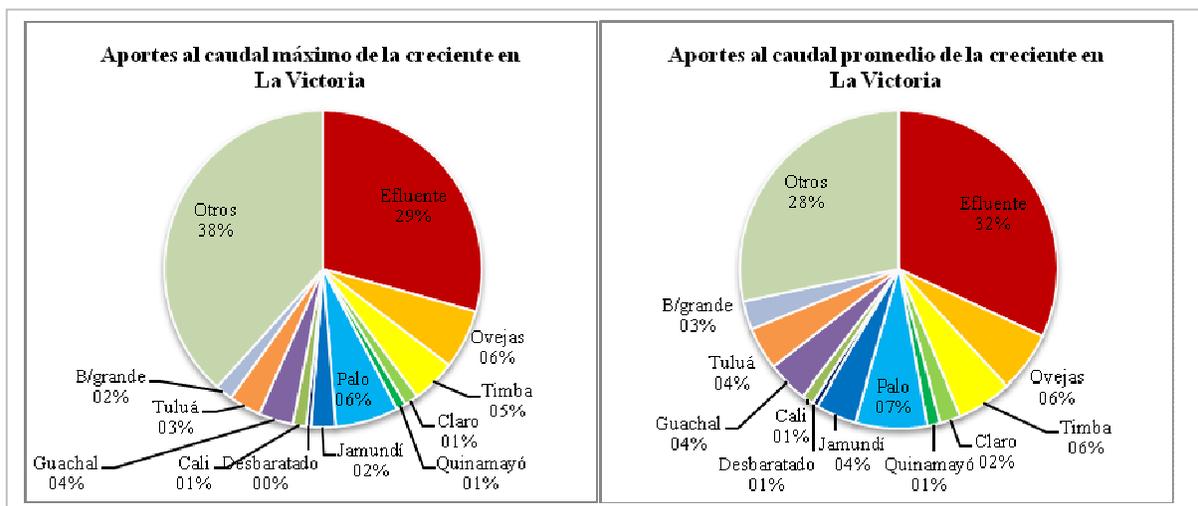
En el año de 1982 se presentó el evento de inundación menos crítico en el periodo Pre-Salvajina, el cual afectó alrededor de 11.000 ha y tuvo una duración de 5 días de caudales y niveles por encima del nivel de banca llena en la estación Juanchito y 11 días en la estación La Victoria. En la creciente se presentaron dos picos de caudal separados por casi un mes (25 días); el caudal máximo se alcanzó en el mes de mayo, siendo ligeramente superior a la banca llena al sur del departamento del Valle del Cauca en las estaciones La Balsa y Juanchito, mientras que en la estación La Victoria alcanzó valores cercanos a los 1.000 m<sup>3</sup>/s. Este evento de creciente ocurrió en un periodo de neutralidad (sin presencia del fenómeno de La Niña) y con una distribución de aportes pareja entre río Cauca (Efluente) y tributarios. No es posible describir las zonas afectadas porque no existe registro de mapa de inundación para este evento.

**Figura 2.11 Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1982**



**Figura 2.12 Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 1982**



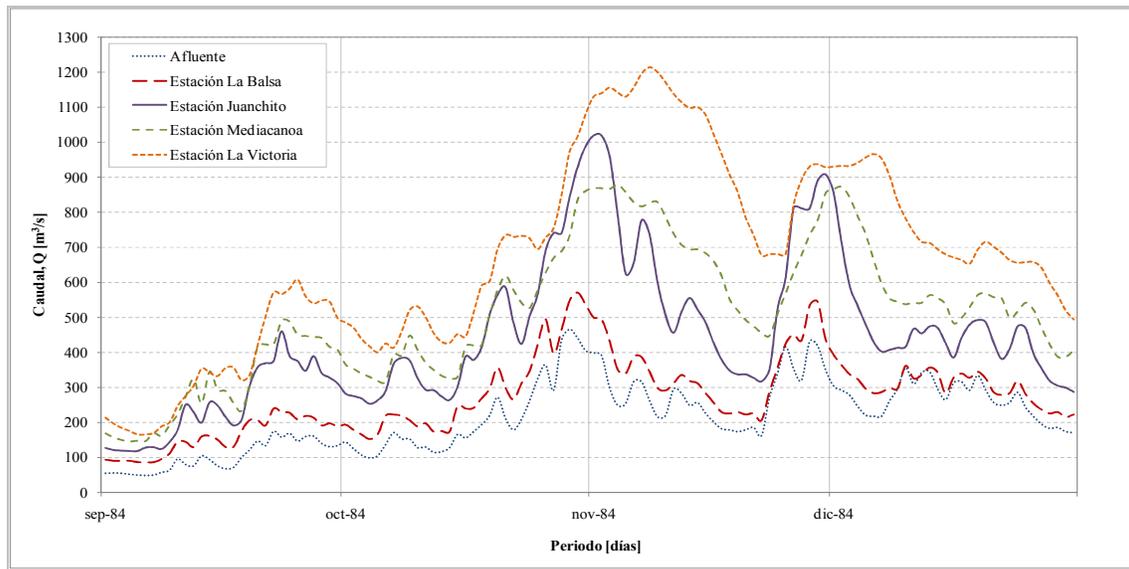


Para el año 1982 se contaba con más información de caudales en los ríos tributarios para el análisis de los aportes a los caudales máximos de la creciente en el río Cauca, como son los ríos Ovejas, Jamundí, Cali, Guachal y Bugalagrande. Esta se manifiesta en una pequeña disminución del porcentaje de participación Otros, ítem que explica en gran medida la información faltante, que para el caso de la estación Juanchito bajó a niveles del 16% y alrededor del 38% para la estación La Victoria. En la Figura 2.12 se puede apreciar la influencia de Efluente (río Cauca a la salida del embalse de Salvajina) con una participación cercana al 50% para la estación Juanchito y al 30% para la estación La Victoria. Los tributarios Ovejas, Timba y Palo contribuyen en total en un 23% al pico de la creciente en la estación Juanchito, casi la mitad de la contribución del río Cauca en la estación de Efluente. Es preciso destacar la magnitud del aporte del río Jamundí, la cual alcanza casi el 6%, similar a la magnitud de los aportes del río Timba en crecientes anteriores. Para el caso de la estación La Victoria la participación de los tributarios al pico de la creciente aguas abajo de la estación Juanchito suma 11%, de los cuales los ríos Tuluá y Guachal son los mayores aportantes con contribuciones del orden del 4%.

### 2.1.9 Inundación del año 1984

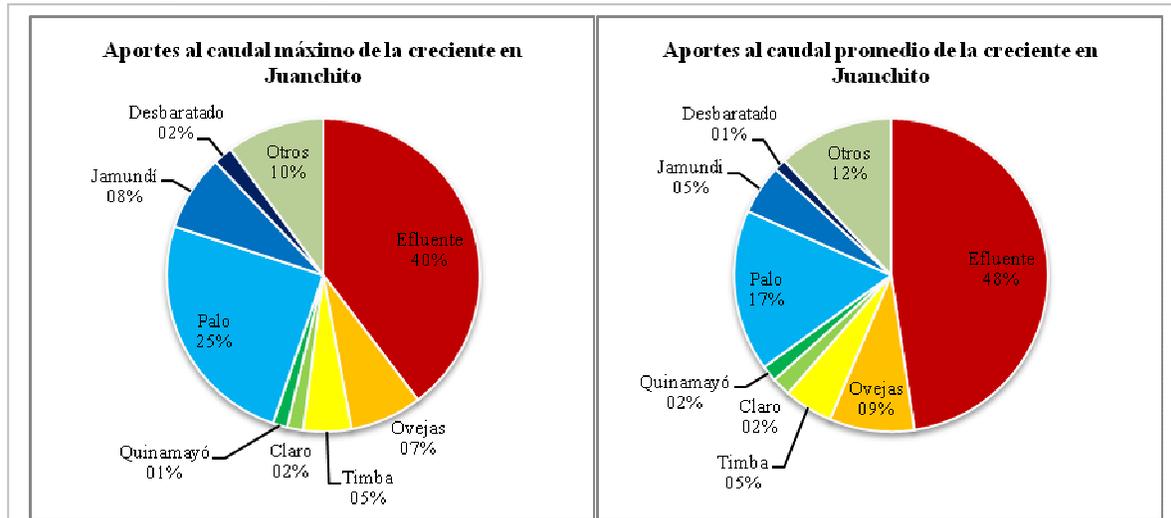
Corresponde a la última inundación ocurrida antes de la puesta en operación de la hidroeléctrica de Salvajina; la creciente se presentó en el segundo periodo de lluvias del año, alcanzando los caudales máximos en el mes de noviembre de  $1.018 \text{ m}^3/\text{s}$  en la estación Juanchito y de  $1.214 \text{ m}^3/\text{s}$  en la estación La Victoria, durante la presencia del fenómeno de La Niña que inició en el mes de octubre y se prolongó por cerca de un año. Se inundaron cerca de 35.391 ha ubicadas a lo largo del valle geográfico del río Cauca, así: al sur aguas abajo de la estación Tablanca y el sector del río Palo, en el centro del departamento sobre ambas márgenes del río Cauca entre Guacarí y Tuluá; en la zona norte entre el río Morales y la margen izquierda del río Bugalagrande y en toda la zona de Asonorte (margen derecha) en el área de influencia de los zanjones El Guineo y Mojahuevos y el Canal Obando.

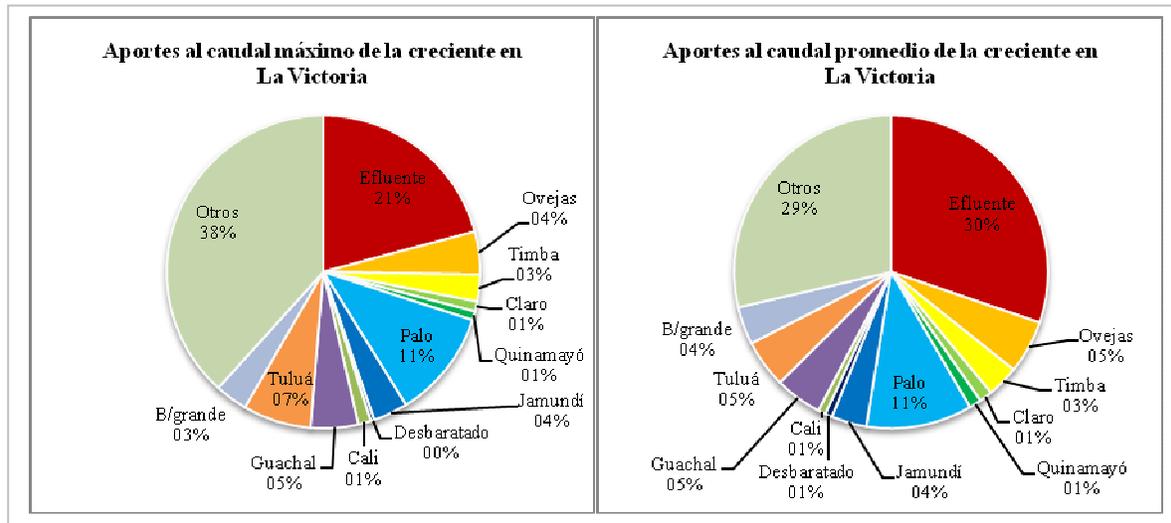
**Figura 2.13 Hidrógrafas de la creciete del río Cauca del año 1984**



La Figura 2.14 ilustra el gran aporte del río Palo a la creciete del río Cauca, así en la estación Juanchito el río Palo contribuyó con el 24,8% del caudal máximo del río Cauca y un aporte promedio durante la creciete del 16,7%. También en la estación La Victoria se aprecia el mayor aporte del río Palo al pico de la creciete (11,2%), seguido por los río Tuluá (7%), Ovejas (4,4%), Jamundí (3,6%), Bugalagrande (3,4%) y Timba (2,8%)

**Figura 2.14 Aportes de los ríos tributarios a la creciete del año 1984**



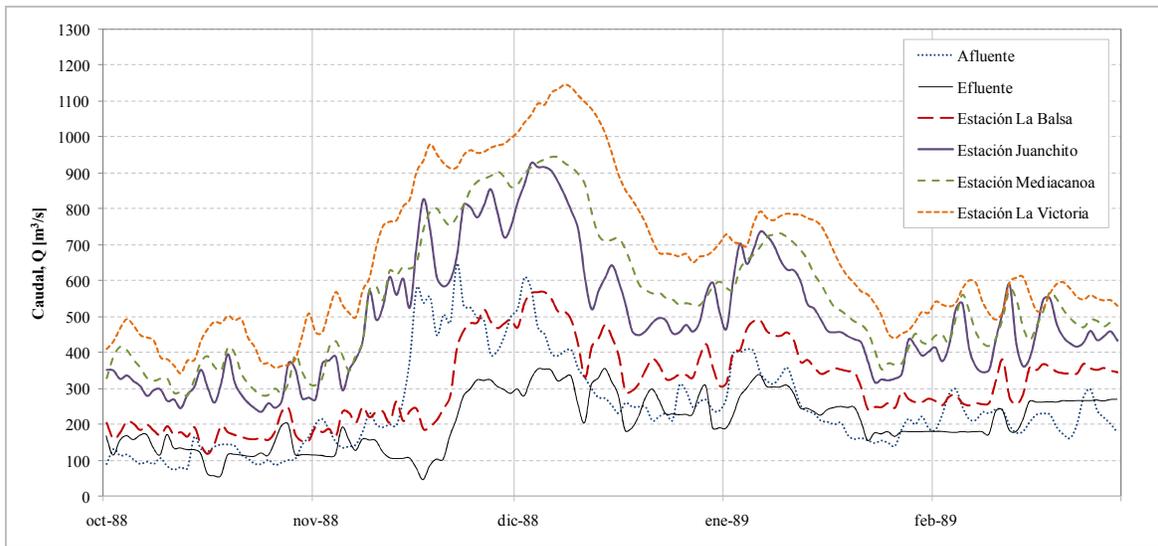


### 2.1.10 Inundación del año 1988

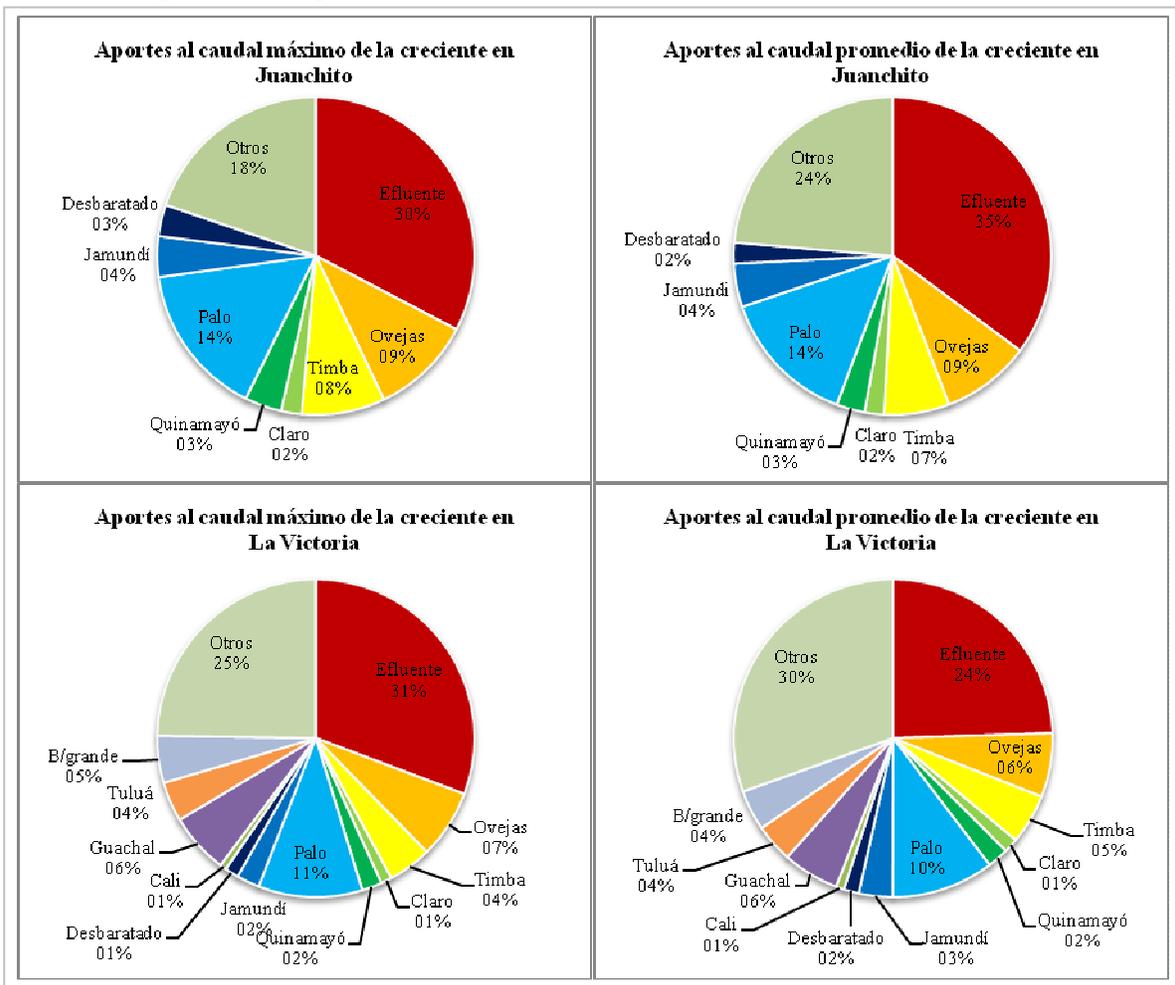
En el año 1988 se presentó el primer evento de inundación por desbordamientos del río Cauca después de la entrada en operación en el año de 1985 de la central hidroeléctrica de Salvajina. Este evento ocurrió en el mes de diciembre, en todas las estaciones y se presentó durante un periodo de La Niña que duró cerca de 13 meses. El área inundada fue aproximadamente de 12.882 ha, pero no se cuenta con información cartográfica de este evento. Los niveles de agua en el río permanecieron por encima de la banca llena durante 17 días en la estación Juanchito y 24 días en la estación La Victoria.

El efecto regulador del embalse de Salvajina se puede apreciar durante este evento, logrando reducir los caudales en el sitio de la represa (estación Efluente) hasta en  $332 \text{ m}^3/\text{s}$ , para el instante más crítico, pues llegaron al embalse  $611 \text{ m}^3/\text{s}$  y se liberaron solamente  $279 \text{ m}^3/\text{s}$ . El caudal retenido en el embalse es muy similar al aportado por todos los tributarios entre La Balsa y Juanchito, como son los ríos Palo, Quinamayó, Claro, Jamundí, Desbaratado que sumaron  $360 \text{ m}^3/\text{s}$ . El caudal máximo en la estación Juanchito fue sólo  $929 \text{ m}^3/\text{s}$  gracias a la operación del embalse de Salvajina; sin la regulación es posible que el caudal hubiera alcanzado los  $1.200 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Figura 2.15 Hidrógrafas de la creciete del río Cauca del año 1988**



**Figura 2.16 Aportes de los ríos tributarios a la creciete del año 1988**



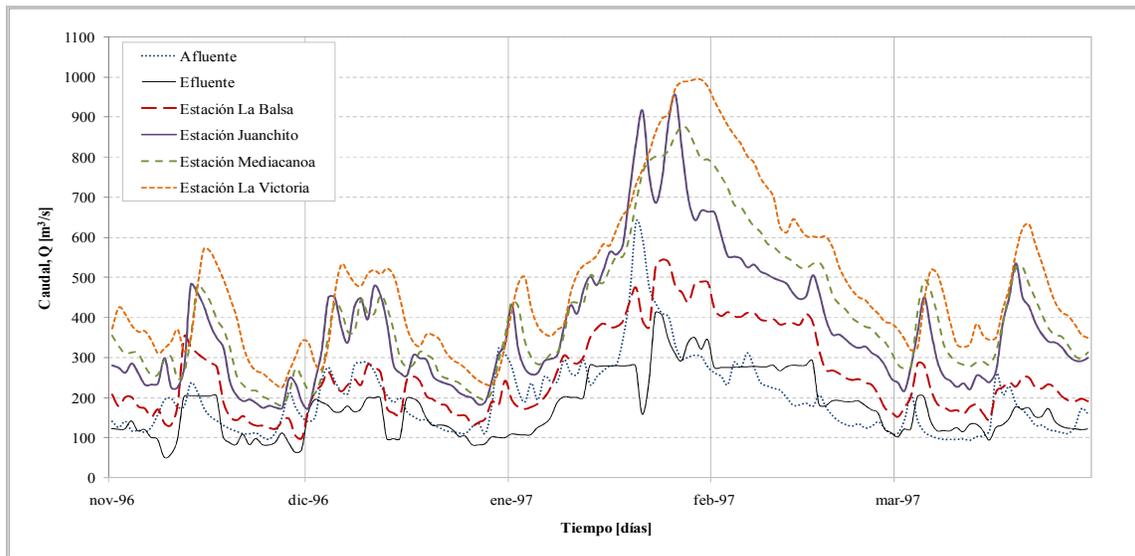
En la Figura 2.16 se puede apreciar la disminución de la participación del río Cauca (Efluente) con la entrada en operación de Salvajina. Para la estación Juanchito, la distribución de aportes se puede resumir aproximadamente en 30% río Cauca, tributarios 50% y Otros 20%. El río Palo sigue en el primer orden de los aportes con 14% y el río Ovejas en el segundo lugar con poco menos del 10%. Los tributarios aguas abajo de la estación Juanchito, el río Guachal resulta con el mayor aporte con 6,1% al pico de la creciente en La Victoria, seguido de cerca por el río Bugalagrande con 4,8% y el río Tuluá se mantuvo en el 4%.

### **2.1.11 Inundación del año 1997**

Después de un periodo largo de casi una década, sin inundaciones, y con Salvajina en operación, en el año 1997 se presentó una pequeña inundación que afectó alrededor de 5.400 ha. No existe registro cartográfico de este evento para describir las áreas inundadas. Los niveles de agua en el río Cauca permanecieron apenas una semana por encima del nivel de banca llena y los caudales máximos registrados en la estaciones fueron inferiores a 1.000 m<sup>3</sup>/s, los cuales se presentaron en el mes de enero y durante un periodo de neutralidad (sin fenómeno de La Niña).

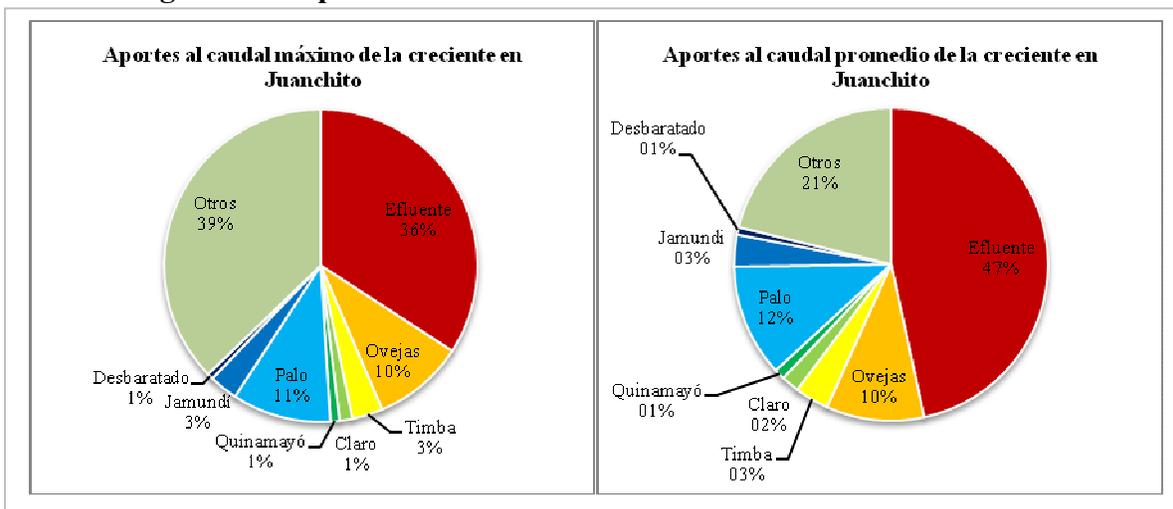
En la Figura 2.17 se pueden apreciar las diferencias entre las hidrógrafas de caudales de las estaciones La Balsa y Juanchito; durante el pico de la creciente la diferencia entre las dos hidrógrafas fue de 410 m<sup>3</sup>/s debido a los aportes significativos de los tributarios entre estas estaciones (Palo, Quinamayó, Claro, Jamundí, Desbaratado). El embalse de Salvajina laminó el 50% del caudal del río Cauca antes de su ingreso al departamento del Valle del Cauca, restándole a la creciente en el punto más crítico hasta 358 m<sup>3</sup>/s.

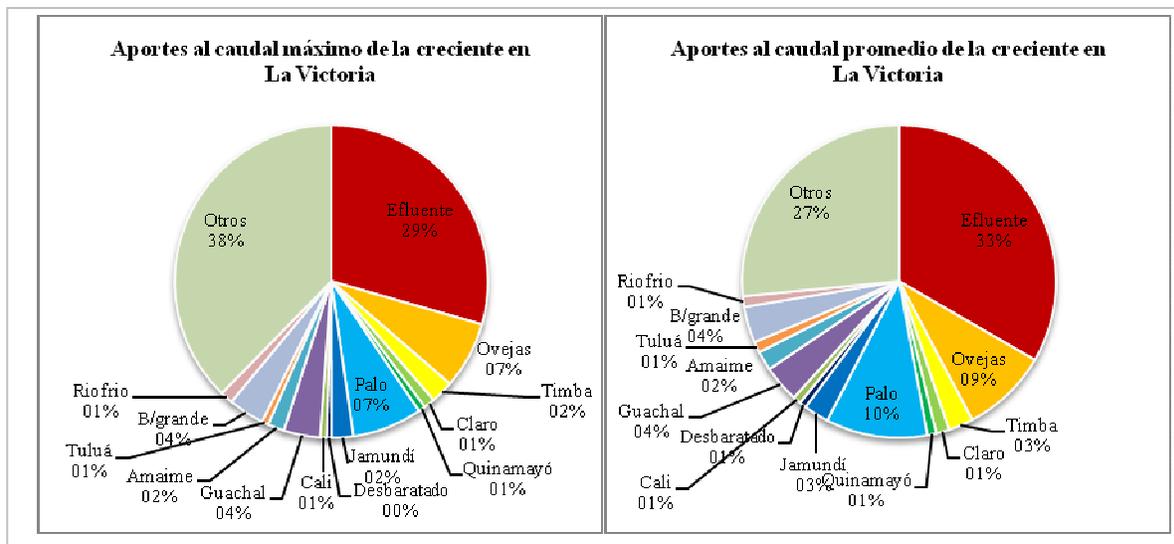
**Figura 2.17 Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 1997**



En la Figura 2.18 se observa que en la estación Juanchito el aporte de Efluente (Salvajina) aumentó con respecto al anterior evento (1988) en un 10% aproximadamente, alcanzando el 36% para el pico de la creciente y 46% para promedio de toda la creciente. Los ríos Palo y Ovejas presentaron una participación similar, 11% y 10% respectivamente. Para este año se dispone de registros de caudales en otros dos ríos, el Amaime y el Riofrío. Entre las estaciones de Juanchito y La Victoria, sin embargo, la mayor contribución al pico de la creciente es del río Guachal con el 3,8%, seguido de cerca por el río Bugalagrande con el 3,7%.

**Figura 2.18 Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 1997**

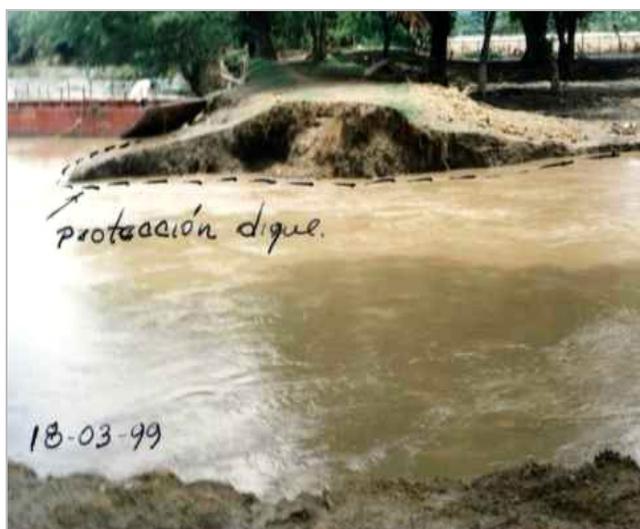




### 2.1.12 Inundación del año 1999

En el año 1999 se produjo una creciente que ocasionó fallas en algunos tramos de diques. Algunos de los sectores afectados fueron los siguientes: Platanares (Yumbo), Paso de la Torre (Palmira), El Refugio (Buga), Chontaduro (Bugalagrande), Guare (Bolívar), La Marina (Zarzal) y Puerto Rico (Obando) (CVC - UNIVALLE, 2005). Este evento fue analizado en el Proyecto de Modelación del río Cauca (PMC), modelando la creciente de febrero - marzo de 1999 incluyendo los diques proyectados, por ser uno de los eventos más significativos desde la construcción de la represa de Salvajina.

#### Foto 2.3 Falla de dique del Río Cauca en el sector del municipio de La Victoria (1999)

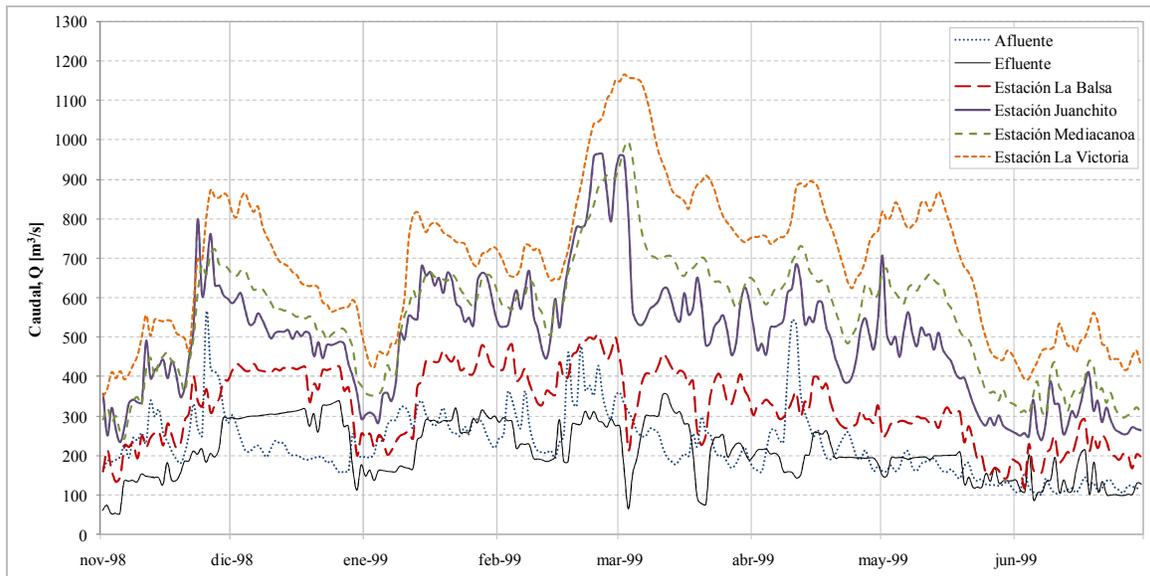


Fuente: CVC (1999)

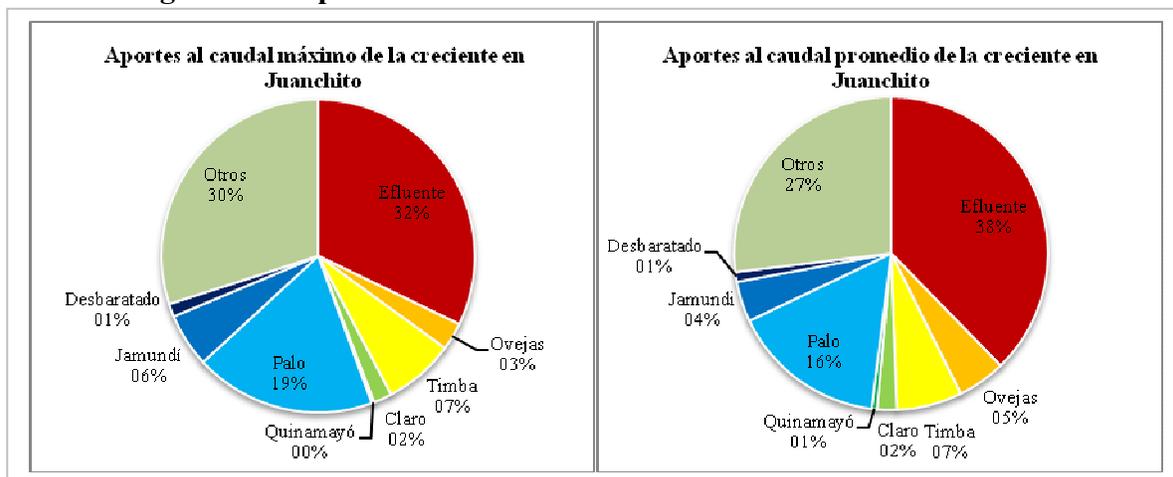
La creciente se presentó en el mes de febrero y en presencia del fenómeno de La Niña, muy prolongado que duró casi tres años. Los niveles de agua del río Cauca permanecieron por encima de la banca llena cuatro días en la estación Juanchito y dos semanas al norte del

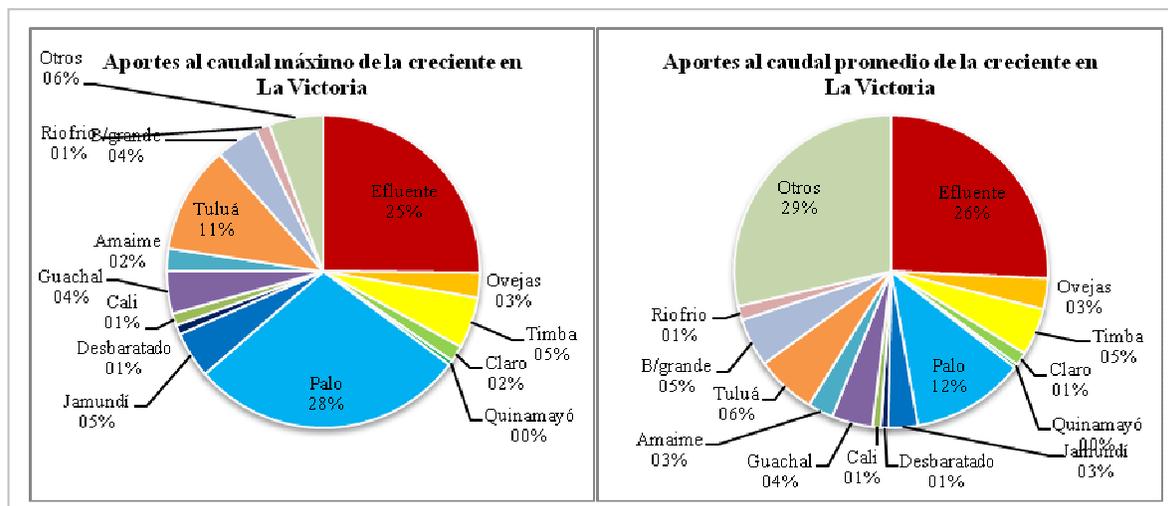
departamento del Valle del Cauca en la estación La Victoria. El área afectada fue de 13.370 ha, distribuidas sobre ambas márgenes del río Cauca, desde la desembocadura del río Guabas hasta la desembocadura del río Bugalagrande; las zonas sur y norte del departamento del Valle del Cauca no sufrieron afectaciones en este evento, salvo el casco urbano del municipio de La Victoria a causa de una rotura de dique (ver Foto 2.3).

**Figura 2.19 Hidrógrafas de la creciete del río Cauca del año 1999**



**Figura 2.20 Aportes de los ríos tributarios a la creciete del año 1999**





En la Figura 2.20 se observa una aparente incongruencia en los datos, ya que el porcentaje de contribución del río Palo al pico de la creciente en el río Cauca fue superior en la estación La Victoria (28,5%) que en la estación Juanchito (18,7%). Sin embargo, para este evento ocurrió la particularidad de que el caudal máximo en ambas estaciones se presentó con 6 días de diferencia, mientras que el tiempo de tránsito entre ellos es de aproximadamente 2 días. Cuando en la estación Juanchito se presentaba el caudal máximo de  $966 \text{ m}^3/\text{s}$ , el río Palo apenas le entregaba  $180 \text{ m}^3/\text{s}$ ; pero cuatro días después, el río Palo alcanzó su caudal máximo aportando  $331 \text{ m}^3/\text{s}$ , los cuales dos días después llegaron a la estación La Victoria, registrándose en esta un caudal de  $1.116 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 2.1.13 Inundación del año 2008

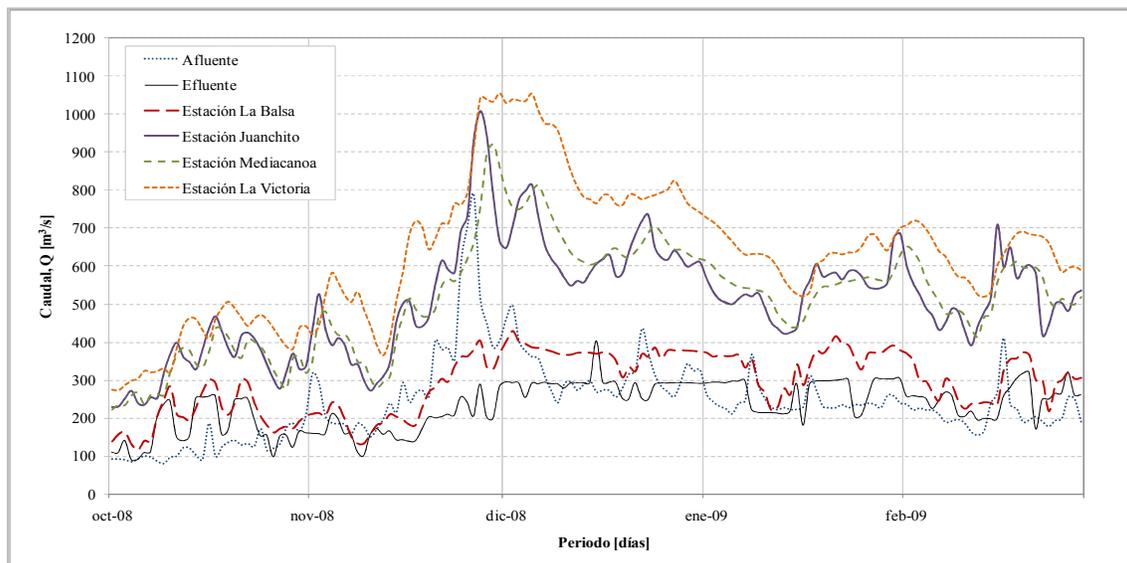
Después de la creciente en el río Cauca del año 1999 trascurrieron 9 años sin inundaciones en su valle alto, lapso en el cual se presentaron dos eventos del fenómeno de Niño y sólo un corto periodo (de 5 meses) con fenómeno de La Niña. En noviembre de 2008 se registró un evento que inundó 8.290 ha, localizadas principalmente en la zona de influencia de la Laguna de Sonso y de los zanjones Burrigá (Buga – Tuluá) y La Cañada (Bugalagrande), posiblemente asociados a problemas de drenaje y rotura de diques.

También se presentó una inundación en la zona del río Guachal a causa de una rotura de dique, atribuida a la presencia de la hormiga arriera, según la información suministrada por la CVC, en un tramo del proyecto Puerto Isaacs – La Guaira, construido entre los años 1971 y 1972 (ver Foto 2.4). En la estación La Balsa el nivel de agua en el río Cauca no alcanzó el nivel de banca llena, mientras que en la estación Juanchito la creciente duró apenas 5 días y en La Victoria cerca de dos semanas.

En la Figura 2.21 se puede observar el efecto regulador del embalse de Salvajina al comparar las hidrógrafas de las estaciones Afluente y Efluente. En el punto crítico de la creciente del río Cauca antes de su entrada al valle, el embalse alcanzó a regular un caudal de  $579 \text{ m}^3/\text{s}$ , un día antes de que se presentara el caudal máximo en la estación La Balsa de  $403 \text{ m}^3/\text{s}$ .

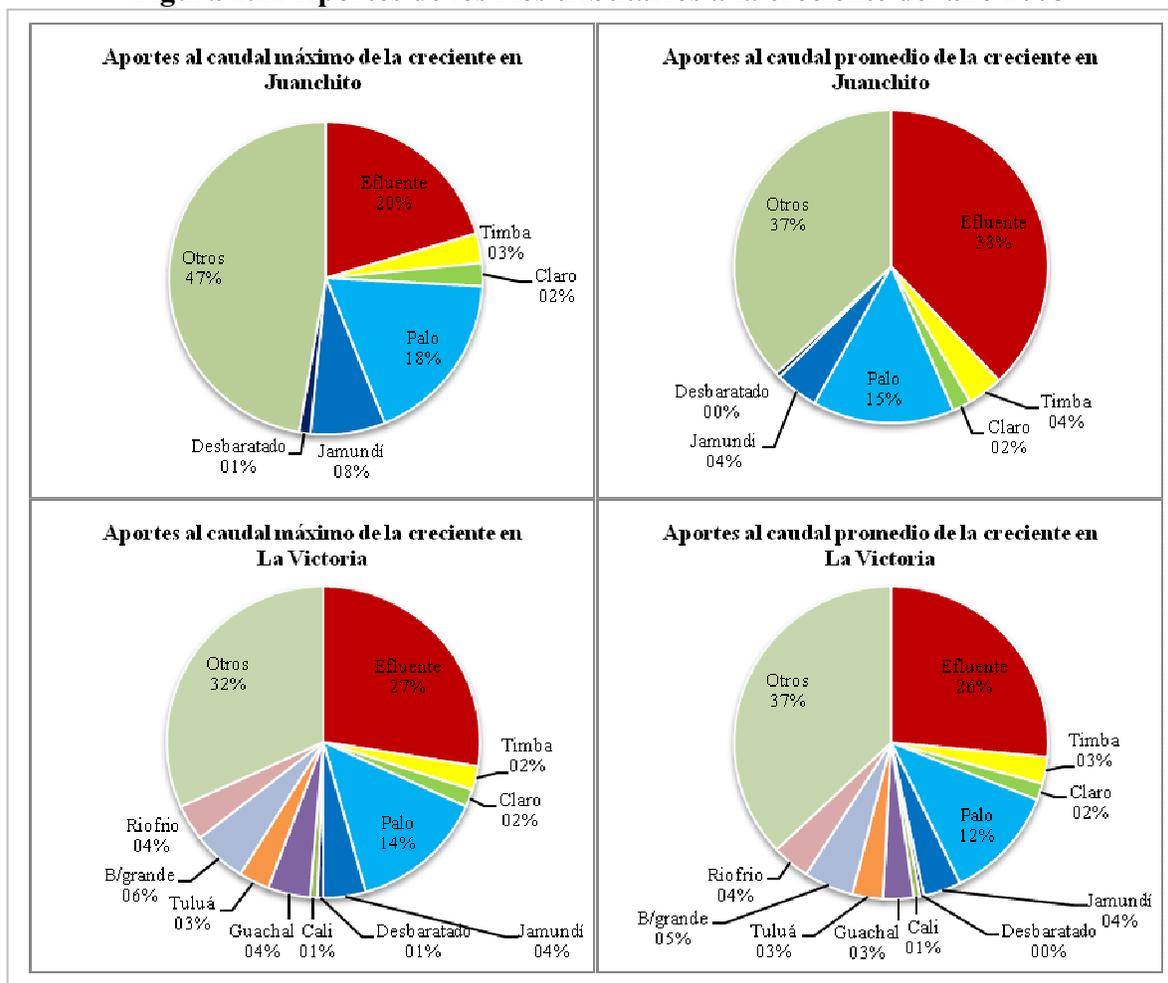
**Foto 2.4 Falla de dique Río Guachal (2008)**

Fuente: Revista PROCAÑA (2008)

**Figura 2.21 Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 2008**

En la Figura 2.22 se observa que aumentó el porcentaje de aporte de Otros (que incluye los datos faltantes) en casi un 10% debido muy posiblemente a que para este año ya no se contaba con los registros de caudales de tres tributarios importantes, como lo son el río Ovejas, el río Quinamayó y el río Amaime. El río Jamundí aportó un 7,7% al pico de la creciente en el río Cauca en la estación Juanchito, el cual fue superior a la contribución del río Timba con apenas 2,6%. El mayor aporte de los tributarios que descargan al río Cauca entre las estaciones Juanchito y La Victoria al pico de la creciente en la estación La Victoria lo realizó el río Bugalagrande con 5,5%, seguido por el río Guachal con 4,4% y el río Ríofrío con 3,7%.

Figura 2.22 Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 2008



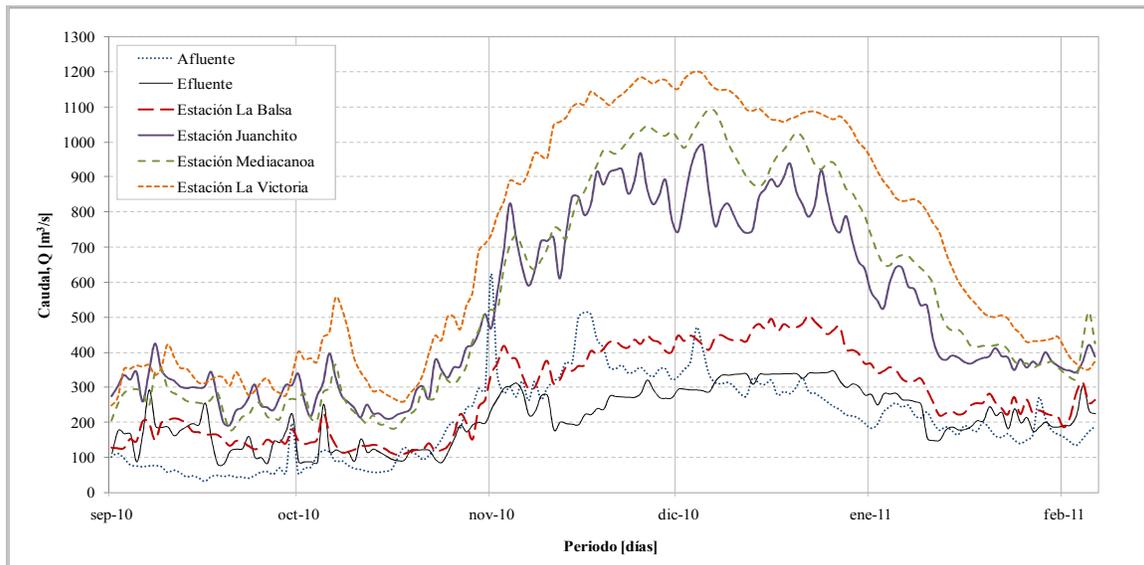
### 2.1.14 Inundación del año 2010

La afectación de la creciente del año 2010 fue muy alta, la más grande registrada después de la entrada en operación de Salvajina, con 44.023 ha inundadas. Se presentó en presencia del fenómeno de La Niña que se prolongó hasta el año 2011. Según el mapa de inundación, inició con el sistema Bolo, Fraile y Guachal sobre la margen izquierda del río Cauca y continuó en dirección hacia aguas abajo de manera casi generalizada sobre ambas márgenes del río Cauca, hasta el municipio de Cartago. Para destacar la zona aguas arriba del sistema Guachal no sufrió inundaciones en ninguna de las márgenes. Se inundó la zona industrial de Cencar y la Zona Franca del Pacífico. Se inundaron, además, por rotura de los diques marginales, la zona del distrito de riego RUT y el distrito de ASONORTE. Dentro de estas áreas inundadas también se vieron afectados una serie de caseríos y veredas que se encuentran en las zonas agrícolas, incluyendo el casco urbano del municipio de La Victoria.

La configuración de la creciente del año 2010 es de un solo pico alto y muy prolongado. Esta creciente fue la segunda inundación de mayor duración en la estación La Victoria, los niveles del río Cauca permanecieron 67 días por encima de la banca llena y alcanzó un

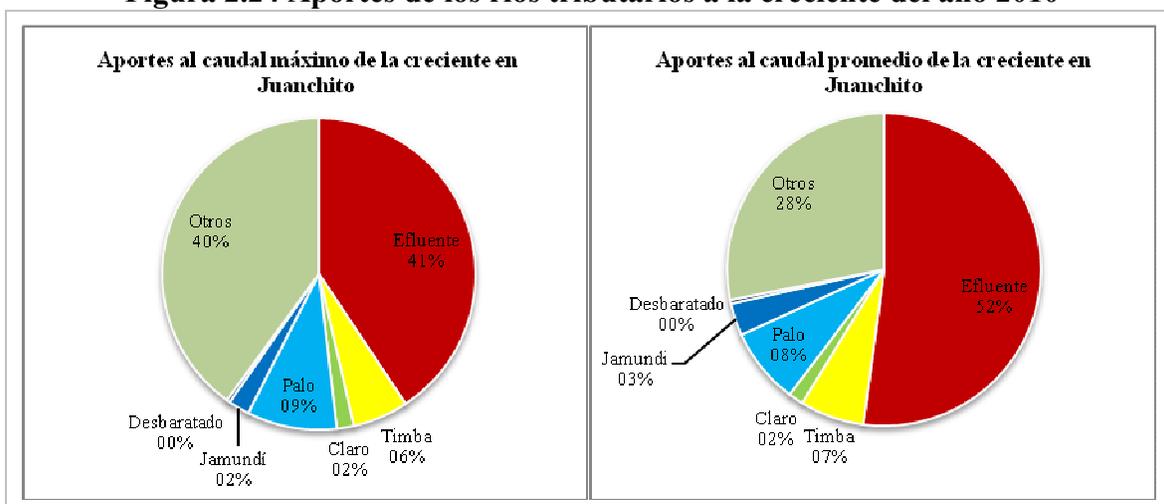
caudal máximo de 1.202 m<sup>3</sup>/s. Se inició en los primeros días de noviembre de 2010 y finalizó en los primeros días de enero de 2011. En la estación Juanchito la duración de la creciente fue de un mes y medio con un caudal máximo de 990 m<sup>3</sup>/s. Los tributarios entre La Balsa y Juanchito aportaron en promedio, unos 400 m<sup>3</sup>/s a la creciente del río Cauca, y 556 m<sup>3</sup>/s al pico de la creciente registrado en la estación Juanchito.

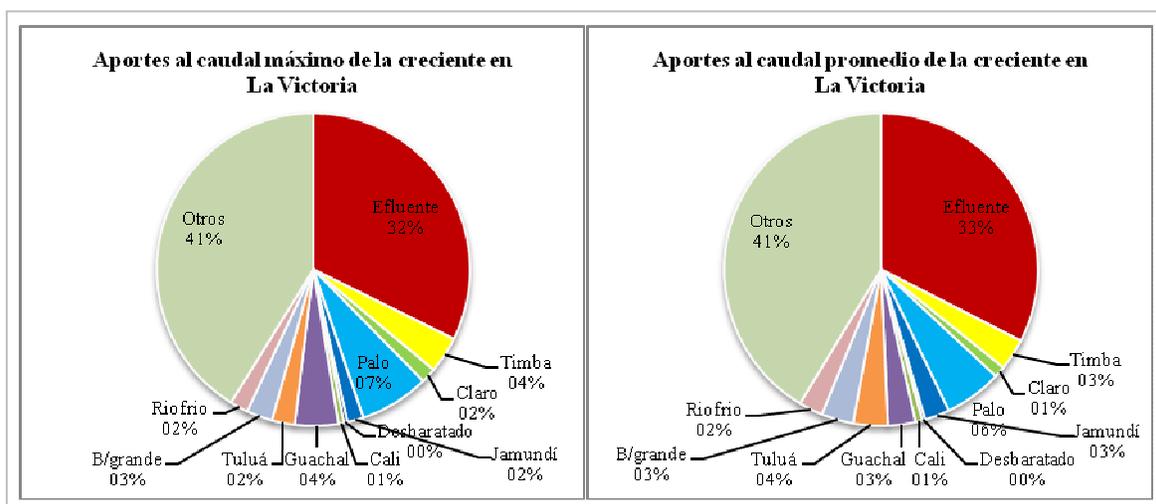
**Figura 2.23 Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 2010**



En la Figura 2.24 se muestra la distribución porcentual de los aportes del río Cauca (en la estación Efluente) y de los diferentes afluentes, hasta las estaciones hidrométricas de Juanchito y La Victoria para el año 2010. En ella se puede apreciar el gran aporte de Salvajina (Efluente), el más alto desde que opera la represa: 43% en la estación Juanchito y 32% en la estación La Victoria.

**Figura 2.24 Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 2010**





### 2.1.15 Inundación del año 2011

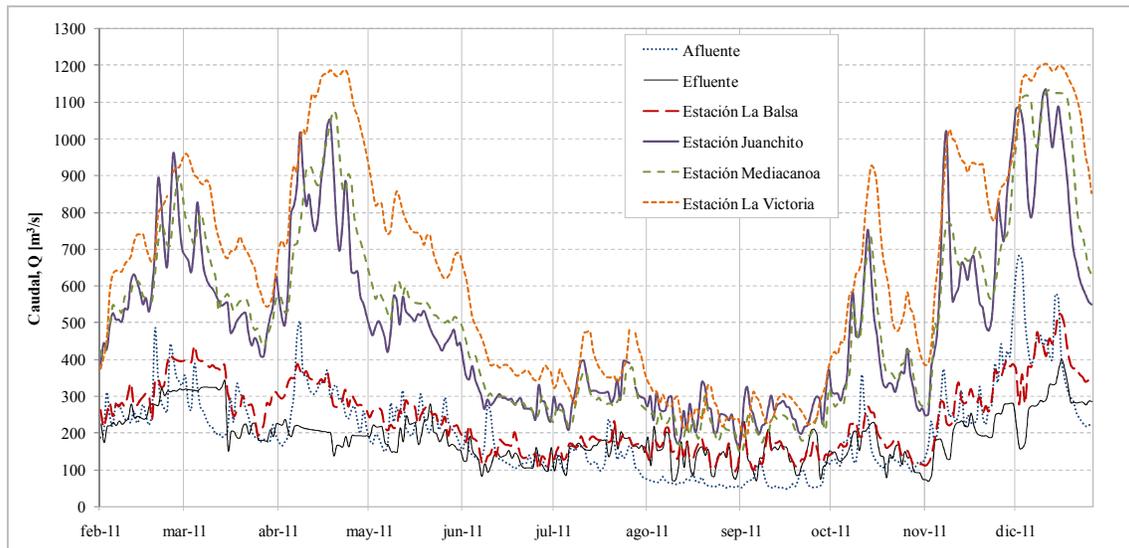
El evento de inundación que se presentó en el año 2011 se encuentra conectado por el fenómeno de La Niña con el evento del año 2010, con el agravante de que los suelos de las cuencas tributarias se encontraban saturados (con altas humedades antecedentes) y la llegada de un nuevo periodo de lluvias en estas condiciones favoreció que, aun con menores precipitaciones, se generarán caudales mayores y, por ende, inundaciones. El registro de la inundación fue aproximadamente de 39.316 ha, distribuidas a lo largo de todo el valle alto del río Cauca se presentó una gran inundación en el sector comprendido entre el río Guachal y el río Cauca a la altura del zanjón Tortugas, y en dirección hacia aguas abajo sobre la margen derecha del río Guachal hasta la altura del zanjón Rozo, incluyendo la Zona Franca del Pacífico. También se presentaron fuertes inundaciones desde el río Sonso, pasando por la Laguna de Sonso y conectándose con la laguna El Conchal y el zanjón Burrigá. Al norte del departamento se inundaron las zonas rurales cercanas al río Cauca de los municipios de Tuluá, Andalucía, Bugalagrande y La Paila. Al igual que en la del año 2010, se inundó el municipio de La Victoria y su zona rural. Con base en las visitas de campo y en las entrevistas realizadas, en la zona del distrito de adecuación de tierras ASONORTE se afectaron varios corregimientos (Juan Díaz y Puerto Molina) en un área de más de 10.000 ha.

En el año 2011 se presentaron dos eventos de inundación, uno en cada periodo lluvioso del año (primer y segundo semestre). El primer evento inició a finales del mes de febrero y terminó a finales del mes de abril, los niveles del río Cauca se mantuvieron 20 días por encima de la banca llena y tuvo una configuración de dos picos de creciente separados alrededor de un mes. En el mes de abril se presentó el pico de la creciente, alcanzando en Juanchito un caudal máximo de  $1.051 \text{ m}^3/\text{s}$ , el máximo histórico registrado después de la entrada en operación de Salvajina y sólo ligeramente superado por las crecientes de los años 1966 ( $1.056 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y 1971 ( $1.067 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

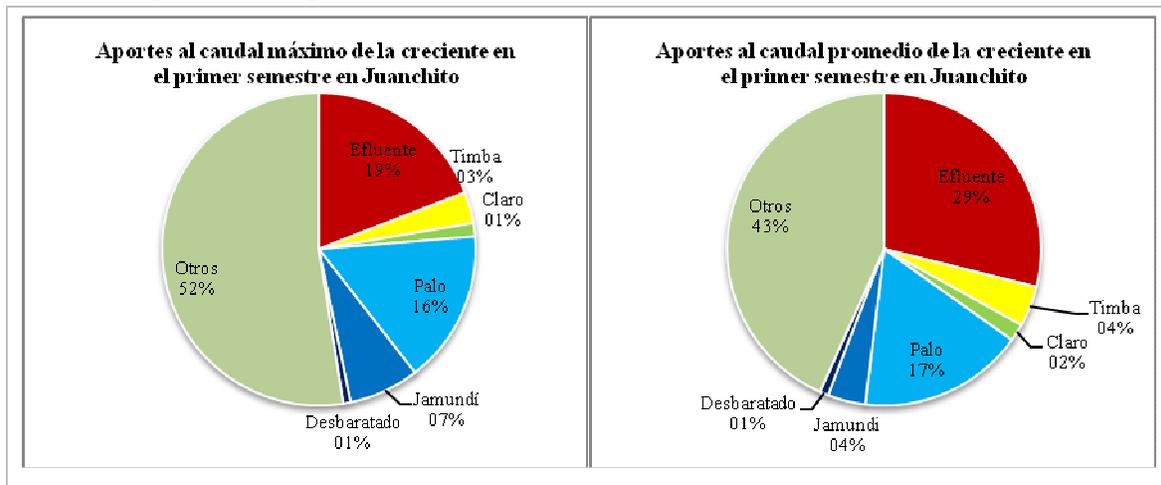
En el segundo semestre del año 2011 se presentó el segundo evento de inundación que superó los registros de su inmediatamente antecesor en la estación Juanchito. Las lluvias iniciaron en el mes de octubre, llegando a desarrollar tres picos de creciente, siendo el mes

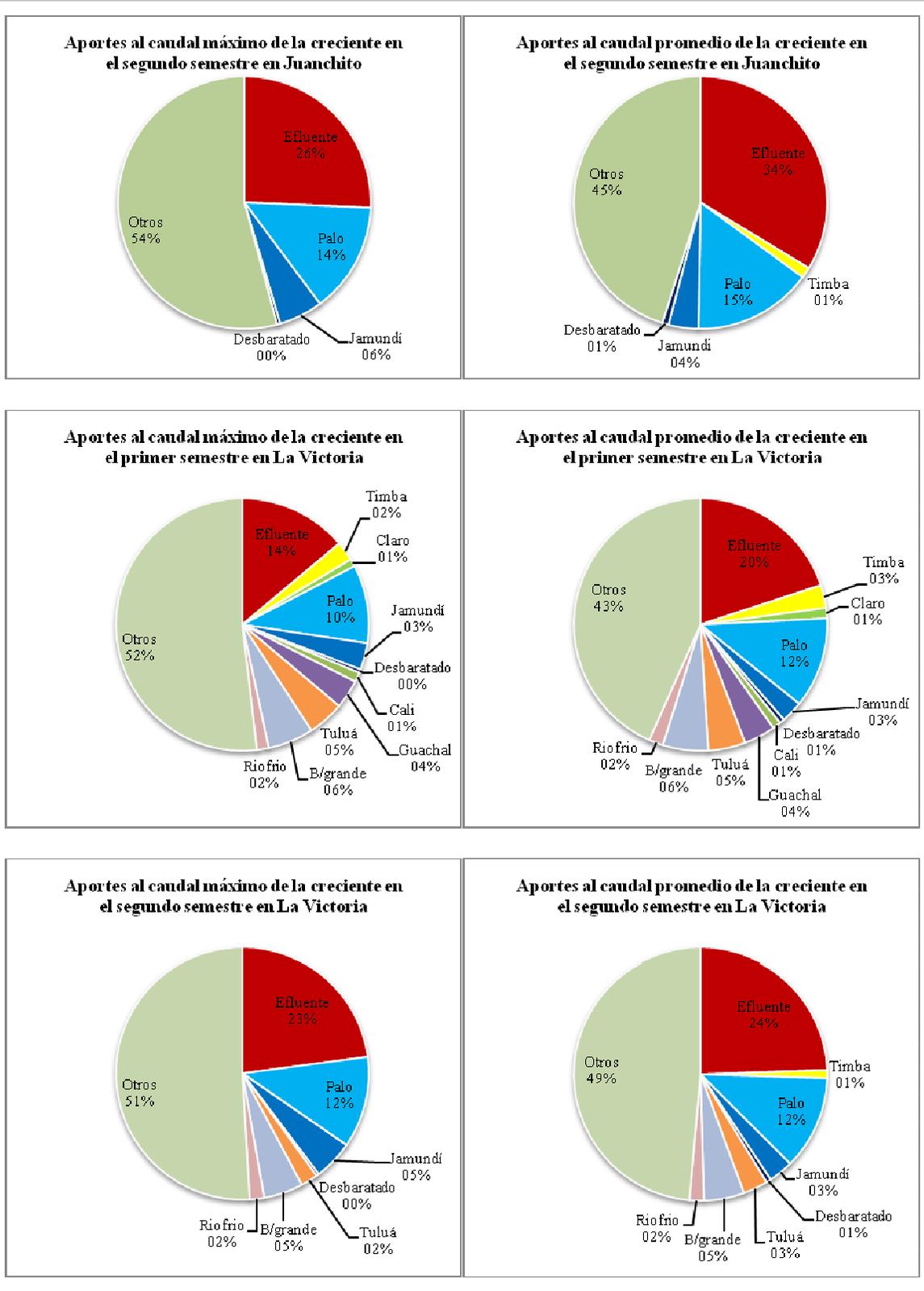
de diciembre el más crítico de todos, alcanzando un registro de 1.122 m<sup>3</sup>/s en la estación Juanchito, el máximo registrado hasta la fecha. En la Figura 2.25 se puede apreciar que los tributarios entre las estaciones La Balsa y Juanchito fueron los grandes aportantes al pico de la creciente, en ambos eventos de creciente del año 2011, teniendo en cuenta la gran separación entre las hidrógrafas de estas dos estaciones hidrométricas.

**Figura 2.25 Hidrógrafas de la creciente del río Cauca del año 2011**



**Figura 2.26 Aportes de los ríos tributarios a la creciente del año 2011**





### 2.1.16 Compendio de los caudales aportados por los ríos tributarios a las crecientes

A partir del procedimiento establecido anteriormente para estimar los aportes porcentuales al pico y al promedio de las crecientes históricas hasta la estación de Juanchito, se elaboraron los Cuadros Cuadro 2.6 a Cuadro 2.9 para el periodo de análisis. Igualmente, hasta la estación La Victoria, se elaboraron los Cuadros Cuadro 2.10 a Cuadro 2.13 para el periodo 1971 – 2011, en el cual existe una mayor densidad en los registros de caudales.

**Cuadro 2.6 Aportes de los diferentes afluentes al máximo de las crecientes históricas en la estación Juanchito**

Año	Efluente río Cauca	Río Ovejas	Río Timba	Río Claro	Río Quinamayó	Río Palo	Río Jamundí	Río Desbaratado	Otros aportes
1971	480,0	0,0	22,5	14,0	8,1	153,9	0,0	0,0	292,5
1974	403,0	0,0	29,3	8,2	12,4	167,0	0,0	6,1	364,0
1975	380,0	0,0	54,5	15,3	14,3	143,8	0,0	9,6	322,5
1982	437,0	64,4	55,6	23,2	10,0	72,5	47,5	6,7	104,1
1984	404,0	75,7	50,4	16,9	15,0	252,9	80,0	20,3	102,8
1988	279,0	87,8	72,0	17,8	32,1	132,9	35,4	27,6	168,8
1997	346,0	95,0	32,1	13,3	9,5	103,3	29,9	6,2	376,4
1999	311,0	27,5	70,4	18,4	2,3	180,7	53,6	13,1	289,5
2008	206,0	0,0	30,8	24,0	0,0	182,0	78,0	11,8	476,9
2010	292,0	0,0	41,2	12,7	0,0	67,0	15,7	2,6	287,1
2011	201,0	0,0	34,0	14,4	0,0	166,0	76,2	8,1	552,0
2011(2)	288,0	0,0	0,0	0,0	0,0	158,8	63,1	4,6	607,8
<b>Promedio</b>	<b>335,6</b>	<b>29,2</b>	<b>41,1</b>	<b>14,9</b>	<b>8,6</b>	<b>148,4</b>	<b>39,9</b>	<b>9,7</b>	<b>328,7</b>

**Cuadro 2.7 Aportes de los diferentes afluentes al promedio de la crecientes históricas en la estación Juanchito**

Año	Efluente río Cauca	Río Ovejas	Río Timba	Río Claro	Río Quinamayó	Río Palo	Río Jamundí	Río Desbaratado	Otros aportes
1971	262,8	0,0	21,6	13,8	7,5	95,3	0,0	0,0	292,8
1974	269,5	0,0	24,3	7,4	9,8	113,4	0,0	7,2	253,2
1975	352,9	0,0	40,8	13,5	13,7	94,1	0,0	6,4	206,0
1982	297,7	58,7	49,7	15,9	10,7	67,5	30,3	5,4	113,8
1984	298,1	54,7	31,5	12,1	10,4	104,6	32,2	7,6	79,0
1988	255,3	65,5	47,9	14,3	20,9	102,1	32,2	15,4	174,2
1997	322,3	69,6	24,2	12,8	7,5	80,2	22,9	5,3	151,4
1999	258,4	34,0	46,2	13,7	3,8	109,3	28,5	7,0	186,7
2008	280,0	0,0	27,0	14,1	0,0	107,7	32,8	3,6	278,1
2010	333,5		42,3	9,9		50,3	21,4	2,5	216,7
2011	204,3		29,6	12,8		120,6	27,6	6,3	315,5
2011(2)	263,9		10,5	0,0		119,0	29,9	6,2	365,3
<b>Promedio</b>	<b>283,2</b>	<b>31,4</b>	<b>33,0</b>	<b>11,7</b>	<b>9,4</b>	<b>97,0</b>	<b>21,5</b>	<b>6,1</b>	<b>219,4</b>

**Cuadro 2.8 Aporte porcentual de los diferentes afluentes al máximo de las crecientes históricas en la estación Juanchito**

Año	Efluente río Cauca	Río Ovejas	Río Timba	Río Claro	Río Quinamayó	Río Palo	Río Jamundí	Río Desbaratado	Otros aportes
1971	49,4%		2,3%	1,4%	0,8%	15,8%			30,12%
1974	40,7%		3,0%	0,8%	1,3%	16,9%		0,6%	36,77%
1975	40,4%		5,8%	1,6%	1,5%	15,3%		1,0%	34,30%
1982	53,2%	7,8%	6,8%	2,8%	1,2%	8,8%	5,8%	0,8%	12,68%
1984	39,7%	7,4%	5,0%	1,7%	1,5%	24,8%	7,9%	2,0%	10,10%
1988	30,0%	9,5%	7,7%	1,9%	3,5%	14,3%	3,8%	3,0%	18,17%
1997	36,2%	9,9%	3,4%	1,4%	1,0%	10,8%	3,1%	0,6%	39,41%
1999	32,2%	2,8%	7,3%	1,9%	0,2%	18,7%	5,5%	1,4%	29,96%
2008	20,4%		3,1%	2,4%		18,0%	7,7%	1,2%	47,24%
2010	40,7%		5,7%	1,8%		9,3%	2,2%	0,4%	39,96%
2011	19,1%		3,2%	1,4%		15,8%	7,2%	0,8%	52,48%
2011(2)	25,7%					14,2%	5,6%	0,4%	54,15%
<b>Promedio</b>	<b>35,6%</b>	<b>7,5%</b>	<b>4,8%</b>	<b>1,7%</b>	<b>1,4%</b>	<b>15,2%</b>	<b>5,4%</b>	<b>1,1%</b>	<b>33,8%</b>

**Cuadro 2.9 Aportes porcentual de los diferentes afluentes al promedio de la crecientes históricas en la estación Juanchito**

Año	Efluente río Cauca	Río Ovejas	Río Timba	Río Claro	Río Quinamayó	Río Palo	Río Jamundí	Río Desbaratado	Otros aportes
1971	37,8%		3,1%	2,0%	1,1%	13,7%			42,3%
1974	39,6%		3,6%	1,1%	1,4%	16,7%		1,1%	36,5%
1975	48,3%		5,6%	1,9%	1,9%	12,9%		0,9%	28,6%
1982	46,2%	9,1%	7,7%	2,5%	1,7%	10,5%	4,7%	0,8%	16,8%
1984	47,6%	8,7%	5,0%	1,9%	1,7%	16,7%	5,2%	1,2%	11,9%
1988	35,1%	9,0%	6,6%	2,0%	2,9%	14,0%	4,4%	2,1%	23,6%
1997	46,6%	10,1%	3,5%	1,8%	1,1%	11,6%	3,3%	0,8%	21,1%
1999	37,7%	5,0%	6,7%	2,0%	0,6%	15,9%	4,2%	1,0%	26,9%
2008	37,9%		3,7%	1,9%		14,6%	4,4%	0,5%	36,9%
2010	52,1%		6,6%	1,5%		7,9%	3,3%	0,4%	28,1%
2011	28,9%		4,2%	1,8%		17,1%	3,9%	0,9%	43,3%
2011(2)	33,7%		1,4%			15,2%	3,8%	0,8%	45,1%
<b>Promedio</b>	<b>41,0%</b>	<b>8,4%</b>	<b>4,8%</b>	<b>1,9%</b>	<b>1,5%</b>	<b>13,9%</b>	<b>4,1%</b>	<b>1,0%</b>	<b>30,1%</b>

**Cuadro 2.10 Aportes de los diferentes afluentes al máximo de las crecientes históricas en la estación La Victoria**

Año	Efluente río Cauca	Río Ovejas	Río Timba	Río Claro	Río Quinamayó	Río Palo	Río Jamundí	Río Desbaratado	Río Cali	Río Guachal	Río Amaime	Río Tuluá	Río B/grande	Río Riofrio	Otros aportes
1971	420,0	0,0	29,2	18,4	9,9	197,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	430,3
1974	267,0	0,0	22,5	8,5	9,5	197,9	0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	46,0	0,0	0,0	662,1
1975	416,0	0,0	42,3	17,3	14,6	128,2	0,0	7,5	0,0	0,0	0,0	41,1	0,0	0,0	650,0
1982	284,0	58,7	43,6	13,7	9,5	62,1	24,1	4,8	13,1	34,1	0,0	31,7	17,2	0,0	371,4
1984	253,0	53,6	33,8	12,5	11,1	135,7	43,6	4,4	15,8	59,5	0,0	85,4	40,8	0,0	464,8
1988	353,0	80,2	50,7	12,9	23,2	121,4	26,8	16,1	7,7	70,6	0,0	46,5	55,1	0,0	284,1
1997	292,0	68,7	23,2	11,4	7,0	71,4	22,0	4,9	6,7	37,4	17,0	6,8	36,9	12,9	373,6
1999	293,0	30,2	61,8	19,4	5,7	331,8	55,9	11,3	14,7	50,9	27,4	129,9	51,3	17,3	65,4
2008	290,0	0,0	26,0	19,1	0,0	146,0	46,7	5,8	8,1	46,2	0,0	33,6	58,5	39,5	335,2
2010	342,0	0,0	39,8	16,5	0,0	76,0	17,7	4,0	6,0	47,2	0,0	24,8	28,5	19,8	435,7
2011	165,0	0,0	29,4	11,6	0,0	119,0	40,8	5,4	14,5	43,9	0,0	55,4	69,5	17,9	615,8
2011(2)	276,0	0,0	0,0	0,0	0,0	141,0	61,3	4,1	0,0		0,0	26,1	60,5	22,2	
<b>Promedio</b>	<b>304,3</b>	<b>24,3</b>	<b>33,5</b>	<b>13,4</b>	<b>7,5</b>	<b>144,0</b>	<b>28,2</b>	<b>6,1</b>	<b>7,2</b>	<b>35,4</b>	<b>3,7</b>	<b>43,9</b>	<b>34,9</b>	<b>10,8</b>	<b>426,2</b>

**Cuadro 2.11 Aportes de los diferentes afluentes al promedio de las crecientes históricas en la estación La Victoria**

Año	Efluente río Cauca	Río Ovejas	Río Timba	Río Claro	Río Quinamayó	Río Palo	Río Jamundí	Río Desbaratado	Río Cali	Río Guachal	Río Amaime	Río Tuluá	Río B/grande	Río Riofrio	Otros aportes
1971	257,7	0,0	21,5	14,2	7,8	98,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	628,4
1974	288,4	0,0	23,7	7,6	12,5	123,4	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	50,2	0,0	0,0	569,9
1975	356,7	0,0	41,2	14,2	14,1	97,8	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	37,8	0,0	0,0	542,6
1982	293,5	56,5	50,7	19,3	12,0	67,0	38,1	5,4	10,6	38,0	0,0	39,9	26,8	0,0	260,6
1984	296,0	53,6	32,1	13,1	12,2	106,8	35,6	7,2	7,6	47,3	0,0	48,4	38,2	0,0	273,6
1988	244,2	64,7	50,6	14,6	21,4	103,2	34,2	15,3	8,2	57,0	0,0	38,9	41,0	0,0	301,0
1997	309,5	82,6	23,6	12,4	8,7	97,0	23,9	6,7	7,5	35,4	18,6	10,6	34,7	10,2	245,7
1999	253,8	31,5	48,1	13,7	3,6	115,7	29,9	7,4	8,4	41,6	26,0	61,5	49,3	14,4	280,4
2008	263,8	0,0	27,5	17,2	0,0	117,7	38,6	4,1	6,5	31,0	0,0	31,5	51,0	39,0	367,5
2010	286,5		28,7	10,3	0,0	52,3	22,6	2,7	6,1	25,1		31,2	29,1	21,8	368,3
2011	200,8		29,5	13,4	0,0	116,5	28,0	6,3	10,8	40,3		47,8	58,3	18,4	436,4
2011(2)	248,5		10,7	0,0	0,0	122,0	32,1	6,3	0,0			32,0	52,3	18,7	
<b>Promedio</b>	<b>274,9</b>	<b>32,1</b>	<b>32,3</b>	<b>12,5</b>	<b>7,7</b>	<b>101,4</b>	<b>23,6</b>	<b>6,2</b>	<b>5,5</b>	<b>28,7</b>	<b>5,0</b>	<b>35,8</b>	<b>31,7</b>	<b>10,2</b>	<b>388,6</b>

**Cuadro 2.12 Aporte porcentual de los diferentes afluentes al máximo de las crecientes históricas en la estación La Victoria**

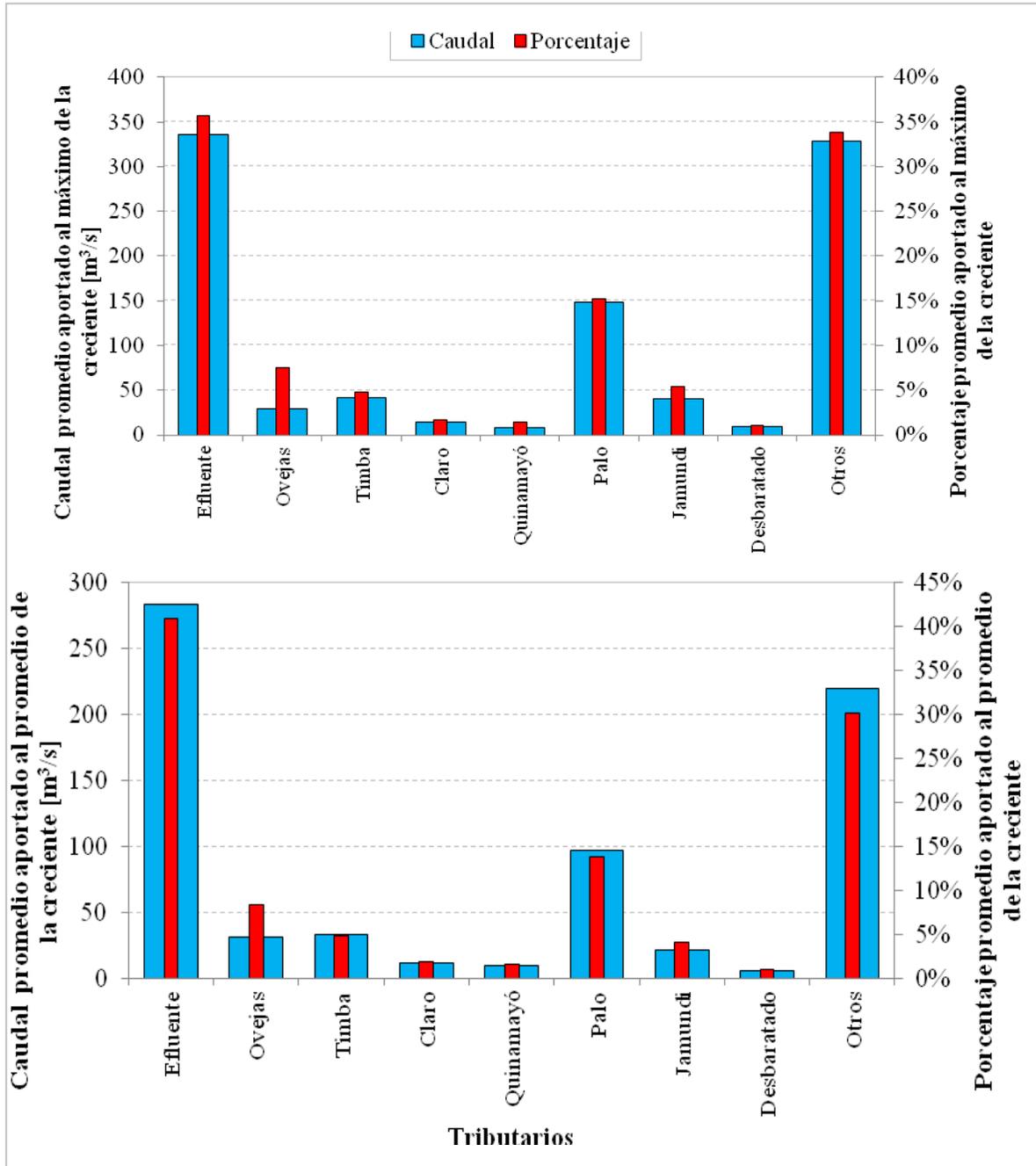
Año	Efluente río Cauca	Río Ovejas	Río Timba	Río Claro	Río Quinamayó	Río Palo	Río Jamundí	Río Desbaratado	Río Cali	Río Guachal	Río Amaime	Río Tuluá	Río B/grande	Río Riofrio	Otros aportes
1971	29,6%		2,2%	0,9%	1,1%	8,6%									57,6%
1974	21,9%		1,8%	0,7%	0,8%	16,2%		0,5%				3,8%			54,3%
1975	31,6%		3,2%	1,3%	1,1%	9,7%		0,6%				3,1%			49,4%
1982	29,3%	6,1%	4,5%	1,4%	1,0%	6,4%	2,5%	0,5%	1,4%	3,5%		3,3%	1,8%		38,4%
1984	20,8%	4,4%	2,8%	1,0%	0,9%	11,2%	3,6%	0,4%	1,3%	4,9%		7,0%	3,4%		38,3%
1988	30,7%	7,0%	4,4%	1,1%	2,0%	10,6%	2,3%	1,4%	0,7%	6,1%		4,0%	4,8%		24,7%
1997	29,4%	6,9%	2,3%	1,1%	0,7%	7,2%	2,2%	0,5%	0,7%	3,8%	1,7%	0,7%	3,7%	1,3%	37,7%
1999	25,1%	2,6%	5,3%	1,7%	0,5%	28,5%	4,8%	1,0%	1,3%	4,4%	2,3%	11,1%	4,4%	1,5%	5,6%
2008	27,5%		2,5%	1,8%		13,8%	4,4%	0,5%	0,8%	4,4%		3,2%	5,5%	3,7%	31,8%
2010	32,3%		3,8%	1,6%		7,2%	1,7%	0,4%	0,6%	4,5%		2,3%	2,7%	1,9%	41,2%
2011	13,9%		2,5%	1,0%		10,0%	3,4%	0,5%	1,2%	3,7%		4,7%	5,8%	1,5%	51,8%
2011(2)	22,9%					11,7%	5,1%	0,3%				2,2%	5,0%	1,8%	50,9%
<b>Promedio</b>	<b>26,3%</b>	<b>5,4%</b>	<b>3,2%</b>	<b>1,2%</b>	<b>1,0%</b>	<b>11,8%</b>	<b>3,3%</b>	<b>0,6%</b>	<b>1,0%</b>	<b>4,4%</b>	<b>2,0%</b>	<b>4,1%</b>	<b>4,1%</b>	<b>2,0%</b>	<b>40,1%</b>

**Cuadro 2.13 Aportes porcentual de los diferentes afluentes al promedio de la crecientes históricas en la estación Juanchito**

Año	Efluente río Cauca	Río Ovejas	Río Timba	Río Claro	Río Quinamayó	Río Palo	Río Jamundí	Río Desbaratado	Río Cali	Río Guachal	Río Amaime	Río Tuluá	Río B/grande	Río Riofrio	Otros aportes
1971	25,0%		2,1%	1,4%	0,8%	9,5%									61,3%
1974	26,8%		2,2%	0,7%	1,2%	11,5%		0,6%				4,7%			52,3%
1975	32,1%		3,7%	1,3%	1,3%	8,8%		0,6%				3,4%			48,8%
1982	32,0%	6,2%	5,5%	2,1%	1,3%	7,3%	4,2%	0,6%	1,2%	4,1%		4,4%	2,9%		28,3%
1984	30,3%	5,5%	3,3%	1,3%	1,3%	10,9%	3,6%	0,7%	0,8%	4,8%		4,9%	3,9%		28,6%
1988	24,5%	6,5%	5,1%	1,5%	2,2%	10,4%	3,4%	1,5%	0,8%	5,7%		3,9%	4,1%		30,4%
1997	33,4%	8,9%	2,5%	1,3%	0,9%	10,5%	2,6%	0,7%	0,8%	3,8%	2,0%	1,1%	3,7%	1,1%	26,5%
1999	25,7%	3,2%	4,9%	1,4%	0,4%	11,7%	3,0%	0,8%	0,9%	4,2%	2,6%	6,2%	5,0%	1,5%	28,6%
2008	26,5%		2,8%	1,7%		11,8%	3,9%	0,4%	0,7%	3,1%		3,2%	5,1%	3,9%	37,0%
2010	32,5%		3,3%	1,2%		5,9%	2,6%	0,3%	0,7%	2,8%		3,5%	3,3%	2,5%	41,4%
2011	20,0%		2,9%	1,3%		11,6%	2,8%	0,6%	1,1%	4,0%		4,8%	5,8%	1,8%	43,4%
2011(2)	24,5%		1,1%			12,0%	3,2%	0,6%				3,1%	5,1%	1,8%	48,6%
<b>Promedio</b>	<b>27,8%</b>	<b>6,0%</b>	<b>3,3%</b>	<b>1,4%</b>	<b>1,2%</b>	<b>10,2%</b>	<b>3,2%</b>	<b>0,7%</b>	<b>0,9%</b>	<b>4,1%</b>	<b>2,3%</b>	<b>3,9%</b>	<b>4,3%</b>	<b>2,1%</b>	<b>39,6%</b>

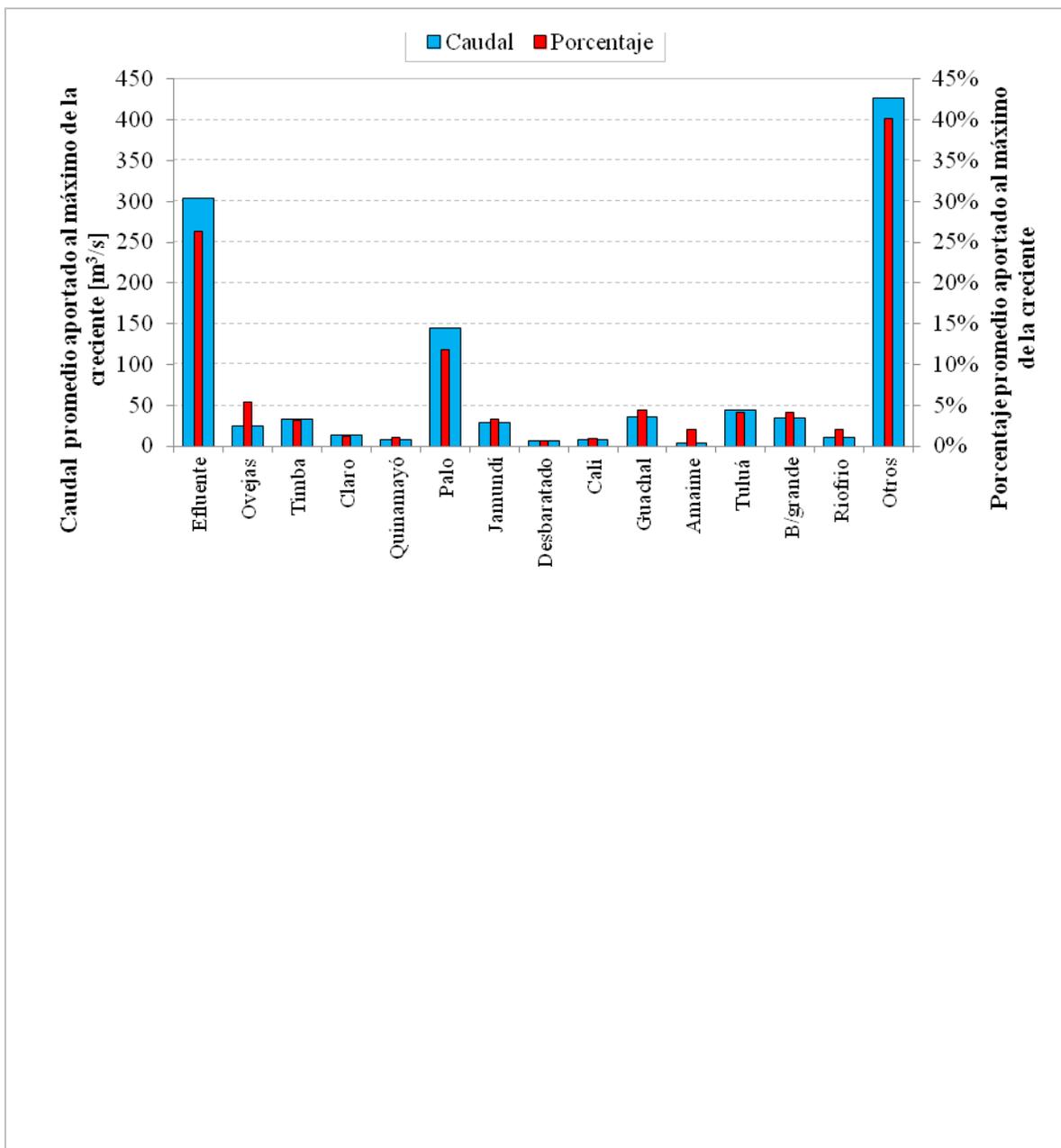
A modo de compendio del desglose de aportes de los tributarios mostrados en los Cuadro 2.6 a Cuadro 2.13, se muestra la información de los aportes promedio de los tributarios a los caudales máximos y al promedio de las crecientes históricas en el periodo 1971 - 2011 en las estaciones de Juanchito y La Victoria (ver Figura 2.27 y Figura 2.28).

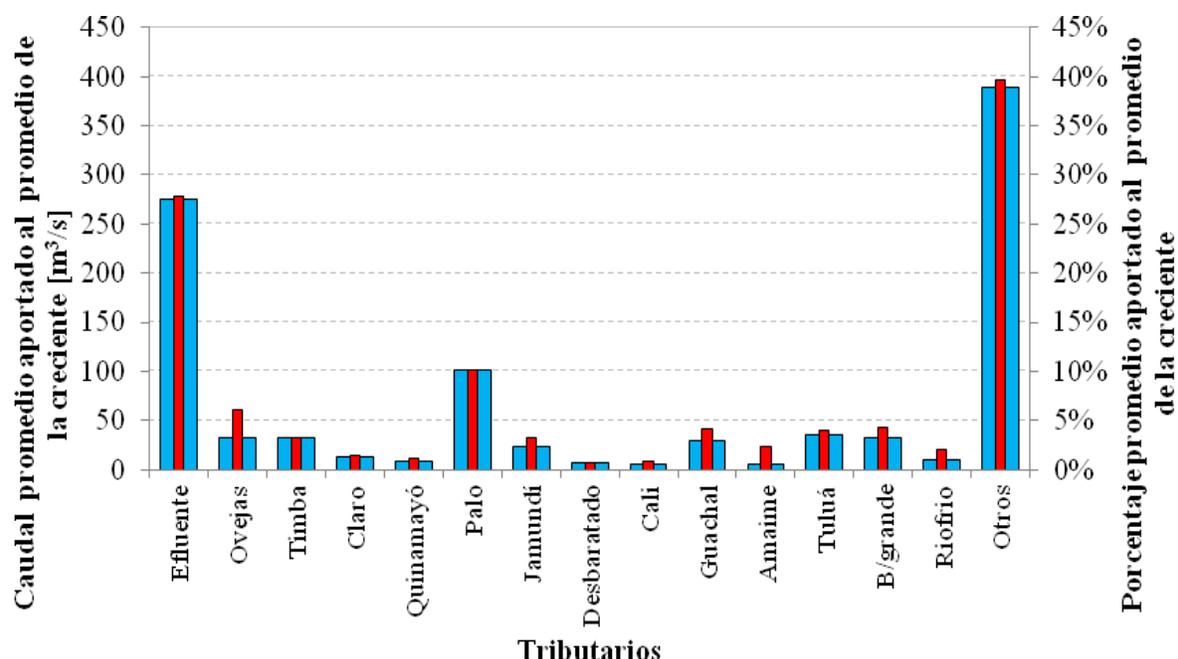
**Figura 2.27 Aportes promedio de caudal de los tributarios y Efluente (río Cauca) al máximo y al promedio de las crecientes históricas en la estación Juanchito**



De la Figura 2.27 se puede observar que los mayores aportes promedio de los tributarios al máximo y al promedio de las crecientes provienen del Efluente seguido de otras fuentes (ej. escorrentía, lluvia directa, acuíferos, etc.) y luego de los aportes de los ríos Palo, Timba, Jamundi y Ovejas. Es notorio que, los promedios porcentuales de los aportes del río Ovejas no reflejan la verdadera magnitud de los aportes en caudal, a causa del gran número de datos faltantes en su estación hidrométrica. Igualmente, los aportes generados por otras fuentes son sensibles a las distorsiones ocasionadas por los datos faltantes de todas las estaciones hidrométricas consideradas en el análisis.

**Figura 2.28 Aportes promedio de caudal de los tributarios y Efluente (río Cauca) al máximo y al promedio de las crecientes históricas en la estación La Victoria**





En la Figura 2.50 se puede observar que se conserva el patrón de aportes de caudal exhibido por el conjunto de datos en la estación Juanchito. Adicional a los anteriores aportes (aguas arriba de la estación Juanchito), se suman aportes considerables (en orden descendente), asociados a los ríos aguas abajo de la estación Juanchito: Tuluá, Guachal, y Bugalagrande.

### 2.1.17 Mapa de frecuencia de inundaciones históricas

Con base en los mapas de inundación de las crecientes históricas del río Cauca levantados por la CVC, se elaboró el mapa de frecuencia de inundaciones (ver Figura 2.29). En este mapa se puede apreciar que la mayor frecuencia de inundaciones se concentra en el centro del Valle del Cauca, en el sector comprendido aproximadamente entre el río Amaime y el río Bugalagrande, sobre ambas márgenes del río Cauca. La zona norte del departamento, desde el río Bugalagrande hasta el municipio de Cartago, muestra una menor frecuencia de inundaciones, lo cual se debe, en buena medida, a las inundaciones ocurridas aguas arriba en la zona central del departamento, las cuales permiten laminar la creciete, reteniendo grandes volúmenes de agua. En la zona sur del valle alto del río Cauca, desde el río Timba hasta el río Amaime, también se observa una menor frecuencia de inundaciones, debido principalmente a la acción reguladora del embalse de Salvajina.

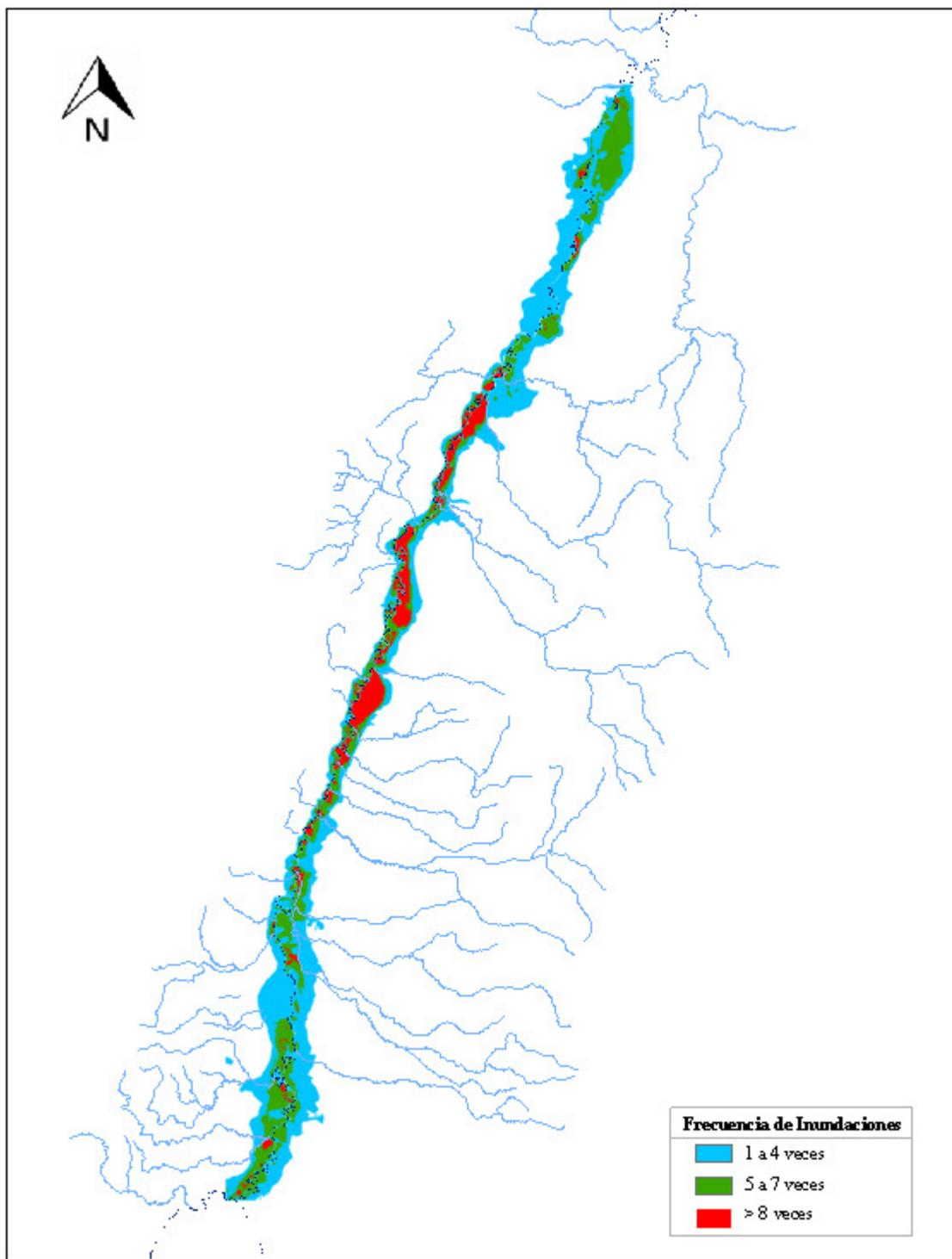
Adicional a estos fenómenos de orden regional en el valle alto del río Cauca, también se pueden apreciar que en los sectores de los anillos de Aguablanca en Cali (margen izquierda), Ingenio Riopaila en La Paila (margen derecha) y Distrito de Riego RUT en Roldanillo, La Unión y Toro (margen izquierda), las frecuencias de las inundaciones son muy bajas o malas, demostrando con ello que han funcionado adecuadamente.

El análisis de frecuencia de inundaciones historias en el valle alto del río Cauca, además, se realizó para los periodos Pre-Salvajina y Post-Salvajina (ver Figura 2.30). Al comparar los mapas de frecuencia de inundaciones para estos dos periodos, se puede apreciar de manera

notable el efecto regulador del embalse sobre los caudales del río Cauca en la zona sur del corredor del río Cauca; en este sector, comprendido entre los ríos Timba y Guachal, se reducen drásticamente, tanto la magnitud como la frecuencia de las inundaciones.

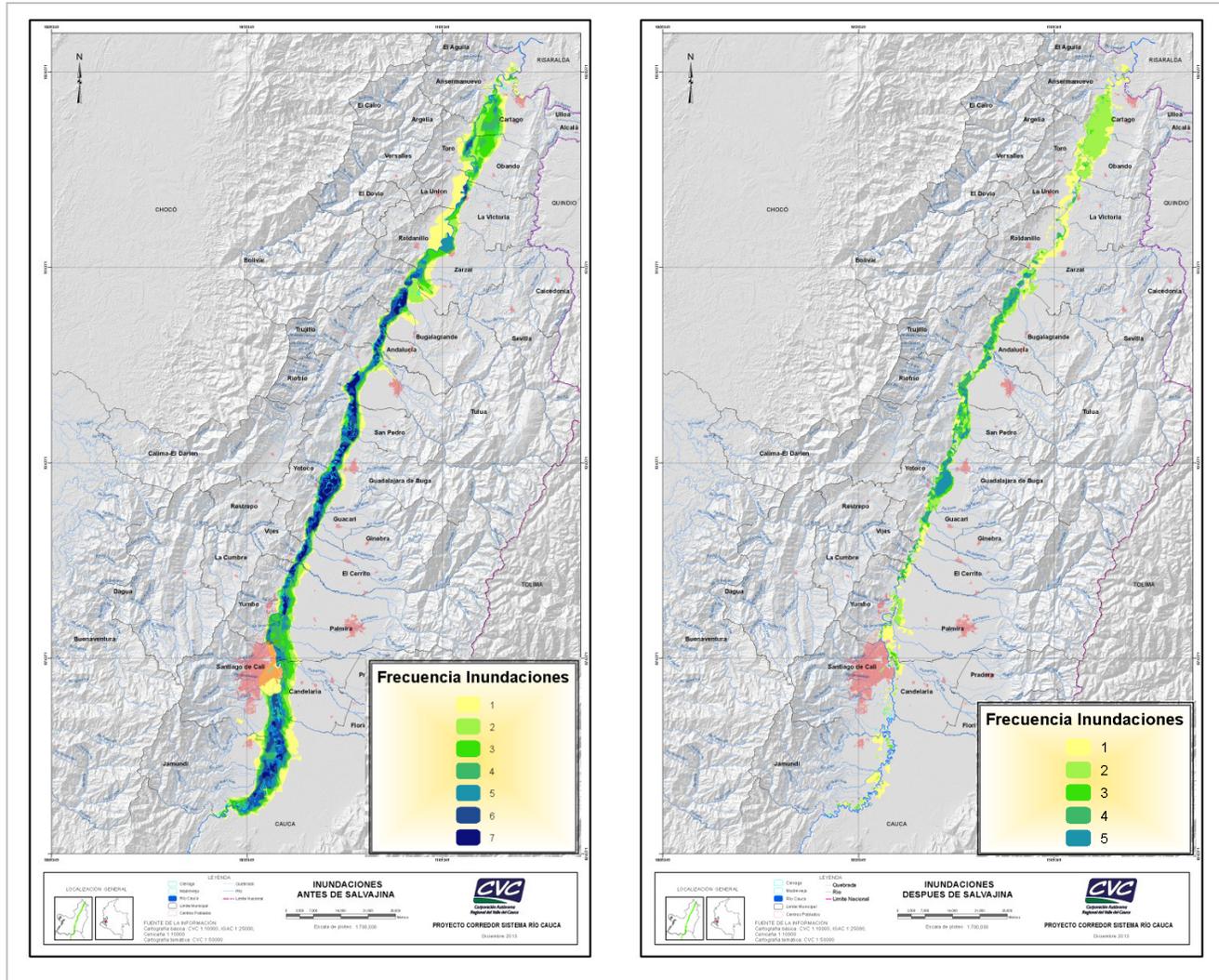
El análisis comparativo de los mapas de frecuencia de inundaciones de los periodos Pre-Salvajina y Post-Salvajina también permite destacar la reducción en el ancho de la franja de inundación en las zonas centro y norte del departamento del Valle del Cauca, lo cual se debe, en buena medida, al aumento y la optimización de los sistemas de protección.

**Figura 2.29** Mapa de frecuencia de las inundaciones en el valle alto del río Cauca en el período 1966 – 2011





**Figura 2.30 Mapas de frecuencia de inundaciones en el valle alto del río Cauca en los Periodo Pre - Salvajina y Post – Salvajina**  
**Periodo Pre – Salvajina (1966-1984)** **Periodo Post – Salvajina (1985 -2011)**



### **2.1.18 Análisis global de las inundaciones**

Los rasgos más relevantes de las inundaciones históricas registradas por la CVC se resumen en la gráfica de matriz de crecientes, (Figura 2.31) en la cual se pueden identificar los eventos cronológicamente, antes y después de la puesta en operación de Salvajina, el área de afectación (representada por el tamaño de las burbujas), el caudal de la creciente en la estación Juanchito (adoptada aquí como estación de referencia) y, por último, la presencia del fenómeno de La Niña como un potencializador de las inundaciones por su efecto en las precipitaciones en el área de influencia.

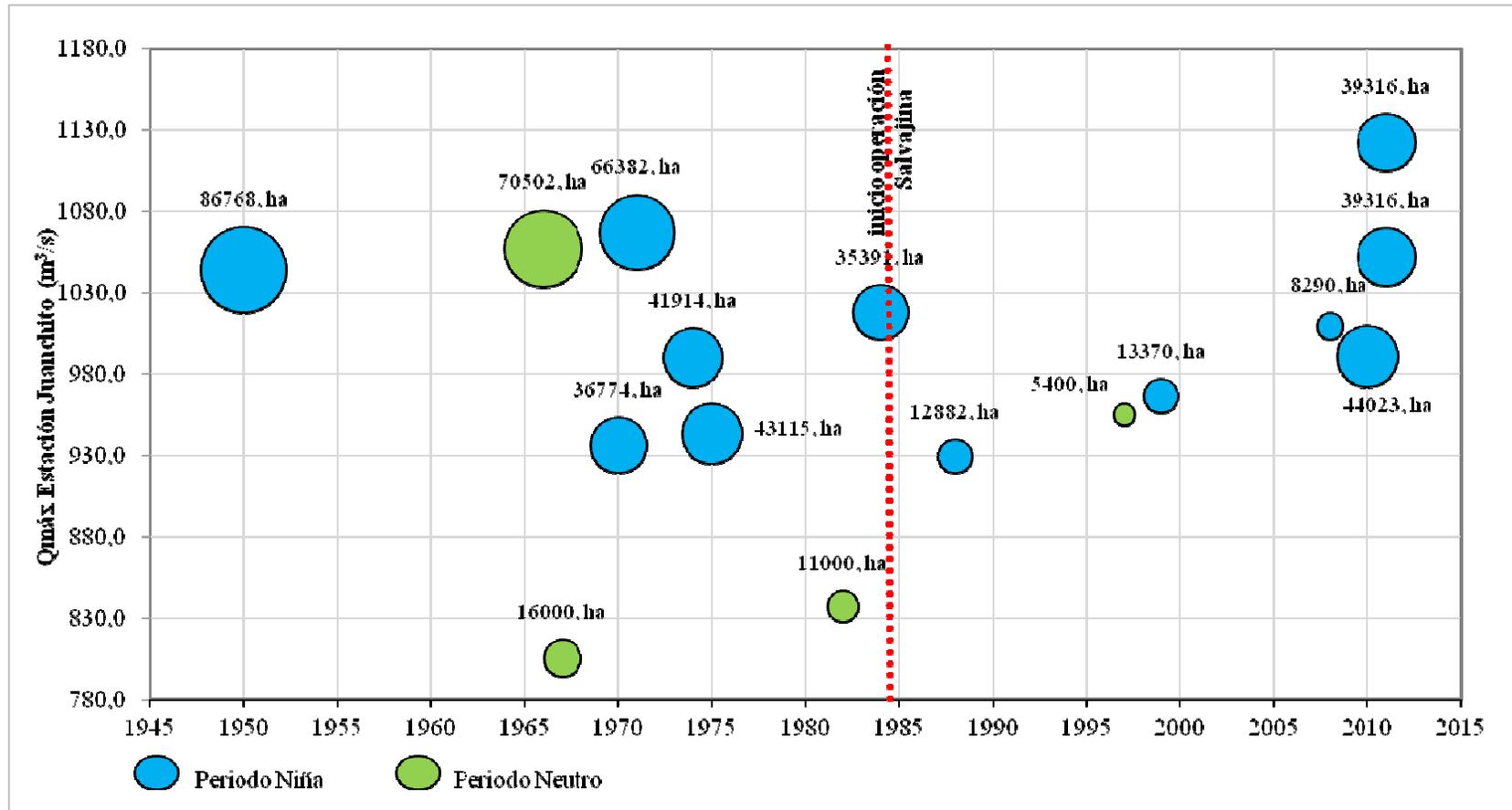
En la matriz de crecientes, (Figura 2.31) se puede apreciar la influencia del embalse de Salvajina en la disminución de las inundaciones. Se exceptúa la creciente la ola invernal de 2010 – 2011, la cual tuvo picos de creciente en la estación Juanchito y una afectación en áreas inundadas similares a las ocurridas antes de la construcción de la represa. La mayor cantidad de eventos y de mayor magnitud se concentran en presencia del fenómeno de La Niña, con excepción del evento del año 1966 que ocurrió durante un periodo neutro y generó un área de inundación muy grande (70.502 ha) y el caudal máximo de creciente en la estación Juanchito superó los 1.000 m<sup>3</sup>/s. Los demás registros en periodos neutrales (sin fenómeno de La Niña) fueron menos severos; adicionalmente, después de la entrada en operación de Salvajina sólo se ha registrado un evento de inundación durante un periodo neutral, el cual fue de menor afectación, ocurrido en el año 1997 con sólo 5.400 ha inundadas y un pico de creciente en Juanchito de 955 m<sup>3</sup>/s. Es decir, la gran mayoría de las inundaciones están estrechamente relacionadas con la presencia del fenómeno de La Niña.

De manera similar, en la Figura 2.32 se presenta la relación existente entre las áreas inundadas y los caudales máximos registrados en las estaciones La Bolsa, Juanchito y Anacaro en cada una de las crecientes presentadas en el río Cauca desde el año 1971. Del análisis de estas gráficas puede concluirse lo siguiente: Los caudales máximos registrados en las estaciones referenciadas presentan diferencias relativamente importantes. La mayor diferencia se presenta en la estación Anacaro, donde los caudales máximos pueden fluctuar entre 1018 m<sup>3</sup>/s (creciente del año 1997) y 1438 m<sup>3</sup>/s (creciente del año 2011). En la estación La Bolsa los caudales máximos varían entre 598 m<sup>3</sup>/s (creciente del año 1988) y 782 m<sup>3</sup>/s (creciente del año 2011) mientras que en la estación Juanchito estos caudales varían entre 857 m<sup>3</sup>/s (creciente del año 1999) y 1067 m<sup>3</sup>/s (creciente del año 1971). El aporte de los ríos tributarios que entregan sus aguas al río Cauca en el tramo comprendido entre las estaciones La Bolsa – Anacaro presenta fluctuaciones importantes variando desde aproximadamente 300 m<sup>3</sup>/s (creciente del año 1997) hasta 950 m<sup>3</sup>/s extrayendo la vieja en el año 2011 (crecientes de los años 1974 y 2011). Adicionalmente, el comportamiento de los ríos tributarios varía por tramos ya que en algunas crecientes los tributarios comprendidos entre las estaciones La Bolsa y Juanchito aportan al río Cauca un mayor caudal que el caudal que aportan los ríos localizados entre las estaciones Juanchito y Anacaro, en tanto que en otras crecientes este comportamiento se invierte y en algunas otras los aportes de caudal por cada tramo son relativamente similares.

En la Figura 2.33 se presenta la matriz de caudales máximos y volúmenes de agua (por encima del nivel a banca llena) transitados en las estaciones La Balsa, Juanchito y La Victoria durante las crecientes históricas en el valle alto del río Cauca. Se puede apreciar en la Figura que los caudales máximos de las crecientes históricas se mantienen en rangos relativamente estrechos en las estaciones Juanchito y La Victoria; en contraste, en la estación La Balsa, los caudales máximos y en especial los volúmenes de las crecientes después de la entrada en operación de Salvajina se han reducido drásticamente, lo cual demuestra el significativo efecto regulador del embalse en el primer sector del río aguas abajo del mismo. En la Figura 2.33 también se muestra que, en general, los mayores volúmenes de agua transitados durante las crecientes se presentan cuando se tienen los mayores caudales en las estaciones. En la Figura 2.34 se ilustra la variación en el tiempo de la duración y los volúmenes de las crecientes históricas en las estaciones La Balsa, Juanchito y La Victoria.

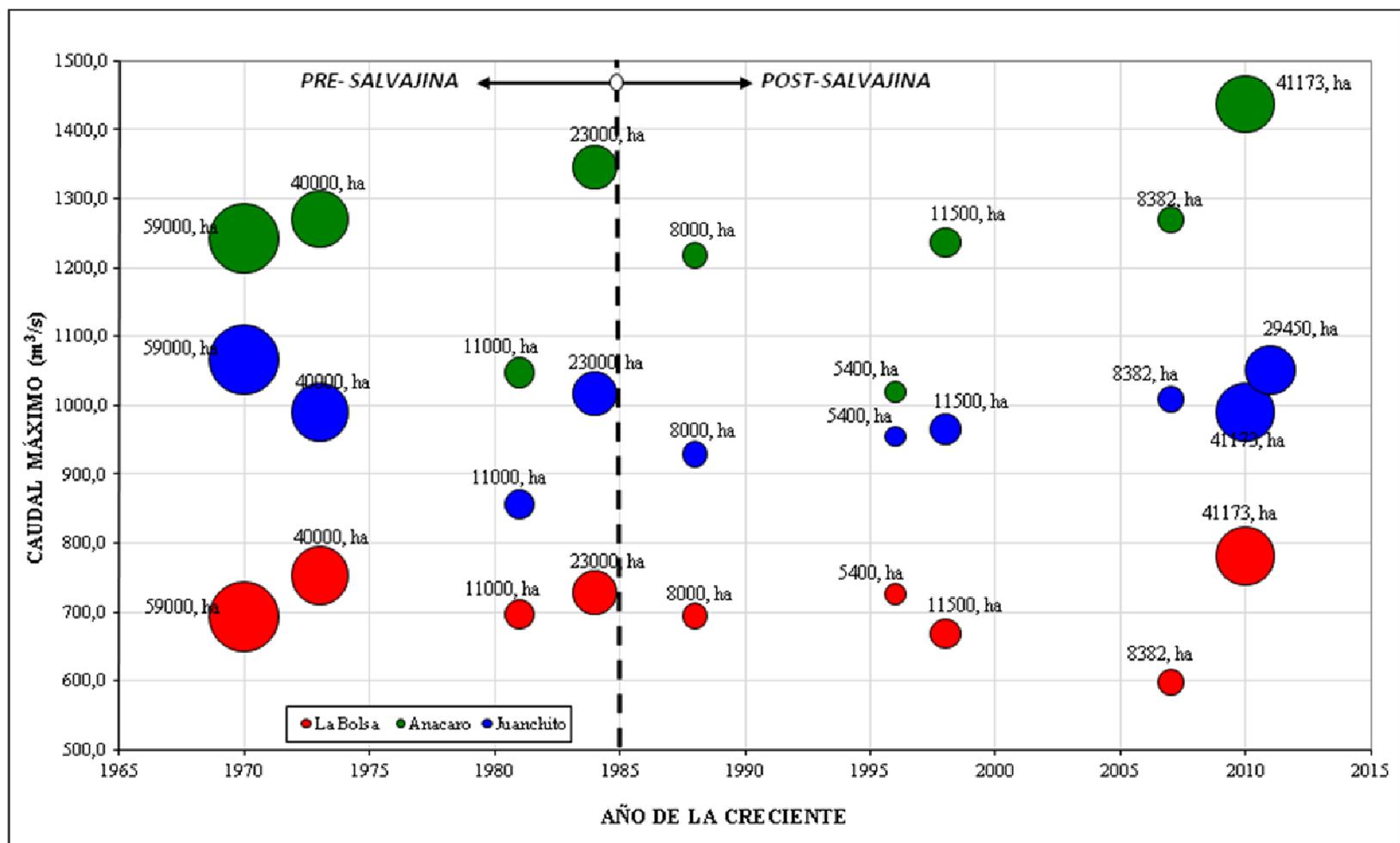
Como era de esperarse, la duración de las crecientes y los volúmenes de aguas transitados en las estaciones tienden a aumentar hacia aguas abajo en el río Cauca debido a los aportes de los tributarios. En cuanto a la duración de la creciete se observa que las inundaciones de los años 2010 y 2011 (2 eventos en este último año) presentan características similares en cuanto a las magnitudes de los caudales, volúmenes transitados y duración de las crecientes, las grandes inundaciones ocurridas antes de la puesta en marcha de la represa de Salvajina entre los años 1965 a 1975. En la Figura 2.35 se presenta la relación existente entre la duración, el caudal máximo y el volumen de la creciete transitado en las estaciones La Balsa, Juanchito y La Victoria. Se puede apreciar en la estación La Victoria la estrecha relación entre las tres variables, por cuanto en la medida en que aumenta la duración de la creciete aumenta el caudal máximo al igual que el volumen de agua transitado por esta estación. Igual comportamiento se observa, aunque menos marcado, en las estaciones La Balsa y Juanchito.

Figura 2.31 Matriz de inundaciones históricas en el valle alto del río Cauca: área total inundada y caudal máximo en Juanchito



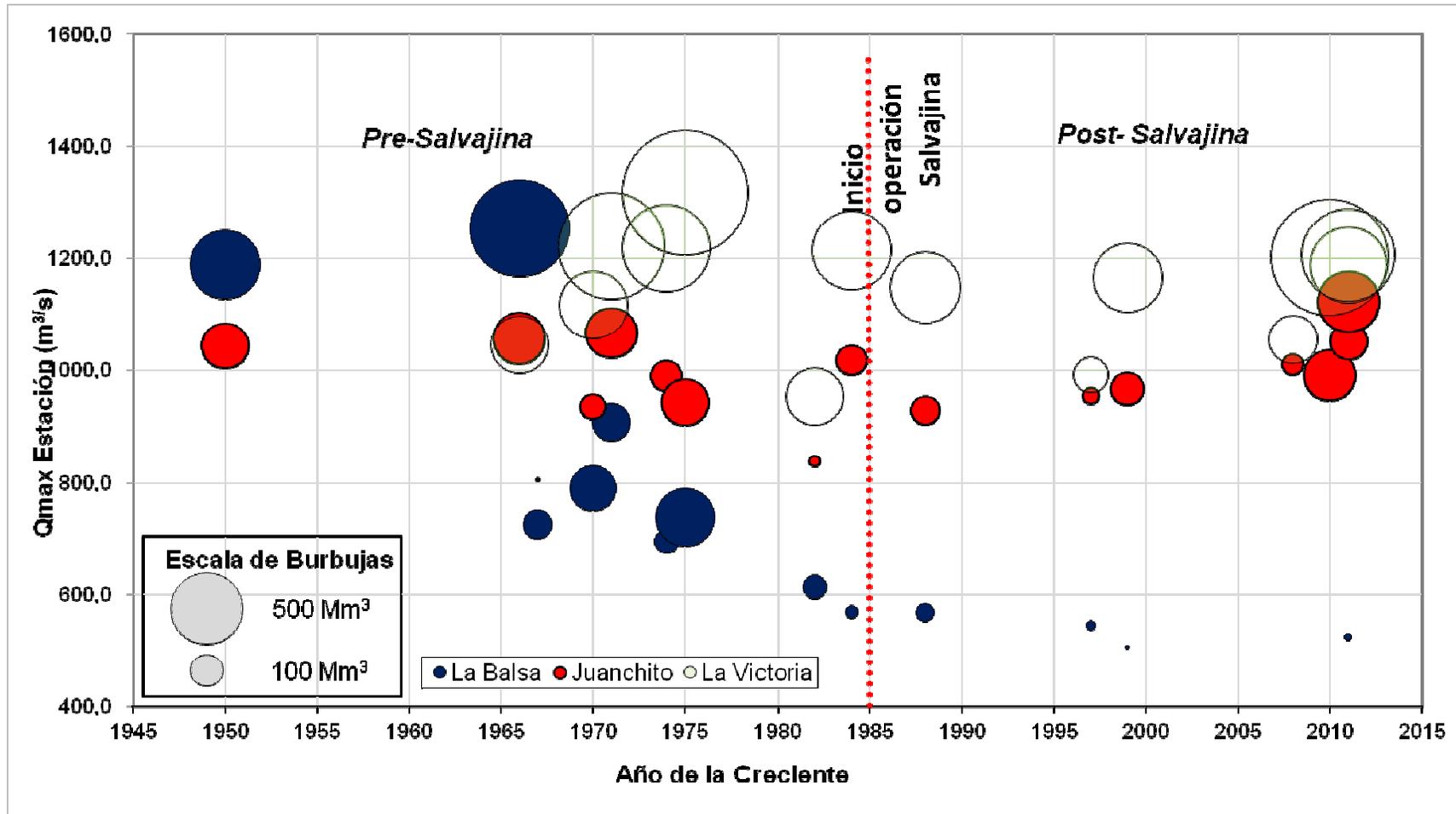
Nota- El área de la burbuja representa el área total inundada en el valle alto del río Cauca

Figura 2.32 Matriz de inundaciones históricas en el valle alto del río Cauca: área total inundada y caudal máximo en La Bolsa, Anacaro y Juanchito



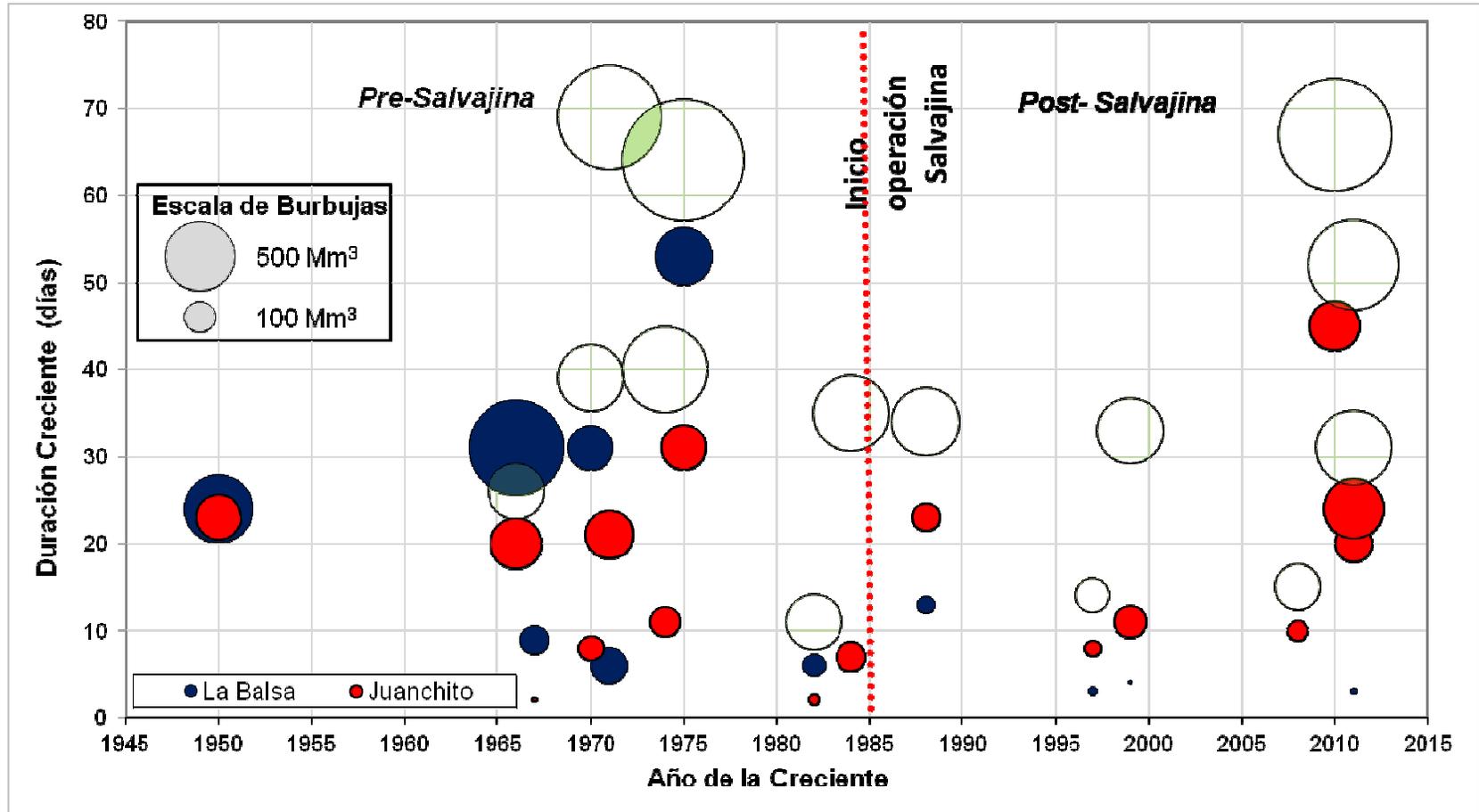
Nota- El tamaño de la burbuja representa el área total inundada en el valle alto del río Cauca

Figura 2.33 Matriz de caudales máximos y volúmenes transitados durante las crecientes históricas en el valle alto del río Cauca



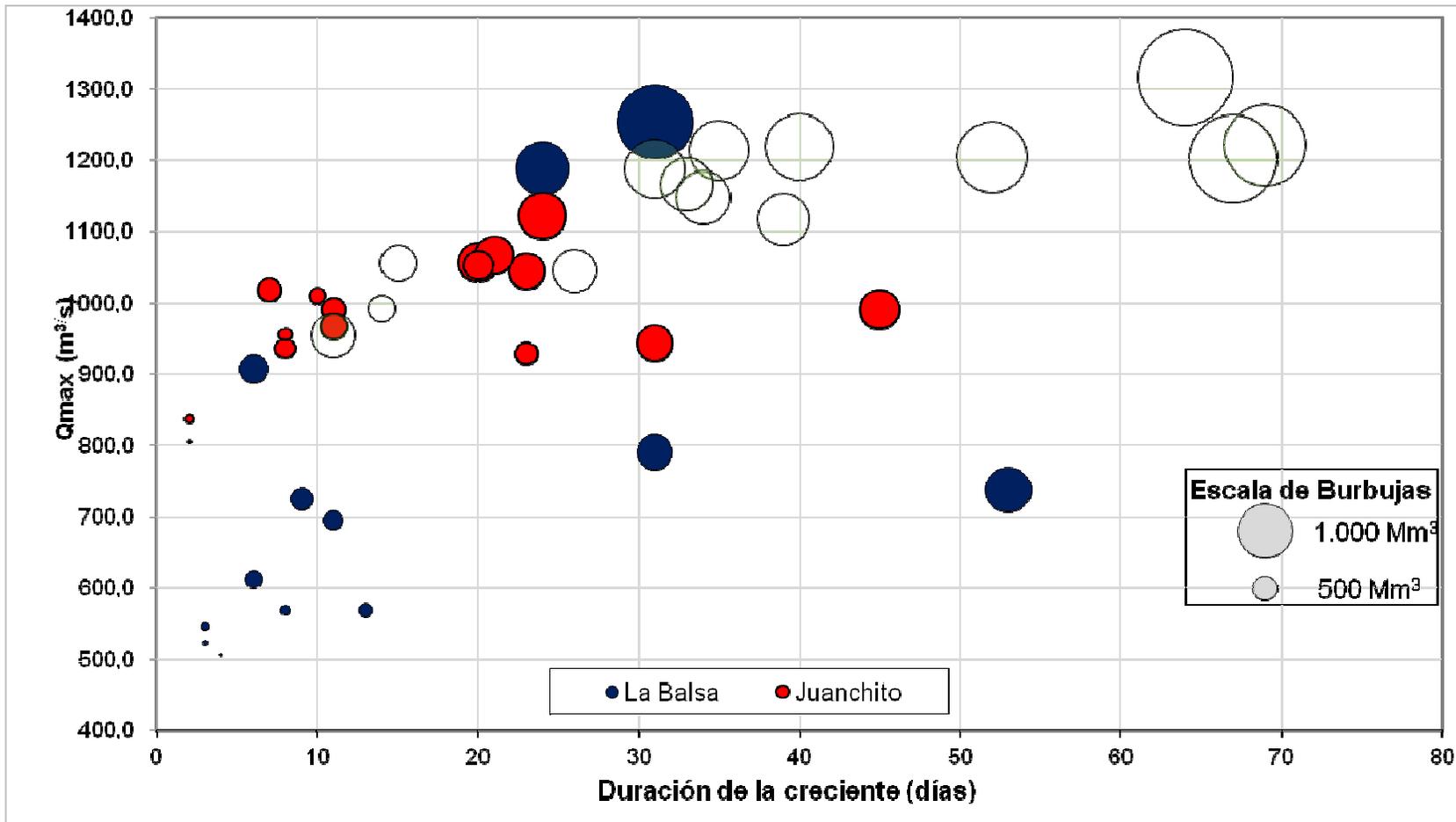
Nota 1). Para las crecientes del año 1950 no se dispone de datos de caudales en la estación La Victoria  
 2). El tamaño de la burbuja corresponde al volumen de agua transitado por encima del nivel de banca llena en cada estación

Figura 2.34 Matriz de duración y volúmenes transitados durante las crecientes históricas en el valle alto del río Cauca



Nota- 1) Para las crecientes de de 1950 no se dispone de datos en la estación La Victoria  
 2).El tamaño de la burbuja corresponde al volumen de agua transitado por encima del nivel de banca llena en cada estación.

Figura 2.35 Matriz de duración, caudales máximos y volúmenes de las crecientes históricas en el valle alto del río Cauca



Nota- El tamaño de la burbuja corresponde al volumen de agua transitado por encima del nivel de banca llena en cada estación

### **ANÁLISIS DE TIEMPOS DE DURACIÓN Y VOLÚMENES DE AGUA TRANSITADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS**

Se determinaron algunas características de las crecientes históricas en las estaciones hidrométricas del río Cauca, tales como el tiempo de duración y el volumen de agua transitado por encima del nivel de la banca llena de cada estación. En el Cuadro 2.14 se presentan los caudales a banca llena en las estaciones hidrométricas de La Balsa, Juanchito y La Victoria (CVC – Univalle, 2001). Los tiempos de duración de la creciente se calcularon desde que el caudal de registro fue superior al caudal a banca llena y los volúmenes de agua que se generan por encima de la banca llena durante los eventos de creciente.

**Cuadro 2.14 Caudales y niveles a banca llena en algunas estaciones hidrométricas sobre el río Cauca**

<b>Estación</b>	<b>Nivel a banca llena (msnm)</b>	<b>Caudal a banca llena (m<sup>3</sup>/s)</b>
La Balsa	984,21	492
Juanchito	946,72	785
La Victoria	907,85	826

En el Cuadro 2.15 se presentan algunas características de las crecientes registradas, tales como, la duración de la creciente (considerada como el periodo en que los niveles de agua en el río Cauca se hallan por encima del nivel de la banca llena), el tiempo transcurrido desde que el nivel de agua supera el nivel de banca llena hasta que alcanza su nivel máximo, el volumen de agua transitado (calculado por encima de la banca llena), el mes de registro del caudal máximo de la creciente, la presencia del fenómeno de La Niña y el área total inundada en el valle alto del río Cauca.

En el Cuadro 2.15 se puede apreciar la influencia de la regulación de caudales del río Cauca en el embalse de Salvajina sobre los caudales en la estación La Balsa (ubicada unos 27 km aguas abajo de la represa), logrando reducir la magnitud de las crecientes en el río y, por ende, de todos los parámetros de la creciente (duración, pico y volúmenes de agua) después de la puesta en operación del embalse. Más aguas abajo, en la estación Juanchito (localizada a unos 138 km de la represa de Salvajina), el efecto de la operación del embalse no es muy claro, pues los parámetros analizados no muestran unas diferencias marcadas entre los periodos Pre-Salvajina y Post-Salvajina. En la estación La Victoria, localizada 370 km aguas abajo de la represa de Salvajina, los parámetros en promedio se mantienen similares para la situación antes y después de la puesta en operación de la represa, y una creciente en promedio supera ligeramente un mes de duración.

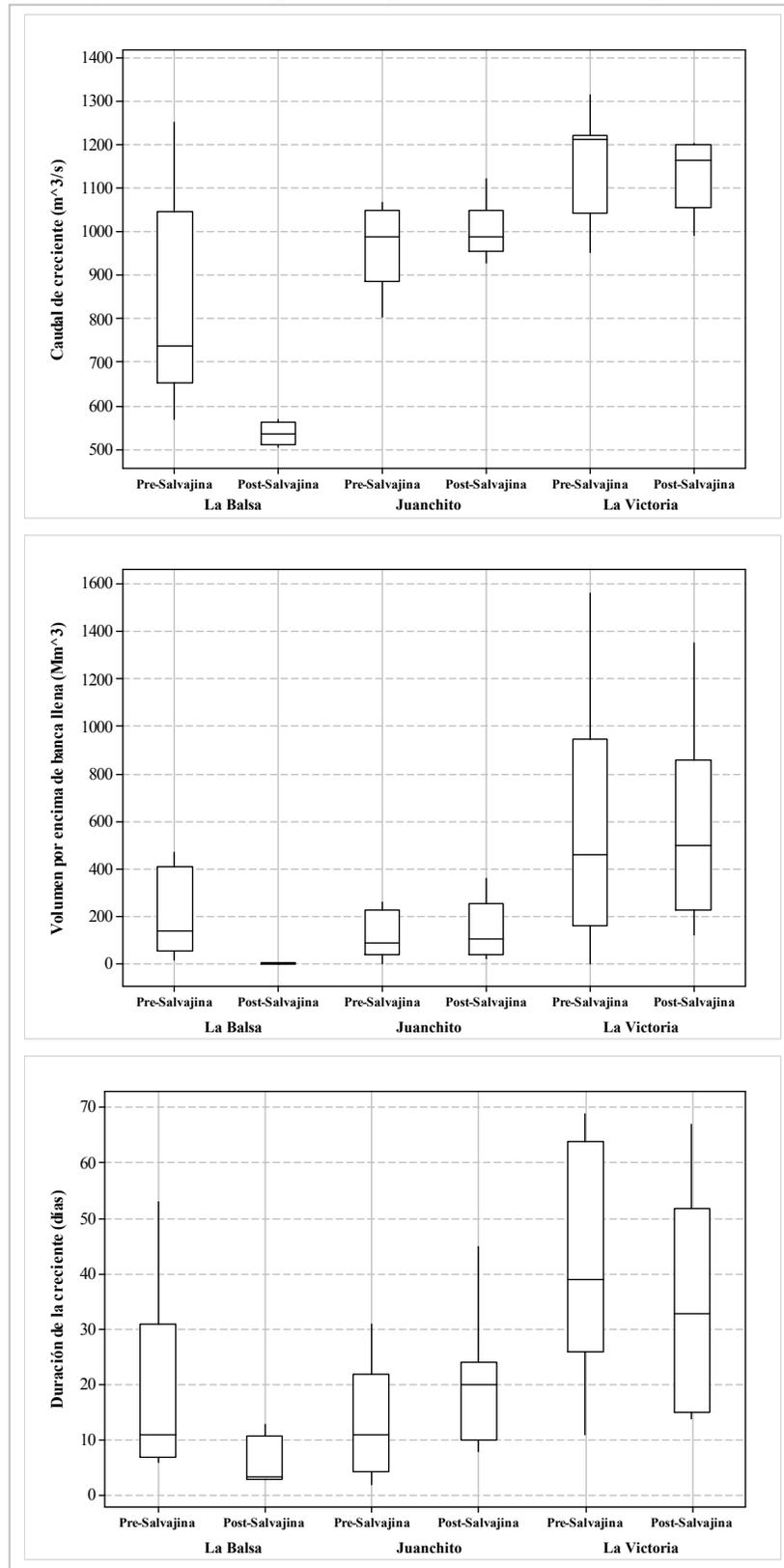
También se identifica una clara relación entre las inundaciones y el fenómeno climático de La Niña, y aun más marcada después de la puesta en operación de Salvajina, ya que sólo en 1997 se presentó un evento de inundación en periodo de Neutralidad y sus consecuencias fueron menos graves con un área afectada de 5.400 ha. Además, cabe mencionar que 9 de las 16 crecientes históricas registradas han ocurrido en los meses de noviembre y diciembre.

Cuadro 2.15 Características de las crecientes históricas en el valle alto del río Cauca

Año Inundación	Área Afectada (ha)	Duracion Creciente (días)			Duracion de llegada al pico de la creciete (días)			Caudal Maximo (m3/s)			Volumen de agua por encima del nivel de banca llena (m3)			Mes Pico	ONI	
		La Balsa	Juanchito	La Victoria	La Balsa	Juanchito	La Victoria	La Balsa	Juanchito	La Victoria	La Balsa	Juanchito	La Victoria			
Antes de salvajina	1950	86.768	24	23		13	8		1.189	1.044		473.688.000	208.137.600		Febrero	Niña
	1966	70.502	31	20	26	21	14	19	1.254	1.057	1.045	954.936.000	261.100.800	323.308.800	Diciembre	Neutral
	1967	16.000	9	2		3	2	0	725	805		81.734.400	1.468.800		Noviembre	Neutral
	1970	36.774	31	8	39	7	6	14	790	936	1.117	209.217.600	62.856.000	462.153.600	Noviembre	Niña
	1971	66.382	6	21	69	2	4	19	908	1.067	1.222	141.350.400	249.566.400	1.132.963.200	Abril	Niña
	1974	41.914	11	11	40	5	3	11	695	990	1.219	57.888.000	90.633.600	764.510.400	Marzo	Niña
	1975	43.115	53	31	64	22	4	51	738	943	1.317	346.550.400	209.174.400	1.565.697.600	Diciembre	Niña
	1982	11.000	6	2	11	5	1	9	613	837	954	52.531.200	10.324.800	328.622.400	Mayo	Neutral
1984	35.391	8	7	35	5	4	12	569	1.018	1.214	14.342.400	87.955.200	613.008.000	Noviembre	Niña	
Después de salvajina	1988	12.882	13	23	34	9	17	24	568	929	1.148	31.192.992	79.259.040	501.442.272	Diciembre	Niña
	1997	5.400	3	8	14	2	7	8	545	955	992	8.125.488	24.893.568	120.595.392	Enero	Neutral
	1999	13.370	4	11	33	3	4	14	506	966	1.166	1.166.400	104.155.632	471.915.072	Febrero	Niña
	2008	8.290		10	15	0	2	5		1.009	1.055		41.648.688	230.668.128	Noviembre	Niña
	2010	44.023		45	67	0	22	32		991	1.202		258.283.296	1.352.817.936	Diciembre	Niña
	2011	39.316		20	31	0	14	19		1.052	1.188		139.584.816	594.250.560	Abril	Niña
2011 (2)	3		24	52	1	16	35	524	1.122	1.205	4.104.000	363.533.616	859.560.768	Diciembre	Niña	
Promedio Total	35.408	16	17	38	6	8	20	740	983	1.146	197.726.940	121.936.176	650.919.489			
Promedio Pre-Salvajina	40.135	19	13	41	9	5	20	787	957	1.155	232.318.800	121.635.000	741.466.286			
Promedio Post-Salvajina	20.547	6	20	35	2	12	20	536	1.003	1.137	11.147.220	144.479.808	590.178.590			
Promedio Periodo Neutro	25.726	12	8	13	8	6	9	784	914	748	274.331.772	74.446.992	193.131.648			
Promedio Periodo Niña	35.685	12	19	44	5	9	24	482	1.002	1.187	73.255.654	153.331.881	777.180.685			

Nota.- En el año 2011 se presentaron dos crecientes: una en abril y la segunda en diciembre

**Figura 2.36 Diagrama de cajas y alambres de las crecientes en las estaciones La Balsa, Juanchito y La Victoria para los periodos Pre - Salvajina y Post - Salvajina**



En la Figura 2.36 se presentan en diagramas de cajas y alambres de algunas características de las crecientes históricas (caudal máximo, duración y volumen de la creciete por encima de banca llena) en el río Cauca. En los diagramas se ilustra que para los periodos Pre-Salvajina y Post-Salvajina de las crecientes registradas en las estaciones La Balsa, Juanchito y La Victoria, las medianas de caudales máximos incrementan gradualmente desde la estación La Balsa hasta la estación de La Victoria. Se redujo la magnitud de las medianas y el recorrido intercuartílico de los caudales registrados en las tres estaciones, mostrando de manera indirecta el efecto de la regulación del embalse de Salvajina.

En los volúmenes de agua transitados por encima del nivel de banca llena se observa que en la estación La Balsa los volúmenes fueron disminuidos más de cien veces (pasaron del orden de  $141 \text{ Mm}^3$  a  $1 \text{ Mm}^3$ ), en Juanchito prácticamente se conservaron las características en la distribución y magnitud de éstos y para la estación La Victoria se observa una diferencia apreciable (casi  $1000 \text{ Mm}^3$ ), lo cual muestra que la capacidad de conducción de la sección de flujo en esta estación es superada en mayores proporciones que en las demás estaciones mencionadas.

Con relación a la duración de las crecientes cabe resaltar que en la estación La Balsa la mediana de la duración de las inundaciones pasó de 11 a 4 días en los periodos Pre-Salvajina y Post-Salvajina, respectivamente y en la estación Juanchito se duplicaron las duraciones de la creciete. No obstante, para la estación La Victoria se presentaron duraciones cuyas medianas poseen ligeras diferencias (39 días en el periodo pre-Salvajina y 33 en el periodo post-Salvajina), superiores a las duraciones presentadas en las estaciones de La Balsa y Juanchito.

En términos generales, para el periodo Post – Salvajina, se observó un incremento gradual en las medianas y reducción en los recorridos intercuartílicos estimados empleados para caracterizar las hidrógrafas de las crecientes desde la estación La Balsa hasta la estación La Victoria. Lo anterior muestra que la influencia del embalse de Salvajinas en la variación de los caudales de las estaciones disminuye progresivamente desde la estación más cercana hasta la más lejana a éste.

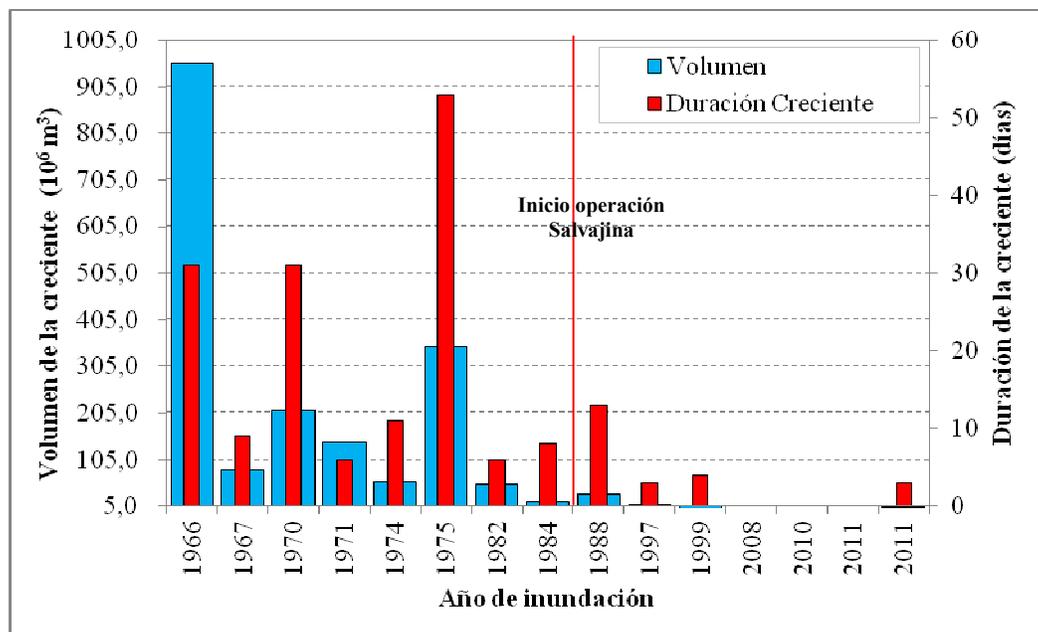
### **2.2.1 Estación La Balsa**

En la estación La Balsa se puede apreciar en la Figura 2.37 la disminución en los tiempos de duración y los volúmenes de las crecientes después del año 1985, cuando entró en operación el embalse de Salvajina. Por ejemplo, el volumen promedio de agua transitado por una creciete antes de Salvajina era  $256 \text{ Mm}^3$  y después de su puesta en marcha se redujo en promedio a  $11.1 \text{ Mm}^3$ . Algo similar ocurre con la duración de los eventos, al pasar de una duración promedio de 20 días en el periodo pre-Salvajina a sólo 6 días en el periodo Post-Salvajina.

Además del efecto regulador del embalse de Salvajina, también se puede apreciar la diferencia que existe en la configuración de las crecientes; por ejemplo, dos eventos que tuvieron igual duración (años 1966 y 1970) presentaron volúmenes transitados por encima del nivel de banca llena muy diferentes, debido a que en el año 1966 el caudal máximo de

la creciete en la estación fue de  $1.254 \text{ m}^3/\text{s}$ , mientras que en el año 1970 apenas alcanzó  $790 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Figura 2.37 Duración y volumen de la creciete. Estación La Balsa**



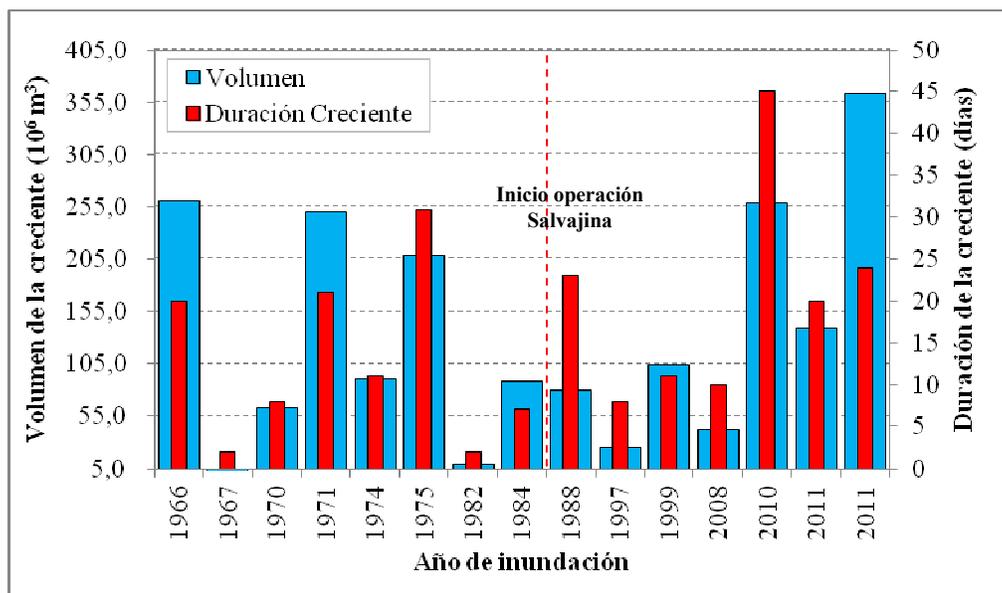
\*En el 2011 se presentaron dos eventos de inundaciones el primero en abril y el segundo en diciembre

## 2.2.2 Estación Juanchito

En la estación Juanchito, ubicada aproximadamente 130 km aguas abajo de la represa de Salvajina, el efecto de ésta no es tan notable como en la estación La Balsa. Entre estas dos estaciones no sólo se presenta el efecto de laminación a lo largo del cauce, sino que además existen entregas de tributarios importantes, como son los ríos Quinamayó, Claro, Jamundí, Palo y Desbaratado, que incrementaron significativamente los caudales y los niveles del río Cauca en la estación Juanchito, arrojando como resultado configuraciones de crecientes similares antes y después de la puesta en operación de la central hidroeléctrica de Salvajina.

En la Figura 2.38 se presenta la duración y el volumen de agua transitado en las crecientes históricas registradas en la estación Juanchito. Se puede apreciar la variedad de configuraciones de las crecientes registradas en la estación Juanchito. Por ejemplo, la creciete del año 2010 se prolongó por 45 días (por encima del nivel de banca llena) pero sus caudales no fueron tan altos como los caudales de la creciete de diciembre de 2011, la cual fue mucho más corta (duración de sólo 24 días) pero mucho más intensa; lo anterior se refleja en el mayor volumen transitado por la estación durante la creciete de diciembre de 2011.

Figura 2.38 Duración y volumen de la creciete. Estación Juanchito

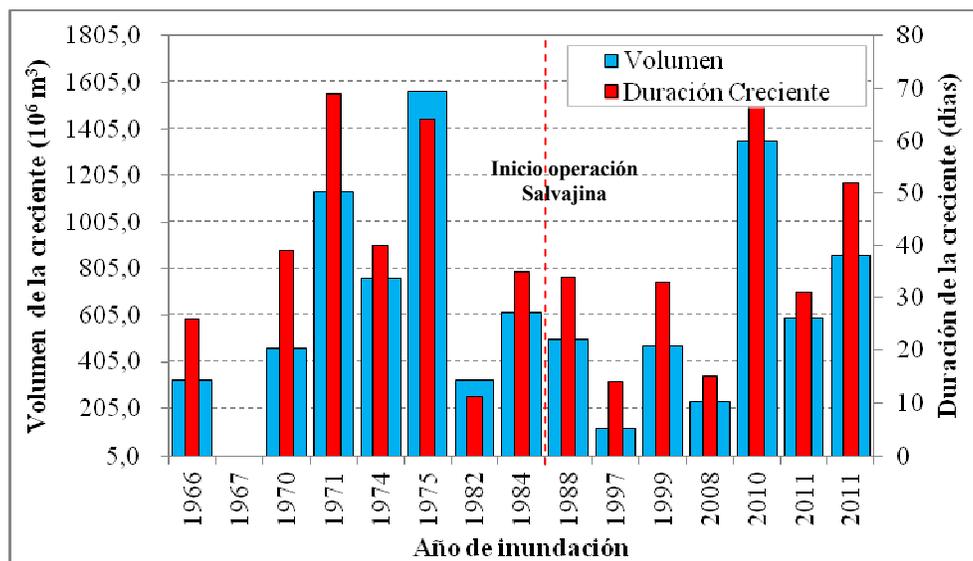


\*En el 2011 se presentaron dos eventos de inundaciones el primero en abril y el segundo en diciembre

### 2.2.3 Estación La Victoria

En la Figura 2.39 se presenta la duración y el volumen de agua transitado en las crecientes históricas registradas en la estación La Victoria. Se puede apreciar la similitud de las crecientes de los años 1975 y 2010, en ambas el área inundada es alrededor de 40.000 ha y los mapas de afectación de inundación son muy parecidos, la diferencia entre ambas crecientes se presenta en el sur (estación de La Balsa) por influencia de la regulación de Salvajina. En promedio, una creciete en La Victoria dura cerca de un mes y puede llegar a generar un volumen de agua, por encima del nivel de banca llena, de  $650 \text{ Mm}^3$ .

Figura 2.39 Duración y volumen de la creciete. Estación La Victoria

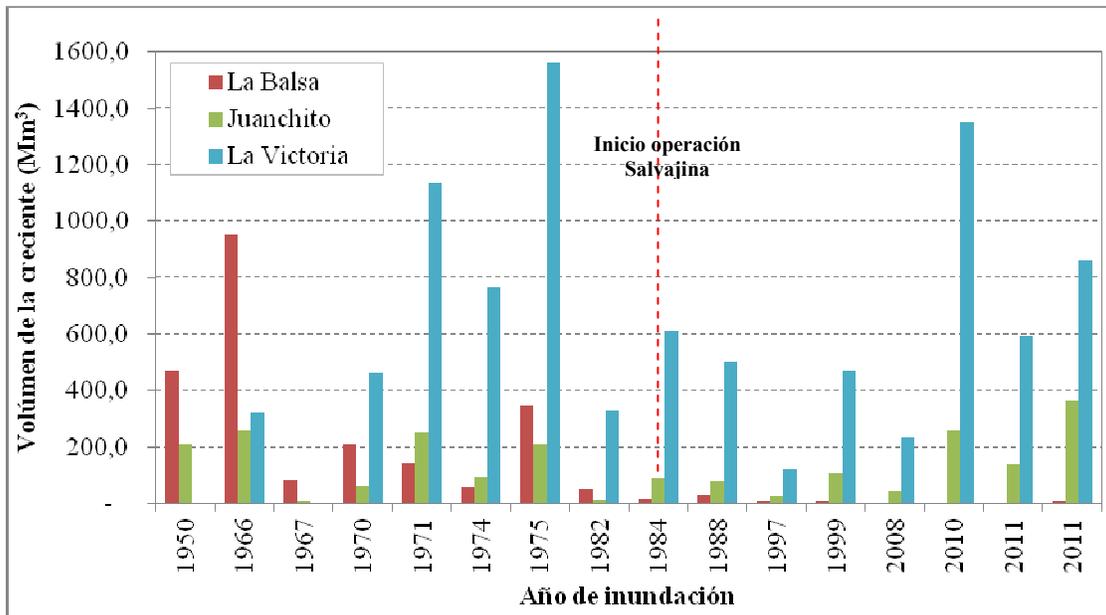


\*En el 2011 se presentaron dos eventos de inundaciones el primero en abril y el segundo en diciembre

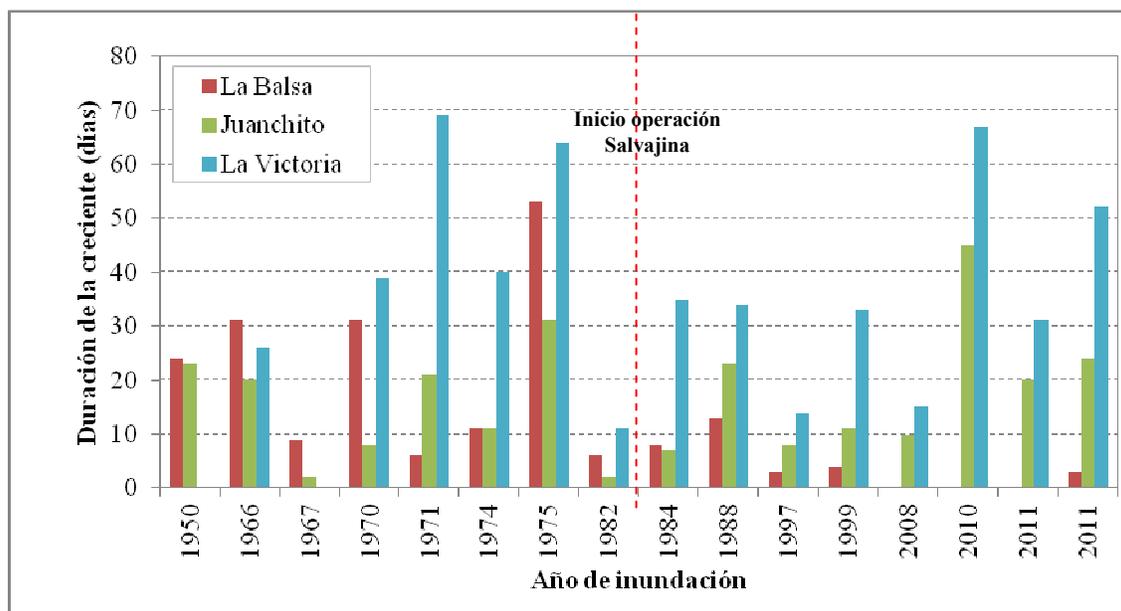
## 2.2.4 Compendio serie total de la información Volumen y Duración

En las Figura 2.40 y Figura 2.41 se muestran la serie histórica de volúmenes transitados por encima del nivel de banca llena y de tiempo de duración de la creciente en las estaciones La Balsa, Juanchito y La Victoria.

**Figura 2.40 Volúmenes de las crecientes históricas en las estaciones La Balsa, Juanchito y La Victoria**

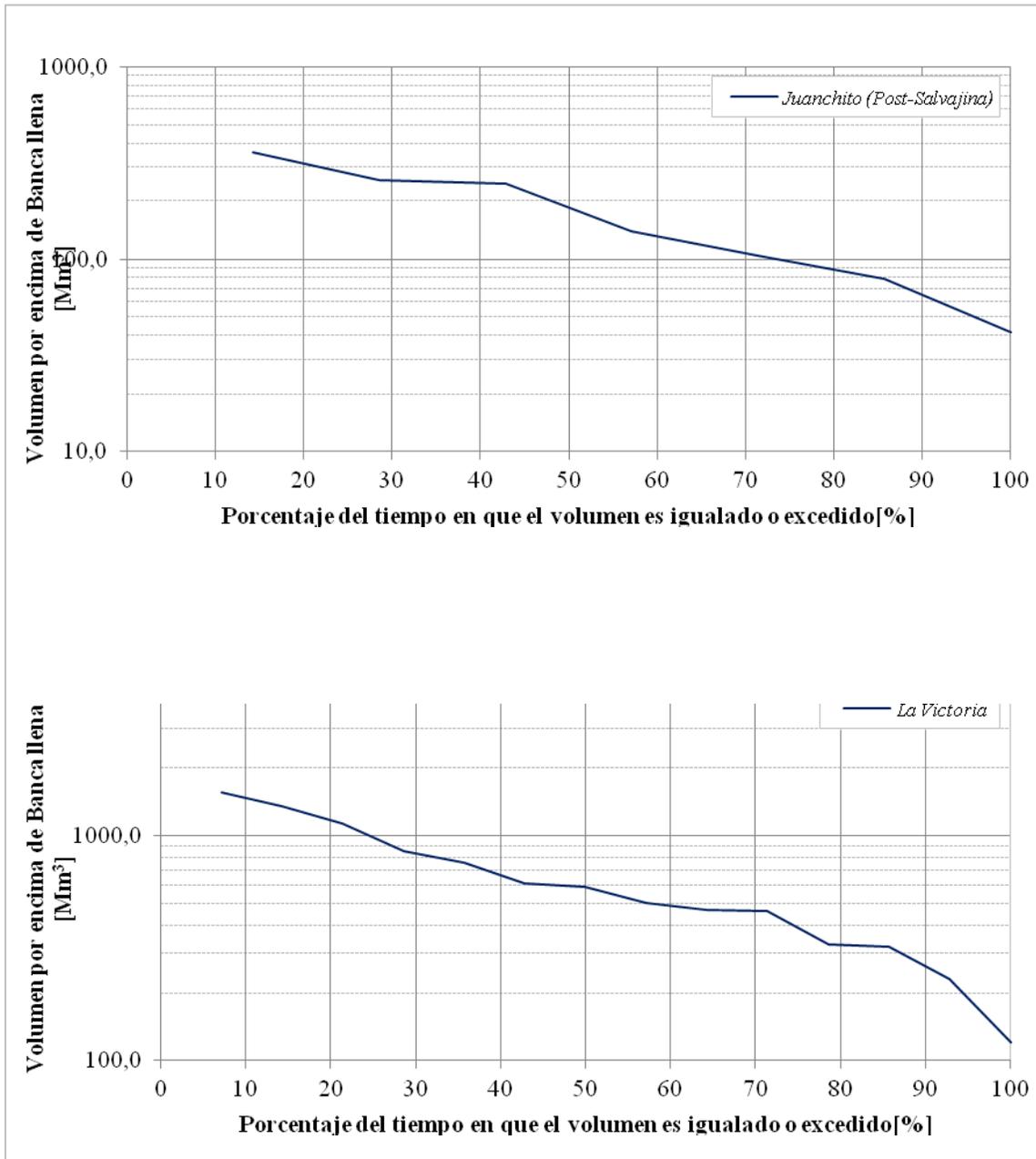


**Figura 2.41 Duración de las crecientes históricas en las estaciones La Balsa, Juanchito y La Victoria**

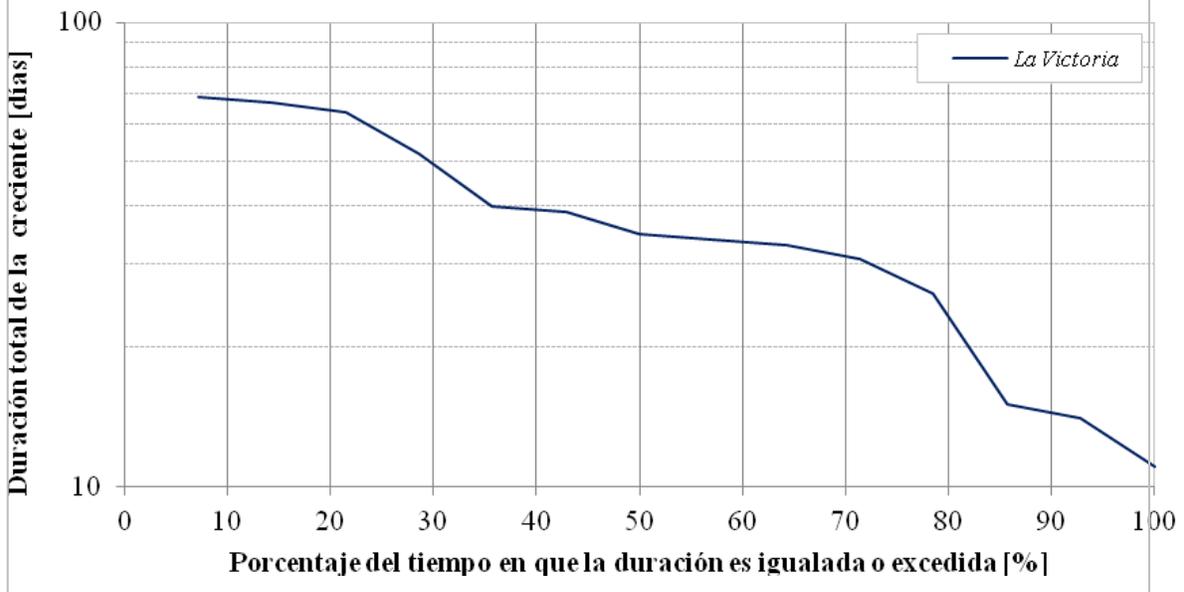
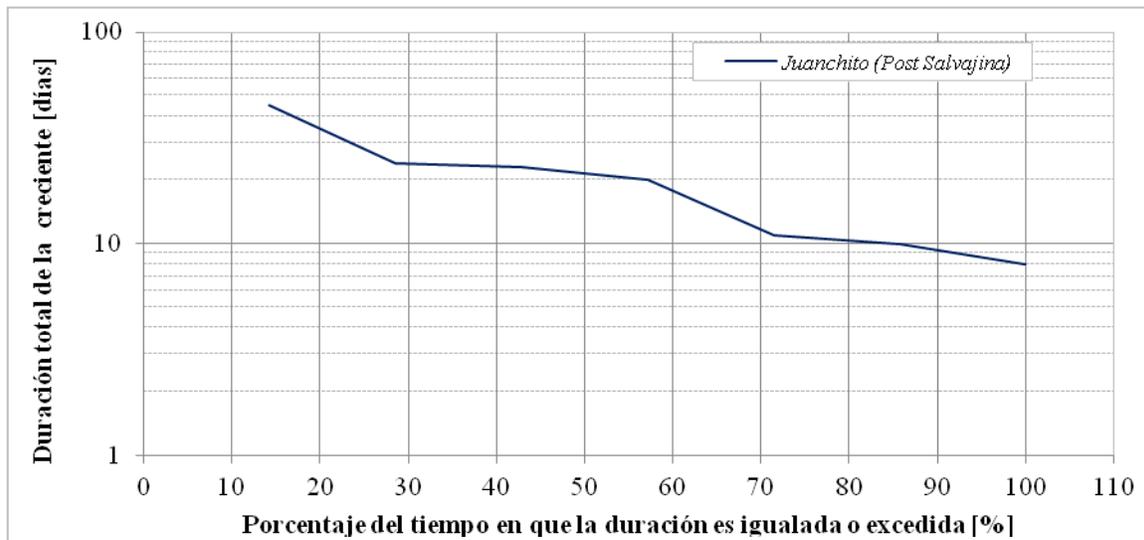


Con base en la información disponible de las características de las crecientes se elaboraron las curvas de duración y volúmenes de agua transitados por encima de la banca llena (ver Figura 2.42 y Figura 2.43).

**Figura 2.42 Curvas de duración de volúmenes transitados por encima de la banca llena en las estaciones Juanchito y la Victoria**



**Figura 2.43 Curvas de duración de crecientes por encima de banca llena en las estaciones Juanchito y La Victoria**



### **2.2.5 Compendio de los volúmenes de agua aportados por los ríos tributarios a las crecientes**

Como parte del análisis de las inundaciones históricas se estimaron para el Efluente del embalse Salvajina y los ríos tributarios que (tienen información) los volúmenes de agua aportados a las crecientes en las estaciones Juanchito y La Victoria; análisis permitió identificar los principales aportantes en cada una de las crecientes registradas.

En las Figura 2.44 a Figura 2.54 se presentan los volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios así cada una de las crecientes registradas en la estación Juanchito. Las Figura 2.55 a Figura 2.61 presentan los resultados de los volúmenes aportados por cada uno de los ríos tributarios en la diferentes crecientes en la estación Juanchito, donde puede apreciarse los valores extremos aportados y su gran variabilidad en cada una de las crecientes. Se puede apreciar que el principal aportante después de Efluente es el río Palo, a excepción del río Ovejas que lo superó ligeramente en la inundación del año 1982. También puede observarse el rango de magnitud de los volúmenes de agua aportados por Efluente a la estación Juanchito, con un mínimo  $83 \text{ Mm}^3$  en el año 2008 y un valor máximo de  $916 \text{ Mm}^3$  en el año 2010, y para el río Palo, principal tributario, el rango de aportes se encuentra entre  $52 \text{ Mm}^3$  en el año 1982 y el máximo en el año 1971 con  $302 \text{ Mm}^3$ .

En la estación La Victoria se realizaron los mismos análisis de aportes de volúmenes de agua arriba descritos en el caso de Juanchito, los resultados se presentan en las Figura 2.60 Figura 2.84. En las Figuras puede apreciarse que Efluente y río Palo continúan siendo los principales aportantes; sin embargo, en La Victoria aparecen nuevos tributarios con aportes significativos como lo son los ríos Bugalagrande, Tuluá, Guachal y Amaime. Los volúmenes de agua aportados por Efluente a la estación La Victoria se encuentran entre  $364 \text{ Mm}^3$  para el año 2008 y un máximo de  $2.116 \text{ Mm}^3$  para el año 1971, mientras que en el río Palo se presentó un aporte mínimo de  $147 \text{ Mm}^3$  en el año 2008 y un máximo aporte de  $1.044 \text{ Mm}^3$  en el año 1971. En el río Ovejas se determinó un valor mínimo de  $76 \text{ Mm}^3$  en el año 1997 y un máximo de  $286 \text{ Mm}^3$  en el año 1982.

En la Figura 2.85 y Figura 2.86 se presentan los aportes promedio del Efluente (Salvajina) y los principales ríos tributarios, en términos de volumen de agua y porcentaje con respecto al volumen transitado durante las estaciones Juanchito y La Victoria. Con estos resultados es posible realizar una clasificación en función de la magnitud de los volúmenes de agua aportados: Efluente (río Cauca) 33,7%, Palo 13,9%, Jamundí 4,5%, Ovejas 4,4%, Timba 3,9%, Claro 1,7% y Quinamayó 1,7% para la estación Juanchito. La suma de los aportes de los principales tributarios es 29.6%, un poco inferior al aporte del Efluente. El ítem Otros indicado en las figuras hace referencia a la diferencia entre el volumen total de agua transitado en la estación sobre el río Cauca y la suma de los aportes del Efluente y los principales ríos tributarios, el cual corresponde a la información no censada (tributarios sin registro, escorrentía directa e intercambio río acuífero).

Para el caso de la estación La Victoria la clasificación del orden de magnitud de los aportes es: Efluente (río Cauca) 27,1%, Palo 10,3%, Ovejas 4,4%, Bugalagrande 3,6%, Tuluá

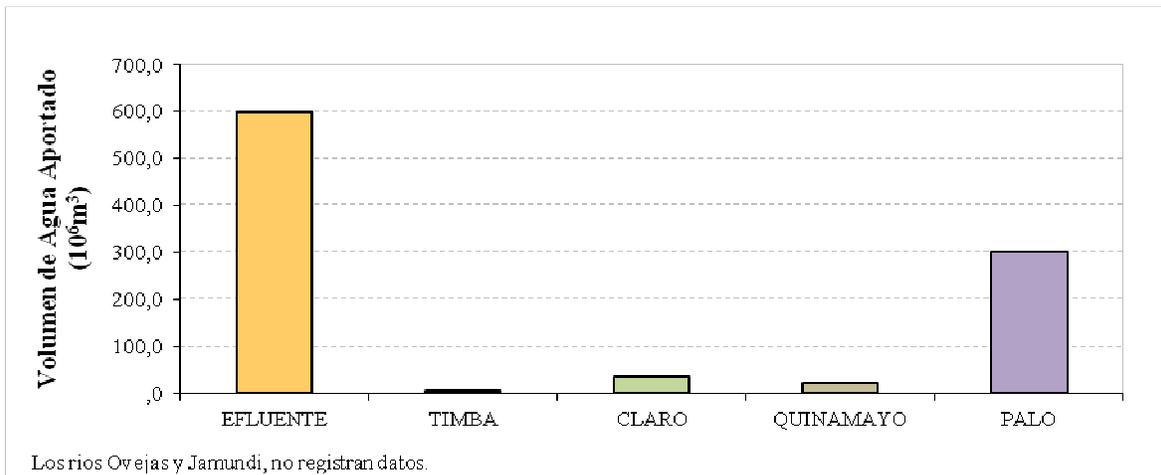
3,6%, Guachal 3,2%, Timba 3,2%, Jamundí 2,6%, Claro 1,5%, Riofrío 1,5% y Quinamayó 1,3%. Como era de esperarse, los porcentajes aportados por los tributarios que descargan aguas arriba de la estación Juanchito disminuyen con respecto a los porcentajes estimados en la estación Juanchito, debido a los aportes de los tributarios que confluyen al río Cauca en el sector Juanchito – La Victoria. Además conviene señalar que los periodos y las duraciones de las crecientes en estas dos estaciones son diferentes. La suma de los aportes de los principales tributarios es 38.5%, superior al aporte del Efluente.

Es preciso destacar la diferencia apreciable en los volúmenes promedio aportados por el río Cauca a la altura de Salvajina a las crecientes en la estación Juanchito en los periodos Pre-Salvajina y Post-Salvajina, mostrando el beneficio de la regulación del embalse sobre el régimen de caudales en el río Cauca; el volumen promedio aportado en el periodo Pre-Salvajina fue 1.369 Mm<sup>3</sup> mientras que en el periodo Post-Salvajina fue de sólo 763 Mm<sup>3</sup>.

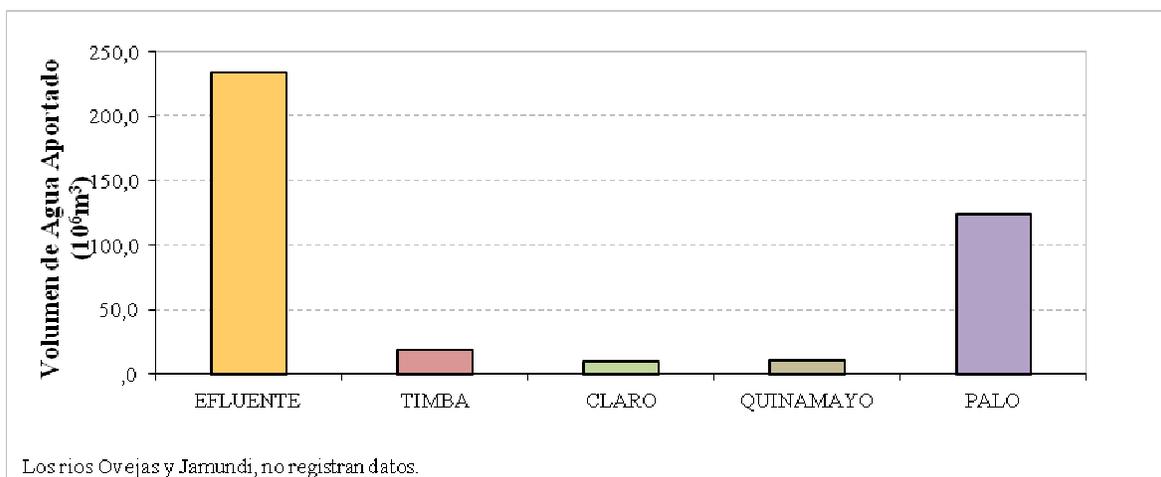
En las Figura 2.87 y Figura 2.90 se muestra el compendio de los aportes del Efluente y los ríos tributarios en las crecientes históricas, en términos de volumen y porcentaje, para las estaciones Juanchito y La Victoria. Se puede apreciar que el volumen promedio aportado por Efluente 33% para la estación Juanchito y 27% para la estación La Victoria. También se destaca el volumen de agua aportado por el río Palo el cual es en promedio 150Mm<sup>3</sup> para la estación Juanchito y 387 Mm<sup>3</sup> en la estación La Victoria. El volumen de agua promedio transitado en la estación La Victoria es aproximadamente tres veces el volumen de agua promedio transitado en la estación Juanchito, ello debido a la mayor duración de la creciente en la estación La Victoria y a los aportes de los tributarios.

Como se mencionó anteriormente en los análisis realizados el ítem Otros representa la información hidrológica no censada (tributarios menores, escorrentía directa, aportes del acuífero al cauce principal del río, etc.). De acuerdo con los resultados de los cálculos efectuados, el volumen de agua promedio aportado por estas fuentes a las crecientes en la estación La Victoria es 1.603 Mm<sup>3</sup>, valor ligeramente superior a dos veces el volumen útil del embalse de Salvajina. Por lo anterior, se hace necesario densificar y optimizar la red de monitoreo de las fuentes hídricas en el valle alto del río Cauca.

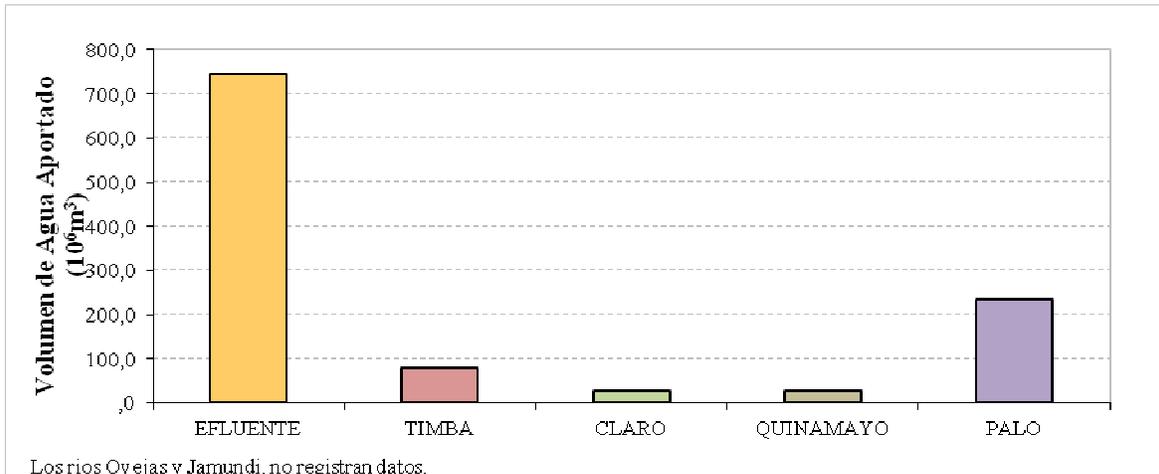
**Figura 2.44** Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciente de 1971 en la estación Juanchito



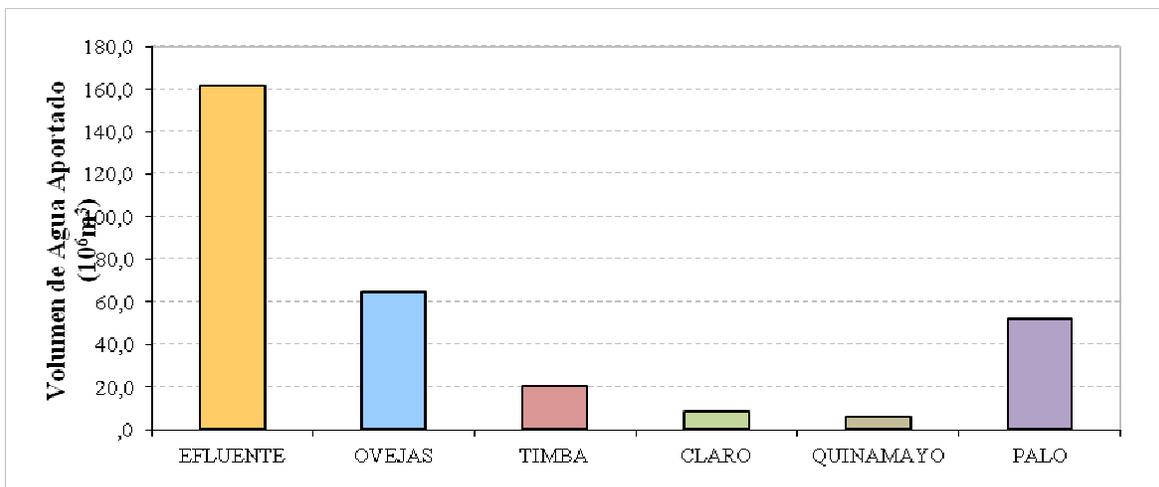
**Figura 2.45** Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciente de 1974 en la estación Juanchito



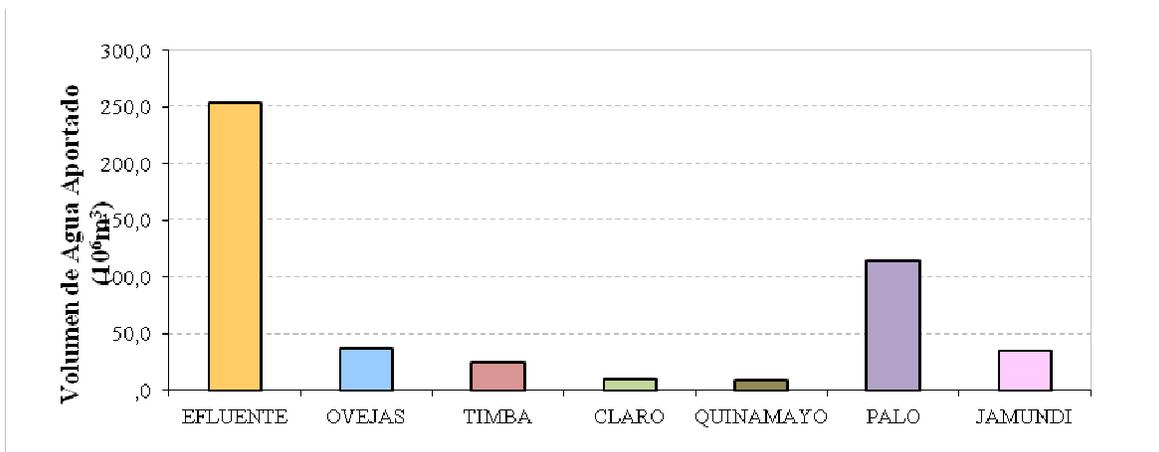
**Figura 2.46 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciente de 1975 en la estación Juanchito**



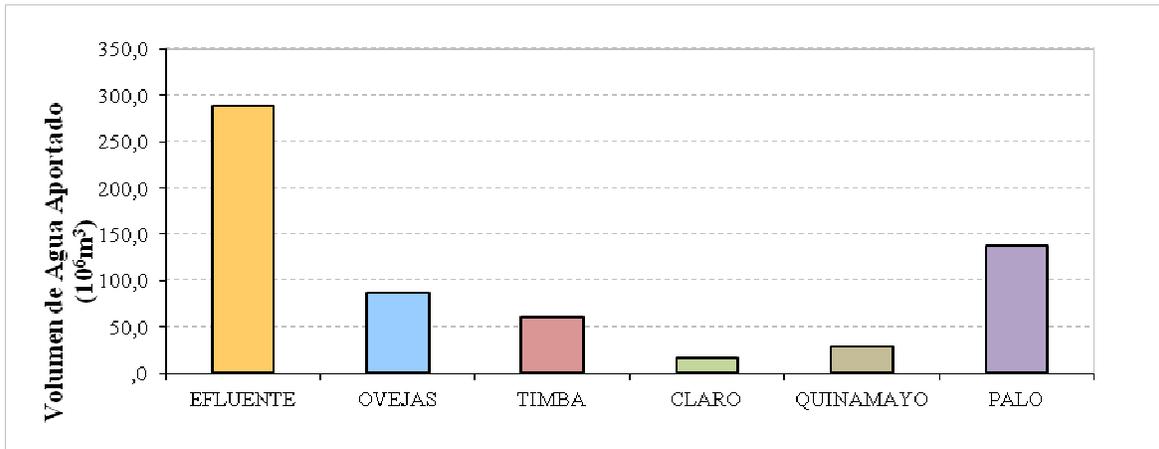
**Figura 2.47 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciente de 1982 en la estación Juanchito**



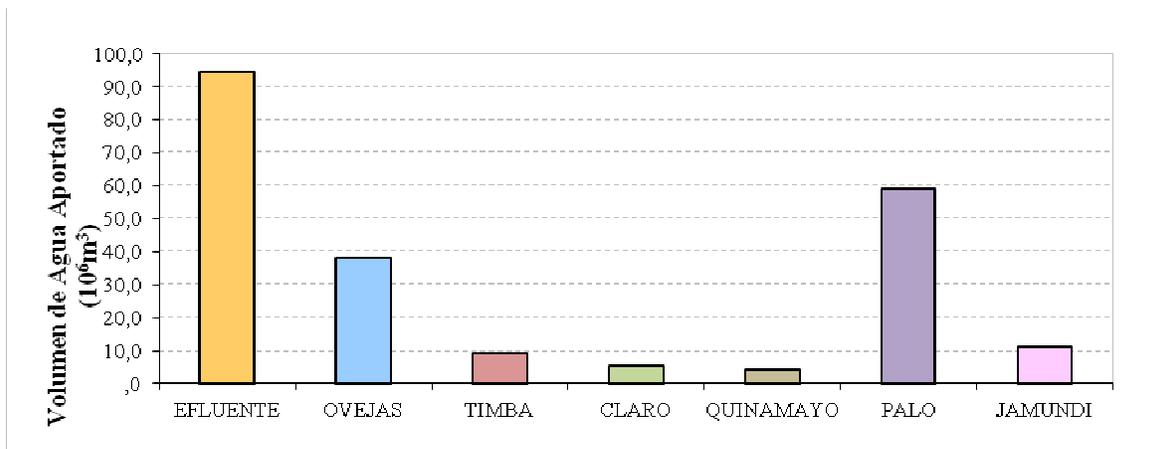
**Figura 2.48 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciente de 1984 en la estación Juanchito**



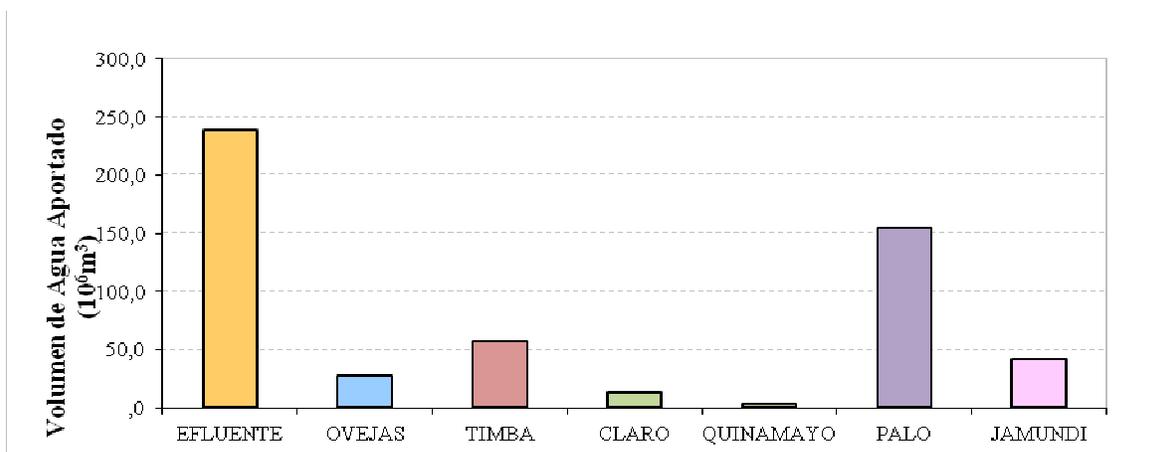
**Figura 2.49 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciente de 1988 en la estación Juanchito**



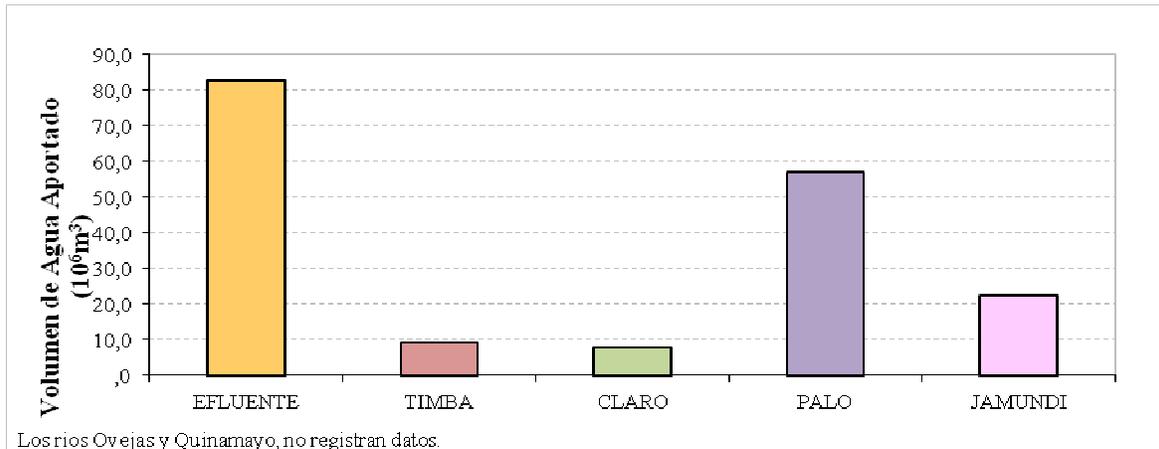
**Figura 2.50 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciente de 1997 en la estación Juanchito**



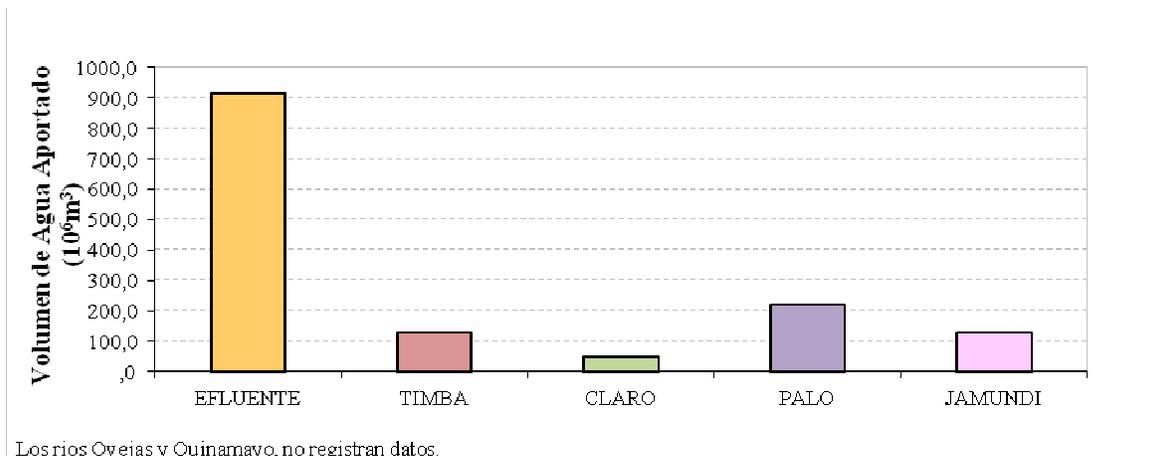
**Figura 2.51 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciente de 1999 en la estación Juanchito**



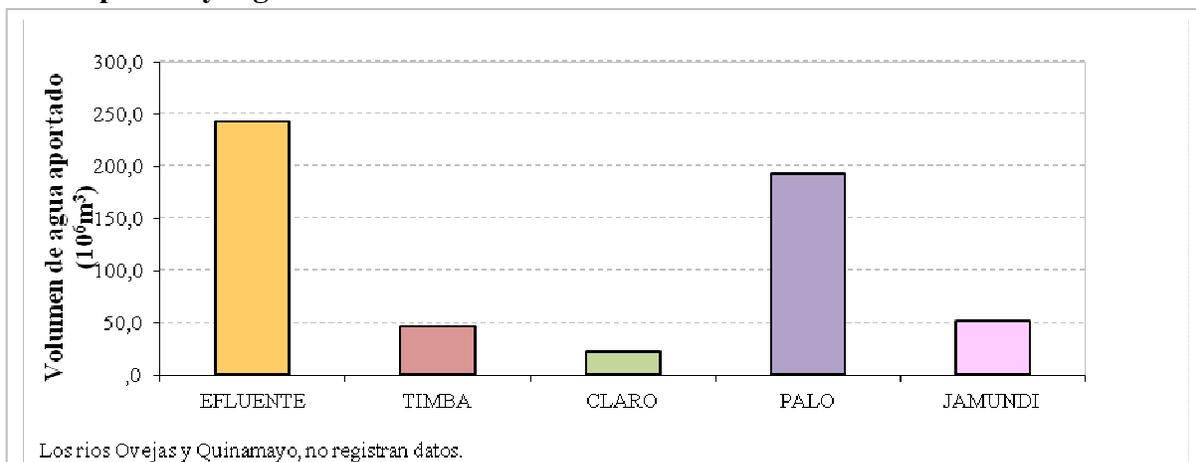
**Figura 2.52 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciete de 2008 en la estación Juanchito**

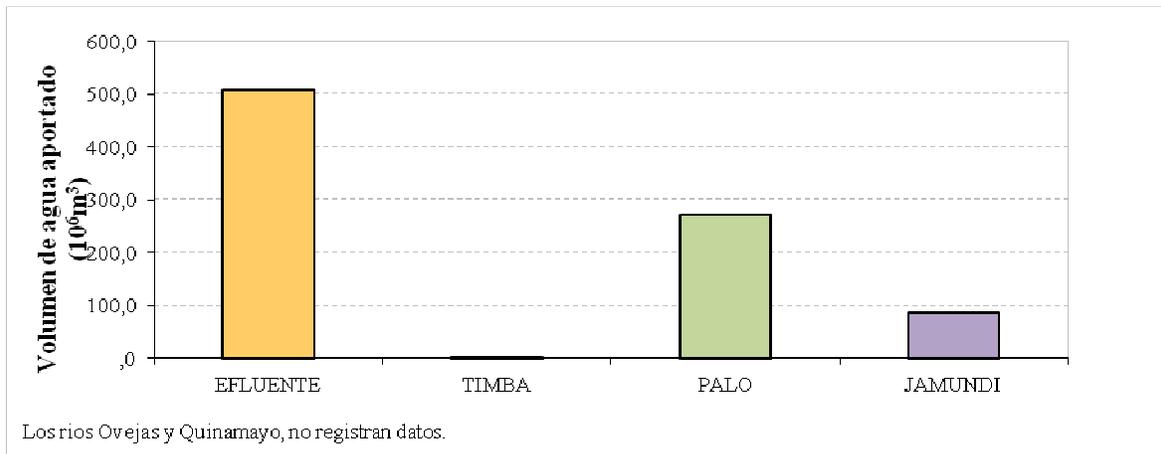


**Figura 2.53 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en la creciete de 2010 en la estación Juanchito**

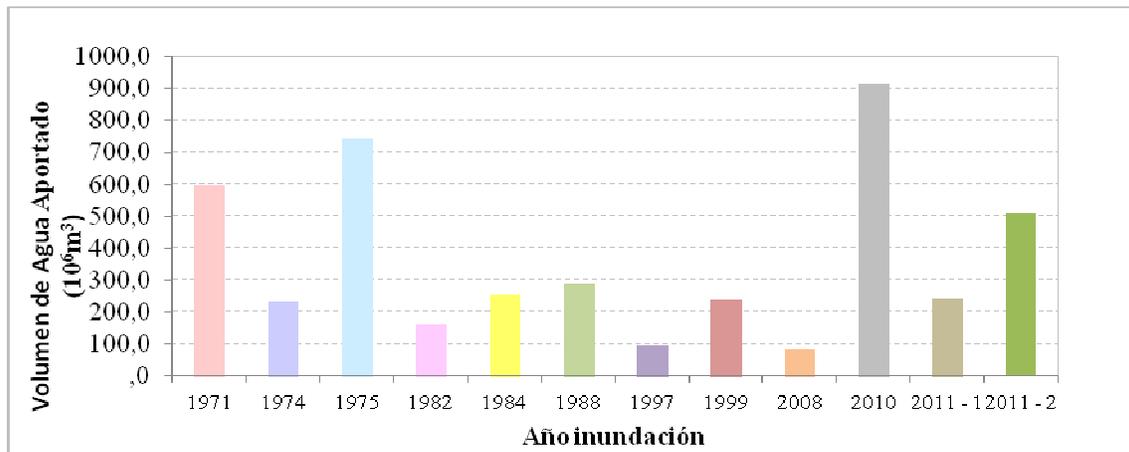


**Figura 2.54 Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en el primer y segundo semestre de la creciete de 2011 en la estación Juanchito**

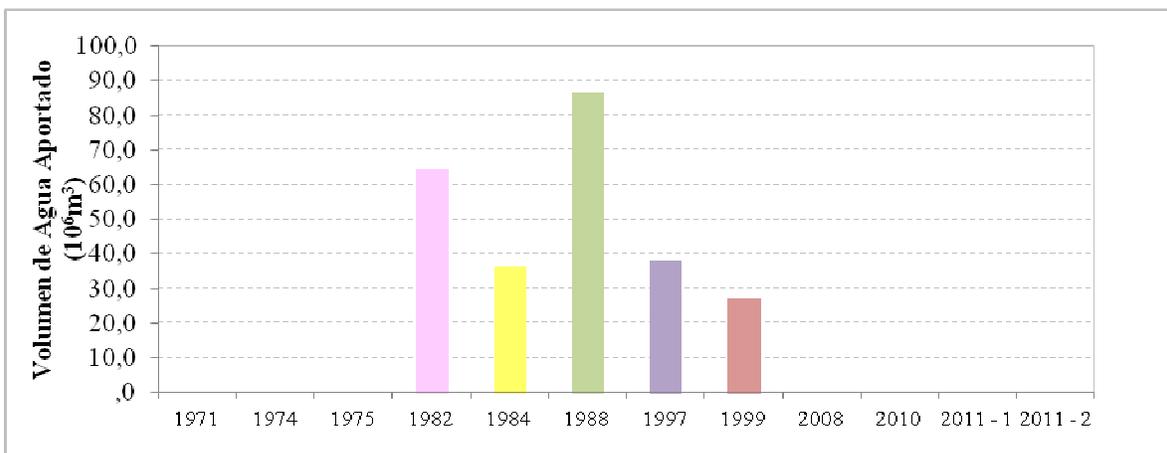




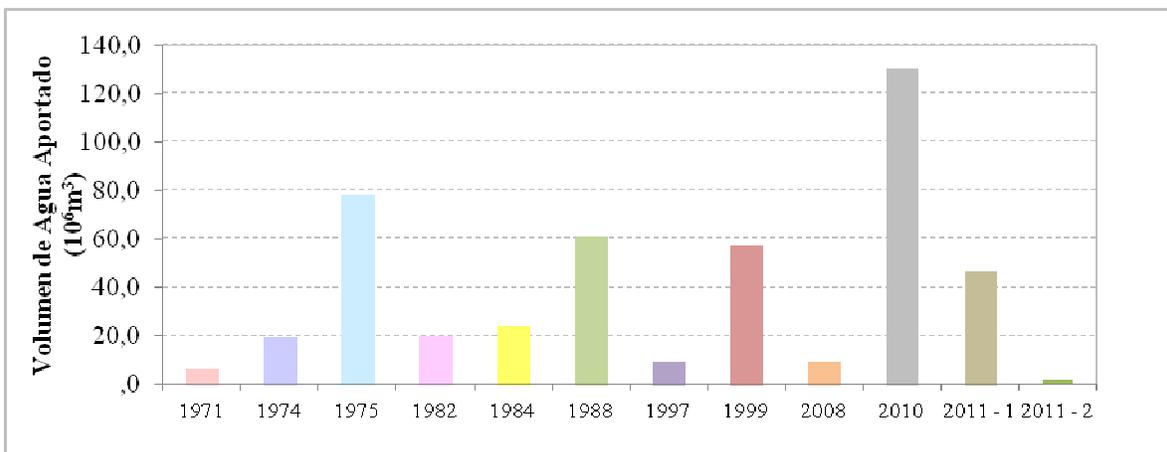
**Figura 2.55 Volumen de agua aportado por el Efluente (río Cauca) a la creciente en la estación Juanchito sobre el río Cauca**



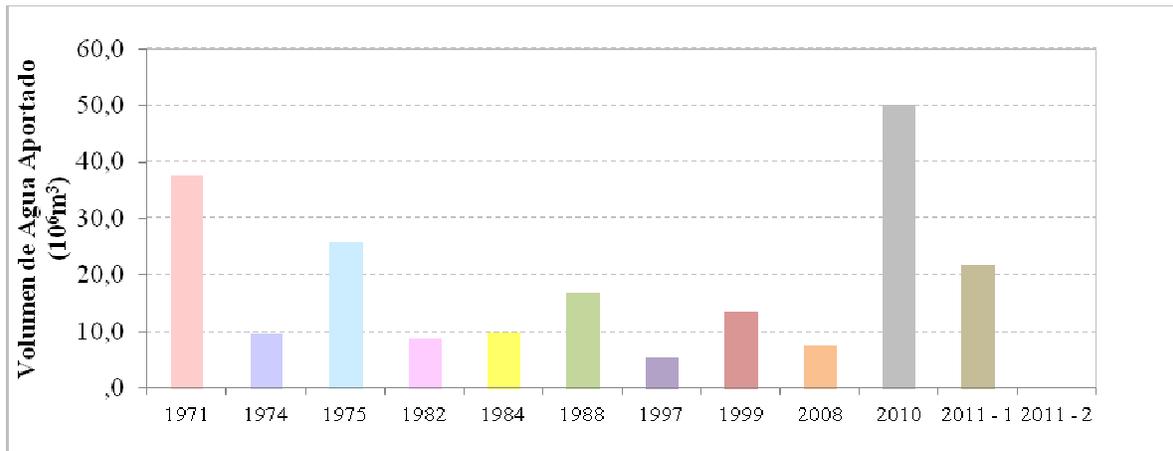
**Figura 2.56 Volumen de agua aportado por el río Ovejas a la creciente en la estación Juanchito sobre el río Cauca**



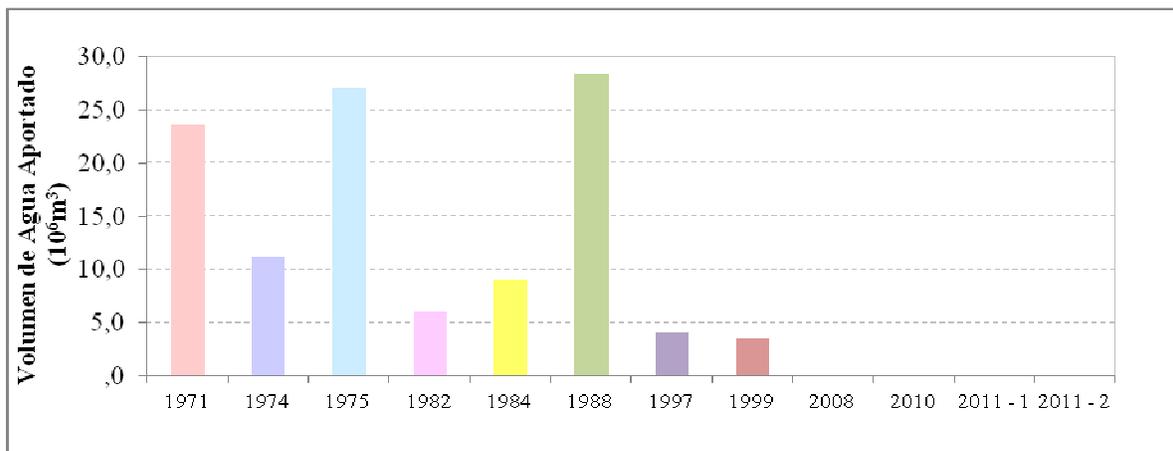
**Figura 2.57 Volumen de agua aportado por el río Timba a la creciente en la estación Juanchito sobre el río Cauca**



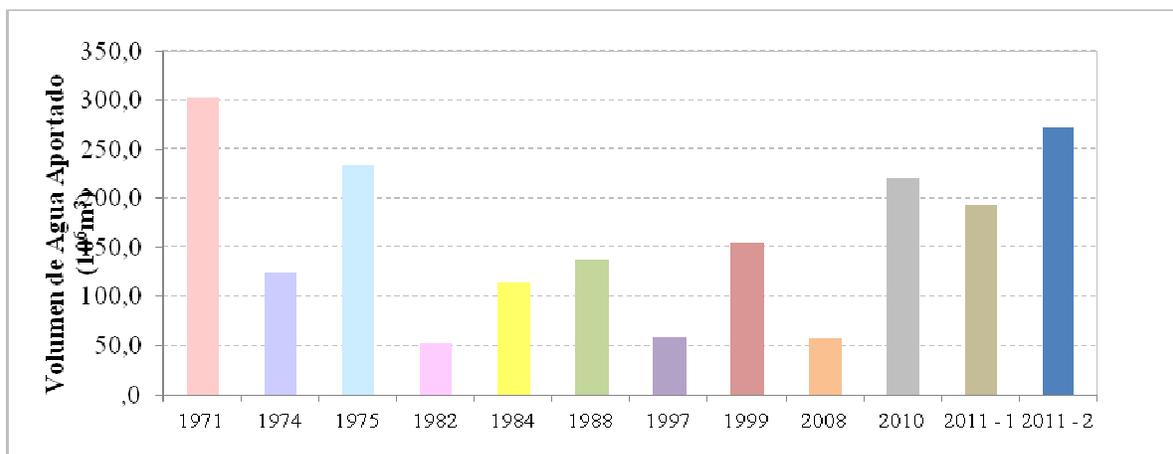
**Figura 2.58 Volumen de agua aportado por el río Claro a la creciete en la estación Juanchito sobre el río Cauca**



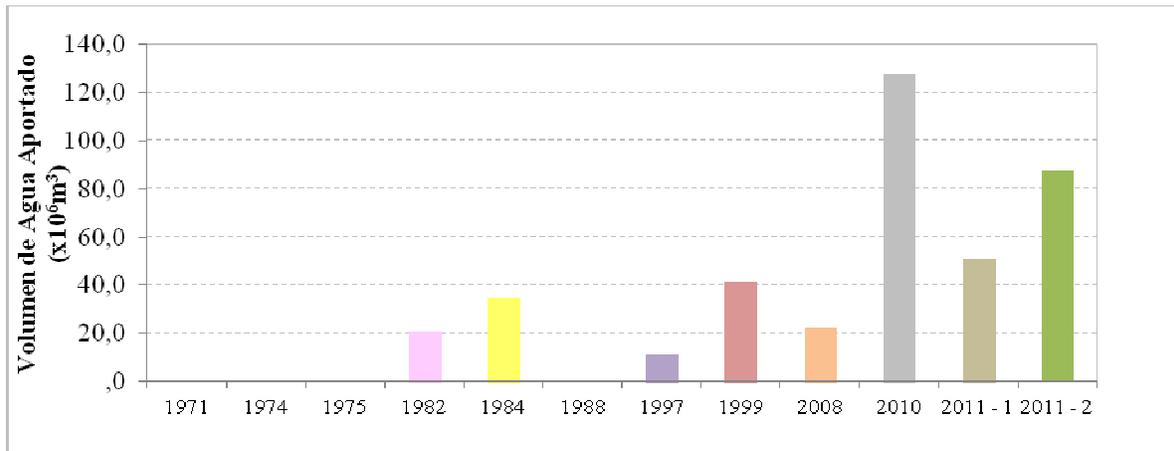
**Figura 2.59 Volumen de agua aportado por el río Quinamayó a la creciete en la estación Juanchito sobre el río Cauca**



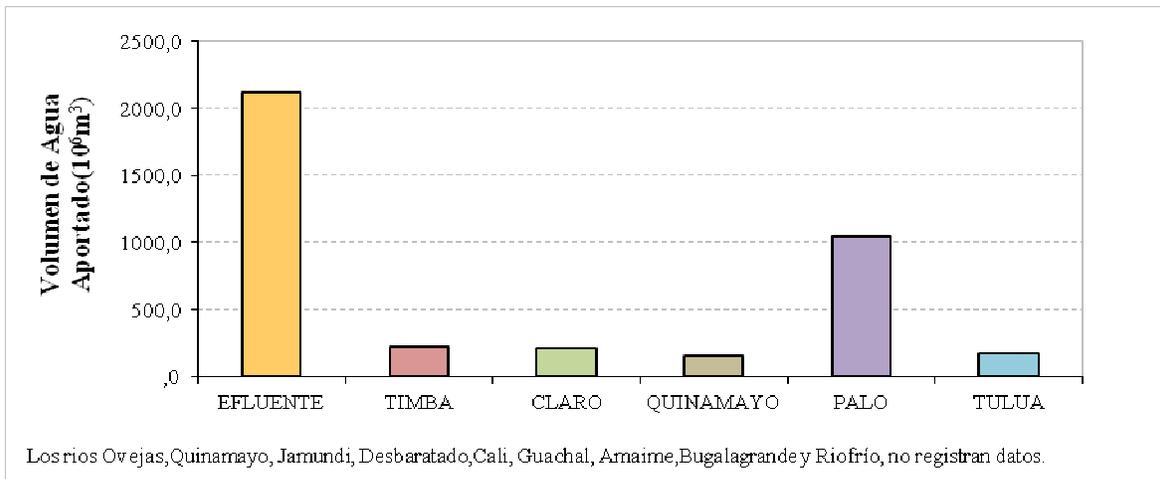
**Figura 2.60 Volumen de agua aportado por el río Palo a la creciete en la estación Juanchito sobre el río Cauca**



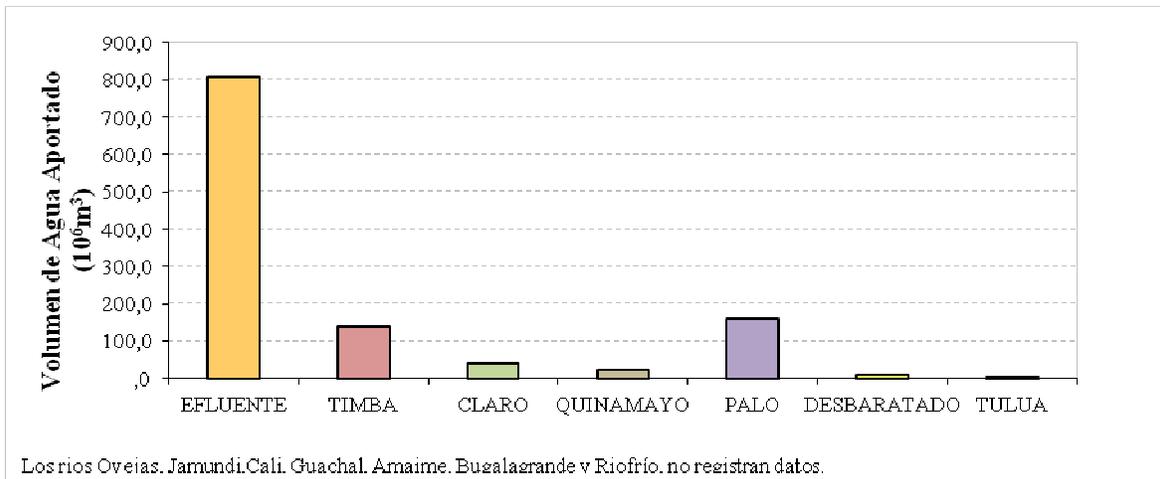
**Figura 2.61 Volumen de agua aportado por el río Jamundí a la creciente en la estación Juanchito sobre el río Cauca**



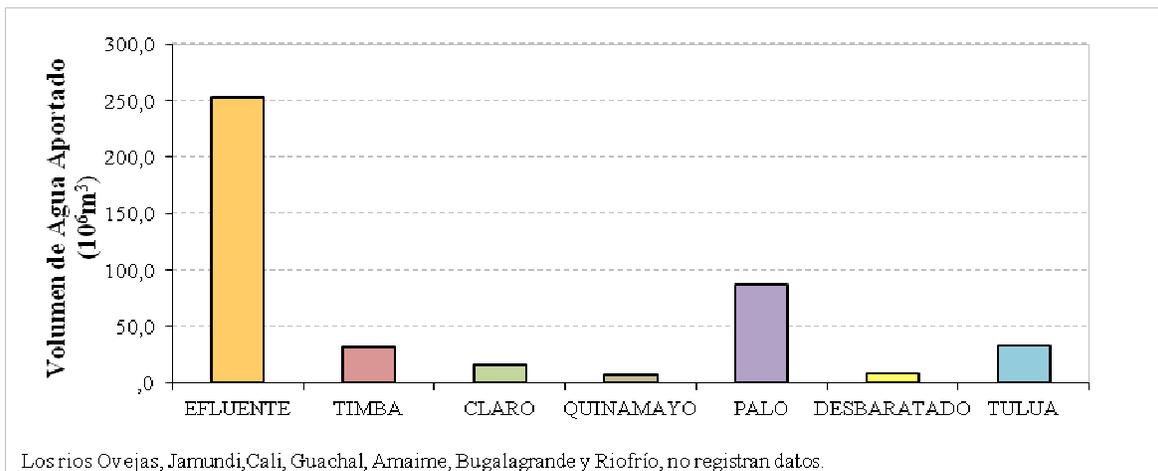
**Figura 2.62 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1971 en la estación La Victoria**



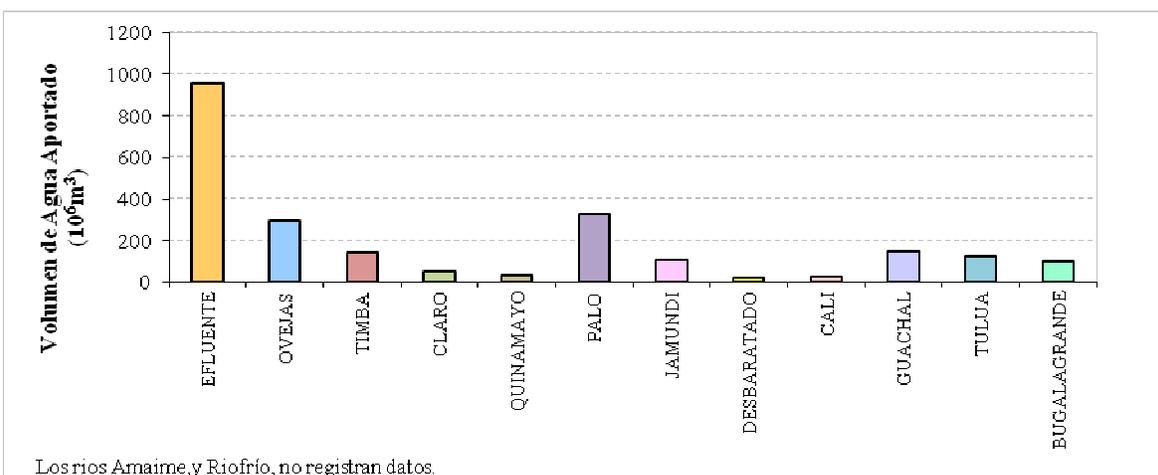
**Figura 2.63 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1974 en la estación La Victoria**



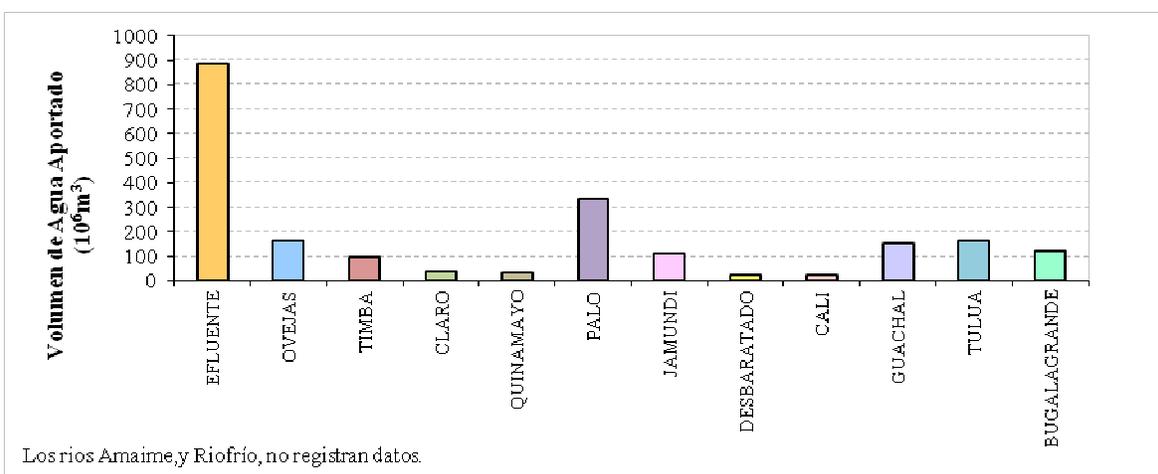
**Figura 2.64 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1975 en la estación La Victoria**



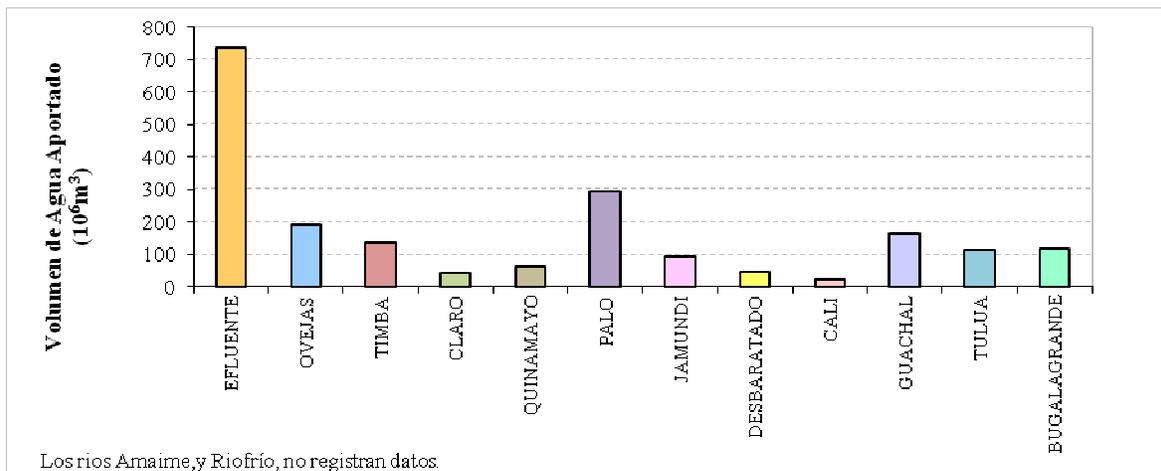
**Figura 2.65 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1982 en la estación La Victoria**



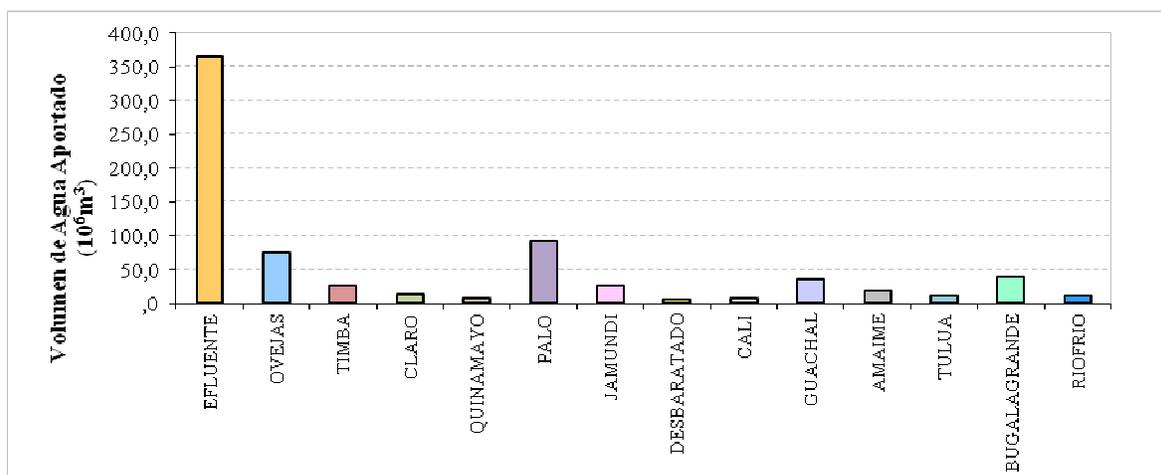
**Figura 2.66 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1984 en la estación La Victoria**



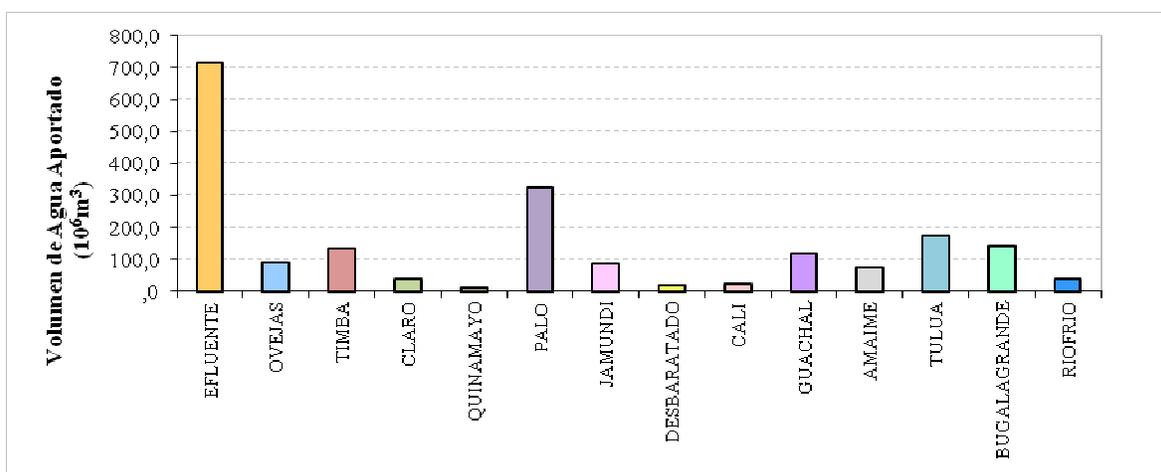
**Figura 2.67 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1988 en la estación La Victoria**



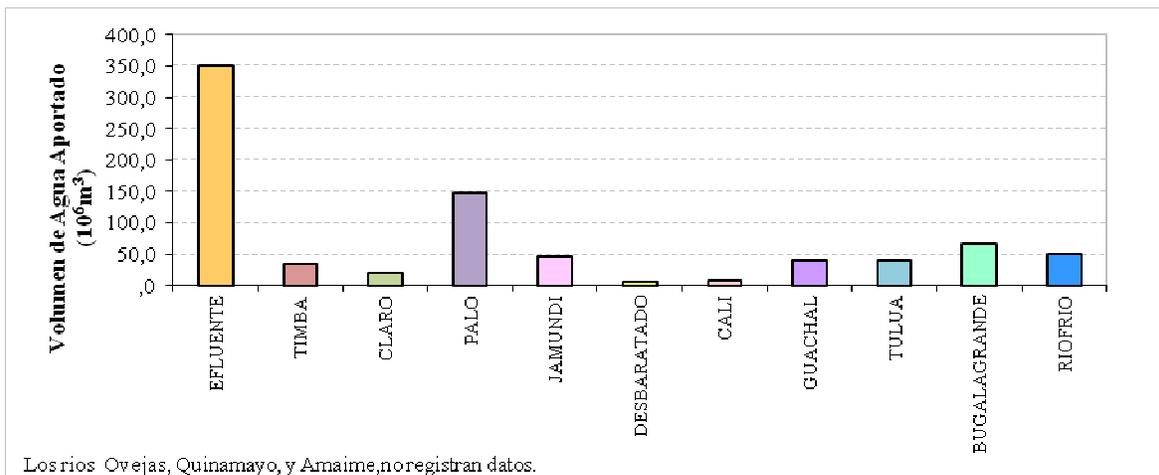
**Figura 2.68 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1997 en la estación La Victoria**



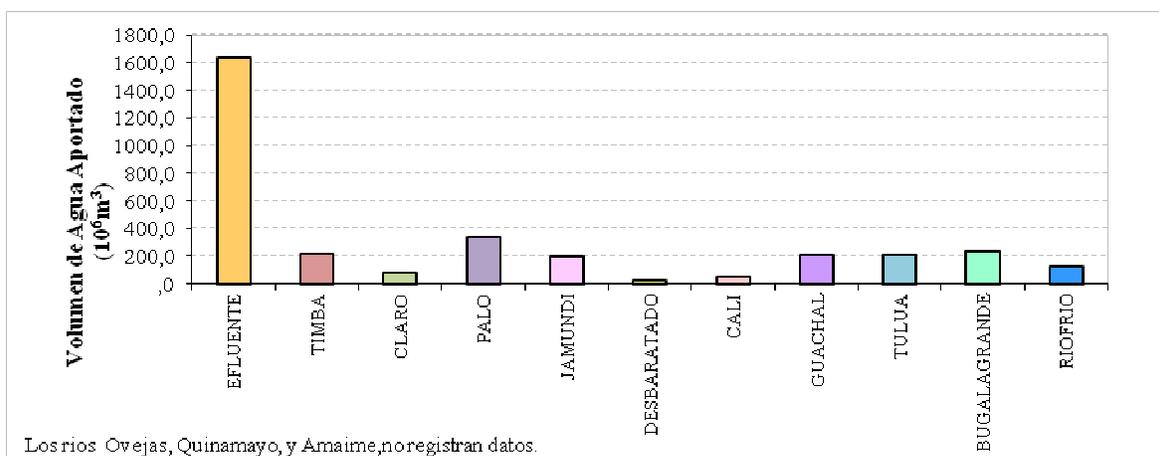
**Figura 2.69 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 1999 en la estación La Victoria**



**Figura 2.70 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 2008 en la estación La Victoria**

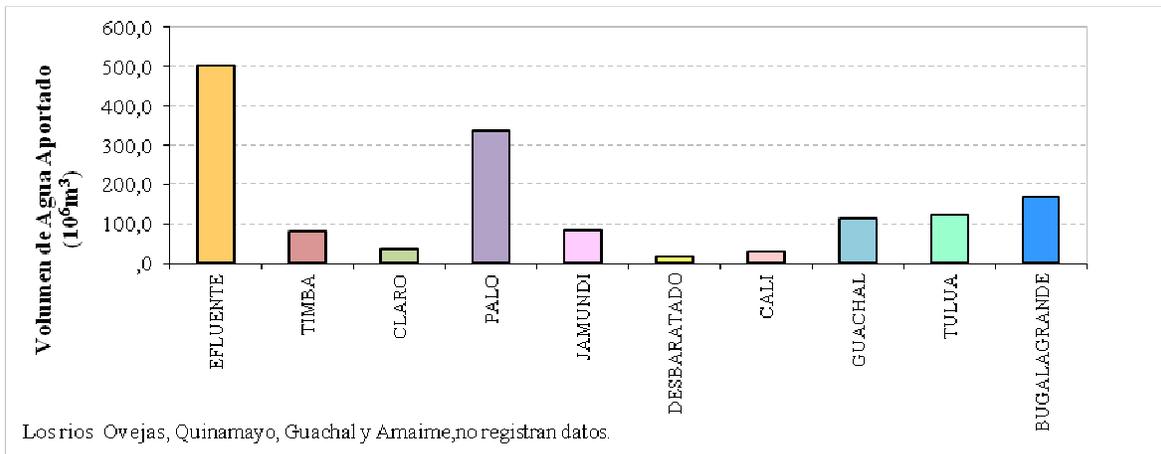


**Figura 2.71 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en la creciente de 2010 en la estación La Victoria**

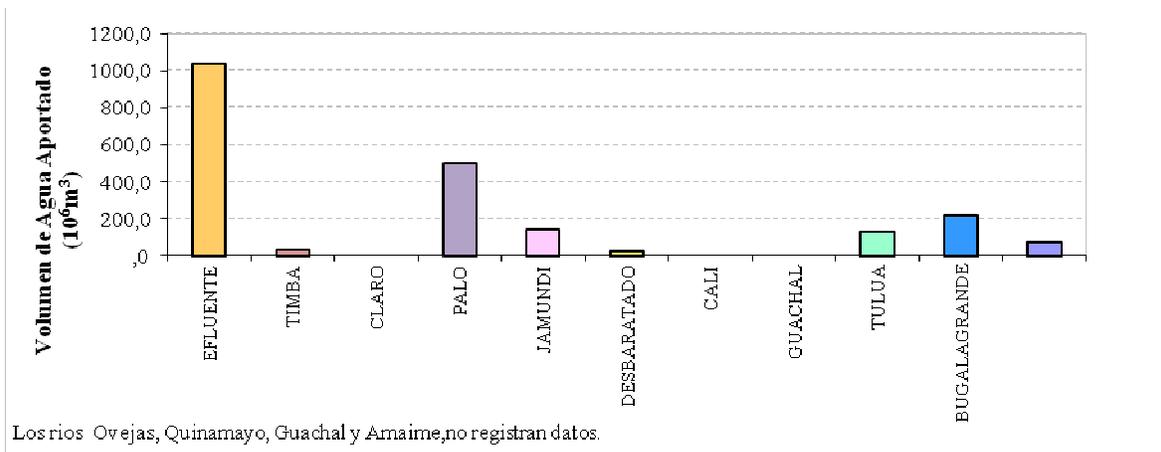


**Figura 2.72 Volúmenes de agua aportados por el Efluente (río Cauca) y los ríos tributarios en (a) el primer semestre y (b) segundo semestre de la creciente de 2011 en la estación La Victoria**

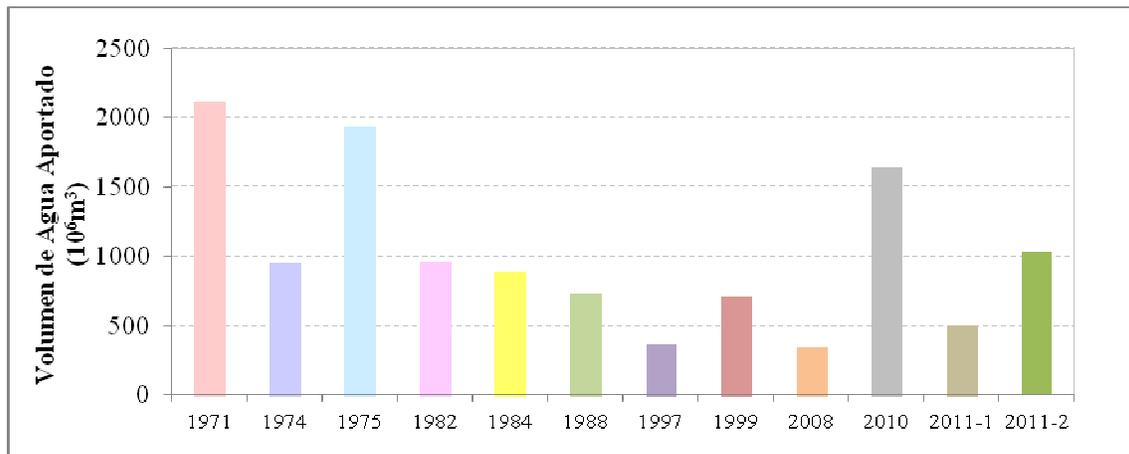
(a)



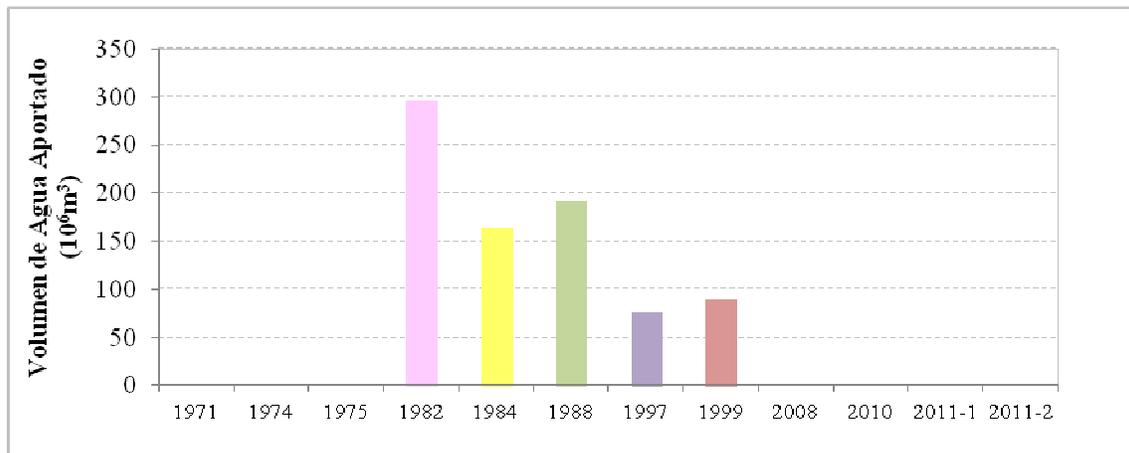
(b)



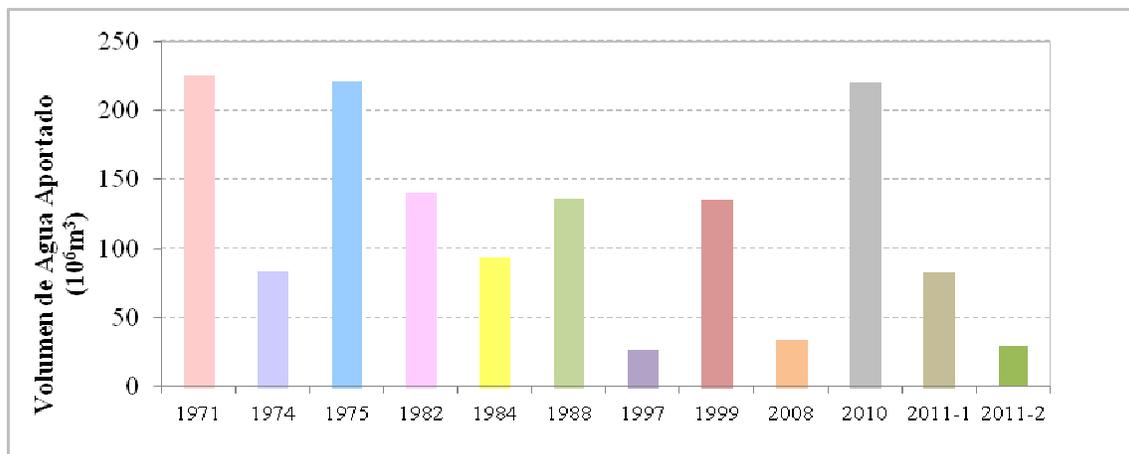
**Figura 2.73 Volumen de agua aportado por el Efluente (río Cauca) a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



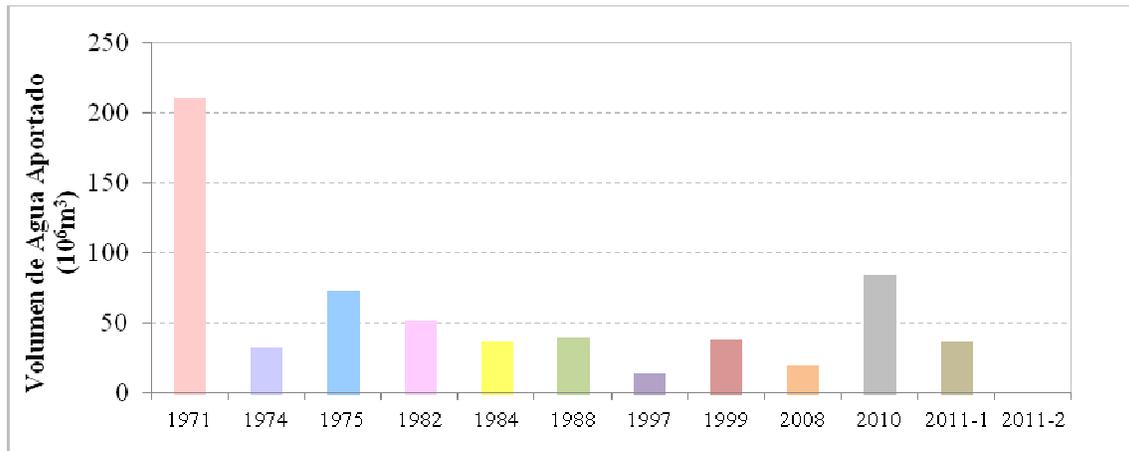
**Figura 2.74 Volumen de agua aportado por el río Ovejas a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



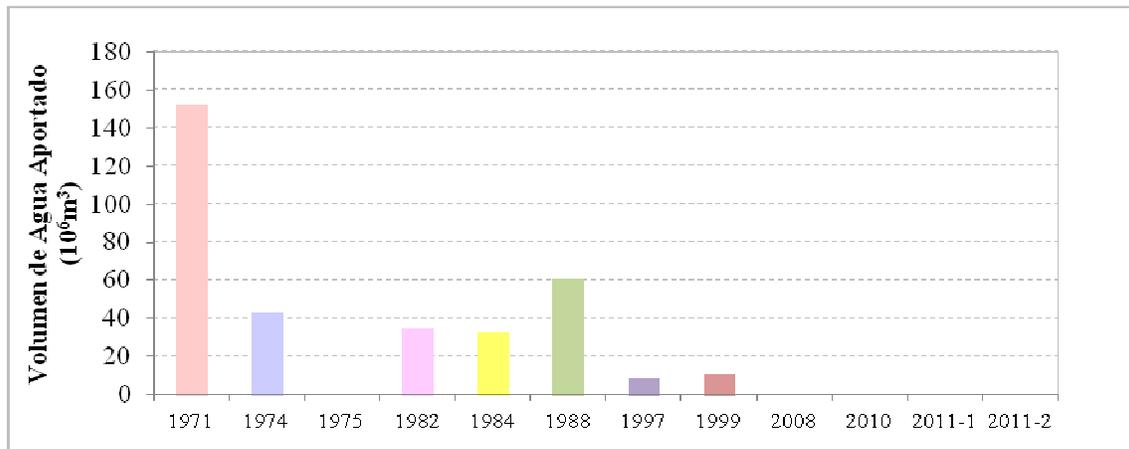
**Figura 2.75 Volumen de agua aportado por el río Timba a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



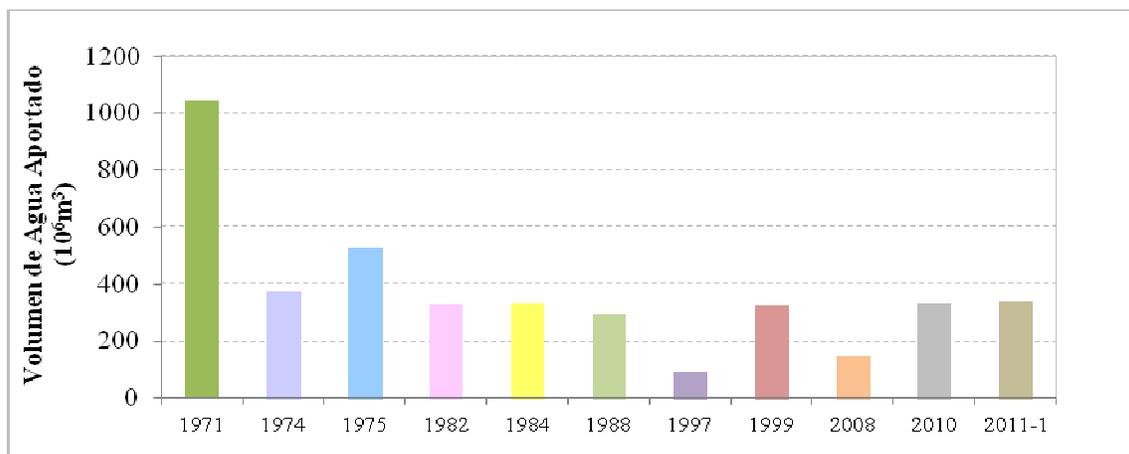
**Figura 2.76 Volumen de agua aportado por el río Claro a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



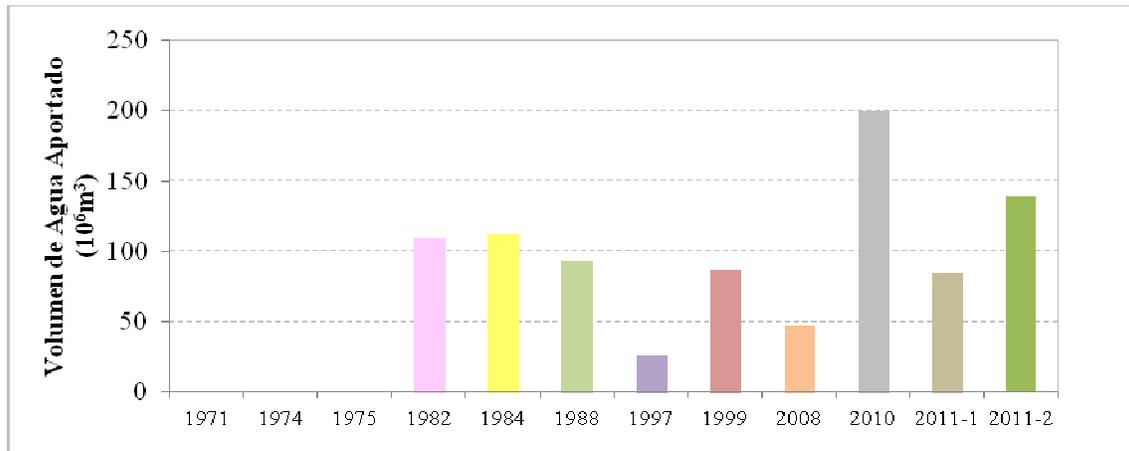
**Figura 2.77 Volumen de agua aportado por el río Quinamayó a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



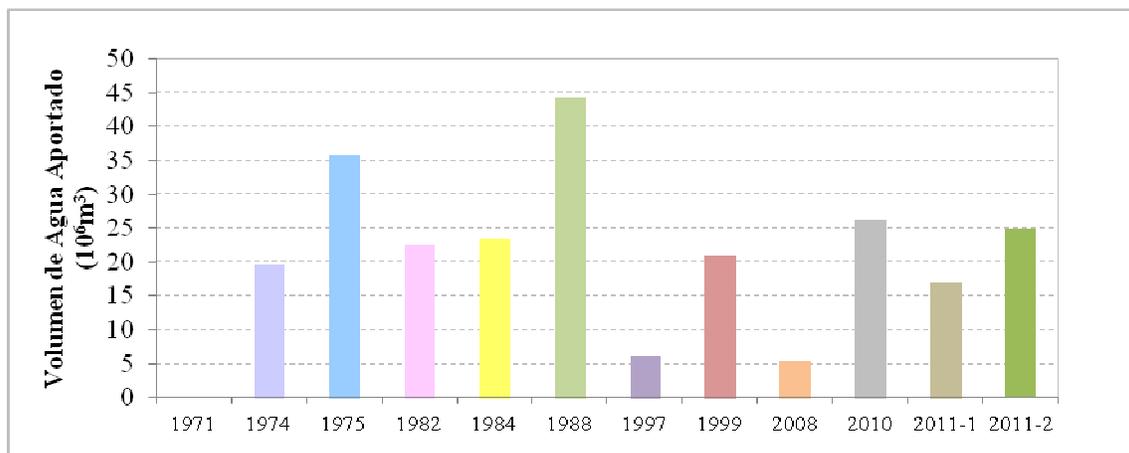
**Figura 2.78 Volumen de agua aportado por el río Palo a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



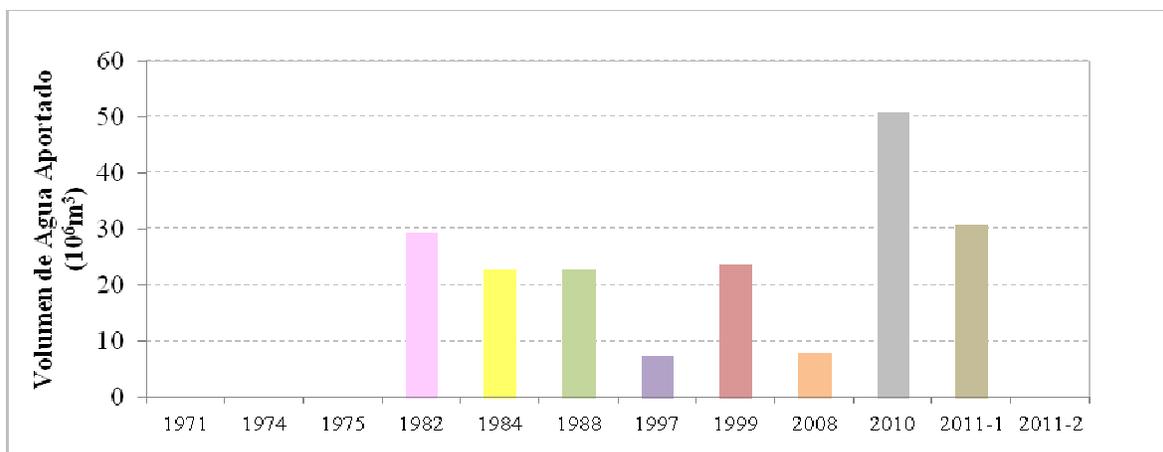
**Figura 2.79 Volumen de agua aportado por el río Jamundí a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



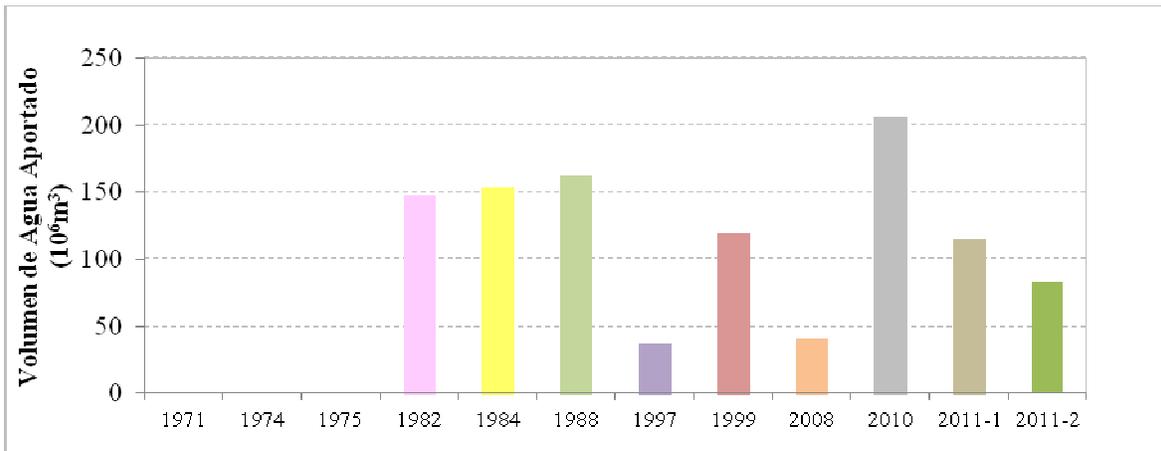
**Figura 2.80 Volumen de agua aportado por el río Desbaratado a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



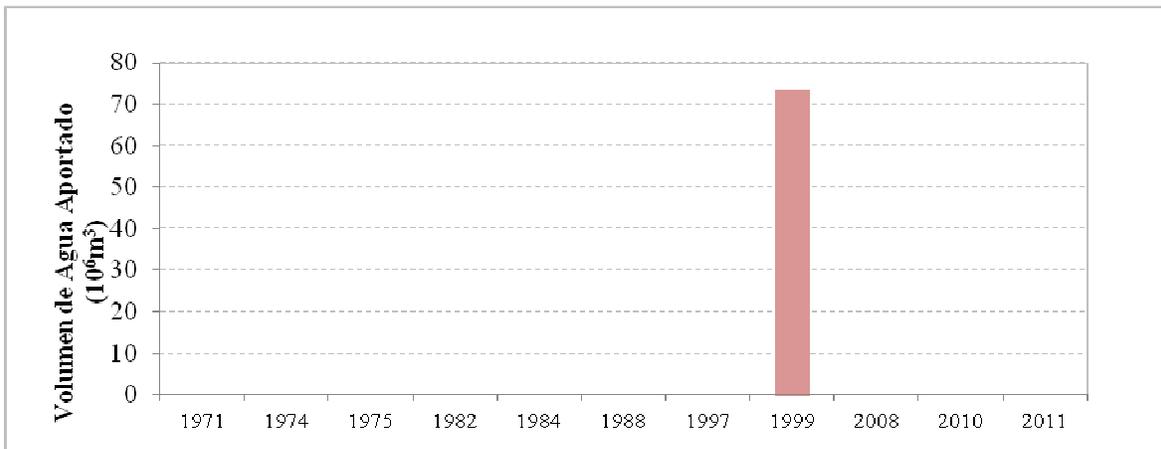
**Figura 2.81 Volumen de agua aportado por el río Cali a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



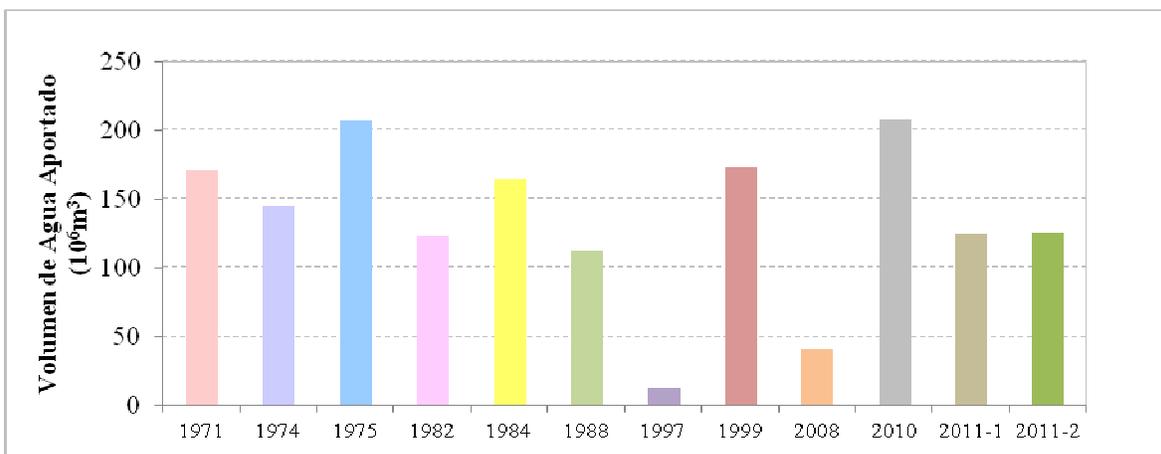
**Figura 2.82 Volumen de agua aportado por el río Guachal a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



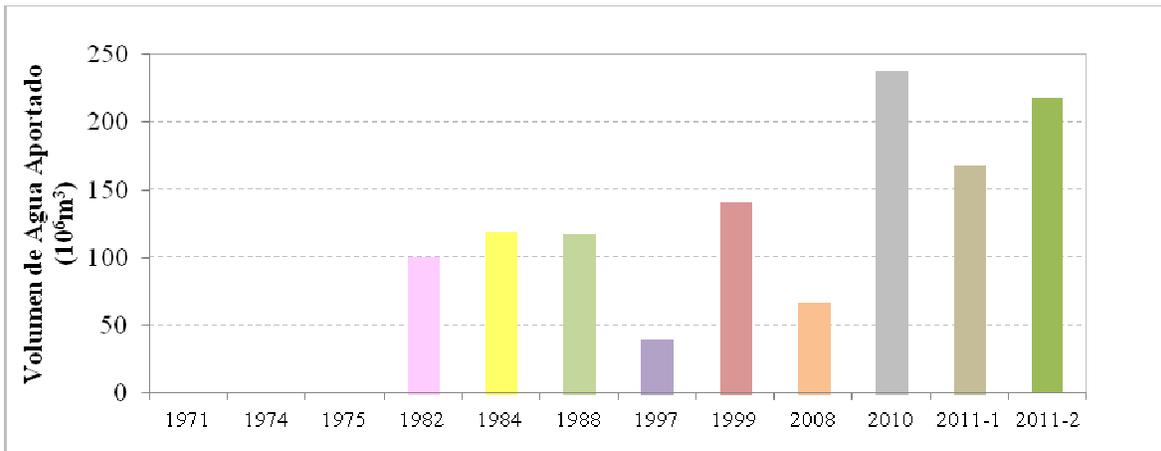
**Figura 2.83 Volumen de agua aportado por el río Amaime a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



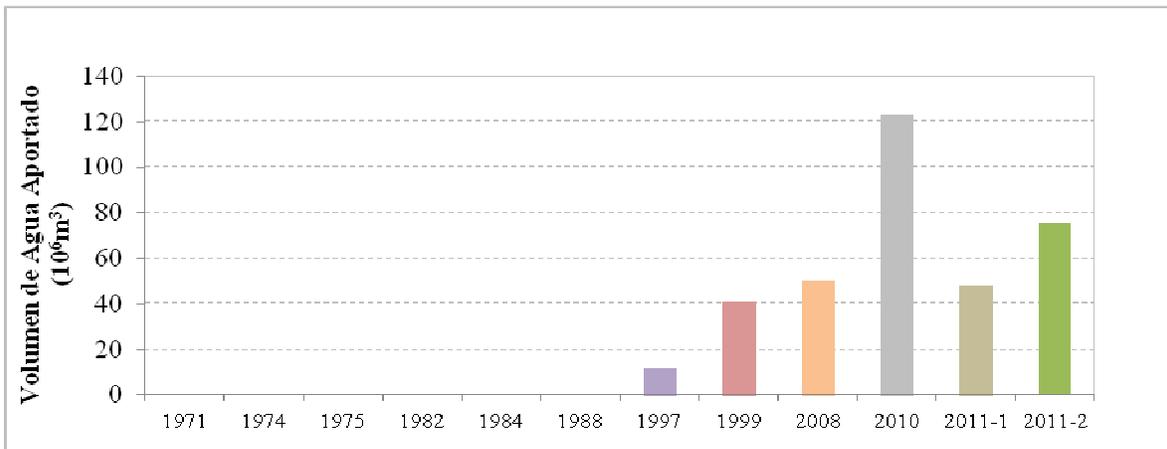
**Figura 2.84 Volumen de agua aportado por el río Tuluá a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



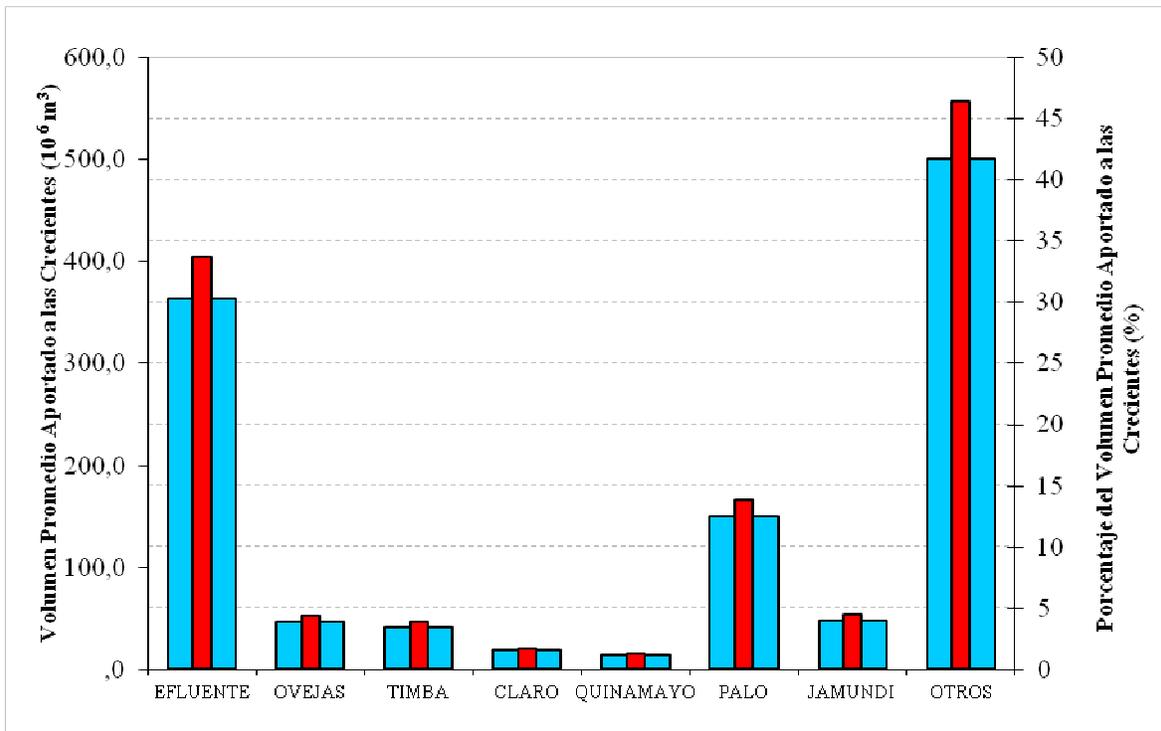
**Figura 2.85 Volumen de agua aportado por el río Bugalagrande a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



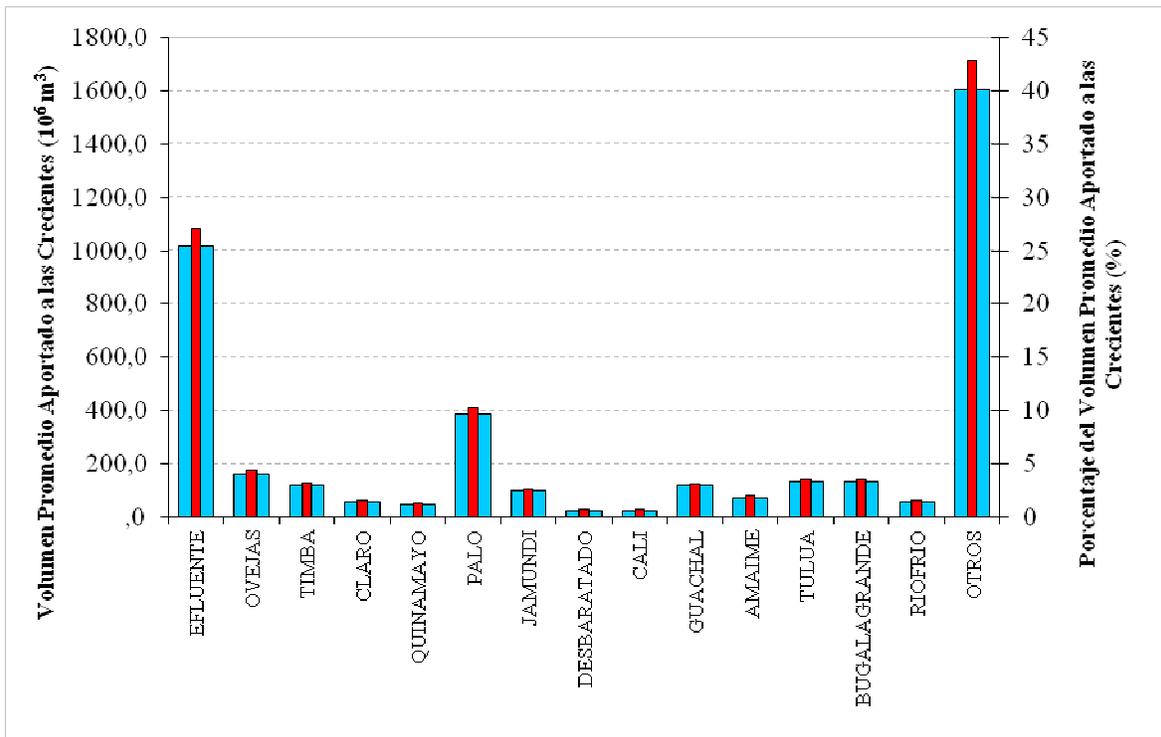
**Figura 2.86 Volumen de agua aportado por el río Riofrio a la creciete en la estación La Victoria sobre el río Cauca**



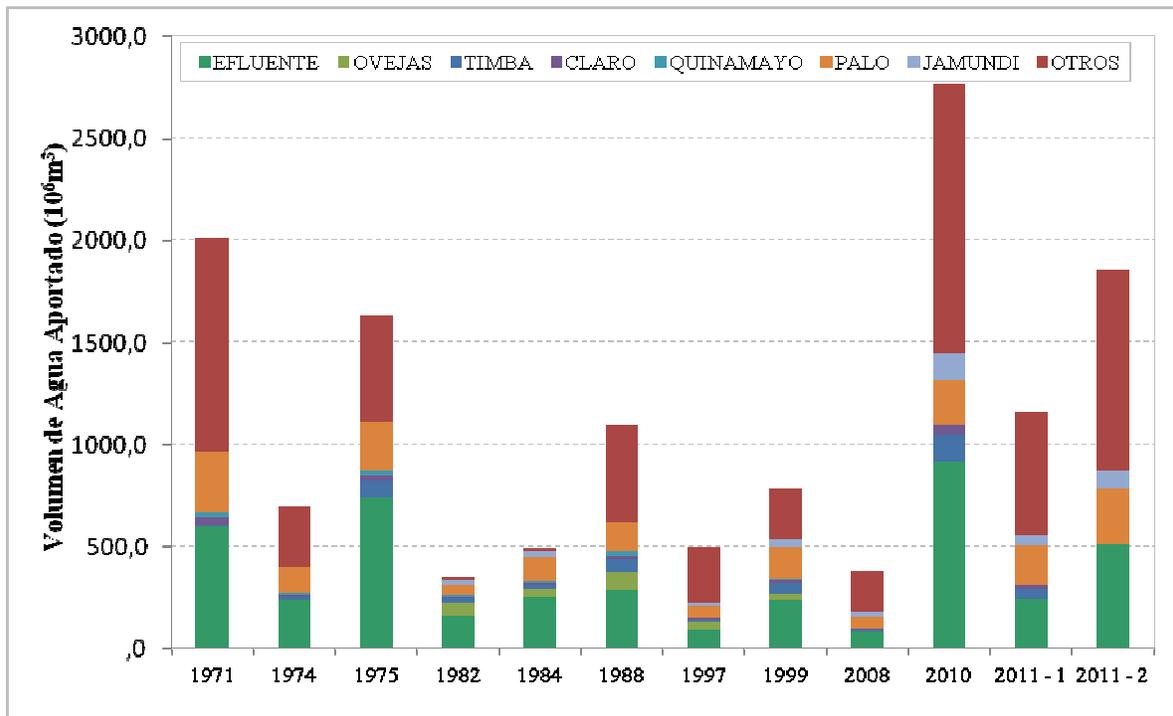
**Figura 2.87 Aportes promedio de los volúmenes de agua de los tributarios y Efluente a las crecientes históricas en la estación Juanchito**



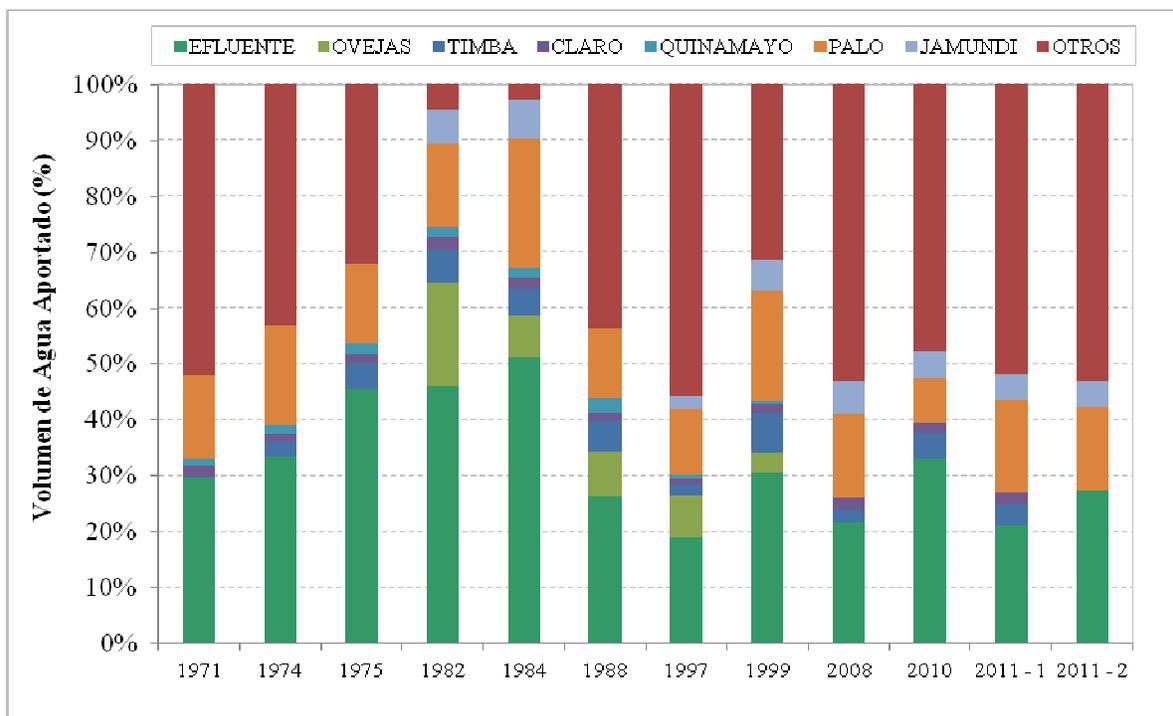
**Figura 2.88 Aportes promedio de los volúmenes de agua de los tributarios y Efluente a las crecientes históricas en la estación La Victoria**



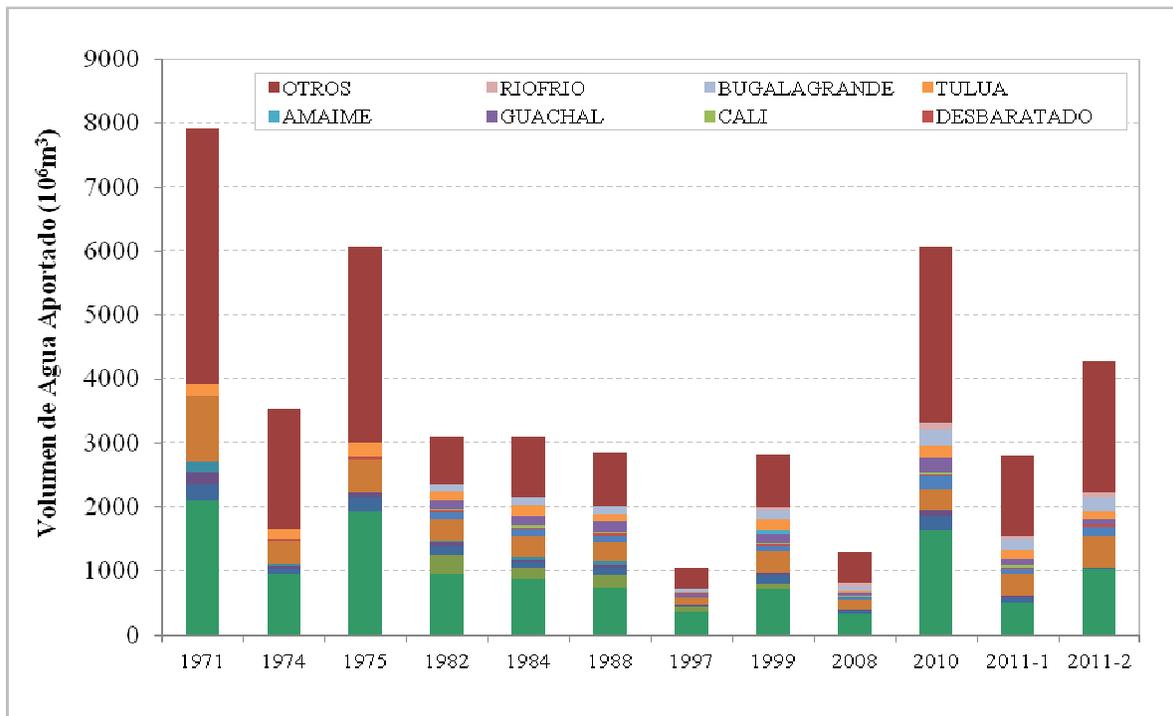
**Figura 2.89** Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en las crecientes históricas en la estación Juanchito



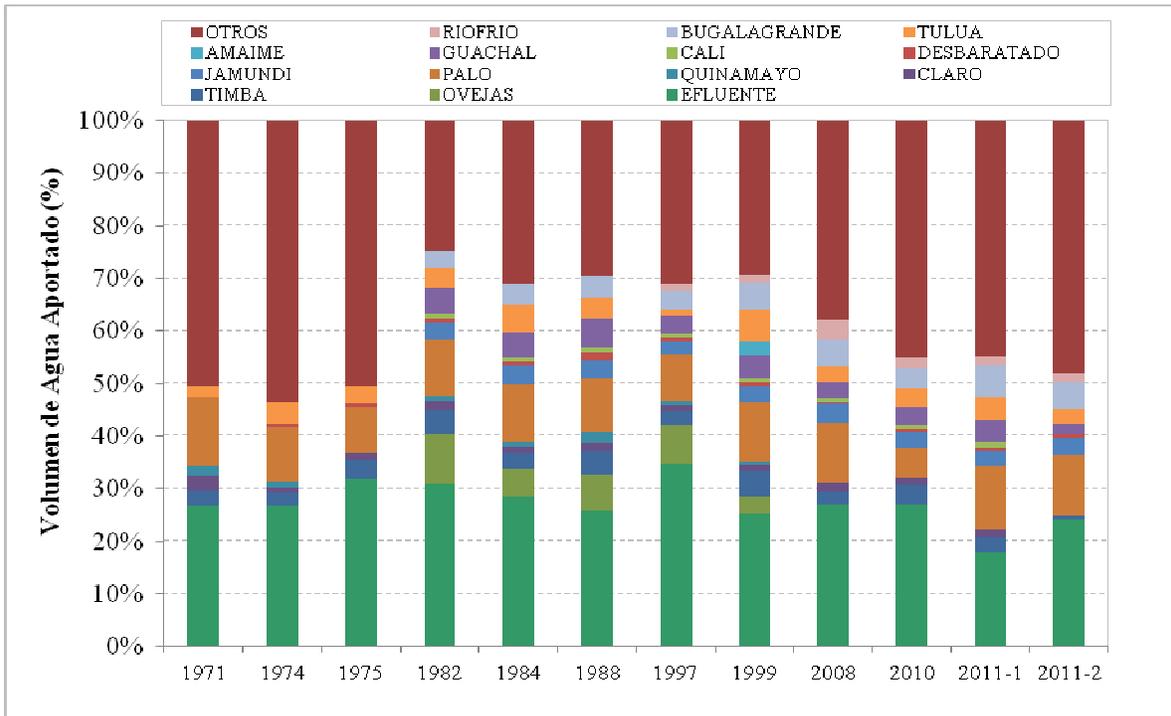
**Figura 2.90** Porcentaje de volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en las crecientes históricas en la estación Juanchito



**Figura 2.91** Volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en las crecientes históricas en la estación La Victoria



**Figura 2.92 Porcentaje de volúmenes de agua aportados por el efluente y los ríos tributarios en las crecientes históricas en la estación La Victoria**



### 3 SÍNTESIS DE DOCUMENTOS EXISTENTES SOBRE OBRAS PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES

Durante los últimos años entidades como la CVC, el DAGMA, La Universidad del Valle, La Corporación OSSO y otras firmas consultoras, han ejecutado diferentes estudios hidrológicos, hidráulicos y geomorfológicos sobre el río Cauca. Los estudios más representativos como antecedentes al estudio que se está adelantando se recopilan en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1 Documentos previos consultados relacionados con el control de inundaciones en el valle del Cauca**

Estudio N°	Título	Fuente (año)
1	Proyecto de regulación del río Cauca	CVC- INGETEC- INESCO (1975)
2	Adecuación de tierras en el alto valle del río cauca	CVC (2002)
3	Optimización y aplicaciones de los modelos hidrodinámico, sedimentológico y morfológico del río cauca tramo la Balsa- la Virginia. Proyecto de Modelación del Río Cauca - Fase II, Volumen VII	CVC – UNIVALLE (2005)
4	Levantamiento topográfico de ejes de diques marginales y llanura de inundación del río cauca tramo Yumbo - Tuluá	CVC – UNIVALLE (2006)
5	El río Cauca en su valle alto	CVC – UNIVALLE (2007)
6	Modelación Matemática del Sistema Río Cauca - Humedales	CVC – UNIVALLE (2009)
7.1	Estudio y Diseño de las Obras para el Control de Inundaciones en el Río Cauca en el Subproyecto Zanjón Tinajas - Río Claro	CVC - UNIÓN TEMPORAL HIDROTEC LTDA – INTERPROYECTOS LTDA – INGECIENCIAS S.A. (CVC, 2002)
7.2	Estudio y Diseño de las Obras para el Control de Inundaciones en el Río Cauca en los Subproyectos Río Claro – Canal Navarro	CVC - UNIÓN TEMPORAL HIDROTEC LTDA – INTERPROYECTOS LTDA – INGECIENCIAS S.A. (CVC, 2001)
7.3	Proyecto de Control de inundaciones de la margen izquierda del Río Cauca en el tramo comprendido entre el río Mediacanoa y la quebrada Chimbilaco	CVC - AZ INGENIEROS LTDA (CVC, 2000)
7.4	Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones en los subproyectos Rio piedras – Zanjón seco, Zanjón seco – quebrada coronando, quebrada coronado – rio Riofrio, rio Riofrio – madrigal, madrigal – zanjón carrizal, Zanjón carrizal – Huasanó	CVC - UNIÓN TEMPORAL HIDROINGENIERÍA LTDA - GEICOL LTDA (CVC, 2000a)
7.5	Estudios y diseños de las obras para el control de inundaciones en el subproyecto Huasanó – Río Pescador	CVC - DICONSULTORÍA S.A. (CVC, 2000b)
7.6	Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones Río Pescador - La Peña	CVC - UNION TEMPORAL ALVARO J. CHAPARRO & JOSE F. JARAMILLO (CVC, 2000c)
7.7	Estudio y diseño de las obras para el control de	CVC – HIDRO-OCCIDENTE

	inundaciones causadas por los desbordamientos del río cauca y sus tributarios en la zona río desbaratado - paso del comercio	LTDA, (CVC, 2001a)
7.8	Estudio y diseño de obras para el control de inundaciones en el río Cauca tramo Paso de la Torre – Río Zabaleta	CVC – UNIÓN TEMPORAL INTEGRAL S.A.& CONSULTORÍA AMBIENTAL (CVC, 2000d)
7.9	Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones en el subproyecto Río Sonso – Río Tulúa	CVC - UNIÓN TEMPORAL HIDROMECAÑICAS – INESCO – PLANES (CVC, 2000e)
7.10	Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones causadas por los desbordamientos del río cauca y sus tributarios en la zona entre los Ríos Tuluá y Morales	CVC – HIDRO-OCCIDENTE LTDA. (CVC, 2000f)
7.11	Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones causadas por los desbordamientos del río cauca y sus tributarios en la zona río morales - acequia quintana	CVC - HIDRO-OCCIDENTE LTDA. (CVC, 2001b)
7.12	Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones en el subproyecto acequia Quintana – río Bugalagrande	CVC - Consorcio INCOL S.A. & JUAN M. MUNDO Contratación Directa CVC No SGA.039.99
7.13	Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones en el subproyecto Quebrada Honda – Los Micos	CVC - Unión Temporal HIDROMECAÑICAS & INESCO (UT) (CVC, 2000g)
7.14	Estudios y diseños para las obras de control de inundaciones del subproyecto Quebrada Los Micos – Quebrada Aguaspietas	CVC – Unión temporal INTEGRAL S.A - CONSULTORÍA AMBIENTAL (CVC, 2001c)
8.1	Diagnóstico del estado actual de los diques de los ríos Palmira-Bolo-Fraile y Guachal	CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (FPV) (2011a)
8.2	Diagnóstico del estado actual del dique de la margen izquierda de los ríos Cali, Arroyohondo y Cauca y derecha del río Arroyohondo entre la desembocadura del río Cali y Puerto Isaacs	CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (FPV) (2011b)
8.3	Diagnóstico del estado actual de los diques Quebrada Los Micos – Quebrada Aguaspietas	CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (FPV) (2011c)
8.4	Diagnóstico del estado actual del dique de la margen izquierda de los ríos Cauca (Margen derecha) y Amaime (Margen Izquierda) entre el Paso La Torre y el río Amaime, Valle del Cauca	CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (FPV) (2011d)
8.5	Diagnostico del estado actual de los de los diques del distrito de Aguablanca	CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (FPV) (2011e)
8.6	Diagnóstico del estado actual de los diques del río Cauca entre las Quebradas La Honda y Los Micos, en el Municipio de La Victoria	CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (FPV) (2011f)
8.7	Diagnóstico del estado actual de los jarillones del río cauca sector Domingo Largo – Poblado Campestre, margen derecha, Valle del Cauca	CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (FPV) (2011g)
8.8	Diagnóstico del estado actual de los jarillones del río	CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO

	cauca sector Paso del Comercio – Puerto Isaacs. Municipio de Palmira, Valle del Cauca.	VERDE (FPV) (2011h)
9	Estudio y diseño de las obras de mejoramiento y rehabilitación del dique marginal y de protección de las orillas del río cauca en el distrito de riego Roldanillo - La unión- Toro	CVC – UNIVALLE (2011)
10	Informe de evaluación y ajuste de la propuesta de intervención presentada como soporte para acceder al fondo de recurso de calamidades	CVC – VALENCIA & ESCOBAR (2012)
11	Áreas afectadas por ola invernal y evaluación de acciones realizadas por CVC	CVC – VALENCIA ESCOBAR (2012)
12	Contrato de consultoría n° 101 de 2012 celebrado entre el fondo adaptación y corporación observatorio sismológico	CORPORACIÓN OSSO (2012)

Aunque no se ha dicho de manera explícita, es evidente que el control de inundaciones, como parte de los proyectos de ingeniería en torno al río Cauca bajo el Proyecto de Regulación del río Cauca, se ha fundamentado en la capacidad de regulación de la represa de Salvajina y obras complementarias denominadas *anillos de protección* basadas en diques marginales al río Cauca y tributarios (CVC - UNIVALLE, 2007). Las únicas obras complementarias que se ejecutaron bajo el concepto de anillo de protección y que aún funcionan, son las de Aguablanca y RUT, las cuales se construyeron antes de la formulación oficial del Proyecto de Regulación del Río Cauca. Las obras complementarias restantes no se han construido de acuerdo con lo proyectado en el año 2000, sólo habiéndose construido hasta ahora, diques marginales de manera independiente por fuera de las especificaciones técnicas propuestas por la CVC y sin el concepto de protección de carácter colectivo. Dichas obras aún son objeto de evaluación.

### ***ANILLO AGUABLANCA (1958)***

Las constantes inundaciones sufridas por la zona baja circunvecina de la ciudad de Cali hacía el río Cauca, con interrupción del tránsito por carretera a Palmira, la imposibilidad de realizar aprovechamientos agrícolas de estos terrenos y las condiciones de insalubridad generadas por el represamiento hacia el río Cauca de las aguas residuales que conducía el río Cañaveralejo hacia el Caño Cauquita, crearon la necesidad de emprender el Proyecto de Aguablanca para la defensa contra inundaciones, producidas tanto por el río Cauca como por sus afluentes locales.

Tal como se mencionó anteriormente, éste fue el primer anillo para protección contra inundaciones y drenaje, ajustando el diseño realizado por la firma de Bogotá OLAP en 1951 a un área protegida de 5.000 ha con 32 km de diques desde Navarro hasta el Paso del Comercio diseñados para un periodo de retorno de 10 años y un borde libre de 1 m.

Las principales obras del proyecto incluían 15 km de dique a lo largo de la margen izquierda del río Cauca y 2 km a lo largo de la carretera directa a Palmira, 9 Km de canal para interceptar los ríos Cañaveralejo, Meléndez y Lili, 9 km de dique por la margen izquierda del canal. Por la margen derecha del canal un dique auxiliar. Un canal principal

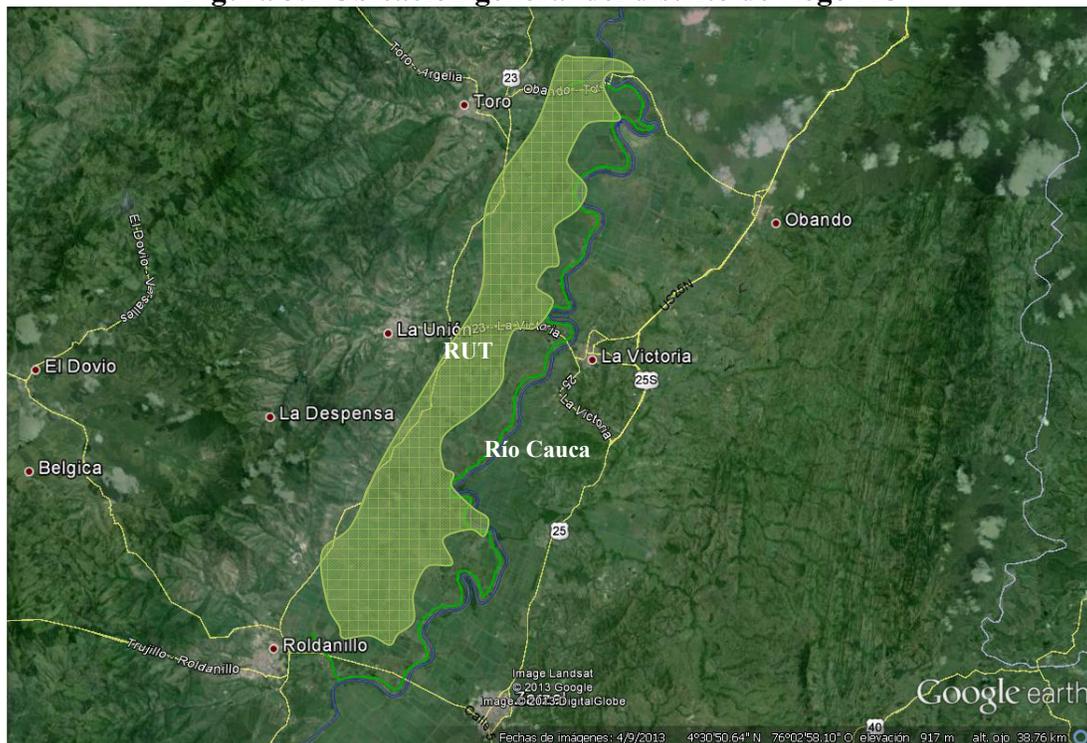
de avenamiento de 11.3 km y un canal secundario (también de avenamiento) de 2.4 Km de longitud para facilitar la evacuación de las aguas lluvias y de riego dentro de la zona protegida. Hacían parte del proyecto una estación de bombas en el Paso del Comercio, un lago de retención de aguas de lluvias de 30 hectáreas, una alcantarilla a través del dique principal por la margen del río a la altura de Juanchito, puentes en los sitios donde los canales cruzaran vías y una estructura de desviación del río Cañaveralejo (CVC-FPV, 2011e).

Frente a las obras planteadas, se contemplaba el diseño de lagunas de regulación del drenaje pluvial con 800.000 m<sup>3</sup> de capacidad, pero el área fue parcialmente invadida y hoy sólo disponen de 322.000 m<sup>3</sup>. La laguna reguladora de Desepaz no se construyó y su espacio fue urbanizado, lo cual obligó a EMCALI a incrementar la capacidad de bombeo con la construcción de una planta de bombas en Puerto Mallarino (1992), la cual actualmente tiene una capacidad de 28 m<sup>3</sup> /s, y la ampliación de la estación de bombas del Paso del Comercio (1996), cuya capacidad actual es de 25 m<sup>3</sup>/s (CVC – FPV, 2011e).

Posterior a la construcción de este anillo de protección, se han llevado a cabo estudios adicionales para evaluar la vulnerabilidad de éste ante desastres naturales liderados por la CVC, la UNIVERSIDAD DEL VALLE, el DAGMA – HIDRO-OCCIDENTE y la CORPORACIÓN OSSO. Estos últimos han recopilado estudios de los demás entes mencionados como parte de la evaluación hidrológica e hidráulica del dique construido en inmediaciones del río Cauca a la altura de la ciudad de Cali, simulando escenarios de una a seis roturas generadas en el cuerpo del dique para diferentes periodos de retorno de desbordamientos (100, 250 y 500 años). Las dimensiones de las roturas evaluadas se basaron en las dimensiones típicas de rotura producidas en otros diques del Valle del Cauca y Colombia. A partir de la generación de la amenaza por inundación y la evaluación de la exposición de la infraestructura de la ciudad de Cali, se han estimado los escenarios de riesgo para cada uno de los periodos de retorno establecidos.

### ***ANILLO RUT (1959)***

Una vez terminado el proyecto de Aguablanca se procedió a la construcción del Proyecto Piloto La Unión, denominado en este caso como RUT por tener área en tres municipios: Roldanillo, La Unión y Toro (ver **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**). En este caso el proyecto, además de la protección contra inundaciones y drenaje, incluía riego, comprendiendo un área total de 10.000 ha. Este proyecto incluye un dique marginal de protección contra crecientes del río Cauca para un período de retorno de 10 años. Posteriormente, algunos propietarios de tierras, de manera independiente y por fuera del sistema propuesto por CVC y valorización, comenzaron a construir protecciones contra las inundaciones, los cuales en ocasiones no cumplieron con las especificaciones técnicas de construcción recomendadas por la CVC.

**Figura 3.1 Ubicación general del distrito de riego RUT**

Fuente: Google Earth (2013)

Este proyecto aún se encuentra operando y es el único de todos los proyectos de adecuación de tierras construidos en el valle alto del río Cauca que cuenta con una asociación de usuarios, ASORUT, que además está a cargo de la operación del proyecto (CVC, 2002).

### ***OBRAS COMPLEMENTARIAS (1964 - 1976)***

Posterior a la construcción del distrito de riego RUT y antes de la formulación de las obras del Proyecto de regulación del río Cauca, con el fin de facilitar a los propietarios de tierras la construcción de los proyectos, la CVC realizó una alianza con las oficinas de Valorización de los departamentos del Valle del Cauca y Cauca, creando el Programa de Obras Intermedias (ver Cuadro 3.2). Mediante este programa la CVC efectuaba los diseños y la interventoría de construcción, la oficina de Valorización financiaba los proyectos y determinaba los beneficios de las obras, repartiendo proporcionalmente los costos entre los propietarios, y éstos, a su vez, pagaban el costo correspondiente a cada predio por las obras mediante el sistema de Valorización (CVC, 2002).

Cabe resaltar que sobre el área de aferencia de las quebradas Los Micos y Aguaspietas, anteriormente en 1956, en el marco del informe “Desarrollo Coordinado de Energía y Recursos Hidráulicos en el Valle del río Cauca”, se incluyeron obras de drenaje, riego y control de avenidas, identificándose trece proyectos pilotos como unidades principales de desarrollo. El proyecto piloto No. XII, se denominaba Zaragoza y comprendía la zona plana de los municipios de Obando y Cartago, entre las quebradas Los Micos y Aguaspietas.

Por dificultades de orden financiero, la construcción de las obras de los proyectos Zaragoza, La Victoria-Cartago y Obando- Cartago (Quebrada Los Micos – Quebrada Aguaspietas) se fueron posponiendo en el tiempo, propiciando que algunos propietarios, buscando aprovechar sus tierras agrícolas, construyeran obras de drenaje parcial (CVC – FPV, 2011c).

En 1970, la CVC presenta los diseños del proyecto Río Palmira- Río Bolo, Río Bolo – Río Fraile y Puerto Isaacs - La Guajira (ver Cuadro 3.2), para protección de dichas zonas contra inundaciones de frecuencia 1:10 años, un área de 6.600 hectáreas. Conformaban el proyecto dos canales interceptores (norte y sur), mejoramiento del cauce del río Palmira, diques marginales sobre este último y sobre los ríos Bolo (ambas márgenes) y Guachal margen derecha y estructuras y dique marginal sobre el río Cauca.

En ese mismo año el Ministerio de Obras Públicas encomendó a la CVC el estudio y diseño de las obras necesarias para la protección contra crecidas de los ríos Cauca, Arroyohondo, quebrada Guabinas de la zona de la Autopista Cali-Yumbo al norte del río Arroyohondo. El proyecto planteado por CVC proponía para el tramo de la autopista Cali-Yumbo entre el río Arroyohondo y su cruce con la vía férrea Cali-Yumbo: (i) Canal interceptor y dique con origen en el cruce la quebrada Guabinas con la antigua carretera Cali-Yumbo, (ii) Mejoramiento del dique existente sobre el costado norte del río Arroyohondo, desde la entrega del canal Guabinas hasta el río Cauca, (iii) Dique por la margen izquierda del río Cauca desde la desembocadura del río Arroyohondo hasta pocos metros aguas abajo de la planta de bombas de Propal, (iv) Dique que cruza tierras del ingenio Meléndez, (v) Dique por la margen izquierda del río Cauca hasta la planta de bombas de Termoeléctrica Yumbo, (vi) Diques en zonas de Chidral hasta la Autopista. La protección en el río Cauca se definió para la frecuencia de 50 años, con un borde libre de 0,70 m. (CVC – FPV, 2011b).

En 1975, la CVC definió un proyecto con el objeto de proteger 3.200 ha y como elementos básicos un canal interceptor, un dique marginal izquierdo sobre el río Bolo, rectificación de cauce y dique en la margen izquierda del río Fraile (CVC – FPV, 2011a).

**Cuadro 3.2 Proyectos construidos en el Programa de Obras Intermedias**

Proyecto	Área (ha)	Tipo	Periodo de retorno	Periodo de construcción
Autopista Cali Yumbo	640	PI	50	1971-1972
Puerto Isaacs – La Guajira	1700	PI	50	1971-1972
La Selva – Paso La Torre	1400	PI-D-R	10	1974-1975
Río Palmira – Río Bolo	1700	PI-D	10	1973-1975
Puerto Tejada (Cauca)	2460	PI	10	1975-
Río Bolo – Río Fraile	3200	PI	10	1975-1976
Total	11100			

PI : Proyecto de control de inundaciones, D : Proyecto de drenaje, R : Proyecto de riego

Fuente: CVC (2002)

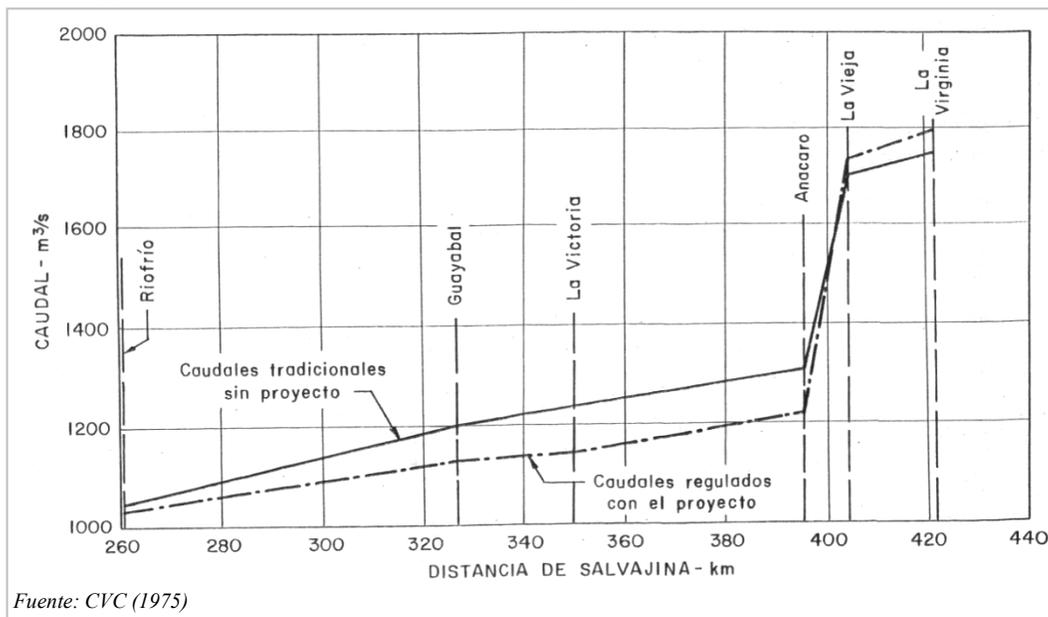
### **PROYECTO DE REGULACIÓN DEL RÍO CAUCA (1975)**

Ya existían dos grandes proyectos construidos y que habían superado las pruebas ante las pasadas crecientes del río Cauca: Aguablanca y RUT. No obstante, todavía faltaban más medidas estructurales de control de inundaciones en el valle alto del río Cauca, por lo cual

se plantearon una serie de obras en el *Proyecto de Regulación del Río Cauca* (1975), el cual tenía como filosofía causar la menor deformación de los caudales a lo largo del cauce del río Cauca en su valle alto a partir de la formulación de un sistema de regulación y control de inundaciones conformado por la represa de Salvajina y obras en la planicie inundable, las cuales darían protección contra las inundaciones causadas por los desbordamientos del río Cauca para una creciente con un periodo de retorno de 10 años, dichas obras comprendían 71 subproyectos en la zona plana, 29 en la margen derecha y 42 en la margen izquierda, de los cuales hacían parte Aguablanca y RUT ya construidos (ver Figura 3.3 y Cuadro 3.3).

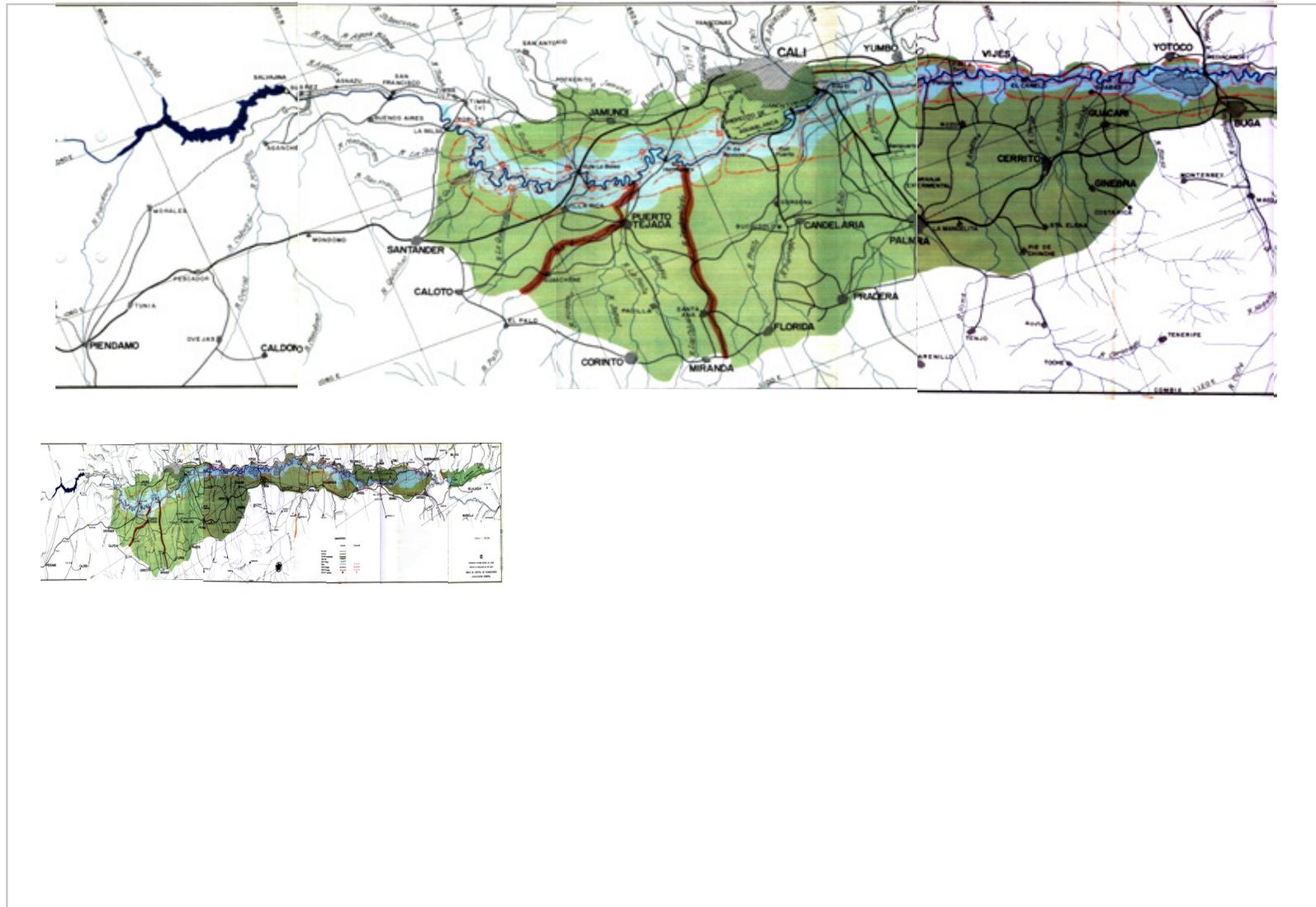
En este proyecto se contemplo, como era de esperarse, que con la construcción de los diques marginales el río Cauca incrementaría los caudales significativamente. Así, para la creciente con periodo de retorne de 10 años y el caudal máximo en La Virginia aumentaría de  $1.732 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $2.557 \text{ m}^3/\text{s}$ . En el caso de una avenida de 1 en 10 años los caudales en La Virginia aumentarían en un máximo registrado de  $1.732 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $2.557 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para contrarrestar los perjuicios que este aumento de caudales pudiera ocasionar aguas abajo de La Virginia se recomendó utilizar el máximo del efecto regulador de la represa de Salvajina, de tal manera que los caudales fueran los que se tendrían sin la construcción de los diques (ver Figura 3.2). Por esta razón, se recomendó adoptar la alternativa de presa de altura máxima y diques mínimos (CVC, 1975).

**Figura 3.2 Caudales en el río Cauca para una frecuencia de 1:10 años**



Posteriormente, bajo el respaldo de CVC, este periodo de retorno de diseño sería incrementado a raíz de una evaluación realizada en septiembre de 1977, concluyéndose que el grado mínimo de protección para el valle alto del río Cauca debía ser tal que controle todas las avenidas históricas con un factor de seguridad del 10% que en términos de periodo de retorno es equivalente a 30 años (CVC, 1985). Este último criterio fue aceptado por entidades financieras y por el sector agropecuario para las obras en la planicie.

Figura 3.3 Anillos de protección contra inundaciones planteados en el Proyecto de regulación del río Cauca



**Cuadro 3.3 Proyectos de anillos de protección contra inundaciones en el valle alto del río Cauca**

No.	Proyecto	Área Protegida (ha)
<b>Margen Izquierda</b>		
1	Robles – Zanjón Tinajas	2480
2	Zanjón Tinajas – Río Claro	2040
3	Río Claro – Río Jamundí	3700
4	Río Jamundí – Canal Navarro	3200
5	Aguablanca	5000
6	Paso del Comercio – Río Cali	100
7	Río Cali – Río Arroyohondo	140
8	Río Arroyohondo – Puerto Isaacs	1700
9	Puerto Isaacs – Río Yumbo	260
10	Río Yumbo – Q. Mulaló	560
11	Q. Mulaló – San Marcos	160
12	San Marcos	80
13	San Marcos – Vijes	100
14	Vijes	160
15	Vijes – El Guabal	90
16	El Guabal – El Espinal	340
17	El Espinal – Hatoviejo	80
18	Hatoviejo – Yotoco	500
19	Yotoco – Mediacanoa	360
20	Norte de Mediacanoa	300
21	Chimilaco	250
22	Sur Q. La Negra	170
23	Q. La Negra – Río Piedras	1190
24	Río Piedras – Zanjón Seco	250
25	Zanjón Seco – Q. Coronado	110
26	Q. Coronado – Río Riofrío	250
27	Río Riofrío - Madrigal	930
28	Madrigal – Zanjón Carrizal	70
29	Zanjón Carrizal - Huasanó	190
30	Huasanó – Q. Robledo	88
31	Q. Robledo – Q. La Herradura	100
32	Q. La Herradura - Ricaute	290
33	Ricaute – Río Pescador	360
34	Río Pescador – La Peña	90
35	La Peña – Est. de bombas Roldanillo	400
36	Roldadillo – La Unión - Toro	10000
37	Interceptor RUT – La Meseta	250
38	La Meseta – Zanjón Guabinas	900
39	Zanjón Guabinas – Zanjón Rojas	600
40	Norte Zanjón Catarina	650
41	Sur Río Cañaverál	150
42	Río Cañaverál – Río Risaralda	600
<b>Total margen izquierda</b>		<b>39238</b>

Fuente: CVC - UNIVALLE (2005)

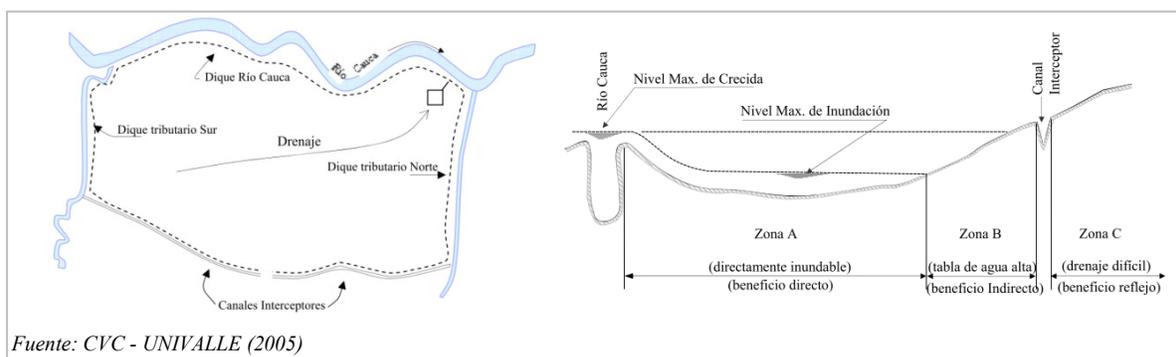
**Proyectos de anillos de protección contra inundaciones (cont.)**

No.	Proyecto	Área Protegida
<b>Margen Derecha</b>		
43	La Balsa – Río La Teta	470
44	Río La Teta – Río Quinamayó	520
45	Río Quinamayó – Río La Quebrada	890
46	Río La Quebrada – Zanjón Zapera	2040
47	Zanjón Zapera – Río Palo	1690
48	Río Palo – Zanjón Oscuro	2090
49	Zanjón Oscuro - Río Desbaratado	600
50	Río Desbaratado – Paso del Comercio	5210
51	Río Fraile – Río Palmira	4900
52	Paso del Comercio – Río Guachal	3500
53	Río Palmira – Zanjón Rozo	2050
54	Zanjón Rozo – Paso de la Torre	790
55	Paso de la Torre - Río Amaime	1160
56	Río Amaime – Río Cerrito	920
57	Río Cerrito – Río Zabaletas	720
58	Río Zabaletas – Río Guabas	550
59	Río Guabas – Río Sonso	680
60	Río Sonso – Río Guadalajara	2290
61	Río Guadalajara - Qda. San Pedro	4020
62	Q. San Pedro – Río Tuluá	2820
63	Río Tuluá – Río Morales	350
64	Río Morales – Acequia Quintana	1630
65	Acequia Quintana – Río Bugalagrande	2800
66	Río Bugalagrande – Río La Paila	5510
67	Río La Paila – Q. Las Cañas	1220
68	Q. Las Cañas – Q. La Honda	2990
69	Q. La Honda – Q. Los Micos	1470
70	Q. Los Micos - Q. Aguaspietas	14040
71	Q. Aguaspietas – Río La Vieja	1680
<b>Total Margen derecha</b>		<b>69600</b>

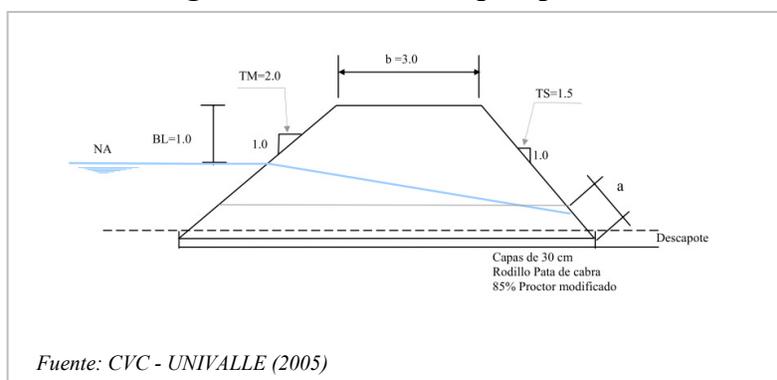
Fuente: CVC - UNIVALLE (2005)

Todas las obras de protección complementarias planteadas a lo largo del valle alto del río Cauca, consideraban, además de los diques en el río Cauca y la parte baja de los tributarios o afluentes, la construcción de canales interceptores de las aguas de las zonas altas que drenan por gravedad al río Cauca hacia la zona protegida (aguas de escorrentía), canales de drenaje dentro de las zonas protegidas para evacuar las aguas por gravedad en temporadas de estiaje y plantas de bombeo para evacuar las aguas en temporadas de crecientes (ver Figura 3.4 y Figura 3.5).

**Figura 3.4 Esquema típico de anillos de protección y perfil de la llanura de inundación en la cuenca del Río Cauca**



**Figura 3.5 Características geométricas de los diques para el Control de Inundaciones**



**Cuadro 3.4 Principales obras de adecuación de tierras propuesta en el Proyecto de Regulación del río Cauca (1975)**

Obra	Unidad	Margen Izquierda	Margen derecha	Total
Diques río cauca	km	238,5	312,8	551,3
Diques ríos tributarios	km	49,3	153	202,3
Canales interceptores	km	165	247,5	412,5
Canales de drenaje	km	28	33,5	61,5
Estaciones de bombeo	m <sup>3</sup> /s	18,6	34,4	53,0
Puentes	unidad	136	208	344,0
Área protegida	ha	31.45	73.190	<b>104.640</b>

Fuente: CVC (2002)

### 3.4.1 Represa de Salvajina (1985)

La construcción de la represa de Salvajina se realizó en el periodo 1981-1985 y su llenado culminó en 1986. El cuerpo de la presa es de gravas con cara de concreto de 154 m de altura y un embalse con capacidad de 773 millones de m<sup>3</sup>. El manejo de la represa de Salvajina se realiza mediante la regla de operación establecida para este proyecto desde su puesta en funcionamiento en 1985, en la cual la CVC le define a EPSA los límites para la generación de energía eléctrica, manteniendo como prioridad la regulación del caudal del río Cauca (CVC, 2002).

### **OBRAS COMPLEMENTARIAS (1976 - 1992)**

Después de la formulación del Proyecto de Regulación del Río Cauca, en el año 1976 se iniciaron nuevos estudios de protección contra inundaciones y drenaje primario entre las quebradas Los Micos y Aguasprietas con el nombre de Obando - Cartago con el fin de beneficiar 12.000 hectáreas. Para el drenaje se consideraron tres zonas, correspondiendo la zona sur al zanjón El Guineo como drenaje independiente. Luego, en una revisión se unió la zona sur con el área siguiente, conformando la llamada zona intermedia del proyecto que finalmente quedó bajo el nombre Quebrada Los Micos - Quebrada Aguasprietas.

Para la zona de aferencia del tramo Quebrada La Honda- Quebrada Los Micos se tiene que en 1981 la CVC, por solicitud de los usuarios del sector, inició los diseños del proyecto para control de inundaciones en dicha zona, conformado por un dique en la margen derecha del río Cauca (4 km) y otro por la margen izquierda de la Quebrada Los Micos (1 km), con alturas promedio de 3,44 m y 2,79 m respectivamente. En 1984, se propuso conectar el Zanjón Mojahuevos con el río Cauca mediante un canal de 3,5 km y construir diques marginales al mismo.

A raíz del desbordamiento del río Amaime en noviembre de 1984, que inundó los terrenos sobre su margen derecha, se llevó a cabo un proceso intensivo de adecuación de la infraestructura para el control de inundaciones en las haciendas Berlín, El Oviedo, La Ínsula, La Esperanza, Guaguyá, Villa Inés, cuyos diseños fueron aprobados por CVC a través de la oficina de Control de Aguas (CVC – FPV, 2011d).

A partir de 1986 comenzó a operar el embalse de Salvajina iniciándose la regulación del río Cauca. Una vez construida la presa de Salvajina y contando la CVC con su propio Estatuto de Valorización se dio por concluido el Programa de Obras Intermedias, continuando la construcción de las obras faltantes en la planicie aluvial contempladas en el Proyecto de Regulación del Río Cauca (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) (CVC, 2002).

**Cuadro 3.5 Adecuación de tierras del proyecto de regulación del río Cauca**

Proyecto	Área (Ha)	Tipo	Periodo de retorno	Periodo de construcción
Zanjón Majahuevos	5000	D	10	1984-1986
La Victoria – Los Micos	380	PI	30	1986-1988
Ticuante – El Conchal	2500	PI-D	30	1985-1992
Dique Margen derecha Bugalagrande	3500	PI	30	1988-1992
Total	11380			

Fuente: CVC (2002)

Con diseños elaborados por la CVC en el año 1992, en la zona de influencia del subproyecto Domingo Largo – Poblado Campestre (municipio de Candelaria), se destacan como trabajos previos el proyecto de canalización del Zanjón Tortugas, el cual buscaba mejorar las condiciones de drenaje de la zona, por el deficiente funcionamiento del zanjón. Los elementos base del proyecto eran la canalización del cauce Tortugas, diques marginales, estructura de entrega, puentes vehiculares, puentes sobre la vía a Candelaria y

pasos para agua de riego. El segundo trabajo relevante, lo constituye el proyecto urbanístico Poblado Campestre Obras para control de inundaciones, localizado sobre la margen derecha, en zona de inundación del río Cauca. Los diseños fueron realizados por la firma HIDRO-OCCIDENTE en el año 1995 y constan de un dique en la margen derecha río Cauca, un dique en la margen izquierda del zanjón Tortugas y un dique de cierre en la zona sur (CVC – FPV, 2011g).

### ANILLOS PROYECTADOS (2000)

Los estragos causados por la creciente del río Cauca en el año de 1999 evidenciaron que muchos de los anillos de protección planteados en el Proyecto de Regulación del Río Cauca no habían sido construidos. Como consecuencia de ello el consejo directivo de la CVC expidió ese mismo año el Acuerdo CVC No. 21 - 99, para retomar las obras de adecuación de tierras, pero en esta oportunidad dentro de un Programa de Atención y Prevención de Desastres para Inundaciones (CVC, 2002).

**Cuadro 3.6 Información disponible en los estudios de los 14 anillos de protección diseñados en el año 2000 en el río Cauca y Tributarios**

Firma consultora	Tramo	Topografía	Diagnóstico visual (Reconocimiento de campo)	Estudio hidrológico e hidráulico	Estudio geotécnico	Estudio de suelos de diques	Morfología fluvial	Diseño de obras y criterios de diseño	Cantidades de obra y presupuesto	Estudio ambiental	Estudio socio-económico	Evaluación Financiera
UNIÓN TEMPORAL HIDROTEC LTDA – INTERPROYECTOS LTDA. – INGENIERIAS S.A.	Zanjón Tinajas - Río Claro				<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>				
	Río Claro - Canal Navarro	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>					
AZ INGENIEROS E.U.	Norte de Mediacanoa - Chimilaco	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Unión Temporal HIDROINGENIERÍA LTDA - Ingeniería Integral GEICOL LTDA.	Río Piedras - Huasanó	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DICONSULTORIA S.A.	Huasanó - Río Pescador	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
UNION TEMPORAL ALVARO J. CHAPARRO & JOSE F. JARAMILLO	Río Pescador - La Peña	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	
HIDRO - OCCIDENTE Ingenieros Consultores	Río Desbaratado - Paso del Comercio	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Unión temporal INTEGRAL Ingenieros consultores - CONSULTORÍA AMBIENTAL	Paso de la Torre - Río Zabaletas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Unión Temporal HIDROMECHANICAS LTDA - INESCO LTDA - PLANES S.A.	Río Sonso - Río Tuluá	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
HIDRO - OCCIDENTE Ingenieros Consultores	Río Tuluá - Río Morales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Río Morales - Acequia Quintana	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Consorcio INCOL S.A - JUAN M. MUNDO D.	Acequia Quintana - Río Bugalagrande	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
Unión Temporal HIDROMECHANICAS - INESCO	Q. La Honda - Q. Los Micos			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		
U.T. INTEGRAL S.A - CONSULTORÍA AMBIENTAL	Q. Los Micos - Q. Aguaspietas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								

Con recursos de la CVC diferentes firmas de consultoría realizaron los estudios y diseños de las obras de 14 anillos de protección contempladas en el Proyecto de Regulación del Río Cauca (ver Cuadros Cuadro 3.6 y Cuadro 3.7). Todos los diseños se realizaron para proteger un área total de 62755 ha para crecientes en el Río Cauca con un periodo de retorno de 30 años y en los ríos tributarios con un periodo de retorno de 10 años.

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los anillos de protección contra inundaciones presentadas durante el año 2000. (Ver Cuadro 3.7).

**Cuadro 3.7 Principales características de los diferentes anillos de protección diseñados en el año 2000**

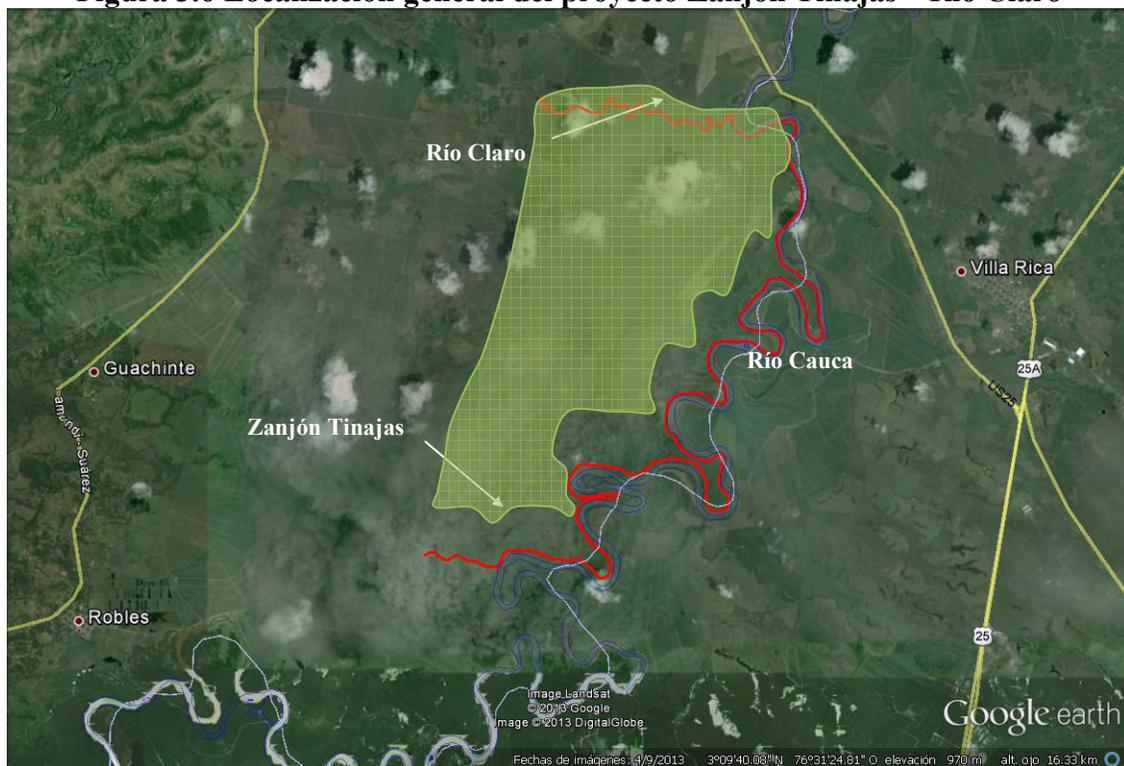
Proyecto / Localización		Río Cauca			Ríos tributarios			Longitud Canales intercepciones o drenaje (km)	Área protegida (ha)	
		Grado de protección (TR)	Longitud de diques a construir (km)	Longitud de diques a realzar (km)	Grado de protección (TR)	Longitud de diques a construir (km)	Longitud de diques a realzar (km)			
Margen izquierda	1	Zanjón Tinajas-Río Claro, en el municipio de Jamundí	30	19	-	10	-	-	30	2000
	2	Municipios de Jamundí y Cali. Tramo : Río Claro – Canal Navarro	30	49	-	10	-	-	43	6900
	3	Mediacanoa – Chimbilaco Municipio de Yotoco, Departamento del Valle del Cauca	30	5	-	10	-	-	-	489,8
	4	Río Piedras-Huasanó, en los Municipios de Trujillo y Riofrío, Departamento del Valle del Cauca	30	29	-	10	6,4	-	-	5000
	5	Subproyecto Huasanó – Río Pescador, en los Municipios de Trujillo y Bolívar, Departamento del Valle del Cauca	30	2,5	10,8	10	4	9,9	19,89	1495
	6	Sub-proyecto Río Pescador – La Peña, Departamento del Valle del Cauca	30	-	-	10	-	-	3,71*	520
Margen derecha	7	Río Desbaratado - Paso del Comercio, en los Municipios de Candelaria y Palmira, Departamento del Valle del Cauca	30	-	-	10	-	-	-	6420
	8	Paso de la Torre - Río Zabaletas, en los Municipios de Palmira y Cerrito, Departamento del Valle del Cauca	30	-	-	10	-	-	-	3037
	9	Subproyecto Río Sonso – Río Tuluá	30	40 - 73,5*	32	10	1,99*	-	-	13046
	10	Río Tuluá – Río Morales	30	2,2	-	10	1,1	5,6 – 1,3	-	385
	11	Río Morales–Acequia Quintana, en los Municipios de Andalucía y Bugalagrande, Departamento del Valle del Cauca	30	1,5	-	10	0,8	3,2	-	2195
	12	Acequia Quintana – Río Bugalagrande	30	6,2	-	10			-	6000
	13	Quebrada La Honda–Quebrada Los Micos en Municipio de La Victoria, Departamento del Valle del Cauca	30	7,6	6,8	10	1	1	-	1267
	14	subproyecto quebrada Los Micos - Aguasprietas en los Municipios de Obando y Cartago, departamento del Valle del Cauca	30	32	2,3	10	68	1,8	-	14000

\* Obra existente

### 3.6.1 Zanjón Tinajas - Río Claro

La CVC contrató con la unión temporal HIDROTEC LTDA – INTERPROYECTOS LTDA – INGECIENCIAS S.A. El Estudio y Diseño de las Obras para el Control de Inundaciones en el Río Cauca en el Subproyecto Zanjón Tinajas - Río Claro, se encuentra ubicado sobre la margen izquierda del Río Cauca en el Municipio de Jamundí con un área de influencia aproximada de 1.600 hectáreas, 19 km a lo largo de la orilla del Río Cauca y 30 km de canales interceptores. El proyecto está limitado por el zanjón Tinajas al sur y el río Claro al norte (que son los drenajes principales del área del proyecto) al oriente con el río Cauca y al occidente por el río Guachinte, el cual recibe el drenaje del zanjón Jigua (ver **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**).

**Figura 3.6 Localización general del proyecto Zanjón Tinajas – Río Claro**



Fuente: Google Earth (2013)

A nivel general, el proyecto comprende el diseño de: (i) Diques de protección, (ii) Estructuras de control (chapaletas, compuertas, vertederos, estaciones de bombeo), (iii) Adecuación del drenaje local (canales de drenaje, canales interceptores, alcantarillas de paso) y, Ampliación de la sección hidráulica de los cauces (CVC, 2002).

Los diques proyectados para el control de inundaciones en la zona son: (i) Diques en el límite occidental de la hacienda La Ventura localizado a la margen derecha del zanjón Jigua y la hacienda La Irlanda. El dique de la hacienda La Ventura se encuentra complementado con una estación de bombeo y una estructura de control con válvula de chapaleta que impiden el acceso del flujo desde el zanjón Jigua por el remanso inducido por el río Cauca, (ii) Diques perimetrales (en la margen derecha del río Claro y en la margen izquierda del

río Guachinte) en la hacienda La Novillera ubicada en la confluencia del río Guachinte en el río Claro, que evitan que las aguas de remanso del Cauca inunden el predio, incluyendo rectificaciones a la entrega del zanjón Adovera al río Guachinte. El área protegida está dotada con estación de bombeo para su drenaje, (iii) Diques discontinuos sobre las márgenes del Río Guachinte para evitar inundaciones en las zonas más bajas (CVC, 2002).

Sobre el Río Cauca, en el sector de la Hacienda La Ventura sobre la madreveja Cauca ya existe un dique que está siendo erodado por la corriente como consecuencia de su cercanía al cauce y movilidad del mismo. En otros sectores del zanjón Jigua y canales tributarios se hallan otros diques de moderada altura (menores a 1 m) que se han efectuado a partir del dragado y rectificación de los cauces.

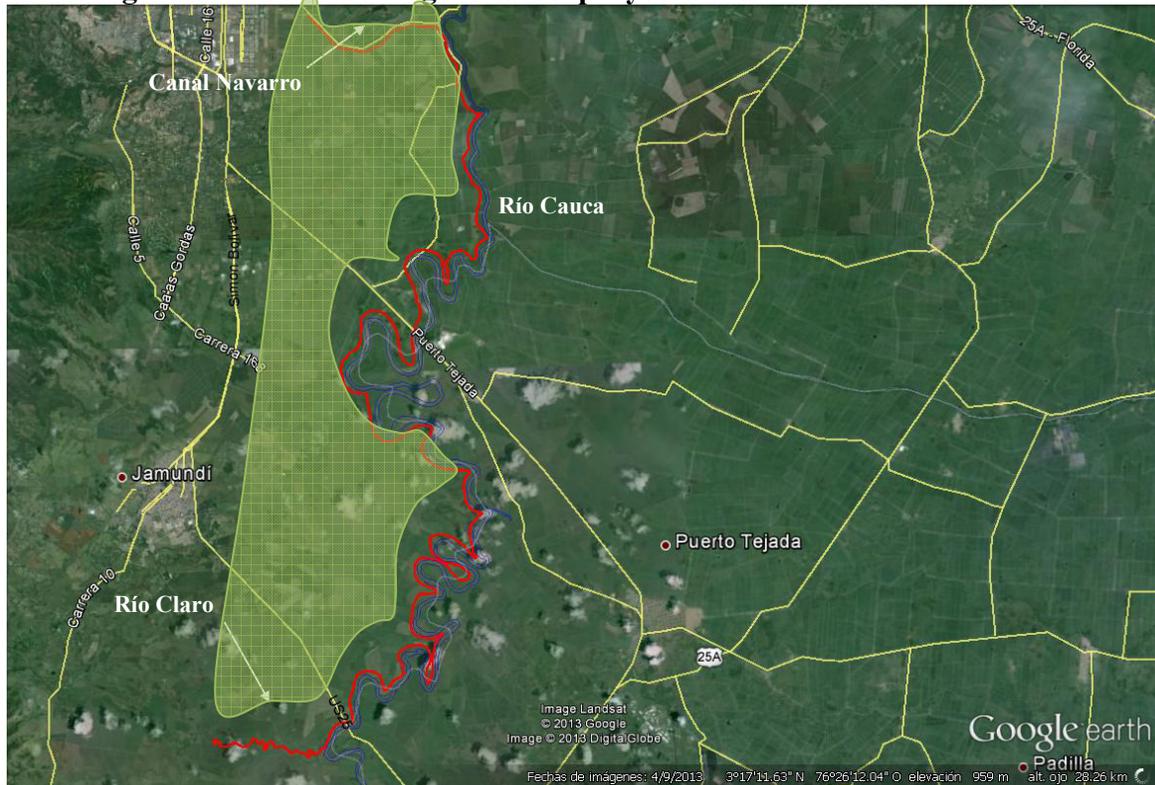
El dique del río Cauca tiene una longitud de 8.4 km, inicia cerca a la desembocadura del zanjón Tinajas, empalmando con el dique proyectado en este tributario, hasta el sitio denominado Arenera La Ventura, en el cual sólo es necesario el aumento de la rasante para obtener las cotas de corona del dique proyectado. El dique tiene una altura promedio de 2,0 metros, con anchos de corona de 2 y 3 metros y taludes de diseño 1,5H : 1,0V. La principal obra de drenaje del área del proyecto es el zanjón Jigua (85% del área), seguido del zanjón Tinajas con un área de drenaje de aproximadamente 15%.

Adicional a las obras de control de inundaciones existen obras de control de erosión de orilla consistentes en espolones cortos en enrocado, ubicados entre el meandro de la Laguna Tejeros y el sector de la Vereda - La Ventura, donde la orilla amenaza el dique existente por socavación.

### **3.6.2 Río Claro – Canal Navarro**

La CVC contrató con la Unión Temporal HIDROTEC LTDA – INTERPROYECTOS LTDA – INGECIENCIAS S.A. el Estudio y Diseño de las Obras para el Control de Inundaciones en el río Cauca en el Subproyecto Río Claro – Canal Navarro, definidas como producto de los estudios de viabilidad técnica económica, social y ambiental de los diferentes componentes.

La zona del proyecto se ubica entre los Municipios de Cali y Jamundí al suroccidente del departamento del Valle del Cauca, sobre la margen izquierda del río Cauca. Tiene como linderos al sur el río Claro, al oriente el río Cauca y al occidente canales interceptores proyectados por encima de la línea de inundación (ver **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**) beneficiando en forma directa 6.900 hectáreas. La mitigación de las inundaciones se logra mediante la construcción de 49 km de diques y 43 km de canales interceptores.

**Figura 3.7 Localización general del proyecto Río Claro – Canal Navarro**

Fuente: Google Earth (2013)

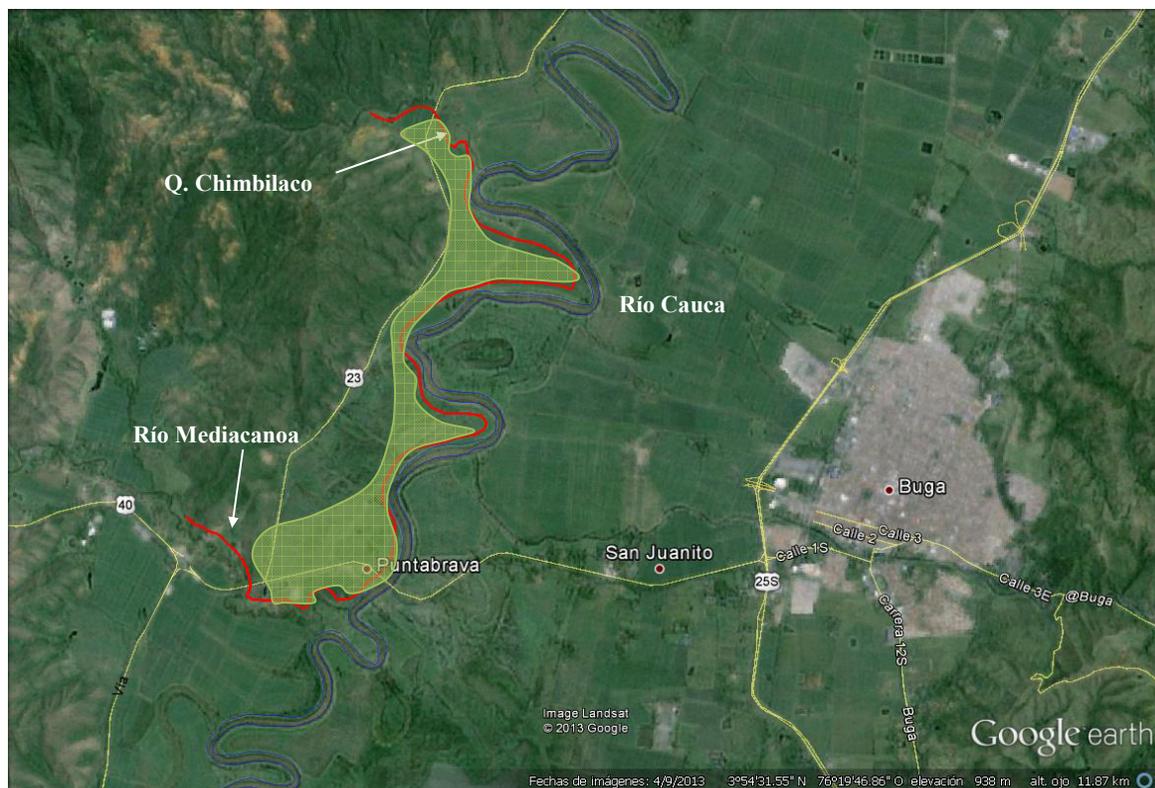
Las localidades beneficiadas son los caseríos de Morgan, Las Malvinas, La Pailita, Navarro, Hormiguero, Bocas del Palo, Paso de La Bolsa y varias casas de las fincas. Adicionalmente, se identificaron en el área del proyecto los sectores independientes: (i) *Sector 1*, el cual comprende la zona de la margen izquierda del Río Claro hasta la zona sur de la Madre Vieja El Cabezón, (ii) *Sector 2*, va desde la zona sur de la Madre Vieja El Cabezón hasta el cruce con la vía a Puerto Tejada (Puente El Hormiguero) y (iii) *Sector 3*, el cual corresponde al área comprendida en el cruce de la vía a Puerto Tejada (Puente El Hormiguero) hasta la zona de la margen derecha del canal Navarro (CVC, 2001).

Para el diseño de las obras se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: (i) Conservar el alineamiento horizontal de los diques actuales del río Cauca; en los casos donde la localización de la pata del talud húmedo está por lo menos a 30 m de la orilla del cauce y cuando la orilla no está siendo atacada por procesos erosivos se mantiene la misma berma; en caso contrario, los diques se proyectan a una distancia de 60 m del cauce del río Cauca, medida también entre el borde interno de la base del dique y la orilla del cauce, excluyendo a la Madre Vieja El Cabezón del área protegida; (ii) Los diques tienen pendientes transversales similares independiente del sector y la altura del dique; el ancho de corona para el dique ubicado en cualquier zona es de 3 m; y (iii) El material de los diques existentes al igual que el previsto para los diques nuevos será de zonas de préstamo previamente establecidas.

### 3.6.3 Mediacanoa – Quebrada Chimbilaco

La CVC contrató con AZ INGENIEROS LTDA el Proyecto de Control de inundaciones de la margen izquierda del río Cauca en el tramo comprendido entre el río Mediacanoa y la quebrada Chimbilaco. El área del proyecto es de 553 ha, se encuentra en el centro del departamento del Valle del Cauca y tiene como límite sur la margen izquierda del río Mediacanoa, por el norte la margen derecha de la quebrada Chimbilaco, por el occidente el piedemonte de la cordillera Occidental y por el oriente el río Cauca (ver Figura 3.8). La zona del estudio comprende un pequeño caserío llamado Punta Brava, cercano a la carretera Buga - Buenaventura, el resto de la zona son tierras dedicadas principalmente al cultivo de caña de azúcar y en menor grado a la ganadería.

**Figura 3.8 Localización general del proyecto Mediacanoa – Quebrada Chimbilaco**



Fuente: Google Earth (2013)

Se identificaron una serie de diques existentes en los siguientes sectores: (i) *Sector Vereda Punta Brava*, en el cual se puede conservar el dique existente; este inicia en la margen izquierda del río Mediacanoa y termina en otro dique perpendicular al río Cauca cerca de la carretera Buga – Buenaventura, donde se encuentran la mayoría de viviendas del caserío Punta Brava; para completar la protección del caserío se propone construir un dique nuevo ubicado entre las viviendas y el relleno de la carretera Buga – Buenaventura, con inicio sobre el terraplén de la carretera a una distancia de 60 m, paralelo a la orilla del río Cauca hasta empatar con el dique ya existente; el dique a construir tiene una longitud de 262 m; (ii) *Sector carretera Buga- Buenaventura y finca El Trapiche*, para este sector es necesario

construir un dique nuevo cuyo trazado definitivo se ubica paralelo a 60 m de la orilla del río Cauca desde la carretera Buga- Buenaventura, pasando por detrás de la Madre Vieja La Nubia a una distancia de 30 m hasta alinearse con la orilla del río Cauca y cerrar finalmente en la carretera a Riofrío, cerca de la bodega de la hacienda El Trapiche; este nuevo trazado tiene una longitud de 3.585 m; (iii) *Sector el Trapiche - Quebrada Chimbilaco*, el último tramo del dique existente entre El Trapiche y La Nubia presenta problemas de estabilidad, además se encuentra muy cercano al río Cauca, por lo cual es necesario relocalizarlo; el dique definitivo considerado para este sector se origina desde la carretera a Riofrío, se ubica a 60 m del río Cauca y empata con el dique existente de La Nubia con una longitud de 1143,9 m (CVC, 2000).

Las alternativas de construcción de diques se concentran en la zona comprendida entre la carretera Buga - Mediacanoa y la Quebrada Chimbilaco, específicamente en los siguientes sectores (i) *Entre La Carretera Buga – Buenaventura y la finca El Trapiche*, este sector es el que presenta mayores problemas respecto a su protección contra las crecientes del río Cauca, pues los diques existentes están en regular o mal estado; por lo tanto, se ha considerado la construcción de un dique nuevo, paralelo al río Cauca y a una distancia de 60 metros, en una longitud de 2.5 km hasta llegar a la madre vieja La Nubia; la altura promedio del dique es de 3.36 m con taludes de 1.5:1 y ancho de corona 3.0 m; y (ii) *Entre La Finca El Trapiche y la Quebrada Chimbilaco*, en este sector sólo se considera necesario construir un dique entre las haciendas El Trapiche y la Nubia que reemplace al existente que está en mal estado, en el tramo entre la carretera Panorama y el dique existente (en buen estado) de la hacienda La Nubia; este tramo de dique también irá paralelo al río Cauca a una distancia de 60 m y tendrá una longitud de 915 m, una altura promedio de 2.60 m y taludes 1.5H : 1V (CVC, 2000).

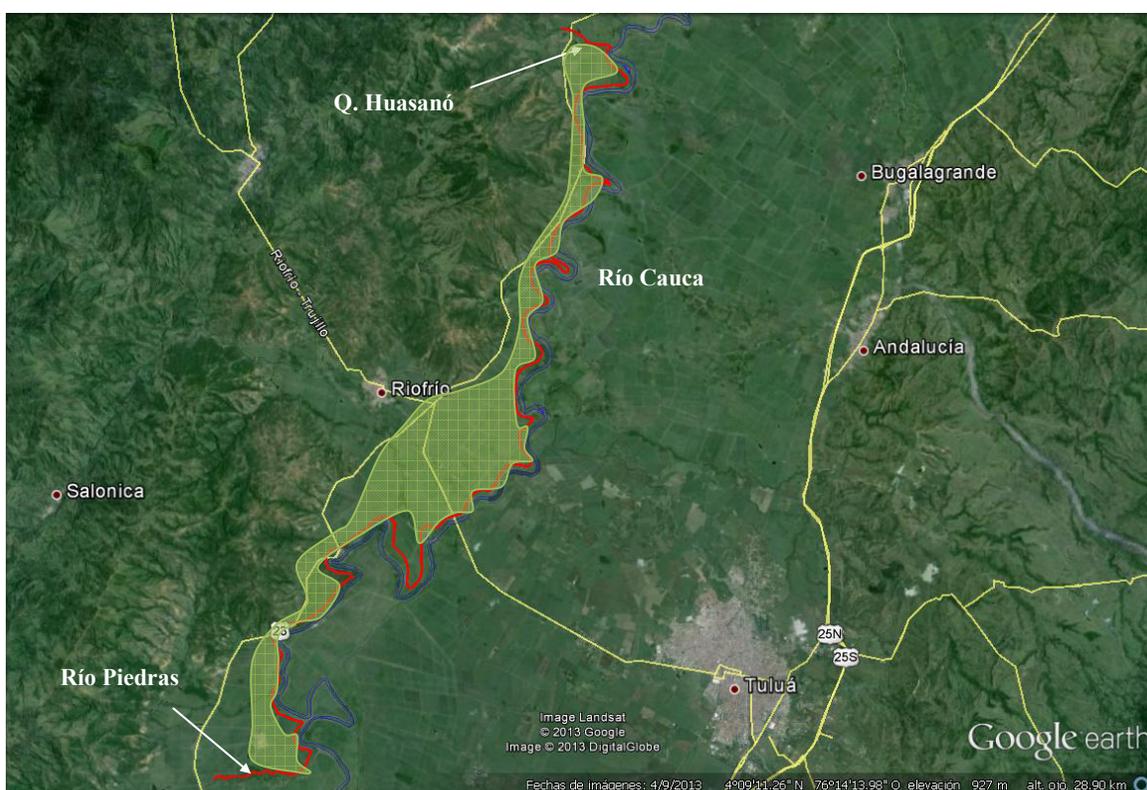
Se propuso un sistema de canales interceptores que comprenden los siguientes sectores de: (i) Punta Brava, en el cual se diseñaron siete (7) canales de los cuales seis (6) son de drenaje y uno es interceptor; este último recibe las aguas de escorrentía de la carretera y de los terrenos en la zona norte de la vereda; (ii) Carretera Buga – Buenaventura – Hacienda El Trapiche, en el cual se propone la construcción de nueve canales que servirán como interceptores y de drenaje para toda el área, siendo necesaria la construcción de algunas estructuras de paso y de caída; y (iii) El trapiche - quebrada Chimbilaco, en el cual se construirán cinco canales para el drenaje de sus aguas internas y las provenientes de la carretera panorama y se construirán estructuras de paso y caída (CVC, 2000).

Los criterios de diseño para las obras fueron: (i) Para canales de drenaje e interceptores lo indicado es tener uno o varios canales interceptores ubicados ligeramente por encima del nivel de crecida del río Cauca correspondiente al período de retorno que se adopte. En este caso ese nivel recomendado es el de frecuencia de una vez en 10 años; (ii) Los diques de los tributarios mantienen un nivel igual al del río Cauca en la entrega y se determina el nivel de los diques con el tránsito de la crecida de frecuencia de una vez en 10 años, (iii) Realizar análisis de estabilidad de los diques e identificar por reconocimiento visual la existencia de hormigueros.

### 3.6.4 Río Piedras – Quebrada Huasanó

La CVC contrató con UNIÓN TEMPORAL HIDROINGENIERÍA LTDA - GEICOL LTDA, el estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones en los subproyectos río piedras – zanjón Seco– quebrada Coronando, río Riofrio – Madrigal, zanjón Carrizal, Huasanó. La zona de influencia directa para el proyecto, está comprendida entre el río Piedras al sur, la quebrada Huasanó al norte, la carretera Panorama o Troncal del Pacífico al occidente, y la margen izquierda del río Cauca al oriente. Esta zona posee una franja longitudinal de 35 kilómetros entre la carretera Panorama y la margen izquierda del Río Cauca, conteniendo una superficie de beneficio y/o zona de influencia directa de 5.000 hectáreas. (Ver Figura 3.9).

**Figura 3.9 Localización general del proyecto Río Piedras – Quebrada Huasanó**



Fuente: Google Earth (2013)

De acuerdo con consideraciones geográficas e hidrológicas, el proyecto se ha subdivido en 6 subproyectos: (i) Río Piedras - Zanjón Seco, (ii) Zanjón Seco - La vuelta del Ahorcado, (iii) La Vuelta del Ahorcado - Río Riofrio, (iv) Río Riofrio - Madre Vieja Madrigal, (v) Madre Vieja Madrigal - Vereda Hato Viejo y, (vi) Vereda Hato Viejo – Q. Huasanó.

Los criterios de diseño para las obras son: (i) Para los diques marginales en el río Cauca en su margen izquierda se definió de común acuerdo con la interventoría para niveles de agua para una frecuencia de 1:30 años, más un borde libre de un metro. Estas cotas de corona de diques se empalman con las de los diques existentes que queden habilitados por estar a una

distancia aceptada por CVC de entre 30 y 60 metros desde la orilla del río Cauca, (ii) Para los diques marginales sobre las dos márgenes de los tributarios los niveles corresponden a una frecuencia de 1:10 años más un metro de borde libre, lo cual es equivalente aproximadamente a una frecuencia de 1:50 años sin borde libre. (iii) Para canales de drenaje e interceptores lo indicado es tener uno o varios canales interceptores ubicados ligeramente por encima del nivel de crecida del río Cauca correspondiente al período de retorno que se adopte. En este caso ese nivel recomendado es el de 1:30 años, previendo posibles mejoras del grado de protección actual, aclarando que no se requiere la construcción de nuevos canales para propósitos de intercepción y drenaje (CVC, 2000a).

### **3.6.5 Quebrada Huasanó - Río Pescador**

La CVC contrató a la firma DICONSULTORÍA S.A., para ejecutar los Estudios y Diseños de las obras para el control de inundaciones en los subproyectos Huasanó – Río Pescador. La zona del proyecto se ubica entre los Municipios de Trujillo y Bolívar. El área de protección se encuentra al noroccidente del departamento del Valle, margen derecha del río Cauca, tiene como linderos al sur la quebrada Huasanó, al occidente el río Cauca, al oriente los canales interceptores proyectados por encima de la línea de inundación y al norte el río Pescador (ver Figura 3.10). El proyecto beneficia en forma directa 1.500 hectáreas.

La mitigación de las inundaciones se logra mediante la construcción de 27 km a 28 km de diques, construcción de 19.8 km de canales entre interceptores y de drenaje, 10 estaciones de bombeo de respaldo para las estructuras de evacuación. Beneficia a los Corregimientos de Huasanó y Robledo en el Municipio de Trujillo y los Corregimientos de La Herradura, Ricaurte y San Fernando en el Municipio de Bolívar. Las obras para la mitigación de las inundaciones se plantearon en los sectores: (i) Q. Huasanó- Q. Robledo, (ii) Q. Robledo - paso Caramanta, (iii) paso Caramanta- Q. La Herradura, (iv) Q. La Herradura -madrevieja San Mateo, (v) Madre Vieja San Mateo - Q. El Buey, (vi) Q. El Buey - paso Puerto Pedreros, (vii) paso Puerto Pedreros - Río Pescador.

Las obras recomendadas para proteger la zona contra inundaciones, son esencialmente los diques marginales al río Cauca y los tributarios, así como canales interceptores de las aguas provenientes de las áreas montañosas y planas ubicadas aguas arriba de la cota de inundación del río Cauca. Las demás obras, consistentes en obras de drenaje, están constituidas por canales y estaciones de bombeo (con bombas hidroxilos), ubicadas aguas abajo de la cota de inundación del río Cauca, la cual generalmente se encuentra por debajo de la vía Panorama (CVC, 2000b).

**Figura 3.10 Localización general del proyecto Q. Huasanó – Río Pescador**

Fuente: Google Earth (2013)

### 3.6.6 Río Pescador –La Peña

La CVC contrató con la UNION TEMPORAL ALVARO J. CHAPARRO & JOSE F. JARAMILLO, el estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones Río Pescador - La Peña.

La zona del proyecto se ubica en el Municipio de Bolívar, Corregimiento del Guare, por la parte noroccidental limita con la vía Troncal del Pacífico Roldanillo – Riofrío, por el oriente con el río Cauca y por el sur por el río Pescador (ver Figura 3.11). El área del proyecto es de 520 hectáreas, de las cuales existen 70 predios entre 0.5 y 3.0 hectáreas. En la actualidad existen construidos diques sobre el río Cauca y el río Pescador (CVC, 2000c).

Anteriormente, en un estudio realizado por Hidromecánica se diseñaron los diques de protección para prevenir el desbordamiento del río Cauca y el río Pescador. Como estudio complementario al anterior se contempló el diseño de los canales interceptores, de drenaje, estaciones de bombeo y los correspondientes estudios ambiental, socioeconómico y financiero para este proyecto (CVC, 2000c).

**Figura 3.11 Localización general del proyecto Río Pescador – La Peña**

Fuente: Google Earth (2013)

El proyecto comprende los siguientes canales: (i) *Canal interceptor*, el cual ya está construido con una longitud de 3.710 metros y nace en la quebrada Plaza Vieja, atraviesa la vía Troncal del Pacífico por una alcantarilla y se desplaza de sur a norte. Este canal recoge todas las aguas de escorrentía de la zona de ladera, a través de distintas alcantarillas, presenta un recorrido con muchos quiebres, es el canal existente más importante del proyecto, en su estudio y rediseño se recomienda profundizar y mejorar los hombros para evitar desbordes. (ii) *Canal proyectado 1*, propuesto para recoger las aguas de la bota de Guare, su rasante ha sido diseñada para entregar sus aguas a la estación de la Hacienda Carmen de la Peña, (iii) *Canal proyectado 2*, para evacuar aguas de una zona cercana a la vía Panorama, (iv) *Canal proyectado 3*, paralelo a la vía que viene de la Troncal del Pacífico a Guare, en la actualidad las aguas sobrantes de riego de las parcelas o fincas aledañas a la vía vierten esta agua a la cuneta de la vía, manteniéndola en mal estado. Para la evacuación de los caudales en época de crecientes se propuso una estación de bombeo con dos bombas axiales de eje vertical, con caudal de diseño  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3.6.7 Río Desbaratado – Paso del Comercio

La CVC contrató con HIDRO - OCCIDENTE LTDA, el estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones Río Desbaratado – Paso del Comercio. La zona del proyecto se ubica en el Municipio de Candelaria. En el norte limita parcialmente con la carretera Paso del Comercio a Palmira, desde el puente de la vía sobre el río Cauca hasta el cruce de la misma con el río Fraile, en donde el río tiene dirección sur-norte y, en parte, con la orilla izquierda del río Fraile en su curso de dirección oriente - occidente desde que abandona la dirección sur - norte, hasta la altura de Cavasa. Por el sur con la margen derecha del río Desbaratado desde su desembocadura en el río Cauca hasta aproximadamente 2,5 km. aguas arriba de su entrega al Cauca. Al oriente con parte de la margen izquierda del río Fraile en su curso de dirección sur - norte desde su cruce con la carretera Cali - Palmira hasta su cambio de dirección a oriente - occidente y luego una línea imaginaria que une Cavasa con el río Desbaratado en un punto aproximadamente a 2.5 km aguas arriba de su desembocadura al río Cauca. Por el occidente la margen derecha del río Cauca desde la desembocadura del río Desbaratado hasta el puente del Paso del Comercio (ver Figura 3.12). Entre los ríos Fraile y Desbaratado, y la línea de influencia para una creciente de 1:30 años del río Cauca hay un área aproximada de 6.420– 9.000 hectáreas.

**Figura 3.12 Localización general del proyecto Río Desbaratado – Paso del Comercio**



Fuente: Google Earth (2013)

Las zonas urbanas beneficiadas son: Caserío Juanchito, Urbanización Pereira, Ciudad del Campo, Condominio Industrial la Nubia, Parque Industrial la Nubia, Caserío Cauca Seco,

Domingo Largo y Poblado Campestre, el cual es evaluado posteriormente en el Diagnóstico del estado actual de los jarillones del río Cauca sector Domingo Largo – Poblado Campestre, margen derecha del río Cauca, realizado por la CVC - Fundación Pacífico Verde (FPV) (2011).

Las obras del proyecto comprenden los siguientes tramos: (i) *Carretera desde el Paso del Comercio hasta el río Fraile*, la cual constituye la frontera norte del proyecto. Sin embargo, si llegara a ocurrir una falla de diques en el sector de la Dolores, inundando esta parcelación, sus aguas de anegamientos podrían pasar a la zona al sur de la carretera Paso del Comercio - río Guachal, a través de un puente seco a 1.100 m al oriente de la orilla derecha del río Cauca, construido para el paso libre de la antigua carretera que partía del viejo paso del Comercio (paso de barca) a 500 m al norte del puente del actual Paso del Comercio y una alcantarilla ubicada ligeramente al oriente del peaje Estambul. (ii) *Diques del río Fraile*, los cuales ya están construidos y no han presentado problemas por desbordamiento hacia la zona del proyecto, por lo cual no se recomiendan modificaciones, (iii) *Sistema río Desbaratado, zanjón Granadillo, zanjón San Carrizo*, el cual está conformado por el río Desbaratado que descarga directamente al río Cauca y consecuentemente puede ser represado por efecto de niveles altos del mismo. A su vez, al río Desbaratado tributa el zanjón Granadillo y a éste último el zanjón San Carrizo (CVC, 2001a).

Actualmente el río Desbaratado no presenta problemas de desbordamiento por ninguna de sus márgenes, pero en ocasiones genera un remanso que se propaga hacia los Zanjones Granadillo y San Carrizo. El primer zanjón, se ubica en la frontera oriental de la zona estudiada (con flujo de norte a sur) y dispone por la margen derecha (margen incluida en el proyecto) un dique con las dimensiones adecuadas para su protección. El segundo zanjón, requiere el levantamiento de un tramo de dique de la margen izquierda. La red de canales existentes en la zona del proyecto constituye un sistema de intercepción satisfactorio para el proyecto, por lo cual no se recomendó la construcción de canales interceptores adicionales, sino el mejoramiento de los sistemas de canales principales existentes como son:

### ***Sistema Doble Canal***

Este entrega libremente al río Cauca y es fundamental cambiar los pasos vehiculares ubicados en las abscisas K0+673,35, K2+010,03, K3+266,02 y K5+160,00. Además, de realizar algunos tramos de dique en la margen derecha e izquierda (CVC, 2001a).

### ***Sistema Zanjón San Juan - Acequia El Lago***

Este canal, que descarga directamente al río Cauca, no tiene la capacidad suficiente para conducir la totalidad de la escorrentía generada aguas arriba. Por esta razón, la mayor parte del flujo no se dirige hacia el río por esta entrega, sino que continúa hacia el norte por el canal de alivio del canal El Lago o San Juan; e intercepta al zanjón El Guaco, el cual recolecta un área de magnitud importante. El canal de alivio, del zanjón San Juan y Guaco, se denomina zanjón Tortugas, el cual transporta todos los excesos de caudal de El Lago y El Guaco. Es por eso que se propone independizar totalmente el zanjón San Juan, eliminando totalmente los alivios que éste pueda tener y aumentar su capacidad hidráulica para permitir, en los niveles bajos del río Cauca, la descarga con chapaleta de la totalidad de la escorrentía interceptada (CVC, 2001a).

### **Sistema Zanjón Tortugas**

El sistema zanjón Tortugas nace sobre el costado norte del zanjón San Juan del que, a través de una tubería, recibe aguas de crecientes cuando los niveles del río Cauca son altos e impiden al Zanjón San Juan descargar sus aguas. Hacia el norte (aprox. 1 km) el zanjón Tortugas recibe al zanjón El Guaco de 5,1 km de longitud y finalmente, más adelante (204 m) el Tortugas tiene un canal de alivio llamado Guaco - Salida, de 695 m de largo que entrega al Cauca por tubería y compuerta de chapaleta y más adelante existe un segundo alivio, denominado Alivio Tortugas de iguales características del alivio Guaco - Salida (CVC, 2001a).

Los niveles de corona de diques por uno y otro lado del zanjón Tortugas son los correspondientes a la condición Cauca para período de retorno de 10 años coincidente con Tortugas para período de retorno de 5 años más borde libre de 60 cm. Los criterios de diseño considerados para las obras son: (i) Para la zona agrícola, adoptar como niveles de corona de diques del río Cauca los que resulten de una recurrencia de 1:30 años más un borde libre de 1.0 m. Para la zona urbana la propuesta es usar los niveles de recurrencia de 1:30 años, (ii) Para canales de drenaje e interceptores lo indicado es tener uno o varios canales interceptores ubicados ligeramente por encima del nivel de crecida del río Cauca correspondiente al período de retorno que se adopte. En este caso ese nivel recomendado es el de frecuencia 1:30 años, en previsión de que en el futuro se desee mejorar el grado de protección que actualmente se tiene, (iii) Los diques de los tributarios mantienen un nivel igual al del río Cauca (CVC, 2001a).

### **3.6.8 Paso La Torre - Río Zabaletas**

Debido a los continuos problemas de inundación generados por el río Cauca y sus tributarios y al manejo individual que cada propietario viene haciendo de los diques que él construye, la CVC contrató a la Unión Temporal conformada por las firmas INTEGRAL S.A. Y CONSULTORÍA AMBIENTAL para realizar un estudio general sobre el estado de los diques y diseñar las medidas globales que se deben tomar para proteger los predios ubicados sobre la margen derecha del río Cauca en los subproyectos Paso de la Torre – río Amaime, río Amaime – Río Cerrito y Río Cerrito – Río Zabaletas.

La zona del proyecto se ubica en el Municipio de Cerrito. Por la parte norte limita con el río Zabaleta, por el sur el proyecto está limitado por la variante Cencar – Yumbo que cruza el río Cauca en el sitio de Paso de la Torre, al oriente con el río Cauca y al occidente con una línea proyectada de los niveles del río Cauca que se presentan con una recurrencia media de 1:30 años (ver Figura 3.13). La zona de estudio es cruzada de occidente a oriente por varios cauces de ríos y zanjones que en la actualidad drenan la zona del proyecto como son: de sur a norte río Amaime, el zanjón Amarillo, zanjón Pomponillo, río Cerrito (derivación) y río Zabaletas. Los estudios se dividieron en tres sectores: (i) Paso de la Torre Río Amaime con una superficie de 1080 Has, (ii) Río Amaime - río Cerrito con una superficie de 990 hectáreas y, (iii) río Cerrito - río Zabaletas con una extensión de 967 hectáreas (CVC, 2000d).

**Figura 3.13 Localización general del proyecto Paso La Torre - Río Zabaletas**

Fuente: Google Earth (2013)

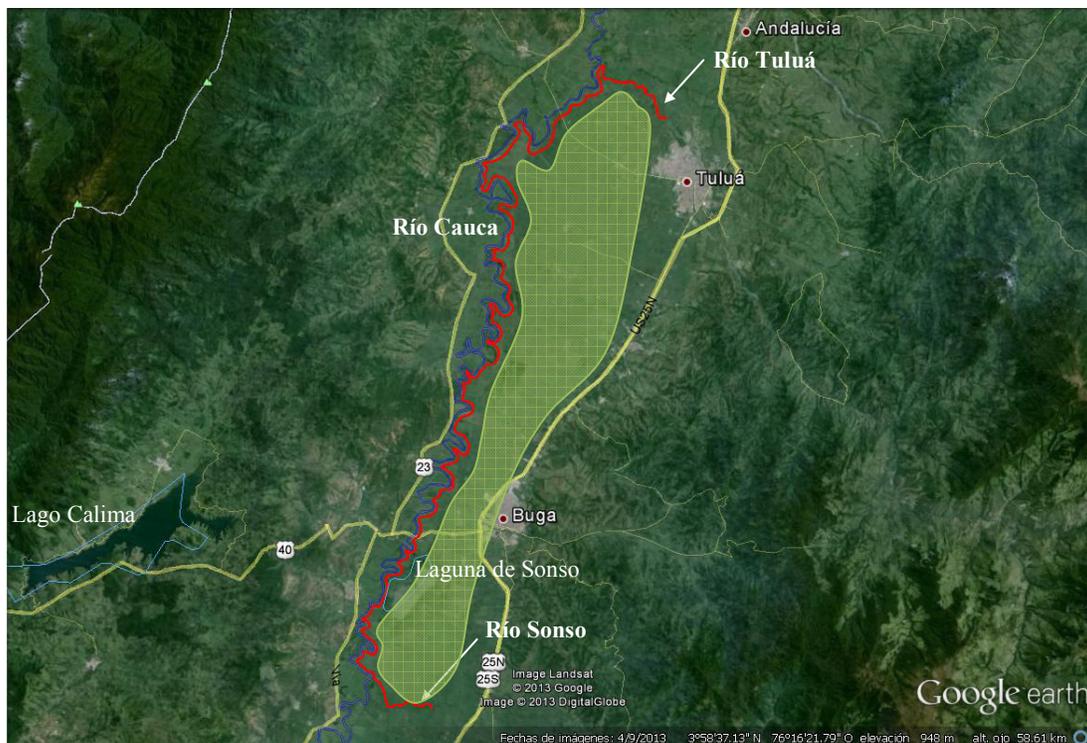
Los criterios de diseño adoptados para las obras son: (i) Integrar al río la mayor cantidad de madres viejas y ciénagas existentes, (ii) La ubicación de los diques del río Cauca atiende los resultados de la dinámica fluvial del río, (iii) El eje de los diques es paralelo al río y no invade los meandros formados por la divagación de los ríos, (iv) La distancia mínima entre la orilla del río Cauca y el pie del dique es de 60.0 metros, (v) El ancho mínimo de la corona es de 3.0 metros, (vi) Los taludes de los diques como mínimo tienen una pendiente de 2.0H:1.0V. (v) En los tramos donde no hay espacio para el realce con dique con diques se harán muros en parapeto.

### 3.6.9 Río Sonso - Río Tuluá

La CVC contrató con la Unión Temporal Hidromecánicas Ltda. – Inesco Ltda. – Planes S.A., la elaboración del Estudio y Diseño de obras para el Control de Inundaciones en el Subproyecto Río Sonso – Río Tuluá. El área de estudio está comprendida entre el río Sonso y el río Tuluá, se encuentra dentro de la jurisdicción de los Municipios de Buga, San Pedro y Tuluá. El área de protección se encuentra al nororiente del departamento del Valle, margen derecha del río Cauca, tiene como linderos al sur con el río Sonso, norte río Tuluá y según la delimitación realizada (niveles en río Cauca para un TR de 30 años) el proyecto beneficia a un área de 13.046 ha. (ver Figura 3.14).

Las obras propuestas incluyen la construcción y realce de diques, dentro del área de estudio y paralelos a la margen derecha río Cauca, al zanjón Burrigá, a la quebradas Pajonales y San Pedro, a la Acequia Canal, a la margen derecha río Sonso, al río Guadalajara (ambos márgenes), a la margen izquierda río Tuluá, a los zanjones Mojahuevos y Califunche y al costado oriental de la Laguna de Sonso. La longitud total de diques que conforman la propuesta totaliza 104 km, de los cuales 40 km corresponden a la construcción de diques nuevos y 64 km a diques existentes, de los cuales 32 km requieren ser realizados.

**Figura 3.14 Localización general del proyecto Río Sonso – Río Tuluá**



Fuente: Google Earth (2013)

Las obras de mitigación de inundaciones propuestas, benefician a las viviendas dispersas localizadas dentro de las fincas y sobre vías de comunicación, dos caseríos, la Palomera, colindante con la finca de igual nombre y Mediacanoa - Puerto Bertín en cercanía a la Laguna del Sonso (CVC, 2000e).

Las obras del proyecto comprenden los diques en: (i) el río Cauca, con una longitud de 73 km, comprendidos entre el río Sonso (límite zona sur del Proyecto) - río Guadalajara; río Guadalajara - Zanjón Burrigá y río Tuluá, (límite zona norte del proyecto), se construye por la margen derecha del río manteniendo las bermas establecidas por la CVC, tiene una altura variable y brinda una protección media de 1:30 años, (ii) el río Tuluá, proyectando por la margen izquierda del río un dique de 2 km de longitud, el cual brinda un grado de protección de crecientes que se presentan con una frecuencia media de 10 años, (iii) el río Sonso, el cual tiene una longitud de 1.9 km y se construye por la margen derecha del río Sonso, brinda un grado de protección de crecientes que se presentan con una frecuencia media de 10 años (CVC, 2000e).

Algunas observaciones dentro del proyecto son: (i) Los diques de la margen derecha del río Cauca se dimensionaron para un nivel máximo instantáneo de agua del río Cauca con período de retorno de 30 años, con un borde libre por encima del nivel máximo instantáneo de aguas igual a 0.5 m, considerando el efecto de ondas naturales de las corrientes por acción del viento, o las producidas por embarcaciones sobre la corriente de agua, y las sobre-elevaciones que se producen en las curvas. (iii) Los diques tienen pendientes transversales variables de acuerdo con la zona geotécnica y la altura del dique, con ancho de corona para el dique ubicado en cualquier zona geotécnica es de 3 m, (iv) Los ríos tributarios al Cauca y los zanjones Califunche, Mojahuevos y Burrigá (incluyendo sus tributarios), se conservó el alineamiento horizontal de los diques existentes y los diques nuevos se trazaron, considerando una berma mínima igual al ancho del cauce, tal como lo establece el Acuerdo 23 de 1979 de la CVC, (v) El material de los diques existentes, al igual que el previsto para los diques nuevos será de préstamo lateral, debidamente seleccionado, (vi) La unión del relleno nuevo y el relleno antiguo se hace en forma escalonada y el paso y altura 25 centímetros

### 3.6.10 Río Tuluá - Río Morales

La CVC contrató a la firma HIDRO - OCCIDENTE LTDA, para elaborar el proyecto de obras de control de inundaciones en la zona bajo la influencia del río Cauca entre los ríos Tuluá y Morales en el municipio de Tuluá, Departamento del Valle. El área de protección se encuentra al nororiente del departamento del Valle, margen derecha del río Cauca, tiene como linderos al sur con el río Tuluá, norte río Morales, oriente una línea de proyección de los niveles del río Cauca más 500 metros, beneficiando en forma directa 385 ha, cuya influencia comprende al corregimiento de Bocas de Tuluá, haciendas la Rafaela, El Nilo y hacienda San José en cercanía al casco urbano de Tuluá (ver Figura 3.15).

**Figura 3.15 Localización general del proyecto Río Tuluá – Río Morales**



Fuente: Google Earth (2013)

Las inundaciones en el área del proyecto son ocasionadas específicamente por los desbordamientos del río Cauca y de los ríos Tuluá y Morales. Cabe mencionar que, existe un canal que desvía aguas del río Morales hacia el río Tuluá y sirve como desfogue de las crecientes de éste para disminuir las inundaciones en los caseríos de El Salto (en Andalucía) y Bocas de Tuluá (en Tuluá) (CVC, 2000f).

Para el sistema hidráulico actual, cabe la posibilidad de que el área del proyecto encerrada entre diques por sus linderos norte (río Morales), sur (río Tuluá) y occidente (río Cauca y Madre Vieja Bocas del Tuluá); quede abierta a probables desbordamientos del canal de alivio Morales - Tuluá, y de los ríos Tuluá y Morales en sus tramos aguas arriba de sus puntos de intersección con la línea límite oriental del área del proyecto, hasta el canal de alivio Morales – Tuluá (CVC, 2000f).

Respecto a las obras en este tramo se tiene que: (i) En el río Morales, existen diques en su margen derecha desde su desembocadura en el río Cauca hasta 121 m aguas arriba de la entrega del zanjón de Piedra al río Morales. Entre el sitio de empalme del dique del río Morales con el del río Cauca hasta el puente de la carretera Tuluá - El Salto sobre el río Morales ya existe un dique bien conformado sobre la margen izquierda del río Morales, con ancho de corona de 3 m y de taludes suaves, el cual necesita realce en algunos tramos. (ii) En el tramo cercano al puente de El Salto a 121 m aguas arriba de la entrega del zanjón de Piedra al río Morales, se construirá un dique. Desde allí hasta el sitio de desvío del río Morales al Tuluá, se presume que los diques existentes son adecuados. (iii) Ya existe un dique en la margen derecha del río Tuluá, el cual debe ser realzado. (iv) Existe un dique en el río Cauca y Madre Vieja Bocas del Tuluá, el cual empieza al sur, en el origen de la madre vieja Bocas del Tuluá y sobre su orilla convexa. En una longitud de 1.100 m no hay dique y habrá que construirlo a una distancia mínima de 30 m entre orilla de la Madre Vieja y la cara húmeda del dique. En los siguientes 1.300 m, hasta el extremo norte de la madre vieja, existe un dique que debe ser realzado. A lo largo de la margen derecha del río Cauca, desde el final de la madre vieja, hay un tramo de 300 m en que supuestamente existió un dique pero desapareció por acción erosiva del río sobre el barranco (CVC, 2000f).

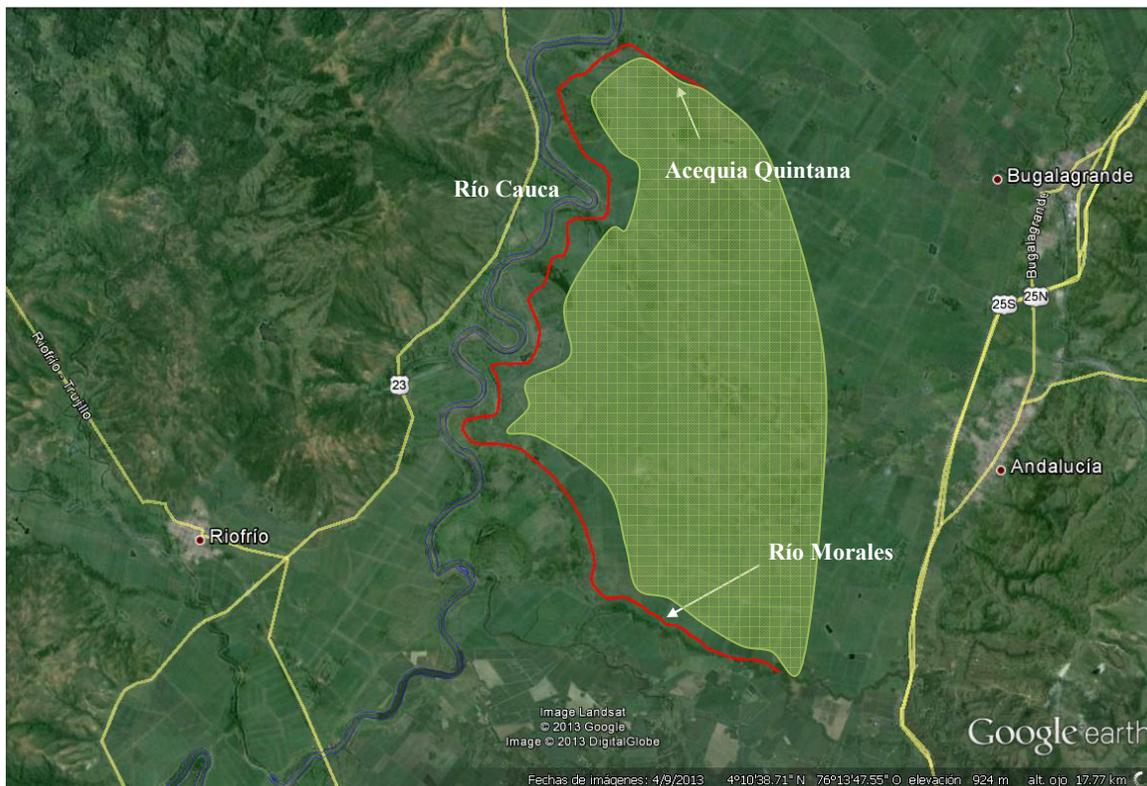
Los criterios de diseño más relevantes para las obras proyectadas son: (i) Usar los niveles del Río Cauca interpolados entre la estación Garzonero y Guayabal, (ii) Niveles en la estación Guayabal y Garzonero entregados por CVC, (iii) Los niveles de los diques de tributarios se determinan transitando caudales de recurrencia media de 1:10 años y niveles en el río Cauca de recurrencia media de 1: 10 años más 1.1 m de borde libre, (iv) Ancho de corona de los diques 3.0 metros, talud cara seca 1.5H:1V, y talud cara mojada 1.5H:1V, (v) Grado de compactación 85% del Proctor modificado y, (vi) Interconectar los ecosistemas de montaña, ladera y valle manteniendo la franja de protección de la red de drenaje natural.

### **3.6.11 Río Morales – Acequia Quintana**

La CVC contrató a la firma HIDRO-OCCIDENTE LTDA para realizar el estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones en el proyecto río Morales - Acequia Quintana en la zona bajo la influencia del río Cauca en los Municipios de Andalucía y Bugalagrande, departamento del Valle del Cauca con un área de influencia de 2195 ha. (ver Figura 3.16) y

sus linderos son: (i) Al norte con La acequia Quintana, desde el río Cauca hasta un punto, sobre la misma acequia, a 1.800 m al sureste de la casa de la hacienda San Antonio, (ii) Al sur con el río Morales, desde su desembocadura en el río Cauca, hasta la entrega del zanjón de Piedra; y luego por el zanjón de Piedra arriba hasta 1.800 m desde su desembocadura al río Morales; (iii) Al oriente con una línea de canal interceptor en proyecto, de 900 m de largo en su tramo inicial, que arrancarí, al sur, en el costado norte del zanjón de Piedra, en un punto en la hacienda las Palmas a 1.800 m, aproximadamente, aguas arriba de la confluencia del zanjón y el río Morales.

**Figura 3.16 Localización general del proyecto Río Morales – Acequia Quintana**



Fuente: Google Earth (2013)

Las inundaciones en el área del proyecto son ocasionadas por desbordamientos del río Cauca, del río Morales, del zanjón de Piedra, y de las acequias de riego el Chorro, Pasoancho, la Teja - Molina y el Cedrito, que en su trayecto inferior se constituyen en drenajes; y por escurrimientos laminares de aguas lluvias que bajan de las tierras al oriente del área del proyecto (CVC, 2001b).

Las obras a lo largo de las líneas limítrofes del área del proyecto son: (i) **Norte:** Límite contractual del proyecto, sin obras a construir, Correspondiente al curso existente de la Acequia Quintana y estudiado por el Consorcio INCOL - JUAN MUNDÓ en el proyecto Acequia Quintana - río Bugalagrande, (ii) **Sur:** Dique por la margen derecha del río Morales en longitud de 3.7 km desde la desembocadura del Morales al Cauca hasta la entrega del zanjón de Piedra al río Morales; y dique por la margen derecha del zanjón de Piedra, en longitud de 2 km, desde la desembocadura del zanjón en el río Morales, hasta el

inicio del canal interceptor sur. Longitud total de frontera sur: 5.8 km, (iii) **Oriente:** Canales interceptores así: *Interceptor Sur*, de dirección sur-norte, en longitud de 3.7 km, desde el costado oriental del zanjón de Piedra en un punto a 2 km aguas arriba de la entrega de este zanjón al río Morales, hasta el zanjón Madre Vieja en un punto a 2.8 km aguas arriba de la entrega de este zanjón al río Cauca, *Interceptor Norte*, de dirección inicial noreste - suroeste en longitud de 2.1 km, desde el costado sur de la Acequia Quintana hasta entregar a la Acequia Madre Vieja; y luego ampliación de esta acequia de dirección oriente - occidente, en longitud de 830 m hasta su desembocadura en el zanjón madre vieja en un punto a 2.4 km aguas arriba de la desembocadura de este zanjón en el río Cauca. Longitud total del interceptor norte: 3 km. *Zanjón Madre Vieja*, de dirección sureste - noroeste, en longitud de 2.8 km desde su desembocadura al río Cauca hasta la entrega del canal interceptor sur. Este zanjón existente, y emisor final de los interceptores sur y norte, se profundizará y ampliará, y tendrá diques por ambos costados. (iv) **Occidente:** Dique de 19.5 km de longitud, desde la desembocadura del río Morales en el Cauca, bordeando el río Cauca por su margen derecha y las curvas convexas de las madre viejas, hasta el sitio sobre la acequia Quintana donde empalma con el dique del proyecto acequia Quintana- río Bugalagrande, elaborado por INCOL -Juan Mundo (CVC, 2001b).

Los criterios de diseño que aplican a las obras: (i) Para protección de la zona agrícola del proyecto, los niveles de corona de diques del río Cauca deben ser los que resulten de sumarle un borde libre de 1 m a los niveles de aguas de 10 años de período de retorno. (ii) Para la zona urbana del proyecto río Morales - Acequia Quintana optar por la protección contra crecidas de frecuencia de 1:10 años y borde libre de 1.1 m. (iii) Para canales de drenaje e interceptores lo indicado es tener uno o varios canales interceptores ubicados ligeramente por encima del nivel de crecida del río Cauca correspondiente al período de retorno que se adopte. En este caso el nivel recomendado es el correspondiente a una frecuencia de 1:30, previendo futuros incrementos del grado de protección actual.

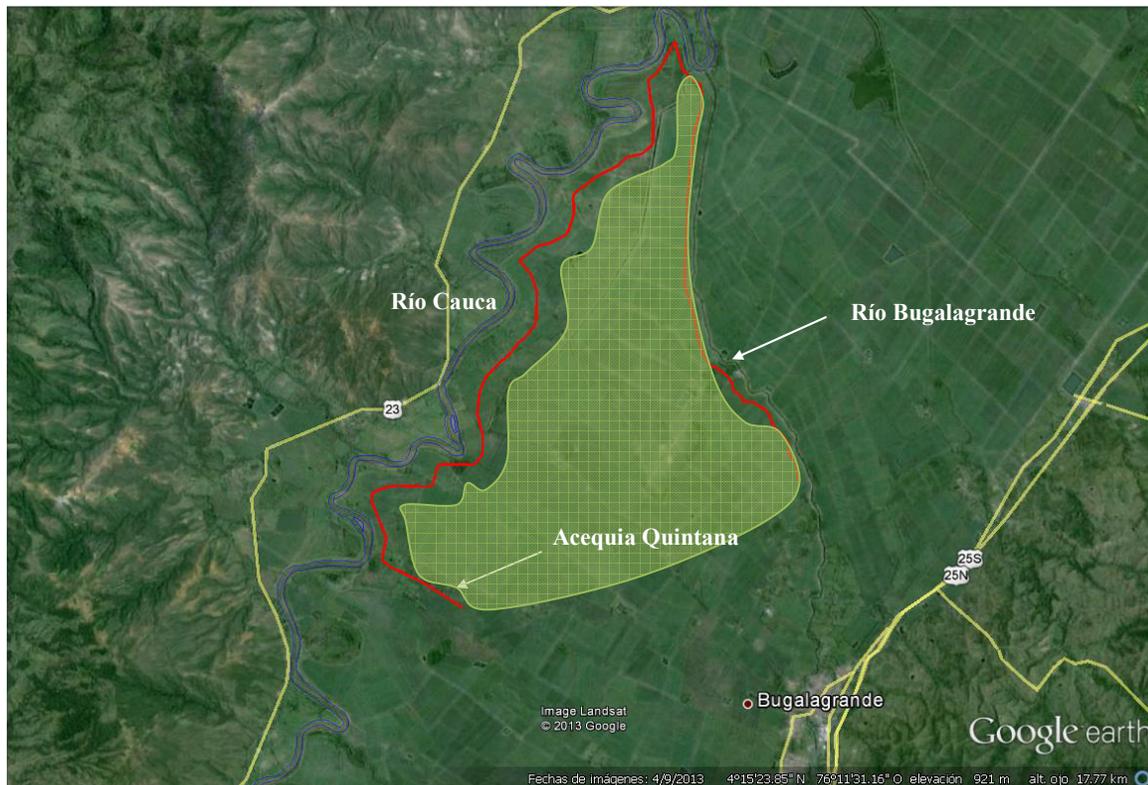
### 3.6.12 Anillo Acequia Quintana - Río Bugalagrande

La CVC contrató al Consorcio INCOL S.A. – JUAN M. MUNDO, para realizar el Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones en el subproyecto acequia Quintana – río Bugalagrande, los cuales comprendían los diseños finales de los canales de drenaje e interceptores y de los diques de protección contra inundaciones, además del diseño de las estaciones de bombeo requeridas para drenar las aguas propias de la zona protegida hacia el río Cauca.

El área de estudio que requiere protección contra inundaciones está ubicada en la zona central del departamento del Valle del Cauca, en los Municipios de Andalucía y Bugalagrande. El área directamente afectada tiene una extensión aproximada de 6.000 ha y comprende los terrenos desde la carretera Central hasta el río Cauca y, desde la Acequia Quintana por el sur hasta el río Bugalagrande por el norte. Aunque no pertenece a la zona afectada, toda la cuenca del río Bugalagrande hace parte de la zona de estudio, debido a la necesidad de evaluar los caudales máximos para la revisión y mejora de los diques de protección. En la Figura 3.17 se muestra la ubicación general del área en estudio con la

acequia Quintana ubicada en el límite sur del proyecto, la cual descarga sus aguas en la Ciénaga San Antonio.

**Figura 3.17 Localización general del proyecto Anillo Acequia Quintana – Río Bugalagrande**



Fuente: Google Earth (2013)

La sección geométrica de los diques posee taludes 1.5H:1V, y la corona un ancho de 3m con el nivel de la cresta a una cota equivalente a la creciete del río Cauca para un período de retorno de 10 años, más un metro de borde libre. Cabe anotar que la creciete del río Cauca para un período de retorno 30 años es superior en algo menos de un metro a la de 1:10 años, por lo cual el dique con el borde libre de un metro protegerá la zona de inundaciones para crecientes de 1:30 años, pero trabajará casi al límite de su máxima altura.

Gran parte de la zona estudiada ya está protegida con diques y cumplen con los niveles de altura y compactación, para evitar inundaciones del río Cauca y los tributarios, por este motivo no se propone ningún cambio y se sugiere que permanezcan tal como están. Sin embargo existen algunos sectores que no están protegidos por diques contra inundaciones y otros sectores en los cuales el dique está en mal estado, o se encuentra muy cerca de la orilla del río Cauca.

El proyecto se encuentra dividido en los sectores: (i) *Paso de la Barca y la desembocadura del Zanjón El Medio*, cuyo dique se encuentra en regular estado, su compactación es muy regular y además está muy cerca del río Cauca, se propone reemplazarlo por un dique

nuevo ubicado a 60 m de la orilla. Este dique nuevo tiene una longitud de 2km, presentan las secciones típicas de este dique, (ii) *Zanjón El Medio hasta la acequia Quintana*, en la cual se encuentran áreas no protegidas, sometidas a constantes inundaciones por las crecientes del río Cauca. En la hacienda San Rafael, ubicada en el límite sur del proyecto, existe un pequeño tramo de dique construido entre un bosque de guadales y la ciénaga San Antonio. Este dique está ubicado a 60 m del río Cauca, pero la rasante de su corona, no tiene el nivel correspondiente al de protección para un periodo de retorno de 10 años, además su compactación no tiene el nivel requerido. El proyecto consta del siguiente sistema de canales y las intervenciones:

### ***Canal San Antonio - Ciénaga Redonda***

El caserío de San Antonio y la hacienda Quintana poseen un canal de drenaje, el cual nace en predios de la Hacienda San Antonio y llega a la Ciénaga de San Antonio. En épocas de verano o invierno leve este canal es el único aportante de aguas que tiene la Ciénaga. El canal no se encuentra en buen estado, su mantenimiento es deficiente, sus orillas son irregulares y enmalezadas y el fondo es muy irregular, lo cual disminuye su capacidad hidráulica, por lo que se propone un nuevo canal, con capacidad para transportar las aguas de drenaje y las producidas por el caserío San Antonio.

### ***Sector ciénaga redonda - río Cauca***

Para drenar las aguas de Ciénaga Redonda y los predios cercanos a esta, hacia el río Cauca, se construirá un canal que finalizará en una estructura de evacuación de aguas, muy cerca de la desembocadura del zanjón El Medio al río Cauca.

### ***Modificación de acequia Palizadas***

Además, se plantearon modificaciones para La acequia Palizada, la cual es una captación para riego de cultivos y entrega las aguas en exceso por bombeo al zanjón El Medio.

### ***Acequia Quintana***

Como la mayoría de las acequias de riego de la zona, la acequia Quintana se capta sobre el río Bugalagrande y la mayor parte de su cauce está dentro la Hacienda San Rafael. Como la sección de su cauce tiene baja capacidad hidráulica es muy susceptible a desbordamientos por aportes provenientes del río Bugalagrande en temporada de invierno. Para controlar estos desbordamientos, previamente HIDRO-OCIDENTE LTDA en el proyecto “Río Morales – Acequia Quintana” diseñó un sistema de control de caudales de exceso que intercepta estas aguas de desbordamiento. Como la estructura deja pasar parcialmente las aguas de la acequia Quintana y no se puede dejar sin aporte de aguas la ciénaga de San Antonio se propone construir una estructura que permita el paso de las aguas de la acequia Quintana a la Ciénaga por medio de tuberías que pasan por debajo del dique.

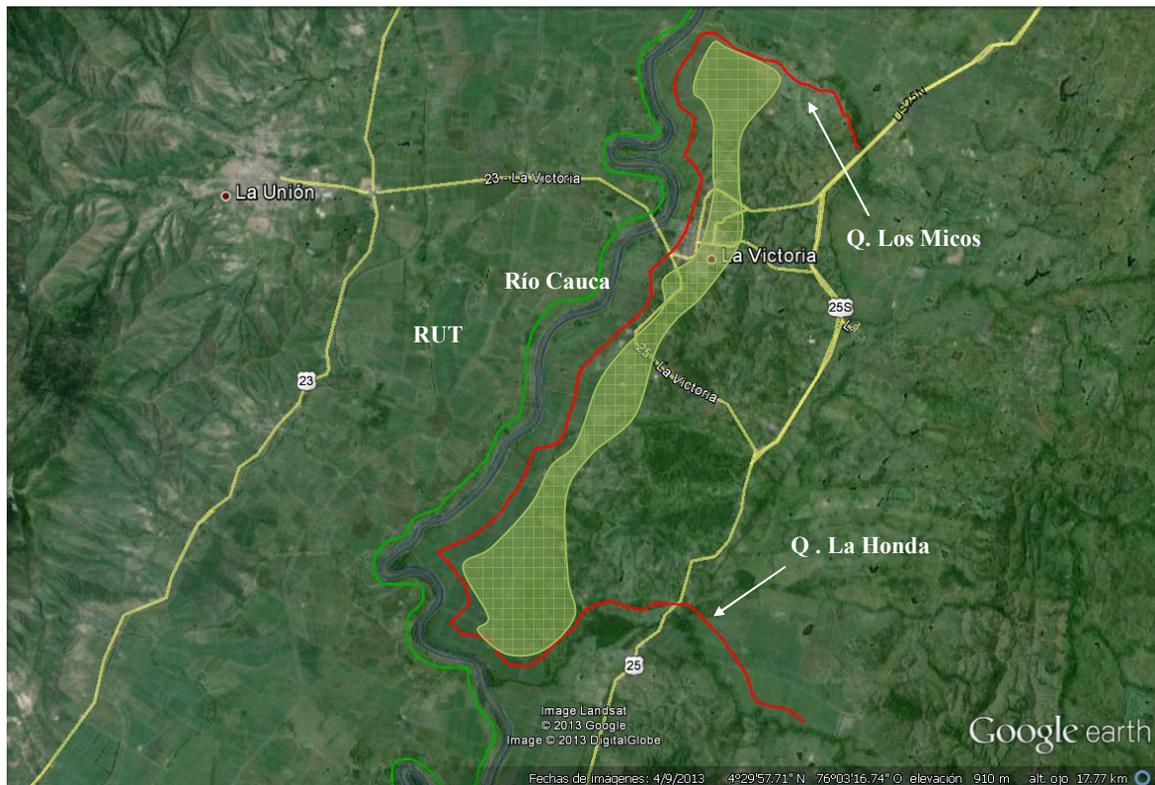
Finalmente, el sistema de evacuación de las aguas de drenaje de los canales, consiste en un sistema mixto que funciona por gravedad en épocas de aguas bajas del río Cauca y por bombeo en periodos de aguas altas. El sistema de gravedad está compuesto por tuberías que atraviesan el dique y en su extremo exterior tienen una compuerta de chapaleta, estas tuberías evacuarán las aguas en niveles bajos del río Cauca. Para los periodos de niveles

altos del río se proyectó un sistema de bombeo. Complementario a lo anterior existe un pequeño reservorio que permite tener un control de caudales para la operación de las tuberías y del bombeo.

### 3.6.13 Quebrada La Honda – Quebrada Los Micos

La CVC contrató con la Unión Temporal HIDROMECHANICAS – INESCO (UT) la elaboración del estudio y diseño de obras para el control de inundaciones en el subproyecto Quebrada La Honda – Quebrada Los Micos. El proyecto de control de inundaciones está localizado en el Municipio de La Victoria, departamento del Valle del Cauca, sobre la margen derecha del río Cauca, en la región norte del departamento, con un área de influencia 1.267 ha de topografía plana dedicada en su mayoría a la agricultura de tipo intensivo con predominio de caña en la parte sur del proyecto y cultivos transitorios en el sector norte (ver Figura 3.18).

**Figura 3.18 Localización general del proyecto Quebrada La Honda – Quebrada Los Micos**



Fuente: Google Earth (2013)

Después de un análisis detallado de las condiciones socioeconómicas de la zona de estudio y del nivel de protección y de posibles alternativas de control de inundaciones, se consideraron las siguientes obras: (i) Realce y/o relocalización de Diques de protección contra inundaciones a lo largo del río Cauca, Quebrada Los Micos y Quebrada La Honda, (ii) Rectificación del zanjón Tinajones y, (iii) Construcción de seis (6) estaciones de bombeo distribuidas a lo largo del proyecto.

La alternativa seleccionada para dar solución al sistema de drenaje del área de proyecto tiene en cuenta el realce y construcción de los siguientes diques: (i) *Dique al occidente de la zona de proyecto*, paralelo al río Cauca entre las quebrada Honda y Los Micos, diseñado para un nivel máximo instantáneo de agua de esta corriente para un periodo de retorno de 30 años para el área agrícola y de 100 años para el área urbana del Municipio de La Victoria. (ii) *Dique al sur de la zona de proyecto*, paralelo a la margen derecha de la quebrada Honda, que une con el inicio al sur del dique paralelo al río Cauca, diseñado para un nivel máximo instantáneo de agua de esta última corriente en la desembocadura de la primera mencionada, para un periodo de retorno de 30 años. (iii) *Dique al norte de la zona de proyecto*, paralelo a la margen izquierda de la quebrada Los Micos, que une con el final al norte del dique paralelo al río Cauca, diseñado para un nivel máximo instantáneo de agua de esta última corriente en la desembocadura de la primera mencionada, con periodo de retorno de 30 años. (iv) *Dique al sur del área urbana del municipio de La Victoria*, y perpendicular al del río Cauca, que corresponde con la carretera que conduce al municipio de La Unión, diseñado para un nivel máximo instantáneo de agua de esta última corriente con periodo de retorno de 100 años. (v) *Dique al norte del área urbana del municipio de La Victoria*, determinado con base en la expansión máxima del casco urbano, de acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial, POT, y perpendicular al del río Cauca, diseñado para un nivel máximo instantáneo de agua de esta última corriente con periodo de retorno de 100 años (CVC, 2000g).

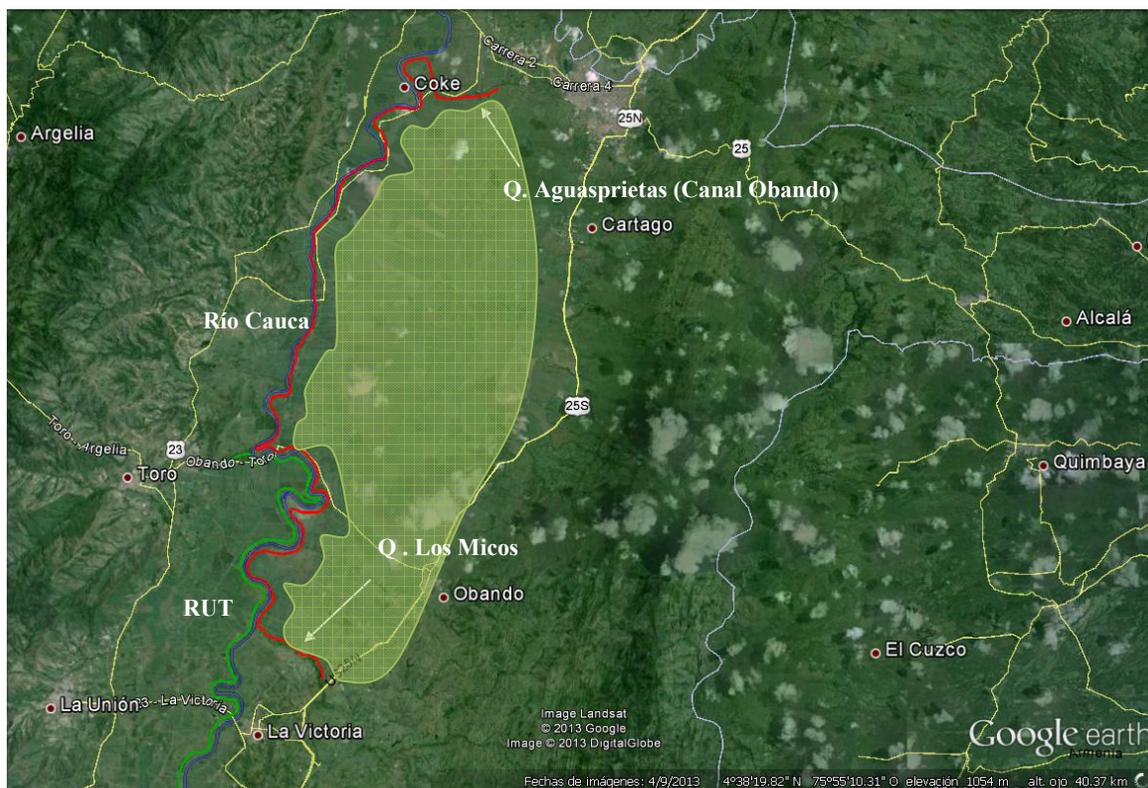
De esta manera, el área agrícola estará protegida para niveles máximos instantáneos de agua del río Cauca con un periodo de retorno de 30 años, mientras que el área urbana del municipio de La Victoria lo estará para un periodo de retorno de 100 años, contemplando en los diseños la rectificación del zanjón Tinajones, que en la actualidad cruza un puente, el dique actual y penetra en la zona urbana del municipio, para luego salir, a través de otro puente (CVC, 2000g).

Dentro del estudio se identificaron un total de cinco (5) estaciones de bombeo dentro del área de estudio, de las cuales una se encuentra en total abandono. Una vez se analizó el sistema drenaje del área de estudio, se identificaron 10 puntos que necesitan estaciones de bombeo para manejar el agua de escorrentía que generan la misma cantidad de áreas tributarias dentro de la zona. Por lo anterior se propone el diseño y montaje de 7 estaciones de bombeo para drenaje y mantenimiento de las tres existentes. De las siete (7) estaciones consideradas tres (3) se instalarán en el área rural y manejarán caudales que permiten el drenaje de los caudales generados en la cuenca en 24 horas, tiempo máximo en que puede permanecer el cultivo más sensible de los identificados en condiciones de encharcamiento.

#### **3.6.14 Quebrada Los Micos – Quebrada Aguaspietas**

Este proyecto forma parte de los estudios de CVC y la Unión Temporal INTEGRAL S.A y CONSULTORÍA AMBIENTAL, cuyo objeto fue el de realizar los estudios para el control de inundaciones por los desbordamientos del río Cauca en el subproyecto Quebrada los Micos - Aguaspietas, ubicado en los municipios de Obando y Cartago, al norte del departamento del Valle del Cauca, beneficiando un área aproximada de 14.000 ha (ver Figura 3.19).

**Figura 3.19 Localización general del proyecto Quebrada Los Micos – Quebrada Aguaspietas**



Fuente: Google Earth (2013)

Las principales fuentes de inundación en la zona las generan los desbordamientos del río Cauca y del canal Obando y deficiencias en el sistema de drenaje interno. Además, se identificó que las obras de control de inundaciones existentes presentan deficiencias en su construcción y operación. Es evidente la falta de planificación general que existe en toda la zona, la cual ha incidido de manera negativa en las características geotécnicas de los diques existentes, ya que estos se han ejecutado de manera precipitada cada que ocurren inundaciones y no como consecuencia de un plan integral de gestión de inundaciones (CVC, 2001c).

En cuanto al control de inundaciones del río Cauca, se identificaron los niveles máximos de río con base en los cuales se definirá la cota de la cresta del dique paralelo al cauce, considerando en el análisis los resultados del estudio que contrató la CVC con la Universidad del Valle para la definición de los niveles de inundación a lo largo del río Cauca entre Salvajina y La Virginia (CVC, 2001c).

La altura del dique paralelo al río Cauca será variable e incluso podría darse el caso de que en algunos sectores no se requiera dique, siempre y cuando el nivel original del terreno, garantice el borde libre mínimo establecido para el control de la creciente de diseño. Para el trazado en planta del dique paralelo al río Cauca, se tendrá en cuenta lo estipulado en el Acuerdo 23 de 1979. Se aprobó flexibilizar el trazado de los diques, sólo en las zonas que

existan edificaciones o minifundios, de tal manera que éstos puedan quedar ubicados a una distancia no inferior a 30 m medidos desde la orilla del río.

En un sitio cercano a la hacienda Coke (K30+200), la construcción del dique implicará la relocalización de la vía regional, ya que ésta se encuentra a menos de 60 m de la orilla del río, donde se construirá el dique. Una solución alternativa al trazado del dique, respetando los 60 m de distancia a la orilla del río, consistiría en, utilizar la vía regional que va paralela al río Cauca, adaptándola como dique. Esta alternativa de trazado se considera inconveniente, pues con ella se estaría dejando de proteger las poblaciones y edificaciones que hay entre la vía y la orilla del río, además de encarecer la ejecución del dique, al tener que construirlo con especificaciones de corredor vial (CVC, 2001c).

Para el control de las inundaciones generadas por el desbordamiento del canal Obando, la alternativa de adecuación del Canal, es aparentemente la más simple y la más viable, ya que consistiría en evaluar las crecientes del canal para dimensionarlo y darle la capacidad necesaria de evacuación de una creciente menor a la que se adopte para el diseño, adicionándole canales de alivio que trabajarían cuando se presente la creciente de diseño, evacuando los excesos hacia los zanjones Mojahuevos o el Doima, en donde se necesitaría incrementar el bombeo de caudal hacia el río Cauca.

Independiente de la alternativa que finalmente se escoja, es necesario adecuar un nuevo canal interceptor en la zona sur, que recolecte las aguas de escorrentía provenientes de las estribaciones de la Cordillera Central y que pasan entre la quebrada Los Micos y la cabecera municipal de Obando, para descargarlas a la quebrada Los Micos, antes de que entren en la zona baja; esto con el fin de disminuir los aportes al zanjón El Guineo (CVC, 2001c).

Las soluciones al manejo del sistema interno de drenaje, están enfocadas a resolver los problemas de los zanjones El Guineo, Mojahuevos y Doima, incluyendo el tramo no construido actualmente, los cuales se consideran como los únicos zanjones que operan a nivel colectivo, pues el resto del sistema de drenaje es competencia de los propietarios o administradores de cada predio.

### ***ESTUDIOS CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (2011)***

Los catorce anillos de protección diseñados en el año 2000, no fueron construidos por los propietarios; sin embargo, desde esa fecha hasta el año 2010 se construyeron un sinnúmero de diques de manera independiente sin tener en cuenta el concepto de anillo de protección contra inundaciones. Por lo anterior en el año 2011, la Fundación Pacífico Verde desarrolló un estudio para la CVC con el propósito de evaluar el estado de los diques existentes en tramos previamente definidos, teniendo en cuenta el cumplimiento de las especificaciones técnicas (altura, localización, compactación, etc.) hidrológica, hidráulica (incluyendo modelación), geotécnica y morfológica. En el Cuadro 3.8 se presenta un resumen de los proyectos por tramo y contenido de estudio. Estos estudios permitieron establecer cuando los diques deberían reconstruirse, realizarse o definitivamente reubicarse.

**Cuadro 3.8 Información disponible de los estudios realizados por la CVC y Fundación Pacífico Verde (2011)**

Tramo	Topografía	Diagnóstico visual (Reconocimiento de campo)	Estudio hidrológico e hidráulico	Modelación Hidráulica	Estudio geotécnico	Estudio de suelos de diques	Morfología fluvial	Diseño de obras y criterios de diseño	Cantidades de obra y presupuesto
Ríos Palmira-Bolo-Fraile y Guachal	☑	☑	☑	☑	☑	x	☑	☑	☑
Río Cali - Río Arroyohondo y Río Arroyohondo – Pto Isaacs	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Quebrada Los Micos – Quebrada Aguasprietas	☑	x	☑	☑	x	☑	☑	☑	☑
Paso La Torre - río Amaime	☑	☑	☑	☑	☑	x	☑	☑	☑
Aguablanca - Canal CVC Sur	☑		☑	☑	x	x	☑	☑	☑
Quebradas La Honda y Los Micos	☑	x	☑	x	x	x	☑	☑	☑
Sector Domingo Largo – Poblado Campestre	☑	x	☑	x	☑	☑	☑	☑	☑
Paso del Comercio – Puerto Isaacs	☑	☑	☑		☑	x	☑	☑	☑

Los estudios se realizaron con base en la siguiente metodología. Para los aspectos hidrológicos se llevó a cabo un análisis de frecuencia considerando las series de niveles y caudales máximos del río Cauca para el período 1985-2010 (Post-Salvajina) desde la estación Hormiguero hasta la estación Anacaro, con el fin de validarlos frente a los niveles de diseño. La distribución de Gumbel fue la aceptada a partir de las pruebas de bondad del ajuste de Kolmogorov- Smirnov y Cramer - Von Mises. Las características básicas de niveles y anchos a banca llena de las secciones en las estaciones hidrométricas se extractaron del libro Río Cauca en su valle alto (CVC- Univalle, 2007), suponiendo una relación Nivel - Caudal significativamente estable.

Los niveles de diseño tomados para los análisis comparativos fueron extractados del documento "Niveles de diseño para los diques del río Cauca para la creciente regulada de una vez en treinta años" del Ingeniero José Antonio Sierra de la CVC de octubre de 1992, quien relaciona: (i) Caudales y niveles regulados en el río Cauca para un periodo de retorno de 10 años del Proyecto de Regulación del Río Cauca: Grado de protección en la Planicie, agosto de 1977 (ii) Caudales y Niveles regulados y tradicionales, Proyecto de Regulación del río Cauca: Estudio de Niveles del Río Cauca, abril de 1979, (iii) Niveles de agua en el río Cauca para la creciente regulada de una vez en 30 años (iv) Nuevos niveles de diseño para los diques del río Cauca, Frecuencia de 1:30 años, regulada no deformada (CVC – FPV, 2011a).

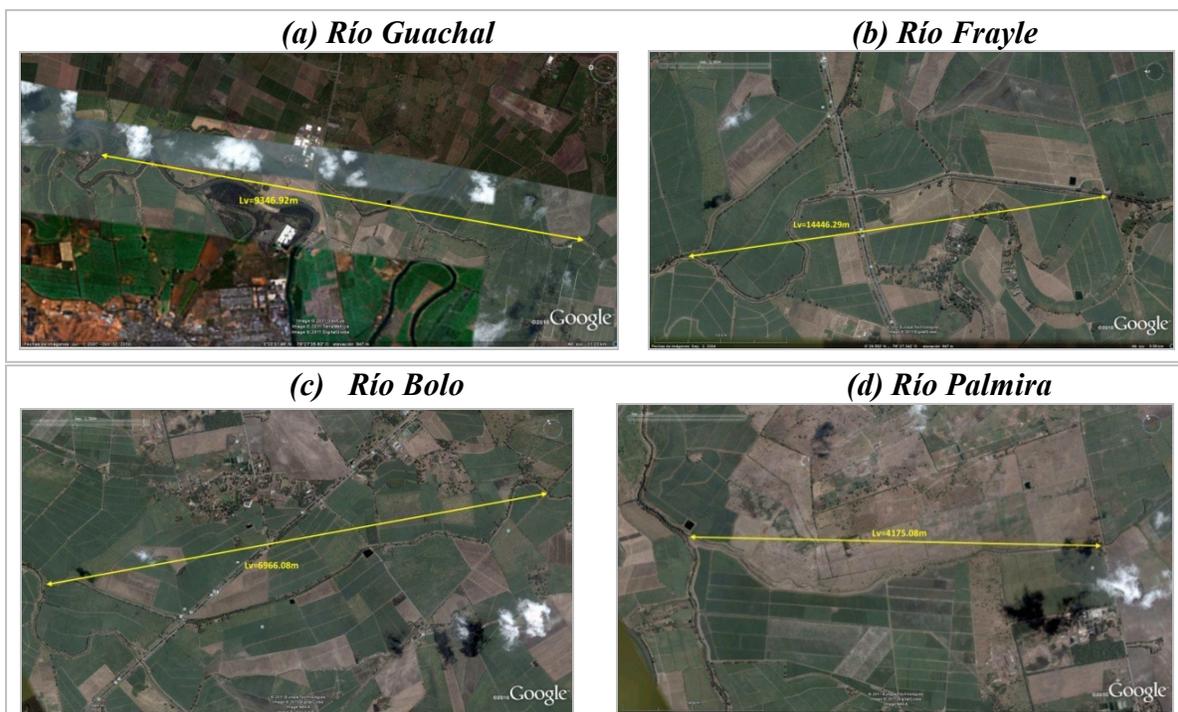
Las observaciones generales de los estudios de diagnóstico efectuados por CVC – Fundación Pacífico Verde giran en torno a: (i) El período crítico de la creciente del año 2010 lo constituyó la permanencia de caudales extremos por más de 60 días durante los días finales del mes de octubre, y los meses de noviembre y diciembre (CVC – FPV, 2011a), (ii) Sobre-elevar el nivel de la corona de los diques hasta el correspondiente al nivel de la creciente de 1:30 años más 1.0 m de borde libre para las áreas agrícolas y en las zonas urbanas, como

Juanchito, el tramo Domingo largo - Poblado Campestre en el municipio de candelaria y el casco urbano del municipio la Victoria con un nivel correspondiente a de la creciente de 1:100 años, más un borde libre de 1.0 m (iii) Elaborar campañas anuales de control de hormiga arriera y analizar la viabilidad de construir una pantalla a lo largo del eje del dique o, de tal forma que se evite la continuidad de los hormigueros de un lado al otro del dique o, en su defecto, realizar inyecciones con suelo-cemento para rellenar los vacíos de los hormigueros, (iv) Realizar, por parte de la administración Municipal, campañas de recuperación de los diques y sus bermas, relocalizando las viviendas construidas en estos sitios, (v) Retirar los árboles y arbustos que se encuentran en el cuerpo del dique y en los cauces: la presencia de estos árboles son una amenaza para la estabilidad de los diques, (vi) Control, por parte de la administración municipal, sobre los asentamientos localizados en el cuerpo del dique y sobre las bermas, estos últimos afectados durante cada una de las crecientes del río Cauca, por estar ubicados dentro de su cauce mayor, (vii) Controlar, por parte de la CVC y las Alcaldías, el depósito de escombros sobre las márgenes del río Cauca y la construcción de diques que no cumplen con el Acuerdo 23 de 1979 y (viii) En todos los casos, el realce de los diques debe hacerse hacia el interior del área protegida, de tal forma que no se disminuya el área hidráulica del cauce y mayor (ix) Reubicar las viviendas que se encuentran a menos de 60 m de la orilla del río.

### 3.7.1 Tramo Palmira- Bolo – Frayle - Guachal

Los tramos de diques evaluados fueron: 4.8 km en ambas márgenes del río Palmira, 7.8 km en ambas márgenes del río Bolo, 5.4 km en ambas márgenes del río Fraile y 10.8 km en ambas márgenes del río Guachal, beneficiando directamente al municipio de Palmira (ver Figura 3.20).

**Figura 3.20 Localización general del proyecto Palmira - Bolo – Frayle – Guachal**



*Fuente: CVC – FPV (2011)*

El proyecto está conformado por dos canales interceptores (norte y sur), el mejoramiento del cauce del río Palmira, diques marginales sobre este último y sobre los ríos Bolo (ambas márgenes), Guachal en su margen derecha, estructuras. Hacen igualmente, parte del área estudiada, las asociadas con el proyecto de 1969 Carretera Puerto Isaacs - La Guajira, conformado por dique de protección del río Cauca, diques marginales a los ríos Guachal y Palmira y la zanja Negra, y por último el proyecto de Palmira-Zanjón Rozo, conformado por diques marginales a los ríos Guachal y Palmira y el zanjón Rozo e interceptores.

Se realizó la modelación hidráulica de los ríos Guachal, Fraile, Bolo y Palmira, y acorde al análisis de la situación actual y los resultados obtenidos de la modelación, se estableció que: (i) A partir de la evaluación hidrológica e hidráulica hasta el mes de diciembre de 2010, las obras de control de inundaciones construidas a lo largo de las márgenes de los ríos Guachal, Palmira, Bolo y Fraile están en un 77.77% de su longitud (4 km de 5.7 km), por debajo de las condiciones para las cuales fueron diseñadas, (ii) La condición de diseño de estas obras es la de un nivel de creciente para un período de retorno de 30 años en el río Cauca y caudales para un período de retorno de 1 en 30 años en los ríos tributarios, (iii) El estado actual de compactación de los diques está por debajo de los parámetros requeridos para este tipo de obras en aproximadamente un 36.4% de su longitud (2.0 km de 5.7 km), (iv) El diseño original de las obras mantenía en promedio 15 m de berma en cada margen de los ríos, la cual en 1.5 km de longitud ya ha desaparecido debido a la modalidad de los ríos y se requiere la relocalización de los diques en estos sitios, de los cuales algunos fueron afectados por roturas durante la temporada invernal 2010 - 2011, (iv) Los puentes de las dobles calzadas Cencar- Aeropuerto y Rozo - Palmaseca no tienen la altura suficiente para permitir el paso de las crecientes de diseño recomendadas por el INVIAS, (v) De acuerdo con las normas del INVIAS para un puente con una luz mayor o igual a 10 m inferior a 50 m, el caudal de diseño debe corresponder al de un período de retorno de una vez en 50 años y debe tener un gálibo de 2.5 m sobre las corrientes de agua que en algunos períodos transportan desechos, troncos y otros objetos voluminosos y (vi) Para controlar el desplazamiento lateral de los ríos Palmira, Bolo, Fraile y Guachal en los tramos del proyecto se requiere la construcción de obras de fijación de orillas (espolones con geotubos), donde el ancho de la berma es inferior a 3 m que controlen el proceso erosivo que se presenta en diversos sitios (CVC – FPV, 2011a).

En este estudio se recomienda: (i) En aquellos tramos donde los diques presenten baja compactación realizar el retiro del material inadecuado y colocarlo nuevamente siguiendo las especificaciones técnicas de este proyecto, (ii) En los tramos donde la berma sea inferior a los 5 m, instalar obras de fijación de orilla formadas por geoestructuras de acuerdo con los diseños entregados en este estudio, (iii) Realzar los puentes de la doble calzada Cencar-Aeropuerto, con lo cual se estarían acatando las normas del INVIAS, (iv) Realzar de igual forma los puentes de la doble calzada Palmaseca - Rozo sobre el río Palmira (v) Retirar los puentes de la hacienda Betania y la estación limnigráfica de la CVC sobre el río Guachal, (vi) Recuperar la sección hidráulica de los puentes existentes, la cual se encuentra sedimentada, (franja de terreno entre dique y río) y (vii) Recuperar la sección hidráulica de los cauces de los ríos analizados, retirando las barras de sedimentos que se forman en las curvas internas.

### 3.7.2 Tramo río Cali – Puerto Isaacs

Los proyectos desarrollados en el área de estudio fueron: (i) *Autopista Cali-Yumbo*, en el cual el área debía protegerse totalmente contra los desbordamientos de los ríos Cauca y río Cali mediante la construcción de 7 km de jarillones Cali - Yumbo y la reparación eventual de los existentes, dado que el tramo de Autopista al norte del río Arroyohondo era susceptible de inundaciones por desbordamientos del río Cauca (ii) *Río Cali-Paso del Comercio*, conformado por un dique de 1.7 km sobre el río Cali y 1.2 km sobre el río Cauca, y (iii) *Puerto Isaacs - río Arroyohondo*, planteando diques de 800 m de longitud sobre el río Arroyohondo y 6.5 km sobre el río Cauca (CVC – FPV, 2011b).

**Figura 3.21 Localización general del proyecto Tramo río Cali - Puerto Isaacs**



Fuente: CVC – FPV (2011)

#### **Modelación hidráulica**

Se modeló el sistema conformado por los ríos Cali y Arroyohondo, con un control en el extremo aguas abajo, dado por los niveles del río Cauca para un período de retorno de 30 años, que corresponden a la condición de diseño de los diques del río Cauca. Además, se consideraron otros caudales máximos estimados para los períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años.

En los estudios del río Arroyohondo se pueden destacar los siguientes puntos: (i) Para la condición de 1:30 años del río Cauca, el río Arroyohondo se encuentra remansado por éste en una longitud aproximada de 950 m, con lo cual el remanso alcanza el puente de la Autopista Cali - Yumbo, (ii) Los diques del río Arroyohondo en las áreas urbanizadas tienen la altura suficiente para controlar los niveles de la creciente de diseño, pero sin borde libre, y (iii) los cuatro puentes ubicados sobre el cauce del río Arroyohondo no tienen la capacidad suficiente para el manejo de los caudales establecidos en las normas del INVIAS, los cuales deben corresponder a un período de retorno de 50 años y un gálibo de 1.0m.

En los estudios del río Cali se destacan los siguientes aspectos: (i) Para la condición de 1:30 años del río Cauca, el río Cali se encuentra remansado por éste en una longitud aproximada de 800 m, (ii) Los diques sobre la margen izquierda del río Cali en el tramo

comprendido entre la Calle 70 y la entrega del canal Acopi, presentan una elevación adecuada para proteger contra inundaciones el área urbana de la ciudad de Cali. En el tramo comprendido entre el canal Acopi y el río Cali, los diques han sido construidos en forma fraccionada y requieren ser nivelados en su corona para garantizar la protección de diseño. Finalmente, las velocidades en el centro del cauce cerca a la desembocadura son del orden de 0.8 m/s tanto para el río Arroyohondo como para el río Cali.

### ***Obras de control de inundaciones***

Considerando la necesidad de recuperar las condiciones de diseño de los diques de control de inundaciones del proyecto comprendido entre el río Cali y Puerto Isaacs, se recomienda realizar la corona de los diques hasta el nivel correspondiente a un período de retorno de 30 años, incluyendo la desembocadura del río Arroyohondo, y un metro de borde libre más para Puerto Isaacs. La sobre-elevación que requiere el dique en el río Cauca para obtener una protección para una creciente con un período de retorno de 30 años más un metro de borde libre es de 1.91 m, en promedio (CVC – FPV, 2011b).

Para las condiciones hidrológicas e hidráulicas evaluadas se encontró necesario el realce del dique en prácticamente toda su extensión. Es importante anotar que en algunos tramos el nivel de la corona del dique está por debajo del nivel esperado (TR = 30 años) en una altura promedio de 1.01 m; otros tramos se encuentran capas de escombros desde aproximadamente 0.88 m hasta 1.47 m de espesor, las cuales debe ser retiradas antes de iniciar las labores de recuperación del dique, y otros tramos presentan en la corona del dique buen material pero con una compactación muy baja en un espesor promedio de 1.37 m, por lo cual es necesario retirarlo y recompactarlo de acuerdo con las especificaciones técnicas (CVC – FPV, 2011b).

### **3.7.3 Tramo Quebrada Los Micos – Quebrada Aguasrietas**

Entre las obras existentes se tienen: (i) Zanjón Mojahuevos canalizado y que en 1985 conectó a éste con el río Cauca, solucionando definitivamente el conflicto entre las zonas intermedia y norte, (ii) Canal Obando construido antes de 1956, el cual interceptó todas las aguas que llegaban a la zona baja, llevándolas al río Cauca por el sector norte, utilizando el tramo final del cauce de la Quebrada Aguasrietas. Los tramos evaluados comprenden 2.2 km de diques en la margen derecha de la Quebrada Los Micos, 32 km de diques en la margen derecha del río Cauca y 3 km de diques en la margen izquierda de la Quebrada Aguasrietas, beneficiando directamente al municipio de Obando.

Con base en los resultados del diagnóstico y considerando la necesidad de recuperar las condiciones de diseño de los diques de control de inundaciones del proyecto comprendido entre la desembocaduras de la quebradas Los Micos y Aguasrietas sobre la margen derecha del río Cauca, se requerirá realizar la corona de los diques hasta el nivel correspondiente a un período de retorno de una vez en 30 años (1.47 m, en promedio) más un metro de borde libre, en todo su recorrido. Este realce se debe realizar en cerca del 95% de los diques evaluados, además de construir, en primer término, las obras de reubicación del dique en 8 tramos sobre el río Cauca, comprendidos entre las abscisas K11+280 y K42+400 (CVC – FPV, 2011c).

**Figura 3.22 Localización general del proyecto Quebrada Los Micos – Quebrada Aguaspietas**



Fuente: CVC – FPV (2011)

### 3.7.4 Tramo Paso La Torre - Río Amaime

El proyecto de adecuación asociado con el subproyecto Paso de La Torre - Río Amaime se formuló conforme a uno del mismo nombre que tuvo entre sus componentes un dique sobre el río Cauca, un dique sobre el río Amaime, un drenaje interno con estaciones de bombeo, y que de acuerdo con una evaluación de la CVC, consignada en el documento compilatorio del río Cauca, acusaba como gran dificultad la carencia de la infraestructura de intercepción de la escorrentía superior. Los diques evaluados corresponden a: (i) 8.5 km en la margen derecha del río Cauca y (ii) 2.5 km en la margen izquierda del río Amaime, beneficiando directamente al municipio de Palmira.

**Figura 3.23 Localización general del proyecto Paso La Torre – Río Amaime**



*Fuente: CVC – FPV (2011)*

### **Modelación hidráulica**

Debido a las condiciones topográficas de los cauces y del río Cauca como receptor final de las aguas del río Amaime, el río Cauca controla los tirantes de flujo en la desembocadura del río Amaime. Por esta razón se modeló el sistema del río Amaime, con un control en el extremo aguas abajo, dado por los niveles del río Cauca para un período de retorno de 30 años.

Para el período de retorno de 30 años de la modelación se resalta que: (i) El río Amaime se remansa debido al río Cauca en una longitud superior a los 4 km, (ii) Las velocidades medias en el tramo inferior están por debajo de 1.0 m/s, lo cual es la causa de la gran sedimentación que se presenta sobre todo en las bermas del cauce y (iii) Los diques del río Amaime no tienen la altura suficiente para controlar los niveles de la creciente de diseño.

Para las condiciones hidrológicas e hidráulicas evaluadas se encontró la necesidad de realzar el dique en un 100% de su longitud (un promedio de 1,91 m para una creciente con período de retorno de 30 años más un metro de borde libre), además de construir un nuevo dique sobre la margen derecha del río Cauca en la hacienda La Suiza en una longitud de 886m y otro en la hacienda Guaguyá, sobre la margen izquierda del río Amaime, en una longitud de 155 m (CVC – FPV, 2011d).

### **Obras de control de inundaciones**

Se requiere la construcción de obras de fijación de orilla para controlar el proceso erosivo que se está presentando sobre la margen derecha del río Cauca en el sector del Centro Agro-experimental de Rozo y en la hacienda La Suiza.

En forma paralela con la construcción de la obra de fijación de orilla de la hacienda La Suiza se debe construir la variante del dique en este tramo. En forma similar debe construirse el tramo de dique en la margen izquierda del río Amaime en la hacienda Guaguyá. En el resto del dique del proyecto se debe sobre-elevar el nivel de la corona hasta el correspondiente al nivel de la creciente de 30 años más un metro de borde libre.

### **3.7.5 Tramo Aguablanca**

El proyecto comprende los siguientes sub-tramos: (i) Dique de la Margen izquierda del Canal CVC Sur (7.2 km) y, (ii) Dique de la Margen izquierda del río Cauca (16.7 km), para un total de 23.9 km, que beneficiarán directamente a la ciudad de Cali. Respecto al grado de protección actual para la ciudad de Cali, para los proyectos de la margen izquierda del río Cauca, como son, Aguablanca, Río Cali-Río Arroyohondo, Río Arroyohondo-Puerto Isaacs, que involucran el casco urbano de la ciudad de Cali, la determinación de los niveles máximos tuvo en cuenta los siguientes factores: (i) En el tramo de la margen derecha del río Cauca, la infraestructura de control de inundaciones y drenaje proporciona un grado de protección para periodos de retorno inferiores a 30 años y, además, en algunos sectores dicha infraestructura no existe; (ii) Se considera la frecuencia para la evaluación corresponde a 1:100 años. El tramo de aferencia del río Cauca para este proyecto va desde la estación Hormiguero hasta la estación Juanchito (CVC – FPV, 2011e).

**Figura 3.24 Localización general del proyecto Aguablanca**

Fuente: CVC – FPV (2011)

### **Modelación hidráulica**

Primero se realizó una evaluación hidrológica del canal CVC Sur, actualizando los caudales de los tributarios Meléndez, Lili y Cañaveralejo. Luego, a partir de los resultados del modelo hidráulico se determinó que el perfil líquido correspondiente a la creciete propia con remanso del río Cauca de 1:100 años, deja los siguientes bordes libres: (i) desembocadura: 1.39 metros, (ii) después de la entrega del río Lili: 0.28 metros (iii) después de la entrega del río Meléndez: 0.17 metros, (iv) Inicio del Canal CVC Sur (San Judas): 0.01 metros.

Los resultados del modelo se obtuvieron a con base en de la geometría del Canal Interceptor según los planos de construcción (1988), incluyendo los niveles de agua máximos asociados a distintos períodos de retorno, y para una condición de remanso del río Cauca de 1:100 años, condición para la que se debían diseñar los diques del proyecto río Cauca como protección a la ciudad de Cali, mostrando que los bordes libres resultantes son, en todo el tramo, inferiores al borde libre propuesto de 1.50 m como protección para los diques ribereños del río Cauca (CVC – FPV, 2011e).

Como recomendación es necesario sobre-elevar inicialmente el nivel de la corona del dique hasta el correspondiente al nivel de la creciete de 1:100 años sin borde libre, teniendo en cuenta que sobre la margen derecha los diques existentes tienen un nivel de corona inferior a los de la margen izquierda, induciendo a que el desbordamiento del río Cauca sea primero hacia esa orilla, con el agravante de que en algunos tramos no existe dique (como en Juanchito y Domingo Largo). Los diques existentes aguas arriba de la zona del proyecto del río Cauca presentan niveles de protección para crecientes con periodos de retorno de 30 años.

A partir del puente de Juanchito, el nivel de la corona del dique marginal de protección está por debajo del nivel correspondiente a la creciente de 100 años y se requiere elevarlo en promedio 1.14 m. En este tramo no se han presentado amenazas serias de desbordamientos debido a que en el tramo de aguas arriba sobre la margen derecha (Juanchito - Candelaria) el río se ha desbordado. Finalmente, para detener el desplazamiento lateral del río Cauca y del canal CVC Sur, se propone la construcción de dos obras de fijación de orillas que controlen el proceso erosivo que se está presentando sobre la margen izquierda del río Cauca y del canal CVC Sur (CVC – FPV, 2011e).

### 3.7.6 Tramo Quebrada La Honda – Quebrada Los Micos

Este proyecto se orientó a la revisión de las obras existentes, básicamente los diques de la margen derecha del río Cauca, margen izquierda de la quebrada Los Micos y la margen derecha de la quebrada La Honda (ver Figura 3.25). Con este propósito se realizaron estudios hidrológicos e hidráulicos (para definir caudales y niveles), topográficos, dinámica fluvial y geotécnicos para analizar la estabilidad de los diques y las condiciones en que se encuentran. La revisión se efectuó en el año 2010, es decir, incorpora todos los eventos ocurridos hasta finales de ese año. La evaluación de las obras cubrió los siguientes subproyectos: (i) Margen derecha Quebrada La Honda (longitud 1.9 km), (ii) Margen derecha río Cauca (Longitud 14.9 km) y (iii) Margen Izquierda Quebrada Los Micos (Longitud 1 km), beneficiando directamente al municipio de La Victoria.

**Figura 3.25 Localización general del proyecto Quebrada La Honda – Quebrada Los Micos**



Fuente: CVC – FPV (2011)

De acuerdo con el análisis hidrológico e hidráulico del río Cauca realizado, los niveles de agua esperados para un período de retorno de 30 años indican que en un 95% de toda su extensión el nivel de la corona del dique está por debajo del nivel de agua esperado. En el tramo de estudio se requiere realzar la corona de los diques así: (i) en la zona rural hasta el nivel correspondiente a un período de 30 años más un metro de borde libre (1,62 m, en

promedio, de sobre-elevación respecto al nivel actual) y (ii) en la zona urbana del municipio de La Victoria (entre las abscisas K12+450 y K13+350) hasta el nivel correspondiente al periodo de retorno de 100 años más un borde libre de 1.0 m. Esta diferencia se hace con el propósito de tener una mayor protección en las áreas urbanas. Además, se requiere construir, en primer término, las obras de reubicación del dique marginal de protección del río Cauca en cuatro sectores (CVC – FPV, 2011f).

### 3.7.7 Tramo Domingo Largo – Poblado Campestre

Este estudio comprende los tramos Domingo Largo-Poblado Campestre del municipio de Candelaria con 5 km sobre dique en la margen derecha del río Cauca, 1 km sobre la vía Cali - Candelaria y 1.7 km de dique sobre la margen izquierda del zanjón Tortugas, para un total de 7.7 km de diques, beneficiando directamente al municipio de Candelaria. Este proyecto se encuentra contenido en el subproyecto Río Desbaratado – Paso del Comercio sobre la margen derecha del río Cauca.

**Figura 3.26 Localización general del proyecto Domingo Largo – Poblado Campestre**



Fuente: CVC – FPV (2011)

Para el diagnóstico del estado actual de la estabilidad los diques del zanjón Tortugas, Domingo Largo carretera Cali - Candelaria y río Cauca margen derecha, se determinaron las características geomecánicas analizando muestras en el laboratorio y realizando pruebas de penetración estándar. En el dique del zanjón Tortugas se realizaron un once (11) perforaciones, en el dique del sector Domingo Largo Carretera Cali-Candelaria cuatro (4) perforaciones y en el dique del río Cauca margen derecha dieciséis (16) perforaciones.

Del estudio geotécnico se pueden destacar los siguientes aspectos: (i) El jarillón del zanjón Tortugas se ha comportado geotécnicamente bien, salvo en los sectores donde hay explotaciones de ganadería extensiva, (ii) Importante realizar la compactación del material depositado (compactadora patecabra) en los 2 primeros metros, con la finalidad de evitar presiones negativas y tener un jarillón con mayor vida útil y estable geotécnicamente, (iii) Para darle mayor estabilidad al jarillón del zanjón Tortugas se requiere, en el corto y

mediano plazo, evitar el pastoreo, (iv) Respecto a los resultados del ensayo de penetración estándar, si  $N \leq 7$  golpes, se debe retirar el material del jarillón y colocar el material recomendado en las especificaciones técnicas y compactar en capas de 0.30 m hasta llegar a un nivel de compactación mayor al 90%; si  $7 \leq N \leq 12$  golpes, los suelos son de consistencia media y se debe compactar el material hasta los niveles donde está la consistencia media y si  $N > 12$ , el material presenta una consistencia dura, por lo cual, el nivel de compactación es aceptable y (v) En los sitios donde se encuentren bolsas o capas de arena o hayan suelos de consistencia blanda, éstos se deben retirar y reemplazar por el material recomendado en las especificaciones técnicas, como es el caso del Jarillón Domingo Largo carretera Cali – Candelaria (CVC – FPV, 2011g).

Para este tramo de estudio se recomienda el realce de la corona de los diques en toda su extensión hasta el nivel correspondiente a un período de retorno de 100 años, teniendo en cuenta que aguas arriba de este dique y sobre la misma margen derecha, las obras de control de inundaciones existentes tienen un nivel de corona inferior a los diques del zanjón Tortugas y del río Cauca en el tramo estudiado. Además, parte de este dique se encuentra dentro de los 60 m de berma, siendo necesaria la reubicación de las viviendas que se encuentran dentro de esta franja para lograr iniciar la construcción de las obras de protección. Cualquier obra que se construya a una menor distancia, afecta los niveles del río Cauca y por ende al dique de Aguablanca, el cual se encuentra sobre la margen izquierda del río Cauca, el cual si cumple con los 60 m de distancia hasta la margen izquierda del río Cauca (CVC –FPV, 2011g).

### **3.7.8 Tramo Paso del Comercio– Puerto Isaacs**

El dique evaluado en este estudio posee una longitud total de 10.8 km sobre la margen derecha del río Cauca, beneficiando directamente al municipio de Palmira (ver Figura 3.27). Hacen igualmente parte del área estudiada, las asociadas con el proyecto de 1969 Carretera Puerto Isaacs - La Guajira, conformado por un dique de protección sobre el río Cauca.

**Figura 3.27 Localización general del proyecto Paso del Comercio – Puerto Isaacs**

Fuente: CVC – FPV (2011)

El diagnóstico realizado demuestra que se requiere realizar, en un 90% de toda la extensión de los diques, los niveles de corona de los diques hasta el correspondiente a un período de retorno de 30 años, más un metro de borde libre, donde se incluye el dique entre las abscisas K0+050 y K9+820, el cual se encuentra 1,01 m por debajo del nivel esperado para 30 años. El único tramo que posee el nivel suficiente para evitar los desbordamientos es el que se encuentra entre las abscisas K9+820 y K10+862. En promedio, la sobre-elevación que requiere el dique para obtener una protección para una creciente con un período de retorno 30 años más un metro de borde libre es de 1,91 m (CVC –FPV, 2011h).

Entre las abscisas K0 + 050 y K1 + 406 y K10 + 240 y 10 + 545, se encuentra una capa de escombros de aproximadamente 0.88 m y 1,47 m de espesor respectivamente, las cuales deben ser retiradas antes de iniciar las labores de recuperación del dique. Entre las abscisas K4 + 640 y K5 + 760 se halla en la corona del dique material adecuado, pero con una compactación muy baja en un espesor promedio de 1.37 m, por lo cual es necesario retirarlo y recompactarlo de acuerdo a las especificaciones técnicas. Para detener el desplazamiento lateral del río Cauca en el tramo del proyecto se recomienda la construcción de una obra de fijación de orillas que controle el proceso erosivo que se está presentando sobre la margen derecha del río Cauca en el sector de Piles (CVC – FPV, 2011h).

### ***ESTUDIO Y DISEÑO DE LAS OBRAS DE MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DEL DIQUE MARGINAL Y DE PROTECCIÓN DE LAS ORILLAS DEL RÍO CAUCA EN EL RUT (2011)***

Estos estudios comprendieron los diseños de las obras de realineamiento del dique marginal de protección y el canal principal de riego en los sectores de La Bodega, El Palmar y Candelaria en el distrito de riego Roldanillo-La Unión-Toro (RUT). Para el trazado y reubicación del dique marginal se consideró la normatividad existente de la CVC relacionada con la localización de diques marginales de cauces de aguas de uso público,

principalmente el Acuerdo CD 052 de 2011. Además, la relocalización y diseño del dique marginal de protección en estos tres sectores implicó igualmente la reubicación y el diseño de la obras y estructuras anexas existentes, como son: el canal principal de riego, el dique menor (sobre la margen izquierda del canal), la vía carretable y las obras de arte complementarias para los pasos de agua y regulación y control del flujo (compuertas deslizantes, pasos de agua, alcantarillas, etc.) (CVC - UNIVALLE, 2011).

Estos estudios se apoyaron en los programas de campo para el levantamiento topográfico del dique marginal de protección y la berma, al igual que el levantamiento batimétrico del cauce principal del río Cauca en los sectores de El Palmar, La Bodega y Candelaria, además, de los estudios de suelos con base en los sondeos efectuados sobre la corona del dique marginal y en las orillas de las bermas del río Cauca en los sitios de El Palmar y La Bodega, de los cuales se derivan las especificaciones técnicas recomendadas para realizar los diseños de las obras de protección de las orillas del río Cauca y el realce y rehabilitación del dique marginal.

Para los propósitos de los estudios se realizó inicialmente la modelación matemática unidimensional del río Cauca para diferentes crecientes, concentrando el análisis en la avenida con un periodo de retorno de 30 años, con base en el modelo matemático Mike11 (unidimensional) implementado en estudios anteriores por la CVC y la Universidad del Valle; este modelo fue ajustado y actualizado incorporándole la información hidrológica, hidráulica, batimétrica y topográfica reciente. Adicionalmente, se efectuó la modelación matemática bidimensional del río Cauca, aplicando el modelo CCHE-2D de la Universidad de Mississippi, en los sectores críticos de El Palmar y La Bodega; obteniendo de éste información valiosa de los niveles de agua y el campo de velocidades de la corriente para el diseño de las obras de protección de orillas.

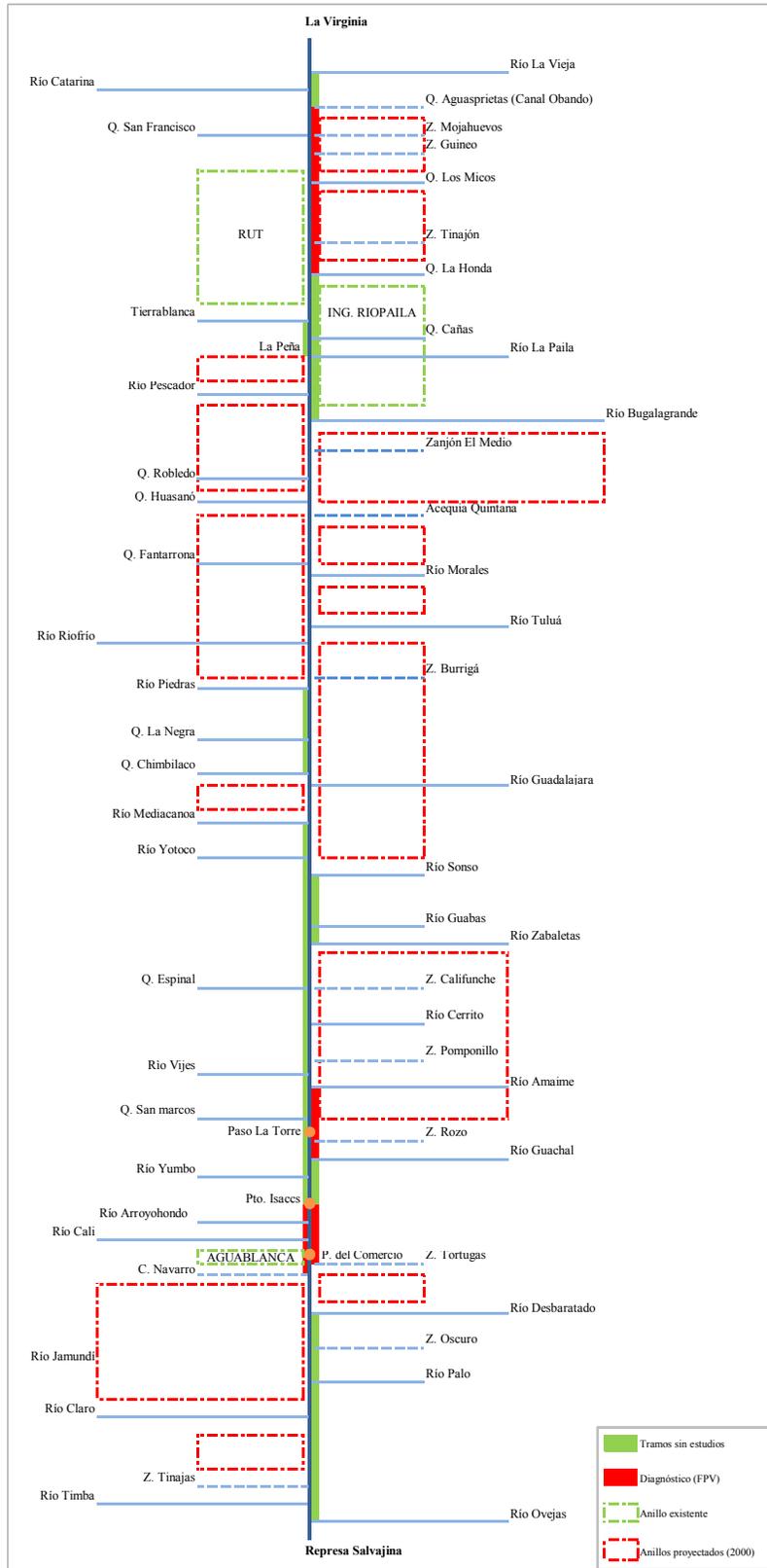
### ***COMPENDIO DE LA INFORMACIÓN***

Tomando como referencia los estudios realizados en los años 2000 y 2010 y descritos de manera breve anteriormente se elaboró un esquema de localización de todos los proyectos formulados hasta la fecha sobre las dos márgenes del río Cauca (ver Figura 3.28).

En la margen izquierda del río Cauca los tramos que no se consideraron dentro de la formulación y diagnóstico de proyectos entre 2000 y 2011 fueron los de Puerto Isaccs – Mediacanoa y del tramo RUT – Río Risaralda. Actualmente, el primer tramo corresponde a pequeñas fincas cuyas áreas a proteger suman aproximadamente 2.690 ha, las cuales disponen de diques de protección. El segundo tramo suma un área a proteger de 3.150 ha aproximadamente, los cuales actualmente también disponen de diques de protección. En la margen derecha no se han considerado los tramos La Balsa - río Desbaratado, aunque en la actualidad se sabe de la existencia de diques entre el río Palo y el río Desbaratado, que en principio deberían proteger un área aproximada de 2.690 ha, los cuales no han sido objeto de formulación oficial ni evaluación, posiblemente porque este tramo se encuentra en jurisdicción del departamento del Cauca. En sentido sur - norte sigue el tramo río Palmira – zanjón Roza, comprendido en el programa de obras intermedias planteado en los años 70. El tramo río Bugalagrande – Quebrada La Honda actualmente se halla protegido por el

anillo construido por el Ingenio Riopaila Castilla, cuya área de protección es del orden de 9.720 ha.

Figura 3.28 Esquematación de los 14 anillos planteados a lo largo del río Cauca





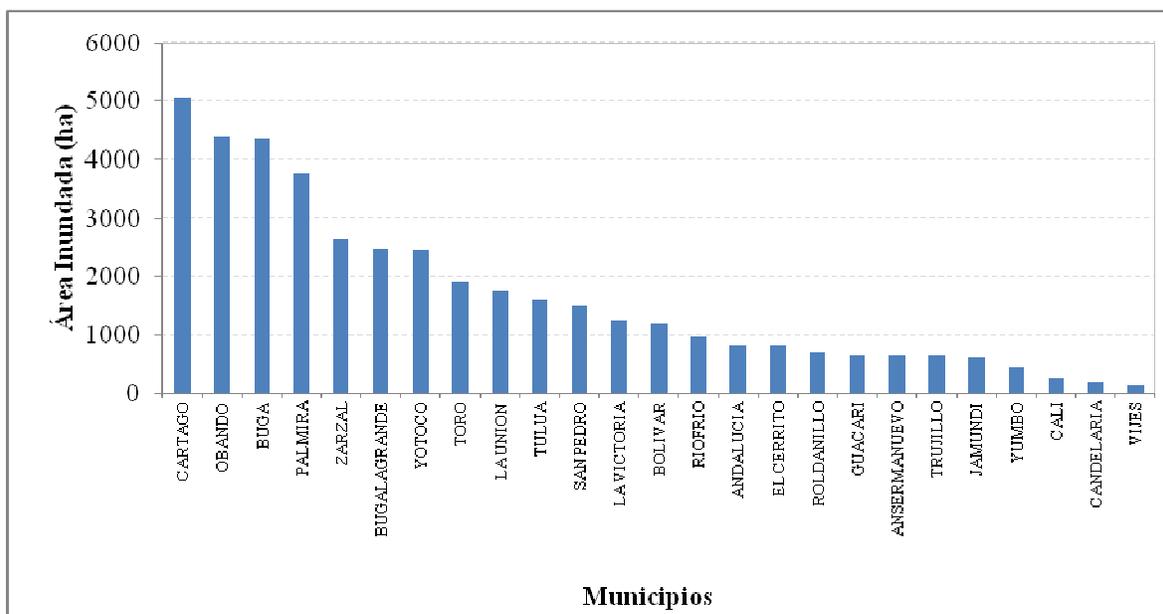
#### 4 ANÁLISIS DE LAS INUNDACIONES EN EL PERIODO INVERNAL AÑOS 2010 - 2011

A continuación se presenta el análisis de las situaciones y eventos ocurridos en el transcurso de la ola invernal 2010-2011, con base en la información y los datos recolectados durante las visitas técnicas de campo realizadas en el desarrollo de este proyecto.

##### *INUNDACIONES AÑOS 2010 - 2011*

Con relación al área inundada, la CVC reportó 25 municipios con inundaciones en el período noviembre – diciembre de 2010, para un total de 44.023 hectáreas inundadas, donde el 60% del área total afectada del departamento se concentra en 7 municipios, como son: Cartago, Obando, Buga, Palmira, Zarzal, Bugalagrande y Yotoco (ver Figura 4.1) (CVC – ACODAL, 2012).

**Figura 4.1 Áreas inundadas por municipio en la temporada invernal noviembre-diciembre 2010**



Fuente: CVC (2010)

Además de las áreas afectadas, se pudo establecer, por otros reportes de las DAR'S (Dirección Ambiental Regional de la CVC), que se presentaron daños en algunos municipios, tales como Jamundí, Yotoco, Riofrío, Roldanillo, La Unión, Toro y Obando sobre la margen izquierda del río Cauca y Palmira, Zarzal, Buga, Bugalagrande, Tuluá, La Victoria y Argelia sobre la margen derecha (ver Anexo de Fichas de la Ola Invernal 2010 - 2011).

#### **4.1.1 Causas de las inundaciones del periodo invernal años 2010 - 2011**

Durante la ola invernal 2010 - 2011 se presentaron inundaciones en los centros urbanos municipales y en numerosos corregimientos rurales pequeños, en complejos industriales y en un amplio sector agrícola dedicado al cultivo de la caña de azúcar. La mayoría de las inundaciones ocurridas obedecieron al colapso de las estructuras de protección, conformadas por diques. Establecer con exactitud las causas de las fallas o colapso en los sistemas de protección resulta una tarea bastante difícil y compleja, pues no existen registros ni monitoreos de este tipo de información. En las visitas de campo realizadas en desarrollo de este estudio, muchos de los pobladores de las zonas afectadas manifestaron que no había personas testigos de los hechos en los sitios de las roturas de los diques; en otros casos se obtuvieron versiones diferentes de la comunidad de las causas de las fallas de los diques; en otras situaciones lo que ocurrió fue simplemente un nivel de agua superior al nivel de la corona del dique de protección, causando el desbordamiento y, en algunos casos, el posterior colapso de la estructura de protección.

Como ejemplo se tiene que la inundación ocurrida en Cencar – Yumbo fue en parte causada por el desbordamiento del río Cauca en 2010 y 2011 (existen otras fuentes como la escorrentía superficial no controlada). En La Victoria, en los años 2010 y 2011 se presentaron emergencias e inundaciones en el corregimiento de San Pedro por nivel superior del río Cauca a de la corona del dique de protección. En el corregimiento de Guare del municipio de Bolívar, en el año 2011 la inundación se originó por niveles altos del río Cauca sobre un dique de una hacienda. En síntesis, en la mayoría de los casos registrados se presentó la rotura de los diques sin que el nivel del agua hubiera alcanzado el nivel de la corona de los diques. Se concluye que es prioritario diseñar e implementar planes de monitoreo y mantenimiento permanente de las estructuras de protección con el fin de garantizar su perfecto estado y óptimo funcionamiento.

Entre las principales causas de las inundaciones identificadas en la pasada ola invernal de los años 2010 -2011 se destacan:

- Rebose de diques por niveles de agua en el río Cauca y sus tributarios superiores a los niveles de la corona de los diques. En los ríos tributarios estos niveles altos pueden ser generados por dos causas: (i) caudales extremos transitando a través de ellos y (ii) el remanso generado por el río Cauca.
- Ausencia de canales interceptores para drenar el agua de escorrentía, por lo cual está llega hasta los cultivos y las zonas pobladas.
- Estaciones de bombeo insuficientes o ausentes para evacuar los volúmenes de agua que circulan por los canales que drenan los territorios.
- Filtraciones por niveles freáticos altos.
- Obstrucción del área natural de flujo en varias corrientes de agua debido a la construcción de estructuras como puentes, bocatomas, etc. Esta obstrucción genera un bloqueo al flujo y un consecuente incremento del nivel de agua.
- Incapacidad de los alcantarillados pluvial, sanitario y combinado de los municipios para descargar a cuando el río Cauca y sus tributarios presentan niveles altos.
- Reflujo de agua por los sistemas de alcantarillado.

- Rotura del dique marginal de protección contra inundaciones debido a diferentes causas.
- Intervenciones en el cuerpo del dique (construcción de viviendas, pastoreo de ganado, tránsito de maquinaria) que debilitan su estructura.
- Los propietarios no han logrado organizarse en torno a un proyecto que requiere no sólo de recursos para la construcción de infraestructura, sino también para su operación y mantenimiento.

Además es preciso destacar la ausencia de planes de contingencia, lo cual crea diversas situaciones que propician y agravan las inundaciones. Entre estas situaciones pueden destacarse: (i) En algunos casos la comunidad sólo llama a las autoridades una vez se ha presentado la falla, cuando cualquier solución es costosa y difícil de implementar. (ii) En algunas ocasiones las autoridades son informadas oportunamente, pero los propietarios no logran alcanzar un acuerdo rápidamente y sobrevienen los problemas. (iii) En algunos sectores, como en el municipio de La Victoria la gente prefiere estar inundada por cuanto reciben ayudas y subsidios por parte del estado. (iv) Desconocimiento de la vulnerabilidad del dique ante eventos extremos.

#### **4.1.2 Causas de las fallas de diques**

Considerando que los diques constituyen la principal medida estructural para protección de inundaciones en el Valle del Cauca, se presenta una síntesis de los principales problemas ocurridos y las soluciones implementadas en varios sitios afectados por las inundaciones:

- Muchas de las obras de protección han sido construidas sin contar con diseños técnicos apropiados.
- Algunos diques han sido construidos con materiales inapropiados y técnicas constructivas inadecuadas.
- El mantenimiento precario o nulo de la estructura del dique
- La falta de programas de monitoreo permanente para verificar el estado y funcionalidad de los diques.
- El rápido deterioro y posterior destrucción de la estructura del dique cuando los niveles de agua del río superaron el nivel de la corona del dique.
- La fuerte erosión marginal del cauce que amenaza y compromete la estructura del dique.
- La afectación del cuerpo del dique para la instalación y el anclaje ilegal de tuberías.
- La presencia de hormigueros en el cuerpo del dique, lo cual afecta su estructura y disminuye su capacidad para soportar los diferentes esfuerzos a los que resulta sometido durante las crecientes del río.
- La existencia de sitios con filtraciones a través del cuerpo del dique y el terreno natural, lo cual debilita progresivamente la estructura del dique debido al fenómeno de tubificación que se genera.
- Falta de cobertura vegetal (pasto) en los taludes húmedo y seco del dique, contribuyendo con a la erosión de los taludes.
- Fuerte erosión marginal que amenaza y compromete la estructura del dique en varios puntos a lo largo del río Cauca.

Como ejemplo se tiene que la inundación ocurrida en Cencar – Yumbo fue en parte causada por el desbordamiento del río Cauca en 2010 y 2011 (existen otras fuentes como la

escorrentía superficial no controlada). En La Victoria en los años 2010 y 2011 se presentaron emergencias e inundaciones en el corregimiento de San Pedro por nivel superior del río Cauca al dique de protección. En el municipio de Bolívar en el año 2011 en el corregimiento de Guare la inundación se originó por niveles altos del río Cauca sobre un dique de una hacienda. En la mayoría de los casos registrados se presentó una rotura en los diques, es decir que no fueron los altos niveles de agua los causantes de las inundaciones como si lo fueron las fallas de los diques.

Fallaron los diques en los casos de La Victoria en el año 2010, RUT en el año 2010, Asonorte en el año 2011, Sonso en el año 2011, Bugalagrande en el año 2011 y Andalucía en el año 2011, entre otros. En la mayoría de los casos no se identificaron de manera exacta las causas de las fallas de los diques; sin embargo, teniendo en cuenta la información suministrada por los afectados es posible presentar hipótesis de fallas para algunos de los eventos:

- Filtraciones en el cuerpo del dique originadas por tuberías que lo atraviesan, en el caso de Sonso 2011 y Asonorte (La Gran Colombia 2011).
- Filtraciones en el cuerpo del dique por la utilización de materiales no adecuados, Asonorte (Arauca 2011).
- Debilitamiento de la estructura del dique por cavidades ocasionadas por animales (hormiga arriera y peces corronchos) (Bugalagrande 2011 sector Paso-Caramanta).
- Filtraciones en el dique por ubicación de árboles y raíces atravesando el cuerpo del dique (RUT 2010 y La Victoria 2010).
- Problemas en el proceso constructivo de los diques (compactación del cuerpo del dique). Bugalagrande 2011 (La Luisa Cabal).

#### **4.1.3 Inventario de sitios y causas de las inundaciones en la ola invernal 2010 - 2011**

En el anexo 2 se presentan los mapas de localización de los sitios y las causas de las inundaciones ocurridas en el valle alto del río Cauca durante la ola invernal 2010-2011, en los cuales se registra la distribución espacial de las fallas de los sistemas de protección, reportadas por parte de diferentes instituciones, principalmente CVC, Cenicaña y Univalle.

En los mapas se pueden identificar los sectores que más han sido afectados por las fallas o roturas de los diques de protección; tal como se observa en el mapa, la mayoría de ellas se concentran, principalmente, en las zonas centro y norte del departamento del Valle del Cauca.

#### **4.1.4 Principales soluciones implementadas**

Con el fin de prevenir y mitigar futuras inundaciones se implementaron una serie de medidas durante y después de la emergencia. A continuación se describen las soluciones más importantes adoptadas.

##### **4.1.4.1 Soluciones Implementadas Durante la Emergencia**

- Colocación de bolsas de tierra sobre la corona del dique marginal del río Cauca con el fin de incrementar el nivel de protección.
- Reconstrucción del dique en los sitios de rotura. Entre las metodologías utilizadas para realizar estos cerramientos se tienen: (i) hincamiento de pilotes de madera y ubicación de Big-Bags (sacos de 1 m<sup>3</sup> de capacidad aproximadamente) entre ellos y (ii) localización de vagones de caña y posterior relleno de los mismos con Big-Bags.
- Reforzamiento del dique mediante la instalación de Big-Bags y el hincamiento de guaduas en aquellos sectores en los que la estructura se había deteriorado o estaba amenazada.
- Construcción de contradiques en los sectores en los que el deterioro del dique hacía prever su falla inminente.
- Construcción de tinápodos para proteger la orilla del río de la erosión lateral en los puntos más vulnerables.
- Realce y ampliación del dique en los sectores en los que éste no tenía suficiente altura o suficiente sección.
- Instalación y operación de bombas para drenar las aguas de la inundación y retornarlas a los cauces.

#### ***4.1.4.2 Soluciones implementadas después de la emergencia***

- Realce de la corona del dique. En varios sitios la corona del dique se ha realizado hasta un nivel igual al alcanzado por el agua durante la pasada temporada invernal más un borde libre que en algunos casos varía entre de 0,50 y 0,80 m.
- Reconstrucción de los sectores del dique destruidos o en mal estado. En algunos sitios, particularmente en los ingenios, esta reconstrucción y el realce de los diques se han realizado de acuerdo con los siguientes criterios: (i) Se ha utilizado material de la berna de inundación. Si se encuentra que este material no es lo suficientemente impermeable, se le ha dado al dique una sección tal que garantice que no se presentará flujo a través del mismo cuando se presente una inundación de características similares a las ocurridas durante los años 2010 y 2011. (ii) El dique debe ser construido por medio de capas de 0,30 m de espesor compactadas al 90% del proctor modificado.
- Protección de orillas con la construcción de espolones utilizando pilotes de eucalipto, los cuales se han hincado aproximadamente 5 m.
- Recuperación hidráulica de cauces naturales y canales de riego mediante limpieza y dragado con maquinaria, como en los casos de canales de Mojahuevos y Obando en el distrito Asonorte, la quebrada Los Micos en La Victoria y el canal de riego del distrito RUT.
- Control de hormiga arriera mediante programas de monitoreo y eliminación de las colonias.
- Erradicación de vegetación acuática. Con el fin de restituirle a los canales la capacidad hidráulica con la cual fueron diseñados y construidos, en varios sitios se han adelantando programas de control de la maleza acuática.
- Mantenimiento de los equipos de bombeo: Los propietarios han realizado mantenimiento a sus bombas con el fin de tenerlas disponibles en el momento en el que se requieran.

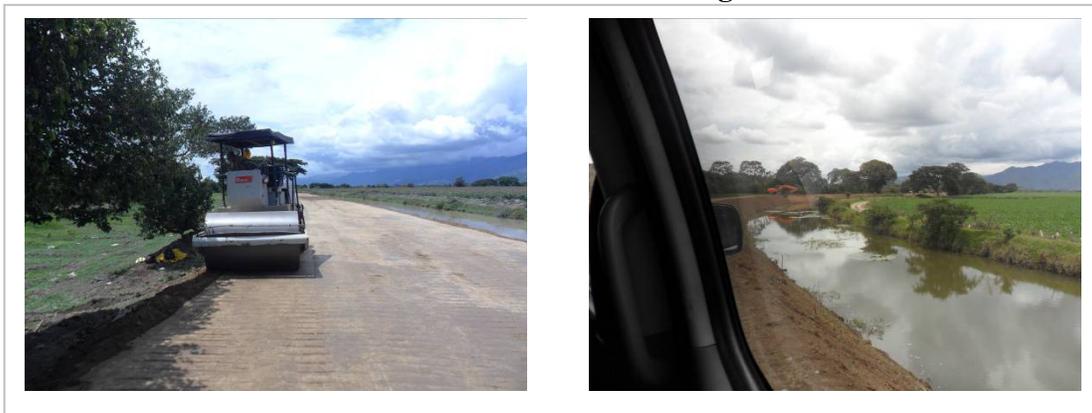
- Construcción de las obras de protección de orillas en los sectores del río donde se presenta erosión marginal que amenaza la estabilidad del dique, como las colchonetas tipo reno construidas en dos curvas del distrito de riego RUT.
- Se han realizado gestiones ante diferentes instituciones del orden nacional con el fin de obtener recursos para el diseño, la construcción y el mantenimiento de obras de protección contra inundaciones.

#### 4.1.5 Reconocimiento de algunas zonas afectadas en ola invernal años 2010 - 2011

##### 4.1.5.1 Distrito de riego RUT

Se realizó visita de reconocimiento a las obras de protección de orilla y reconstrucción de dique marginal del distrito de riego RUT. Los diseños de las obras fueron realizados por la Universidad del Valle con recursos de la CVC y la obra se construyó con financiación del estado (INCODER) (ver Foto 4.1).

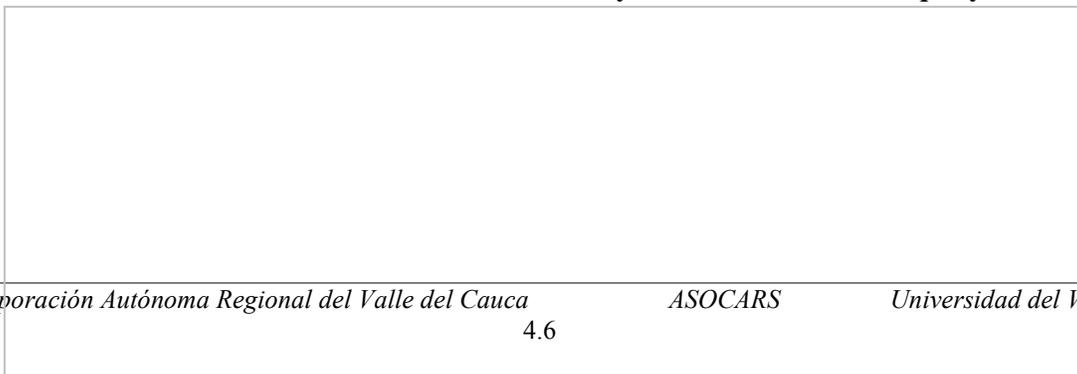
**Foto 4.1 Reconstrucción del dique marginal del RUT y Reconstrucción de talud dique cara seca contra el canal marginal**



En una curva externa del río Cauca con alta movilidad se diseñó una obra de fijación de orilla, ya que la erosión marginal amenazaba la estabilidad del dique que protege al distrito de riego de las inundaciones del río (ver Foto 4.2).

Se visitaron las instalaciones de la administración del distrito de riego RUT, en reunión con el ingeniero de operaciones y el gerente de la institución se analizó lo sucedido durante la ola invernal pasada. Inicialmente en la emergencia fue necesario realizar rebordas con costales en varias partes del distrito (ver Foto 4.3).

**Foto 4.2 Construcción colchones enrocados y Distancia entre el dique y el río**





**Foto 4.3 Conformación de una re-borda con costales llenos de tierra para afrontar los niveles altos del río Cauca**



En diciembre de 2010 se presentó una rotura en el dique marginal principal causando una inundación aproximada de 6.000 ha (60% del área del distrito) y dejando pérdidas cercanas a los dieciocho mil millones de pesos.

Después de controlada la emergencia de cierre del dique, la operación de evacuación de aguas por bombeo duro cerca de dos meses. La causa de la falla del dique no se ha podido establecer de manera clara, pero se plantearon dos hipótesis: (i) La existencia de una tubería de acueducto que atravesaba el cuerpo del dique y (ii) La responsabilidad a las raíces de un árbol cercano al cuerpo del dique (ver Foto 4.4).

**Foto 4.4 Emergencia causada por la rotura del dique en el distrito RUT (diciembre de 2010)**



En el año 2011, durante la segunda etapa de la ola invernal, los administradores del distrito RUT manifestaron que fue necesario realizar la misma actividad de reborda para defender al distrito de los altos niveles del río Cauca. Sin embargo, en esta oportunidad se rompió un dique localizado sobre la margen opuesta del río, en el municipio de Obando (ASONORTE), disminuyendo la presión del río sobre el dique del RUT. Los

administradores fueron categóricos en afirmar que si no se hubiera roto el dique en Obando habría fallado el dique marginal del RUT a la altura del municipio de Toro.

De acuerdo con las apreciaciones de los propietarios de los predios riberaños, ellos siempre están atentos a las modificaciones que realizan a los diques vecinos; así, cuando un dique de un predio es realzado los vecinos reaccionan realzando igualmente sus diques. Durante las crecientes los propietarios se mantienen atentos esperando que falle algún dique de la margen opuesta del río, lo cual permitirá laminar en parte la creciente disminuyendo la presión sobre sus estructuras de protección. Se tiene conocimiento de algunos casos en los cuales ha ocurrido vandalismo donde personas inescrupulosas han ocasionado roturas de diques con el propósito arriba descrito. Ante este tipo de situaciones muchas veces los propietarios contratan servicios de vigilancia permanente (día y noche) para sus estructuras de protección contra inundaciones.

Ante las situaciones anteriormente descritas, es importante analizar y definir los grados de protección máxima permitida para los diferentes usos del suelo en el corredor del río Cauca; esto incluye analizar cómo se debe gestionar el riesgo de inundaciones durante situaciones de emergencias.

#### **4.1.5.2 Distrito de riego ASONORTE**

Asonorte es una asociación de propietarios creada hace más de 14 años con un área de influencia sobre la margen derecha del río de 25.000 ha aproximadamente, ubicada en la zona norte del Valle del Cauca, de las cuales 12.000 ha se encuentran en una amenaza alta de inundación. Dentro de esa área amenazada existen tres corregimientos Molina, Pleito y Juan Díaz. En la ola invernal de 2010-2011 los diques de protección del río Cauca y de los canales de drenaje (zanjones Guineo, Mojahuevos, Obando) sufrieron numerosas roturas (ver Foto 4.5).

**Foto 4.5 Rotura de dique por acción del río Cauca en la Hacienda San José en el distrito de Asonorte**



En la actualidad Asonorte no cuenta con un sistema de monitoreo de información hidrometeorológica; esta información la obtienen de la pagina web de la CVC. También utilizan comunicaciones informales con los supervisores de las fincas en el área de influencia. No disponen de estaciones de bombeo fijas y las bombas móviles son instaladas y operadas por iniciativa de algunos propietarios (ver Foto 4.6).

**Foto 4.6 Zanjón Guineo. Entrega del canal de drenaje, instalación de unidades de bombeo móviles pequeñas y de poca capacidad que drenan de manera ineficiente**



De las reuniones sostenidas con los representantes de ASONORTE se pueden destacar las siguientes reflexiones y observaciones:

- Sobre las pérdidas en ASONORTE no se tienen cifras oficiales, pero se estima que el monto ascendió a los doscientos mil millones de pesos por año (2010 y 2011), se perdieron alrededor de dieciocho mil empleos y se presentaron 4 accidentes fatales de pérdidas humanas durante las inundaciones.
- No hay una política seria y coherente sobre la construcción de las obras de protección.
- Falta liderazgo y autoridad de parte de las instituciones competentes para reubicar los diques de acuerdo a la normatividad vigente.
- Los diques se construyen, generalmente, sin un diseño apropiado y técnicas constructivas inadecuadas.
- El papel de la laguna de Sonso es relevante para controlar los niveles de los picos de crecientes en el río Cauca para esta zona.
- Muchas de las zonas de laminación naturales del río Cauca han desaparecido por el confinamiento del río mediante la construcción de diques para usufructo de las tierras.

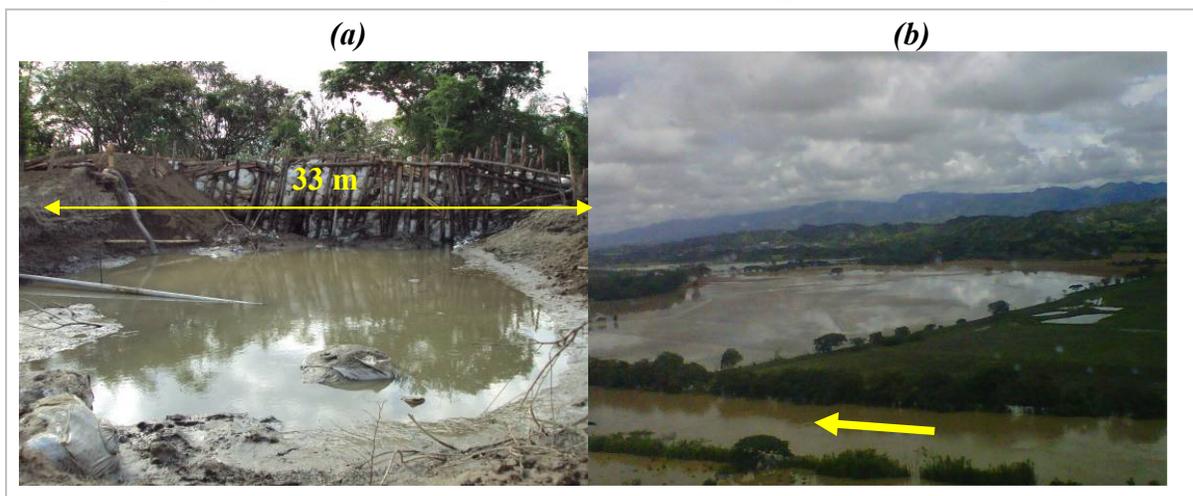
Al tener un área tan extensa y una cantidad considerable de propietarios, ponerse de acuerdo en cualquier inversión e incluso en la operación de los sistemas de bombeo ha sido siempre muy complejo para ASONORTE. Sin embargo, no todo es negativo, acaban de terminar un proyecto de mil ochocientos millones de pesos con un área de influencia de 2.000 ha y que tuvo como objetivo realzar el dique en promedio 0.50 m por encima de las cotas de la pasada ola invernal. El modelo involucra a ASONORTE, Riopaila Castilla S.A. y los propietarios de predios. El primero lidera y aglutina a los propietarios, el segundo financia y ejecuta, y los terceros se comprometen con contratos de caña con el ingenio a 10 años. A raíz de las inundaciones de la pasada ola invernal de los años 2010 y 2011 se

produjo un fenómeno de sensibilización de los propietarios sobre la necesidad de invertir en las obras de infraestructura para el control de inundaciones, incluso si estas no se encuentran dentro de su predio. Esto hizo posible que proyectos y modelos como el mencionado anteriormente se llevado a cabo.

#### 4.1.5.3 La Victoria

En el casco urbano del municipio de La Victoria y en su corregimiento San Pedro se presentaron inundaciones durante la da ola invernal de los años 2010 - 2011. En el año 2010 se presentó una rotura de dique en una hacienda cañera ubicada aguas arriba del casco urbano, lo cual causó la inundación de la hacienda, el corregimiento San Pedro (en casi un 50% de su extensión) y la cabecera municipal de La Victoria, además de otras haciendas agrícolas de la zona (ver Foto 4.7).

**Foto 4.7 (a) Rotura de dique aguas arriba de La Victoria. Falla de 33 m en el cuerpo del dique y (b) Panorámica de la inundación 2011, aguas arriba de La Victoria**



A raíz de la emergencia de la primera ola invernal del año 2010, quedó de manifiesto el alto riesgo de inundación de las zonas agrícola y urbana, lo cual se tradujo en adecuaciones y obras para incrementar la protección antes del inicio de la segunda parte de la ola invernal del año 2011. En las haciendas localizadas aguas arriba de la cabecera municipal de La Victoria se realizó el realce del dique en una altura de aproximadamente 0,30 m por encima de las marcas de agua máximas registradas en diciembre de 2010. En la parte sur del casco urbano de La Victoria, la CVC destinó los recursos para construir un dique de cierre para independizarlo de las haciendas, al igual que para la construcción de una estación de bombeo para evacuar las aguas de escorrentía del Zanjón Tinajón.

Sin embargo, en una de las haciendas localizadas aguas arriba no se realizó ninguna obra de realce en el dique marginal y cuando se presentó la segunda parte de la ola invernal del año 2011 se inundó por rebose del mismo, lo cual generó nuevamente la inundación del corregimiento de San Pedro y emergencias en la cabecera municipal de La Victoria, pues el dique de cierre sur estaba aún en construcción y la estación de bombeo aún no se había instalado (ver Foto 4.8).

**Foto 4.8 (a) Inundación año 2011 aguas arriba del municipio de La Victoria, sitio de entrada causante de la inundación de San Pedro y emergencia en La Victoria y (b) Situación actual del dique en el mismo punto**



En este caso, tanto los propietarios de los predios como las autoridades (CVC y la Alcaldía), estuvieron dispuestos e implementaron las obras pertinentes. Sin embargo, uno de los propietarios no lo hizo bajo ninguno de los esquemas planteados (incluso con ayuda económica de los interesados: Alcaldía, CVC y demás propietarios). Debido a esto y como todos hacían parte del mismo anillo de protección, en diciembre del año 2011 se generó la inundación de 75 ha de caña y 100 ha de maíz, aproximadamente (ver Foto 4.7 b).

**Foto 4.9 Estación de bombeo zanjón Tinajón – Municipio de La Victoria. Cuando los niveles de agua en el río Cauca son altos y no permiten descarga a gravedad, una compuerta se cierra y se pone en funcionamiento la estación de bombeo**



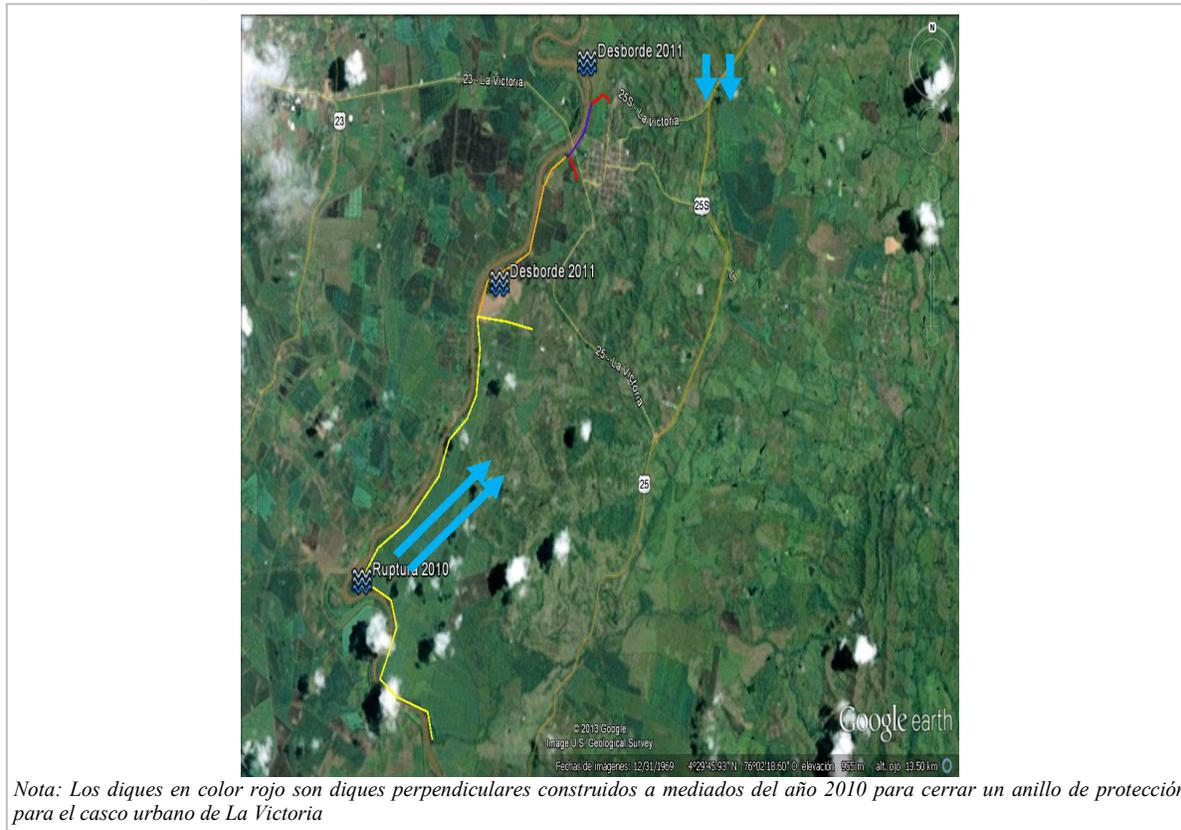
*Nota: Cuando los niveles de agua en el río Cauca son altos y no permiten descargar a gravedad, se cierra una compuerta y se pone en funcionamiento la estación de bombeo*

**Foto 4.10 Dique recién construido de cierre sur perpendicular al río Cauca**



*Nota: Como se puede apreciar en la foto el dique presenta fallas longitudinales sobre su corona, muy posiblemente causadas por mala calidad de los materiales utilizados*

En la Figura 4.2 se ilustra la situación de las inundaciones ocurridas en el municipio de La Victoria. En el año 2010 se presentó la rotura del dique localizado aguas arriba de la cabecera municipal; para ese momento no existían los diques de cierre del anillo que protege al casco urbano (dique perpendicular al río Cauca, en color rojo en la figura). Después, a mediados del año 2011, se realizaron adecuaciones a los diques de todo el sector y se construyeron los diques de cierre de la ciudad. Sin embargo, como se indicó previamente, un propietario de una finca decidió no realizar ninguna adecuación de realce de dique, por lo cual, durante la creciente del río Cauca en noviembre de 2011, nuevamente se presentaron inundaciones por rebose del dique.

**Figura 4.2 Caso de inundaciones en el Municipio de La Victoria**

*Nota: Los diques en color rojo son diques perpendiculares construidos a mediados del año 2010 para cerrar un anillo de protección para el casco urbano de La Victoria*

Durante la construcción del dique de cierre localizado al sur de la cabecera municipal de La Victoria se tuvieron problemas con los propietarios de los predios vecinos para realizar el cierre del mismo contra la montaña. En principio el dueño de un predio no dejó realizar el cierre del dique alegando una supuesta afectación de su predio, motivo por el cual se debió modificar el trazado del dique bordeando dicha finca y buscar otro punto de cierre. Hasta el día en que se realizó la visita de campo para la elaboración de este informe no se había podido realizar la labor de cierre, ya que no se había llegado a un acuerdo con algunos propietarios (ver Foto 4.11).

Situaciones como la anteriormente descrita se repiten en otros lugares del Valle del Cauca, cuando es necesario reubicar un dique y el nuevo trazado afecta intereses individuales, generándose conflictos difíciles de manejar. Estas situaciones se convierten en amenaza de inundación para una amplia zona, donde no sólo el sector agrícola puede resultar afectado sino también una serie de corregimientos y caseríos. Todo lo anterior pone en evidencia la necesidad urgente de establecer mecanismos legales expeditos para ejercer autoridad cuando el interés colectivo prima sobre el individual.

**Foto 4.11 Problemas de cierre del dique sur contra la montaña en el municipio de la Victoria. (a) Cierre impedido por un propietario y (b) Dique inconcluso**



#### 4.1.5.4 Bugalagrande (Octubre 26 de 2012)

Se realizó una visita de reconocimiento al sitio conocido como Caramanta, es un anillo de inundación contra el río Cauca ubicado entre el zanjón El Medio y el río Bugalagrande incluido el zanjón La Cañada en jurisdicción del municipio de Bugalagrande. Durante la pasada ola invernal estuvo permanentemente en emergencia y en diciembre de 2011 rompió el dique y se inundó una zona de más de 1.000 ha. La causa de falla del dique no se ha establecido de manera clara, ya que fue en horas de la noche, sin embargo, los administradores de la finca lo atribuyen a cavidades generadas por animales (pez y/o hormiga arriera).

Adicionalmente a la rotura del dique, se presentó otra situación amenazante debido a que en un tramo de aproximadamente 1600 m, entre la curva y la barca de Caramanta, el dique se encuentra sometido a una fuerte erosión marginal del río Cauca. Existen tramos cortos donde medio cuerpo del dique ya se había erosionado por el movimiento lateral del río Cauca.

Debido a lo anterior, en la pasada ola invernal se realizaron ingentes esfuerzos por reubicar un tramo de dique de 60 m de longitud por parte de los propietarios del anillo, el ingenio Riopaila Castilla y el acompañamiento de la CVC y la Alcaldía de Bugalagrande. Sin embargo, el tramo en referencia coincidía con 5 predios de colonos (pequeños predios no cultivados en caña, de áreas entre 3 y 7 ha cada uno), aledaños al río Cauca, y en donde la reubicación del dique significaba una disminución de las áreas de sus predios en un 50% aproximadamente del área total de cada finca. Durante el proceso fue necesario que los potencialmente afectados por la posible inundación (antes de la falla del dique) tomaran la decisión de adquirir dichos predios para poder acometer las obras de reubicación del dique. Sin embargo, no fue posible llegar a un acuerdo rápido y efectivo con los propietarios o tenedores, tal como la situación lo ameritaba, ni por parte de quienes compraban (afectados interesados) ni sobre el precio de las tierras de los colonos.

Durante la visita de campo realizada en desarrollo de este estudio se pudo constatar que, casi un año después de iniciado el proceso de reubicación del dique, aun persiste la diferencia con el último de los colonos y, en consecuencia, las obras de relocalización y construcción del dique se encuentran abandonadas. En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** se puede apreciar el inicio de la reubicación y el dique inconcluso debido a la imposibilidad de llegar a un acuerdo con todos los implicados.

**Foto 4.12 Dique inconcluso en la curva de Caramanta en el municipio de Bugalagrande**



En este caso un dueño de un predio no quiso negociar bajo ningún escenario la reubicación del dique (ni compra de terreno ni cambio por otro de igual área) y su negativa pone en riesgo un área de aproximadamente 1800 ha en producción agrícola. En el análisis de la situación hay muchos elementos a considerar: primero, es necesario establecer a quién corresponde la propiedad del predio, ya que legalmente es del estado una franja de 30 m o por lo menos una restricción de uso; segundo, establecer los roles y las funciones de las autoridades municipal (alcaldía) y ambiental (CVC) en su acompañamiento en este tipo de procesos y cuál sería su ejercicio de autoridad para anteponer el bien colectivo sobre el individual. En este caso en particular, ambas instituciones estuvieron presentes acompañando el proceso, pero no contaban con los instrumentos legales para destrabarlo cuando no se lograban acuerdos, utilizando para ello criterios técnicos y apuntando hacia el beneficio común.

Todo lo anterior sugiere la reflexión frente a los problemas de inundación y los caminos seguros hacia las soluciones, en donde el reto no es técnico sino que es de gobernanza con un componente técnico muy fuerte de soporte. Es posible que las discusiones se enfoquen no en los periodos de retorno, ni en los niveles de agua, sino que las gobiernen un tema de competencias y un tema legal.

#### **4.1.5.5 Ingenio Pichichí (diciembre 04 de 2012)**

Se realizó una visita técnica a los predios de influencia del Ingenio Pichichí para recolectar información sobre las fallas de las estructuras de protección durante las inundaciones de los años 2010 – 2011. En la visita, el ingeniero Álvaro Gómez, jefe de ingeniería del ingenio, explicó cómo la empresa enfrentó la emergencia y detalló los sectores donde se presentaron las inundaciones más significativas.

En uno de los diques afectados por las crecientes del río Cauca se realizó durante la emergencia, una recuperación utilizando guaduas para anclar la estructura al terreno (Foto 4.13).

Debido a que las crecientes en el río Cauca presentaron una gran duración, muchos diques estuvieron sometidos a fuertes presiones durante un periodo prolongado de tiempo, resultando con problemas de estabilidad, lo cual obligó al ingenio a realizar intervenciones de emergencia. Tal es el caso de la hacienda San Antonio, que tiene un dique que limita con la Laguna de Sonso, el cual fue necesario estabilizar con medidas de tipo artesanal utilizando estacones de guadua y costales. Estas guaduas presentaron un comportamiento adecuado por cuanto permitieron estabilizar la estructura. Una vez superada la emergencia la estructura fue reconstruida siguiendo los estándares de ingeniería para este tipo de obras (ver Foto 4.13).

**Foto 4.13 Laguna de Sonso. Obra de protección de emergencia realizada a la banca de la cara seca del dique contra la Laguna de Sonso**



En las haciendas Santa Clara y San Antonio las inundaciones se produjeron principalmente debido a niveles de agua superiores a la cota de corona del dique, en tanto que en las haciendas San Juanito, Sandrana y Chambimbal las inundaciones fueron causadas por el rompimiento del dique.

Durante la pasada ola invernal en el río Sonso se presentó un remanso de 2 kilómetros de longitud debido a la creciente del río Cauca. Este remanso ocasionó el aumento en los niveles de agua por encima del nivel de la corona del dique, generando la inundación de los terrenos aledaños al dique. El flujo de agua sobre el dique provocó el deterioro de su estructura y su posterior rompimiento. Actualmente se está realizando la reconstrucción del dique en este sector (ver Foto 4.14).

El ingeniero Gómez también comentó el caso de la inundación por desbordamiento del río Sonso, donde un solo propietario puso en riesgo un área mucho mayor, al no participar de las obras de emergencia ni tampoco permitir que los demás las hicieran a su cargo. Para este proceso, dicen, no contaron con el apoyo de la autoridad ambiental. Al final, con el permiso del dueño del predio pero sin recursos aportados por él, sino con los aportes de los demás interesados se realizaron las obras. Como consecuencia del rompimiento de este dique, sobre el terreno se depositó una capa de arena de un espesor de entre 0.60 m y 1.20 m. Actualmente esta capa ya ha sido retirada y el terreno ha comenzado a adecuarse para realizar actividades de siembra.

#### **Foto 4.14 Reconstrucción dique en sitio de falla, margen derecha Río Sonso**



En la reconstrucción de los diques que resultaron afectados durante la pasada ola invernal, el ingenio estableció los siguientes los criterios: (i) El nivel de la corona del dique será el correspondiente al nivel alcanzado por el agua durante el invierno anterior más un borde libre de 0.50 m; (ii) para la reconstrucción del dique se utilizará el material de la berma; si se encuentra que este material no es lo suficientemente impermeable, se le dará al dique una sección tal que garantice que no se presentará flujo a través del mismo cuando se presente una inundación de características similares a las ocurridas durante los años 2010 y 2011; y, (iii) el dique debe ser construido por medio de capas de 0.30 m de espesor compactadas al 90% del proctor modificado.

#### 4.1.5.6 CENCAR (Diciembre 04 de 2012)

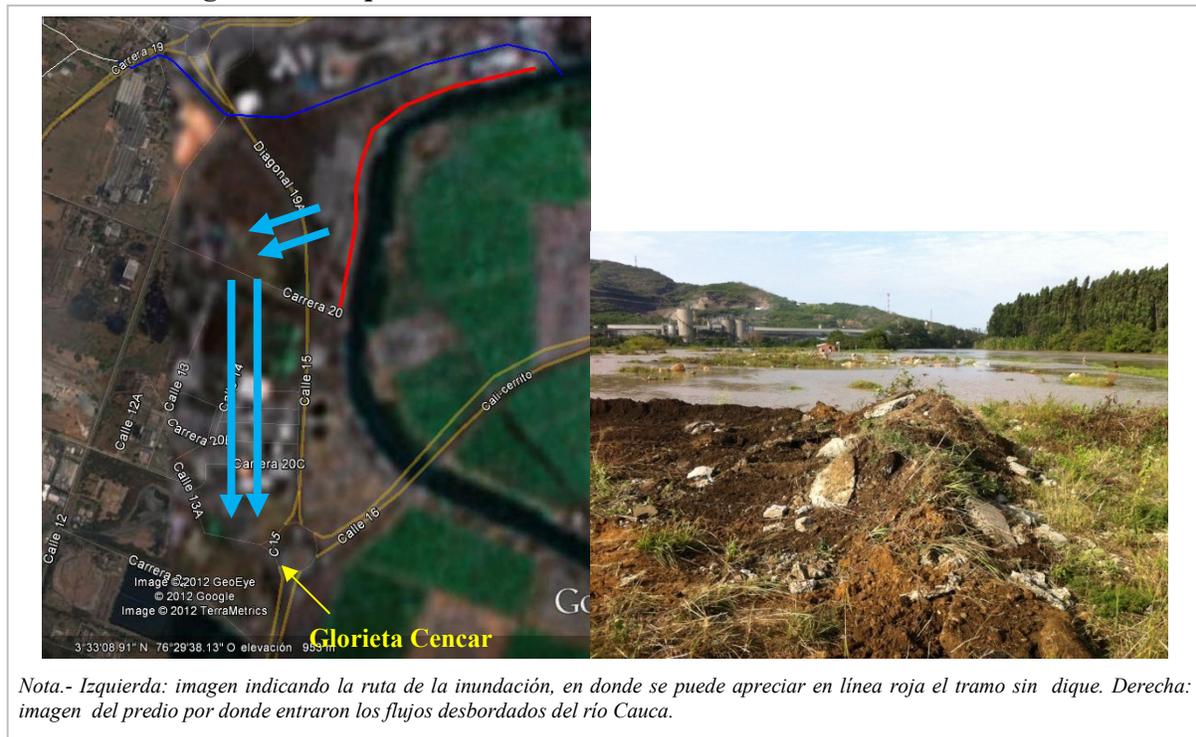
En desarrollo del proyecto también se realizó una visita a la zona industrial de Acopi – Yumbo (sector de CENCAR), una de las zonas más afectadas en las pasadas inundaciones, donde se presentaron grandes pérdidas económicas y el cierre de operación de muchas empresas, repitiéndose esta situación en diciembre del año 2011. En la visita se pudo constatar que las condiciones de riesgo en el sector aún se mantienen (ver Foto 4.15).

**Foto 4.15 Panorámica de inundaciones en CENCAR (Yumbo) en diciembre de 2010**



Fuente: El País (2010)

**Figura 4.3 Esquema de las inundaciones en CENCAR – Yumbo**



Nota.- Izquierda: imagen indicando la ruta de la inundación, en donde se puede apreciar en línea roja el tramo sin dique. Derecha: imagen del predio por donde entraron los flujos desbordados del río Cauca.

Del sector de CENCAR dos representantes de empresas (Tubosa y Servitrailer) recibieron al equipo técnico de este proyecto para contar sus experiencias durante las pasadas inundaciones (2010-2011). De la información y detalles suministrados por los empresarios se pueden destacar los siguientes aspectos:

- No existe un sistema de alarma que permita a los empresarios tomar medidas preventivas ante una posible inundación.
- Como una idea de medida de mitigación proponen que es preferible inundar un terreno con caña antes que una empresa. Esto se puede interpretar como el establecimiento de una jerarquía o escala para las medidas de protección y como una posible intervención misma, en la cual estarían dispuestos a pagar para no ver inundadas sus empresas.
- Ausencia de acompañamiento técnico por parte de la autoridad ambiental y de la alcaldía municipal. Según los industriales, las autoridades sólo hacen presencia al momento de cobrar tributo o emitir multas.
- Plantean como medida de mitigación de inundaciones la recuperación de las madrevejas del río Cauca.
- Para la financiación de las obras de infraestructura le han planteado a la Alcaldía de Yumbo el cruce de cuentas con los impuestos en otras problemáticas, y que en caso de requerir obras para el control de inundaciones puede analizarse esta misma figura.

#### 4.1.5.7 Riopaila (Enero 10 de 2013)

En el área de influencia del ingenio Riopaila se ha construido un anillo de control de inundaciones que puede considerarse exitoso, pues cuenta con la infraestructura completa como diques, canales de drenaje y estaciones de bombeo de gran capacidad, los cuales operan y efectúan el mantenimiento. El anillo se ubica en el sector comprendido entre la margen derecha del río Bugalagrande, la margen izquierda de la quebrada Las Cañas y la margen derecha del río Cauca. Dentro del anillo existen muchos canales de drenaje con estaciones de bombeo y un canal principal, llamado canal Mateo.

#### Foto 4.16 a) Estación de bombeo del canal de drenaje principal El Mateo del anillo de protección de Riopaila



Nota.- Izquierda: imagen de la estación de bombeo con capacidad de 11 m<sup>3</sup>/s. Derecha: Foto durante la emergencia de diciembre 2010.

Existe un programa de monitoreo de los niveles de agua de los ríos en el área de influencia del ingenio Riopaila utilizando miras para medición manual y umbrales para catalogar la situación de inundaciones. Es decir, que además de las medidas estructurales (diques, canales y estaciones de bombeo) cuentan con medidas no estructurales, como son el monitoreo de los ríos y el establecimiento de medidas de alerta frente a las crecientes (ver Figura 4.4).

**Figura 4.4 Tabla de monitoreo niveles de ríos Riopaila**

RIOPAILA  CASTILLA COMPROMISO DESDE 1928						
<b>MONITOREO NIVELES DE LOS RÍOS CAUCA BUGALAGRANDE - LA PAILA</b>						
RÍO	CAUCA		BUGALAGRANDE	LA PAILA		
UBICACIÓN	Est. Perdonso	Est. Luisa I	Mil Litros	Bocatoma	Pte La Luisa	Est. Mateo
MÁXIMO HIST 1999	916.75	914.33		936.82	922.65	915.48
ALERTA						
EMERGENCIA	917.00	915.00	926.00	936.50	922.50	916.00
* Cota dique sobre-elevada en 2000-2001.						

Después de la pasada ola invernal 2010-2011, en el ingenio Riopaila se han adoptado diferentes medidas para resistir los embates de un nuevo periodo de lluvias. Tomando como base los registros máximos del río Cauca en la pasada ola invernal se han realizado labores de realce de los diques en una altura de 0.50 m, en promedio. También se repararon los diques en los casos donde se presentaron fallas y filtraciones. Se mejoraron las estaciones de bombeo para garantizar el óptimo funcionamiento eléctrico y mecánico y mejorando la capacidad instalada.

Aunque dentro del anillo de Riopaila se presentaron emergencias e inundaciones en la ola invernal de los años 2010-2011, se puede calificar como uno de los anillos más exitosos del norte del Valle del Cauca, ya que cuenta con medidas estructurales y no estructurales, se realizan labores de mantenimiento y monitoreo permanente de los ríos y las estructuras de protección y drenaje: es decir, se invierten recursos para el control de inundaciones.

Desde el municipio de Buga y hacia el norte del departamento del Valle del Cauca se pueden encontrar otros anillos de características similares a las del anillo de Riopaila; es decir, que cuentan con diques de protección sobre el río Cauca y los tributarios, canales de

drenaje y estaciones de bombeo, como por ejemplo: la zona del zanjón Burrigá en Buga, el zanjón La Cañada en Bugalagrande, la zona de Carmen de La Peña en Bolívar, los zanjones El Guineo y Mojahuevos en Obando. Pero todos ellos presentan numerosas fallas en el control de inundaciones durante las crecientes de los ríos, debido, principalmente, a que no cuentan con un organismo o asociación que los agrupe con el fin de reunir los recursos necesarios para diseñar e implementar los diferentes programas de monitoreo de los cauces y de inversión, operación y mantenimiento de las estructuras de protección y drenaje. La respuesta parece ser muy sencilla: en el caso del anillo de protección de Riopaila, el ingenio es el dueño mayoritario de los terrenos y existe un segundo propietario de menor área de terreno con el cual el ingenio tiene establecido un convenio para el manejo del anillo.

Prácticamente todos los demás casos corresponden a un número importante de propietarios localizados dentro de un mismo sector o anillo y que presentan muchas dificultades para organizarse y establecer estatutos, normas, responsabilidades, aportes, etc. Se puede afirmar que los recursos existen, o que la relación costo-beneficio de las obras, mantenimiento y operación es positiva (Riopaila es una prueba de ello), pero el problema ha sido establecer los mecanismos de participación en la toma de decisiones, en definir los programas de inversiones, mantenimiento y operación y en la distribución de las contribuciones para dichas inversiones. Se puede concluir que en estos casos el mayor problema es la institucionalidad u organización de los propietarios y llevarlos a realizar las inversiones, planes y programas necesarios para optimizar la gestión del riesgo contra inundaciones.

## **5 MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL RÍO CAUCA EN EL TRAMO LA Balsa – LA VIRGINIA**

Con el fin de comparar las diferentes crecientes históricas bajo un mismo escenario y establecer cualitativamente sus efectos se implementó el modelo matemático del río Cauca construido por la Universidad del valle y la CVC en desarrollo del Proyecto de Modelación del río Cauca (CVC – Universidad del valle, 2007). Para ello se simularon las diferentes crecientes históricas considerando la batimetría del río Cauca levantada en el año 2000. Adicionalmente se realizó la simulación de la creciente del año 1971 asumiendo una regulación hipotética de los caudales del río Cauca en el sector de Salvajina; igualmente se simuló la creciente del año 2011 suponiendo que no existiese la represa de Salvajina.

Considerando que aún no se dispone de la información que actualmente se está recolectando mediante tecnología LIDAR, la modelación matemática del río Cauca y sus afluentes se realizará, en una primera fase, utilizando el modelo matemático implementado por la CVC y la Universidad del Valle en desarrollo del proyecto de Modelación del río Cauca PMC (el cual fue ejecutado en el período comprendido entre los años 1997 y 2007) y el Estudio de la Dinámica de Humedales en el Valle Alto del Río Cauca (ejecutado en el año 2009). Una vez se disponga de la información que se levantará utilizando la tecnología LIDAR se realizarán los ajustes requeridos al modelo matemático. Para la implementación del modelo se consultaron los siguientes documentos:

- Modelación Matemática del Río Cauca. Tramo La Balsa – La Virginia, publicado en el año 2001. Proyecto PMC Fase I.
- Optimización y Aplicaciones de los Modelos Hidrodinámico, Sedimentológico y Morfológico del río Cauca. Tramo La Balsa – La Virginia, publicado en el año 2005. Proyecto PMC Fase II.
- Optimización del Modelo Hidrodinámico y Generación de Mapas de Inundación del río Cauca. Tramo Yumbo – Toro, publicado en el año 2007. Proyecto PMC Fase III.
- Modelación Matemática del Sistema Río Cauca - Humedales, publicado en el año 2009. Estudio de la Dinámica del Complejo de Humedales en el Valle Alto del Río Cauca.

La primera tarea de esta fase inicial consistió en revisar el modelo construido en el proyecto PMC, para lo cual se verificaron los archivos construidos para la esquematización del sistema río Cauca – tributarios – humedales y posteriormente analizar los resultados alcanzados.

La segunda tarea consistió en realizar la modelación de las crecientes históricas para las cuales se disponía de suficiente información relacionada con los caudales que transitaban por los cauces que forman parte del modelo. Debe mencionarse que, debido a la carencia de información en muchos tributarios, no fue posible realizar la modelación de las crecientes correspondientes a los años 1966 y 1971.

## **REVISIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DEL RÍO CAUCA CONSTRUIDO EN DESARROLLO DEL PROYECTO PMC**

Como se indicó previamente, la construcción del modelo matemático del río Cauca se inició durante el Proyecto de Modelación del río Cauca y se finalizó en el proyecto de Estudio de la Dinámica de Humedales en el Valle Alto del Río Cauca. Este modelo abarcó el tramo del río Cauca comprendido entre las estaciones hidrométricas La Balsa y La Virginia, el cual tiene una longitud aproximada de 420 kilómetros. Las principales características de este modelo son las que se describen a continuación.

### **5.1.1 Red de Modelación**

Se modeló el sistema constituido por el río Cauca, sus ríos tributarios y la planicie de inundación, incluyendo los humedales. En la Figura 5.1 se presenta la esquematización realizada del sistema río Cauca – tributarios – planicie -humedales. En el Cuadro 5.1 se presentan los ríos, humedales y canales en la planicie incluidos en la modelación.

#### **5.1.1.1 Río Cauca**

Se representó el río Cauca a través de 416 secciones transversales separadas entre sí 1 kilómetro, en promedio. En el tramo comprendido entre las estaciones La Balsa y Juanchito se utilizaron secciones transversales medidas por la CVC en el período comprendido entre los meses de Septiembre y Noviembre de 2005; en el tramo comprendido entre las estaciones Juanchito y La Virginia se emplearon las secciones transversales levantadas entre los meses de Octubre y Diciembre del año 2000 en desarrollo del proyecto PMC (CVC – Univalle, 2001).

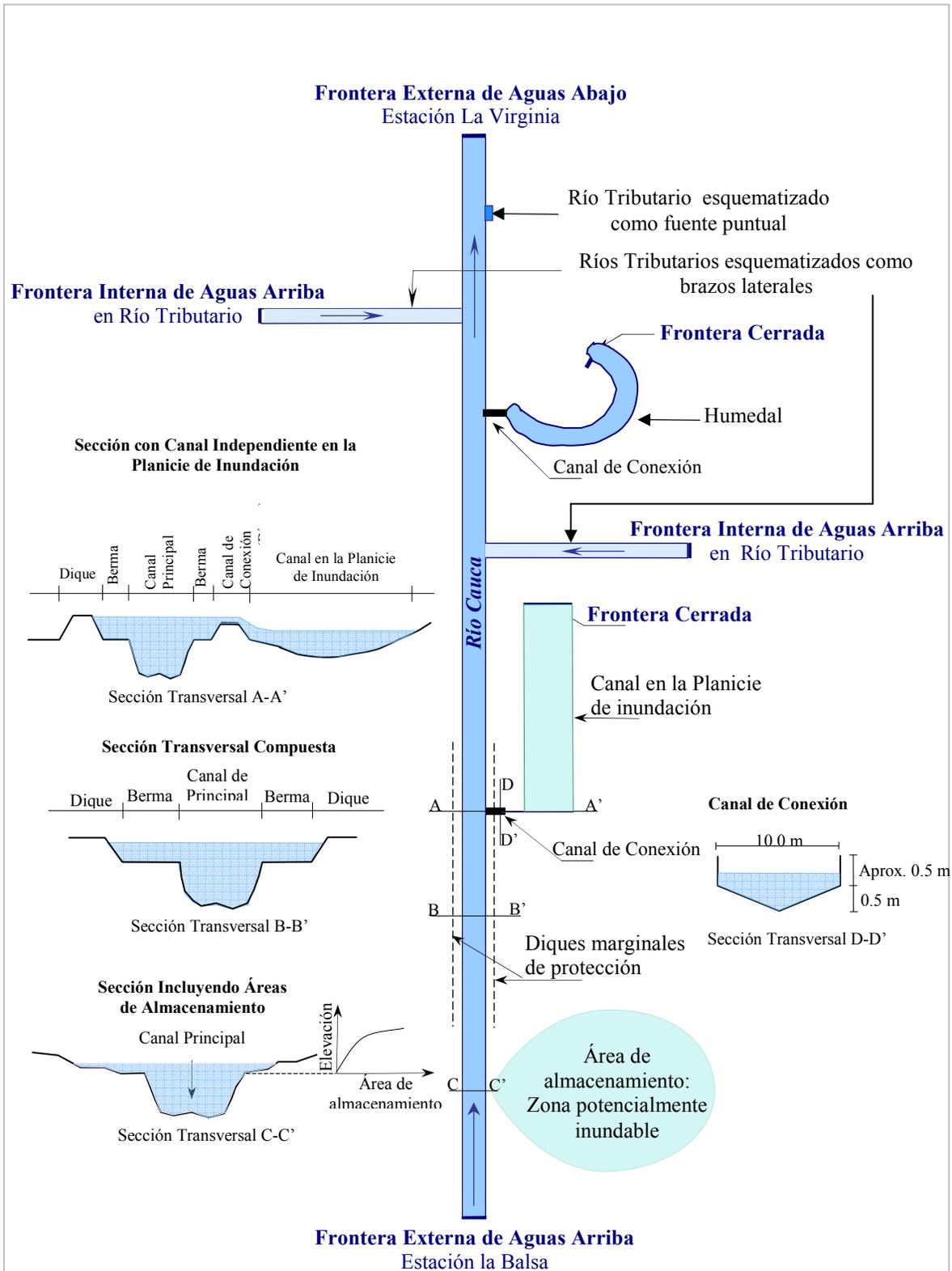
#### **5.1.1.2 Ríos Tributarios**

Los 12 ríos tributarios principales fueron modelados como brazos laterales utilizando secciones transversales levantadas en desarrollo del proyecto PMC entre julio y septiembre del año 2003 (CVC – Univalle 2004). En el Cuadro 5.2 se presentan los ríos principales modelados, la longitud considerada de cada uno de estos ríos, el número de secciones transversales utilizadas y el espaciamiento promedio entre secciones transversales.

#### **5.1.1.3 Llanura de Inundación - Humedales**

Las planicies de inundación fueron representadas ó esquematizadas teniendo en cuenta las características que presentan los desbordamientos durante las crecientes del río Cauca. Se adoptaron tres tipos de esquematización diferentes: áreas de almacenamiento, secciones compuestas y canales independientes en la llanura de inundación conectados al cauce principal. A continuación se describen los tres tipos de representaciones o esquematizaciones adoptadas para la planicie aluvial.

**Figura 5.1 Esquemmatización del Sistema río Cauca – Tributarios – Planicie – Humedales**



**Cuadro 5.1 Fronteras definidas en la modelación Tramo La Balsa – La Virginia**

<b>Abscisa sobre el río Cauca (Km)</b>	<b>Río / Humedal en el que se localiza la Frontera</b>	<b>Identificación</b>	<b>Tipo de Frontera</b>
27.385	Cauca	Estación La Balsa	Abierta – Aguas Arriba
34.582	Humedal Guinea	Humedal Guinea	Cerrada
39.658	Humedal Guarinó	Humedal Guarinó	Cerrada
42.412	Cauca	Río Teta	Fuente Puntual
46.351	Cauca	Río Quinamayó	Fuente Puntual
45.467	Humedal El Avispal	Humedal Avispal	Cerrada
65.342	Cauca	Quebrada La Quebrada	Fuente Puntual
79.171	Claro	Río Claro	Abierta – Brazo Lateral
99.291	Palo	Río Palo	Abierta – Brazo Lateral
110.219	Jamundí	Río Jamundí	Abierta – Brazo Lateral
121.997	Cauca	Zanjón Oscuro	Fuente Puntual
121.504	Cauca	Desbaratado	Fuente Puntual
129.988	Cauca	Canal Sur	Fuente Puntual
143.730	Cauca	Canal General	Fuente Puntual
146.856	Cauca	Canal Oriental	Fuente Puntual
148.475	Cauca	Río Cali	Fuente Puntual
165.000	C161-165d <sup>(1)</sup>	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
165.000	C161-165d	Planicie de Inundación	Cerrada
163.000	C162-163i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
163.000	C162-163i	Planicie de Inundación	Cerrada
166.183	Cauca	Río Yumbo	Fuente Puntual
167.866	Guachal	Río Guachal	Abierta – Brazo Lateral
182.356	Amaime	Río Amaime	Abierta – Brazo Lateral
176.000	C173-176i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C173-176i	Planicie de Inundación	Cerrada
177.000	C175-177d	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C175-177d	Planicie de Inundación	Cerrada
179.000	C177-179d	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C177-179d	Planicie de Inundación	Cerrada
180.000	C179-180i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C179-180i	Planicie de Inundación	Cerrada
180.000	C180-180d	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C180-180d	Planicie de Inundación	Cerrada
184.037	Cauca	Río Vijes	Fuente Puntual
186.000	C184-186i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C184-186i	Planicie de Inundación	Cerrada

**Cuadro 5.1 Fronteras definidas en la modelación  
Tramo La Balsa – La Virginia (Cont.)**

<b>Abscisa sobre el río Cauca (Km)</b>	<b>Río / Humedal en el que se localiza la Frontera</b>	<b>Identificación</b>	<b>Tipo de Frontera</b>
188.465	Cauca	Río Cerrito	Fuente Puntual
190.000	C189-190d	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C189-190d	Planicie de Inundación	Cerrada
193.829	Cauca	Río Zabaletas	Fuente Puntual
194.000	C192-194i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C192-194i	Planicie de Inundación	Cerrada
197.000	C193-197d	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C193-197d	Planicie de Inundación	Cerrada
199.245	Cauca	Río Guabas	Fuente Puntual
198.237	Humedal Videles	Humedal Videles	Cerrada
205.972	Cauca	Río Sonso	Fuente Puntual
212.328	Humedal Chiquique	Humedal Chiquique	Cerrada
214.105	Cauca	Río Yotoco	Fuente Puntual
216.000	C214-216i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C214-216i	Planicie de Inundación	Cerrada
217.000	C216-217i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C216-217i	Planicie de Inundación	Cerrada
219.000	C217-219d	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C217-219d	Planicie de Inundación	Cerrada
221.907	Cauca	Río Mediacanoa	Fuente Puntual
220.845	Cauca	Caño Nuevo	Fuente Puntual
221.000	C219-221i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C219-221i	Planicie de Inundación	Cerrada
222.000	Laguna sonso	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	Laguna sonso	Planicie de Inundación	Cerrada
222.000	C221-222i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C221-222i	Planicie de Inundación	Cerrada
225.000	C223-225i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C223-225i	Planicie de Inundación	Cerrada
222.000	C221-221i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C221-221i	Planicie de Inundación	Cerrada
225.115	Guadalajara	Río Guadalajara	Abierta – Brazo Lateral
230.000	C226-230i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C226-230i	Planicie de Inundación	Cerrada
248.304	Cauca	Quebrada La Negra	Fuente Puntual

**Cuadro 5.1 Fronteras definidas en la modelación  
Tramo La Balsa – La Virginia (Cont.)**

<b>Abscisa sobre el río Cauca (Km)</b>	<b>Río / Humedal en el que se localiza la Frontera</b>	<b>Identificación</b>	<b>Tipo de Frontera</b>
254.000	C252-254i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C252-254i	Planicie de Inundación	Cerrada
258.000	C254-258i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C254-258i	Planicie de Inundación	Cerrada
260.000	C259-260i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C259-260i	Planicie de Inundación	Cerrada
262.000	C257-262d	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C257-262d	Planicie de Inundación	Cerrada
267.466	Cauca	Río Piedras	Fuente Puntual
281.000	C269-281d	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C269-281d	Planicie de Inundación	Cerrada
285.903	Riofrío	Río Riofrío	Abierta – Brazo Lateral
291.711	Tuluá	Río Tuluá	Abierta – Brazo Lateral
292.600	Humedal Bocas de Tuluá	H BocasTuluá	Cerrada
295.852	Cauca	Río Morales	Fuente Puntual
310.910	Cauca	Quebrada Robledo	Fuente Puntual
325.208	Bugalagrande	Río Bugalagrande	Abierta – Brazo Lateral
314.000	C310-314d	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C310-314d	Planicie de Inundación	Cerrada
317.636	Humedal La Herradura	H La Herradura	Cerrada
318.000	C317-318d	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C317-318d	Planicie de Inundación	Cerrada
320.000	C319-320d	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C319-320d	Planicie de Inundación	Cerrada
321.000	C316-321i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C316-321i	Planicie de Inundación	Cerrada
326.000	C324-326i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
326.685	Humedal Cementerio	H Cementerio	Cerrada
-	C324-326i	Planicie de Inundación	Cerrada
329.000	C327-329i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C327-329i	Planicie de Inundación	Cerrada
332.694	Cauca	Río Pescador	Fuente Puntual
333.000	C330-333i	Planicie de Inundación	Fuente Puntual
-	C330-333i	Planicie de Inundación	Cerrada
333.371	Paila	Río Paila	Abierta – Brazo Lateral

**Cuadro 5.1 Fronteras definidas en la modelación  
Tramo La Balsa – La Virginia (Cont.)**

Abscisa sobre el río Cauca (Km)	Río / Humedal en el que se localiza la Frontera	Identificación	Tipo de Frontera
341.831	Cauca	Quebrada Las Cañas	Fuente Puntual
378.426	Cauca	Quebrada Los Micos	Fuente Puntual
393.378	Cauca	R.U.T.	Fuente Puntual
411.754	Cauca	Río San Francisco	Fuente Puntual
414.813	Cauca	Río Obando	Fuente Puntual
416.988	Cauca	Río Chanco	Fuente Puntual
424.672	Cauca	Río Catarina	Fuente Puntual
427.455	La Vieja	Río La Vieja	Abierta – Brazo Lateral
437.000	Risaralda	Río Risaralda	Abierta – Brazo Lateral
444.928	Cauca	Estación La Virginia	Abierta – Aguas Abajo

<sup>(1)</sup> = Nomenclatura dada a los canales en la planicie. La letra C inicial indica que es un canal, los números siguientes muestran las abscisas aproximadas entre las que se encuentra el canal y la letra final indica la margen del Río Cauca en la que se encuentra el canal (margen derecha si la letra es una d y margen izquierda si la letra es una i)

Nota: La abscisa K0+000 se halla sobre el eje de la represa de Salvajina

**Cuadro 5.2 Longitud y número de secciones transversales utilizadas en los ríos tributarios esquematizados como brazos laterales**

Río Tributario	Longitud Modelada (m)	No. de Secciones Utilizadas	Espaciamiento Medio entre Secciones transversales (m)
Claro	5000	15	333
Palo	7600	25	306
Jamundí	6500	20	323
Guachal	8000	20	400
Amaime	5000	20	250
Guadalajara	5000	22	227
Riofrío	5000	20	250
Tuluá	5000	20	250
Bugalagrande	8000	25	320
La Paila	5000	20	250
La Vieja	8000	21	381
Risaralda	5000	20	250

### **Áreas de almacenamiento**

Esta alternativa de esquematización de la planicie aluvial se utilizó en aquellos sectores donde no existen diques de protección contra inundaciones. En los sectores en los que se presentaron desbordamientos en el año 1999, se les asoció a cada sección transversal la relación nivel – área de almacenamiento obtenida a partir de la cartografía elaborada por la firma FAL en el año 1996 y la extensión de las áreas inundadas.

### **Secciones compuestas**

En los sectores donde existen diques de protección contra inundaciones, la sección transversal del cauce, la berma y el dique se representaron por medio de secciones compuestas. La alineación y la altura de los diques en el sector comprendido entre los municipios de Yumbo y Tuluá fue extractada del informe “Levantamiento Topográfico de Ejes de Diques Marginales y Llanuras de inundación del río Cauca” (CVC – Universidad del Valle, 2006). En los restantes sectores esta información fue obtenida a partir de la cartografía elaborada por la firma FAL en el año 1998 y los informes de diseños de diques elaborados por la CVC.

### **Canales independientes en la llanura de inundación conectados al cauce principal**

Las madrevejas ó humedales asociados al río Cauca y la sección de la planicie de inundación localizada más allá del dique de protección contra inundaciones fueron representadas ó esquematizadas como canales independientes conectados al río Cauca por medio de canales de conexión, denominados en el modelo MIKE 11 como *Link Channel*. Dado que no se dispone de un conocimiento detallado de la variación de la corona del dique, la geometría de los canales de conexión constituyó uno de los parámetros de calibración que permitió que el modelo reprodujera en forma aceptable el comportamiento del sistema río Cauca.

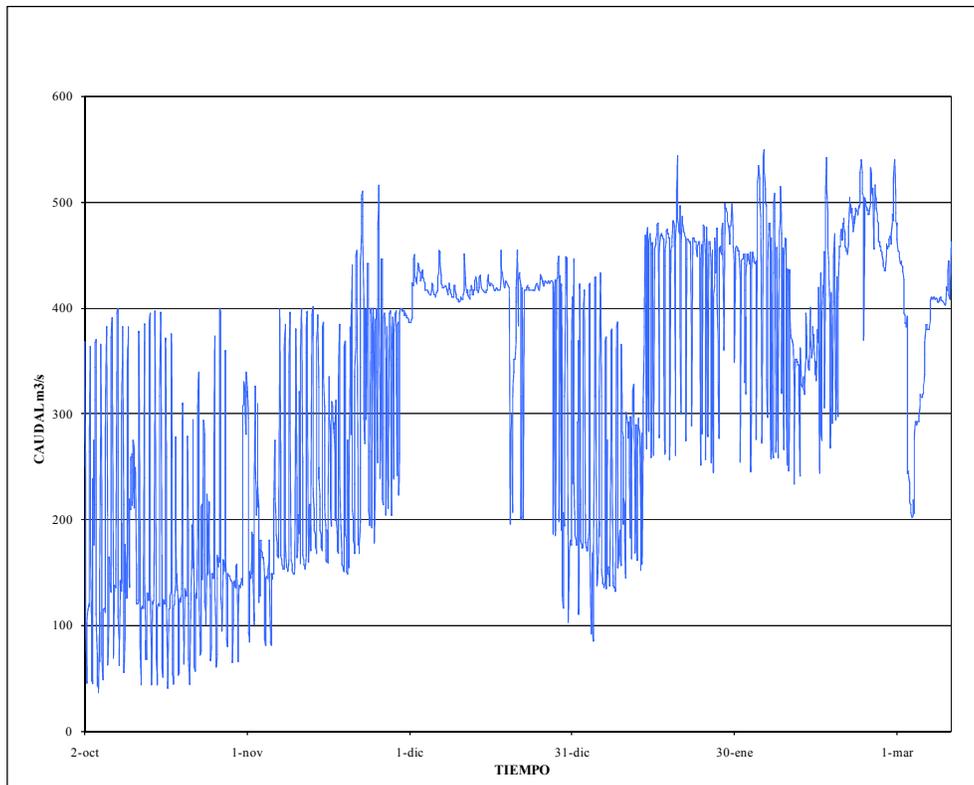
#### **5.1.2 Fronteras del modelo**

Las fronteras del modelo correspondieron a los límites superior (frontera aguas arriba), e inferior (frontera aguas abajo) de la zona de estudio, los afluentes esquematizados como brazos laterales y fuentes puntuales y los canales a través de los cuales se representaron las llanuras de inundación. En el Cuadro 5.1 se presentan las fronteras empleadas en la modelación.

##### **5.1.2.1 Frontera Aguas Arriba**

La frontera superior o aguas arriba del modelo se localizó en la estación hidrométrica de La Balsa, la cual se encuentra en la abscisa K 27 + 385. La abscisa K0+000 corresponde al eje de la presa de Salvajina. Para las diferentes simulaciones en esta frontera superior se introdujo, como condición hidrodinámica, la serie de caudales diarios (ver Figura 5.2).

**Figura 5.2 Condición hidrodinámica en la frontera aguas arriba**  
**Serie de caudales Estación: La Balsa Periodo: Octubre 1998 - Marzo 1999**



### 5.1.2.2 Fronteras Internas

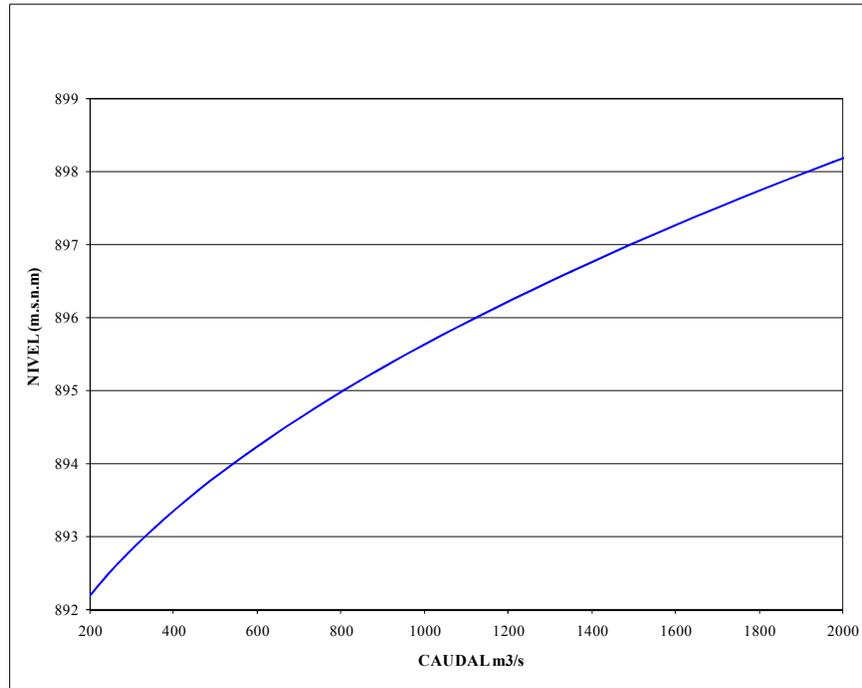
En el modelo del sistema río Cauca – tributarios – humedales – planicie aluvial se consideraron 124 fronteras internas distribuidas de la siguiente manera:

- 12 brazos laterales: Los 12 ríos tributarios principales se representaron como brazos laterales. El modelo realiza el tránsito de los caudales introducidos en la frontera superior de cada uno de estos cauces.
- 69 fuentes puntuales: A través de esta alternativa se representaron 26 tributarios y descargas menores y 43 extracciones de agua de los canales en la planicie aluvial.
- 43 fronteras cerradas: Esta alternativa fue utilizada para representar los extremos finales de los canales en la planicie aluvial.

### *Frontera Aguas Abajo*

La frontera inferior o aguas abajo del modelo del río Cauca se localizó en la estación hidrométrica de La Virginia. Como condición hidrodinámica de frontera se utilizó la curva de calibración nivel – caudal de esta estación (ver Figura 5.3).

**Figura 5.3 Condición hidrodinámica en la frontera aguas abajo curva de calibración Nivel – Caudal Estación: La Virginia Período: Octubre 1998 – Marzo 1999**



### 5.1.3 Malla computacional

El espaciamiento máximo admisible entre secciones transversales del río Cauca,  $\Delta x$ , adoptado fue de 1000 m, en tanto que el espaciamiento máximo entre secciones de los tributarios fue definido igual a 200 m. El intervalo de tiempo computacional entre soluciones sucesivas de las ecuaciones,  $\Delta t$ , se definió igual a 2 minutos. Estos valores de  $\Delta x$  y  $\Delta t$  permitieron describir adecuadamente el sistema modelado, garantizaron la estabilidad del modelo y arrojaron tiempos computacionales razonables.

Debe destacarse que mallas computacionales más refinadas (menores valores de  $\Delta x$  y  $\Delta t$ ) no permitieron mejorar en forma significativa la precisión de los cálculos, pero incrementaron considerablemente el tiempo computacional.

### 5.1.4 Parámetros de calibración

La calibración del modelo fue alcanzada a través de un proceso riguroso de ajuste de diferentes parámetros numéricos y físicos que permitió alcanzar una adecuada

representación del comportamiento del río. El procedimiento implementado fue el siguiente:

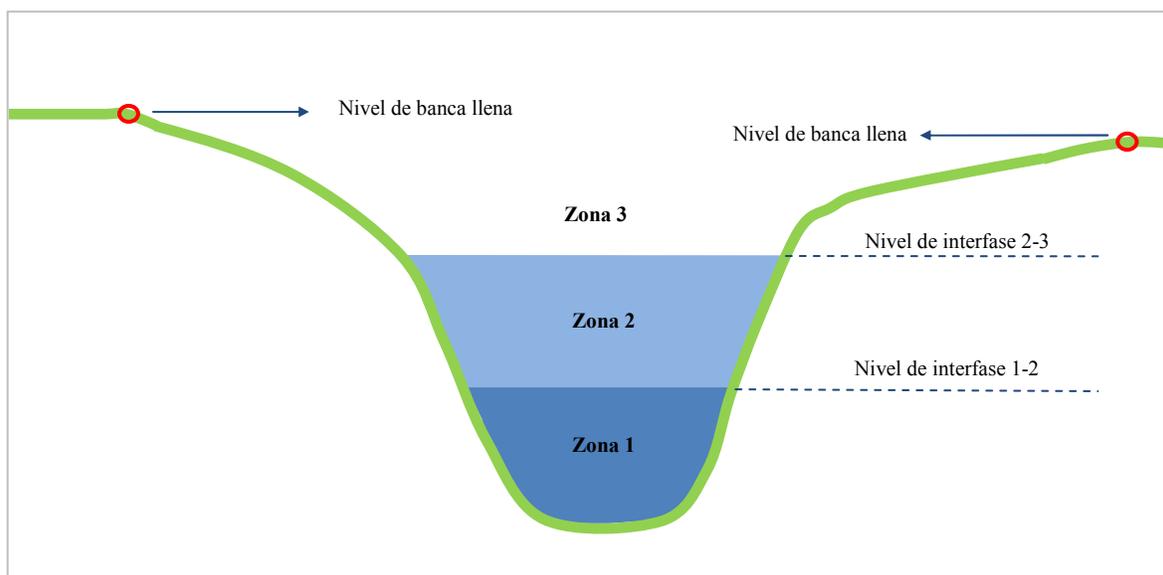
**Cuadro 5.3 Factores de rugosidad de Manning – Strickler ( $m^{1/3}/s$ ) y factores de resistencia del río Cauca definidas durante la calibración del modelo hidrodinámico**

ZONA/ FACTOR DE RESISTENCIA	ESTACIÓN								
	La Balsa	La Bolsa	Hormiguero	Juanchito	Mediacanoa	Guayabal	La Victoria	Anacaro	La Virginia
Zona 1	20	20	20	37	34	39	35	39	35
Zona 2	29	29	23	37	34	39	35	39	35
Zona 3	38	38	25	37	34	39	35	39	35
Factor de resistencia	1,0	1,0	0,7	0,7	0,6	0,9	0,6	0,55	1,0

**Cuadro 5.4 Niveles de Interfase definidas del río Cauca durante la Calibración del Modelo Hidrodinámico**

NIVEL INTERFASE		ESTACIÓN								
		La Balsa	La Bolsa	Hormiguero	Juanchito	Mediacanoa	Guayabal	La Victoria	Anacaro	La Virginia
Nivel interfase	Zona 1 - Zona 2	982,50	958,00	950,00	944,00	930,50	908,00	903,00	897,00	892,00
Nivel interfase	Zona 2 - Zona 3	985,00	959,50	951,80	946,00	932,00	910,00	905,00	899,50	897,00
Nivel banca llena	-	985,30	960,00	952,46	946,72	932,02	911,10	907,85	902,84	-

**Figura 5.4 Zonas y niveles de interfase en una sección típica del río Cauca**



- Se realizaron varias simulaciones tomando como punto de partida las rugosidades encontradas a través de modelaciones anteriores. Estas rugosidades fueron definidas utilizando la herramienta del modelo que permite dividir las secciones transversales en tres zonas (triple zona) y asignarle a cada una de ellas un valor diferente. Los cálculos del modelo reprodujeron razonablemente las características hidrodinámicas del río en algunos sectores, pero en otros se observó una diferencia importante entre los valores medidos en campo y los calculados por el modelo.
- Se modificaron los valores de la rugosidad y los niveles de los límites de la triple zona en aquellos sectores en los que el modelo no describía adecuadamente el comportamiento hidrodinámico del sistema, alcanzando de esta manera respuestas aceptables en varias zonas. Sin embargo, en algunos sectores persistían diferencias apreciables.
- Se revisaron las secciones transversales y las conductancias en los sectores donde se mantenían las diferencias significativas entre los niveles de agua y los caudales medidos y calculados. Este análisis permitió reemplazar algunas secciones transversales consideradas no representativas del cauce del río Cauca; luego se ajustaron nuevamente las rugosidades y los límites de la triple zona hasta obtener diferencias aceptables entre las series calculadas por el modelo y las registradas en campo para caudales y niveles inferiores a los de banca llena. En el Cuadro 5.3 se presentan los valores de rugosidad y los límites de la triple zona finalmente obtenidos.

Debe destacarse que los valores de rugosidad se variaron entre límites físicamente válidos de acuerdo con las características del sistema río Cauca – humedales.

- Para lograr una adecuada representación de los caudales y niveles de agua superiores al nivel de banca llena se utilizó la herramienta denominada factor de resistencia, el cual afecta el valor de rugosidad definido en la sección transversal. Se realizaron varias simulaciones modificando en cada una de ellas los factores de resistencia hasta alcanzar resultados satisfactorios. Los factores de resistencia que permitieron este ajuste se presentan en el Cuadro 5.3.

En las Figuras 5.5 a 5.18 se presentan los resultados de la calibración finalmente alcanzada. Estas gráficas indican que el modelo representa en forma aceptable el comportamiento hidrodinámico del río tanto para caudales altos como para caudales bajos.

### ***MODELACIÓN DE CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA***

Con el objetivo de comparar bajo un mismo escenario las crecientes históricas del río Cauca se realizó la simulación numérica de estos eventos, es decir se transitaron los caudales registrados en el río Cauca y sus tributarios durante estas crecientes utilizando la topografía con la cual se calibró el presente modelo. Como ya se anotó, el tramo comprendido entre las estaciones La Balsa y Juanchito fue representado mediante secciones transversales medidas en el año 2005 y el tramo comprendido entre las estaciones Juanchito

y La Virginia fue representado a través de perfiles transversales levantados en el año 2000.

Los resultados de estas simulaciones permiten establecer, de manera aproximada, los efectos que habrían tenido cada una de estas crecientes, bajo las condiciones topográficas consideradas en el modelo computacional implementado.

Para esta evaluación, se modelaron las crecientes ocurridas en los siguientes períodos:

### **5.2.1 Crecientes Históricas Modeladas**

Se modelaron las crecientes ocurridas en los siguientes períodos:

- Noviembre de 1973 – Abril de 1974
- Noviembre de de 1975 – Enero de 1976
- Noviembre de de 1981 – Junio de 1982
- Octubre – Diciembre de 1984
- Noviembre de 1988 – Enero de 1989
- Octubre – Diciembre de 1996
- Octubre de 1998 – Abril de 1999
- Diciembre de 2007 – Junio de 2008
- Diciembre de 2010 – Febrero de 2011

No se modelaron las crecientes que se presentaron en los años 1950, 1966 y 1967 por cuanto no se dispone de información suficiente para simular los caudales que transitaron por el río Cauca y sus afluentes.

#### **5.2.1.1 Cálculo de caudales faltantes en ríos tributarios**

Debe señalarse que para las crecientes de las décadas de los años 70's y 80's no se dispone de la información de los caudales en muchos de los tributarios, por lo cual fue necesario estimarlos mediante relación de áreas de cuencas, en algunos casos, o mediante relación de caudales, en otros, tal como se indica a continuación.

##### *Cálculo de caudales mediante relación de áreas de cuencas*

Se calcularon los caudales no disponibles en un tributario determinado, multiplicando el caudal de un tributario cercano de características similares y datos disponibles por la relación existente entre las áreas del tributario con información incompleta y el tributario con información completa, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Q_{\text{trib incompleta}} = Q_{\text{trib conocido}} \times (A_{\text{trib incompleto}} / A_{\text{trib conocido}})$$

donde:

$Q_{trib\ incomplete}$  = Caudal del tributario del cual no se dispone de la serie de caudales completa

$Q_{trib\ conocido}$  = Caudal del tributario con información de caudales completa y conocida

$A_{trib\ incomplete}$  = Área de la cuenca del tributario del cual no se dispone de la serie de caudales completa

$A_{trib\ conocido}$  = Área de la cuenca del tributario con información de caudales completa y conocida

### *Cálculo de caudales en tributarios mediante la relación de caudales medios*

En aquellos casos en los que no se disponía de la información relacionada con las áreas de las cuencas de los tributarios se recurrió a determinar los caudales no disponibles de un tributario multiplicando el caudal de un tributario de características similares con caudales disponibles por la relación existente entre el caudal medio del tributario con información incompleta y el caudal medio del tributario con información de caudales disponible de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Q_{trib\ incomplete} = Q_{trib\ conocido} \times (Q_{medio\ trib\ incomplete} / Q_{medio\ trib\ conocido})$$

donde:

$Q_{trib\ incomplete}$  = Caudal del tributario del cual no se dispone de la serie de caudales completa

$Q_{trib\ conocido}$  = Caudal del tributario con información de caudales completa y conocida

$Q_{medio\ trib\ incomplete}$  = Caudal medio del tributario del cual no se dispone de la serie de caudales completa

$Q_{medio\ trib\ conocido}$  = Caudal medio del tributario con información de caudales completa y conocida

### **5.2.2 Comparación de crecientes históricas del río Cauca**

Con el objetivo de realizar una comparación de los picos (caudales y niveles máximos) de las crecientes históricas presentadas en el valle alto del río Cauca, se realizaron dos análisis diferentes. En el primero se compararon los registros para cada una de las crecientes, y en el segundo se realizó una modelación que permitió comparar tanto los picos de las crecientes, como los aportes de los tributarios en cada uno de los eventos históricos.

### 5.2.2.1 Caudales y niveles máximos alcanzados por las crecientes a lo largo del río Cauca

En los Cuadros Cuadro 5.5 y Cuadro 5.6 se presentan los caudales y los niveles obtenidos por el modelo a lo largo del río Cauca para las diferentes crecientes analizadas. Del análisis de estos datos se puede concluir lo siguiente:

**Cuadro 5.5 Caudales máximos obtenidos a lo largo del río Cauca para las diferentes crecientes analizadas**

AÑO DE LA CRECIENTE	ESTACIÓN						
	LA BOLSA	HORMIGUERO	JUNACHITO	MEDIACANOVA	GUAYABAL	LA VICTORIA	ANACARO
70 -71	693	891	1067	915	1155	1222	1242
73 - 74	716	884	990	906	1171	1219	1220
75 - 76	753	891	943	988	1242	1317	1271
81 - 82	697	885	857	802	972	972	1048
84 - 85	728	1052	1018	879	1216	1214	1345
88 - 89	694,9	869,25	929,13	945,6	1141,09	1148,14	1218,1
96 -97	725,86	849,41	955,01	876,38	994,1	993	1018,7
98 - 00	668,53	841,95	966,23	997,47	1217,1	1165,95	1236,7
2007 - 2009	529,2	ND	936	1172,8	1003,36	1054,4	1172,8
2010 - 2011	781,75	ND	1051,68	1092,34	1256,88	1202,35	1437,19

Nota:1) ND = No hay dato.

**Cuadro 5.6 Niveles máximos obtenidos a lo largo del río Cauca para las diferentes crecientes analizadas**

AÑO DE LA CRECIENTE	ESTACIÓN						
	LA BOLSA	HORMIGUERO	JUNACHITO	MEDIACANOVA	GUAYABAL	LA VICTORIA	ANACARO
70 -71	962,43	955,73	949,66	933,63	912,47	909,5	903,4
73 - 74	962,4	955,91	949,39	933,67	912,34	909,4	902,815
75 - 76	962,55	955,95	949,54	934	912,67	909,81	NHCM
81 - 82	962,13	954,95	948,8	933,77	NHCM	908,66	NHCM
84 - 85	962,27	955,85	949,65	934,14	ND	909,78	NHCM
88 - 89	961,92	954,63	948,9	NHCM	ND	910	NHCM
96 -97	960,85	NHCM	ND	NHCM	ND	909,1	NHCM
98 - 00	960,4221	955,2117	949,802	934,5233	ND	910,1454	ND
2007 - 2009	959,3419	ND	949,6076	934,11	912,4063	909,59	902,4775
2010 - 2011	961,1298	ND	950,327	934,7567	913,6988	910,5433	903,54

Nota:1) ND = No hay dato.

2). NHCM = No hay cero de mira.

- Considerando las condiciones topográficas del sistema río Cauca – humedales introducidas en el modelo, la creciente del año 1971 presentaría los mayores caudales y niveles a lo largo del río Cauca. Sin embargo, debe mencionarse que esta creciente se presentó antes de entrar en funcionamiento la presa de Salvajina, por lo cual los caudales en la frontera aguas arriba son muy seguramente superiores a los que se habrían liberado desde Salvajina, en el caso de que ésta ya estuviera en operación.

- La mayor contribución de caudales de los ríos tributarios se presentó en la creciente del año 2011, cuando el aporte, antes del río La Vieja, fue cercano a 950 m<sup>3</sup>/s. En la creciente del año 1971 el aporte de los tributarios fue inferior a los 700 m<sup>3</sup>/s.
- Debido a la acción del embalse de Salvajina, en la parte alta de la zona de estudio la creciente del año 2010 presentó caudales relativamente bajos en comparación con las restantes crecientes. Sin embargo, el gran aporte de los tributarios en el año 2010 llevó a que en la parte norte del departamento, la creciente presentará caudales bastante altos, comparables a los de las crecientes más fuertes.
- Es posible afirmar que, en general, las crecientes ocurridas después de la entrada en operación de la represa de Salvajina presentan, como consecuencia de la regulación, caudales menores en sector sur del departamento del Valle del Cauca. Este efecto regulador se va atenuando en dirección aguas abajo de tal forma que en la parte norte del departamento es mucho menos marcado.
- El aporte de los ríos tributarios durante las crecientes ocurridas en 1973-1974 y 2007 son bastante similares entre sí (aproximadamente 700 m<sup>3</sup>/s para los caudales máximos). Sin embargo, la creciente del año 1973 – 1974 tuvo un impacto mucho más fuerte debido a los siguientes aspectos. (i) El caudal en la parte alta del departamento fue mucho menor en la creciente del año 2007 debido al efecto regulador de la represa de Salvajina, (ii) La creciente del período 1973 – 1974 tuvo una mayor duración y (iii) En el año 2007 se contaba con un mayor número de diques de protección contra inundaciones.
- Los ríos Palo y La Vieja realizan un importante aporte de caudales durante las crecientes contribuyendo significativamente al incremento del flujo por el río Cauca. Los ríos Amaime, Tuluá y Bugalagrande también realizan un aporte importante pero menor al de los ríos Palo y La Vieja.

### **5.2.2.2 Comparación de las hidrógrafas registradas de las crecientes históricas**

En las Figuras 5.19 y 5.55 se presentan los caudales y niveles alcanzados en las estaciones hidrométricas durante las crecientes históricas del río Cauca. Estas gráficas permiten observar lo siguiente:

- Las crecientes de los años 1975 – 1976 y 1997 presentan caudales picos muy similares y cierta similitud en las hidrógrafas. Sin embargo, la creciente del período 1975 – 1976 inundó una mayor extensión de áreas debido fundamentalmente a dos aspectos: (i) La creciente de 1975 – 1976 tuvo una mayor duración y (ii) En el año 1997 se contaba con mayor longitud de diques de protección longitudinales.
- La hidrógrafa de la creciente del año 1971 presenta cierta similitud con la creciente ocurrida en los años 2010 – 2011, destacándose que la fase inicial de esta última creciente presentó una mayor duración que la fase inicial de la creciente del año 1971. Sin embargo, las áreas inundadas en el año 1971 duplicaron las áreas inundadas en los

2010 – 2011. Como ya se ha anotado, esto obedece a la mayor protección contra inundaciones que se tiene en la actualidad.

- Las hidrógrafas de las crecientes de los años 2008 y 2011 presentan características similares. No obstante, el área total inundada en esta última creciente fue cuatro veces superior al área total inundada en el año 2008. Esta diferencia en las áreas inundadas podría deberse a la gran cantidad de diques que fallaron en la creciente del año 2011, lo cual generó la inundación de extensos sectores de la planicie de inundación.
- Las crecientes de los años 1984 y los años 1988 – 1989 presentan hidrógrafas similares, especialmente a partir de la estación Juanchito. Sin embargo, las áreas inundadas en el año 1984 prácticamente triplicaron las áreas inundadas durante la creciente de los años 1988 – 1989, lo cual podría indicar un mejor desempeño de las obras de protección contra inundaciones y posiblemente diques más altos en los años 1988 - 1989.

### **5.2.3 Limitaciones de la comparación de las crecientes del río Cauca**

Tanto los datos registrados en cada una de las crecientes, como los resultados obtenidos a través de la modelación, deben ser interpretados con precaución debido a que existen aspectos que limitan su generalidad. Dentro de los aspectos más importantes, se tienen: la información hidrológica faltante, la precisión del modelo hidráulico calibrado y los cambios morfológicos propios del río.

#### **5.2.3.1 Información hidrológica faltante**

Se desconocen los caudales que transitan por varios de los tributarios menores del río Cauca debido a que no cuentan con estaciones hidrométricas. Como ya se anotó, los caudales de estos afluentes fueron estimados a través de la relación de áreas o de caudales con un tributario cercano de características similares e información disponible. No obstante, debido al número de tributarios sin información disponible, la incertidumbre total en este aspecto podría llegar a ser importante.

Como era de esperarse, la ausencia de información relacionada con los caudales de afluentes del río Cauca es más marcada en las crecientes más antiguas; debido a esto no fue posible modelar las crecientes ocurridas en los años 1950, 1966 y 1967.

#### **5.2.3.2 Precisión del modelo hidráulico calibrado**

El modelo hidráulico implementado tiene una precisión que puede llegar a ser hasta de 30 centímetros debido a varios factores, como son:

- El modelo no considera todos los fenómenos que se presentan durante el tránsito de caudales, como por ejemplo, la evaporación, la infiltración y la transpiración.

- Incertidumbres en los niveles de referencia verticales. Las secciones transversales utilizadas tanto para el río Cauca como para los ríos tributarios y los niveles de agua tienen asociados una cierta incertidumbre debido a que no se tiene una certeza absoluta en los puntos empleados para efectuar su amarre vertical.
- Incertidumbre en los caudales. Los caudales se obtienen a partir de una curva de calibración nivel - caudal y niveles de agua registrados con una cierta frecuencia. Estas curvas tienen un cierto rango de incertidumbre, especialmente para caudales cercanos a banca llena y desbordamiento, por cuanto en este rango no se realizan aforos y la curva es extrapolada.

### **5.2.3.3 Cambios morfológicos propios del río**

Como consecuencia de su propia dinámica el río experimenta cambios en el tiempo en procura de alcanzar su condición de equilibrio, la cual se encuentra afectada debido a las diferentes intervenciones antrópicas, tales como estrechamientos originados por la construcción de espolones y el depósito de escombros sobre ambas márgenes del cauce principal del río, la derivación de caudales para diferentes usos y la extracción intensa del material del lecho. Debido a esto, las características hidrodinámicas del río han sido diferentes durante cada una de las crecientes históricas que se han presentado.

## ***EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA REGULACIÓN DE CAUDALES REALIZADA POR EL EMBALSE DE SALVAJINA DURANTE LAS CRECIENTES***

Con el fin de estimar el impacto que la regulación de caudales del río Cauca ejerce sobre la hidrodinámica del cauce durante las crecientes, se simuló las avenidas del año 2010 sin considerar el efecto del embalse y del año 1971 considerando una regulación hipotética.

### **5.3.1 Modelación de la creciete ocurrida en el año 2011 sin considerar el efecto del embalse de Salvajina**

Con el objetivo de estimar la contribución del embalse de Salvajina a la gestión de la creciete y las inundaciones, se modeló el comportamiento que hubiera presentado el río Cauca si no existiera el embalse de Salvajina durante la creciete del año 2010, es decir si por la estación La Bolsa (frontera aguas arriba del modelo) hubieran circulado los caudales “naturales” o sin regulación. Los caudales de los ríos tributarios se conservaron sin modificaciones.

Los caudales “naturales” en la estación La Balsa fueron calculados utilizando la siguiente expresión:

$$Q_{\text{natural est. La Balsa}} = Q_{\text{registrado est. La Balsa}} - Q_{\text{efluente embalse}} + Q_{\text{afluente embalse}}$$

donde:

$Q_{\text{natural est. La Balsa}}$  = Caudal “natural” calculado en la estación La Balsa del año 2010

$Q_{\text{registrado est. La Balsa}}$  = Caudal registrado en la estación La Balsa

$Q_{\text{efluente embalse}}$  = Caudal liberado por el embalse de Salvajina

$Q_{\text{afluente embalse}}$  = Caudal afluente al embalse de Salvajina

Los resultados obtenidos al simular esta creciente con las condiciones hidrodinámicas descritas se presentan en las Figuras 5.56 a 5.69. Del análisis de estas gráficas puede concluirse lo siguiente:

- En términos generales el embalse permitió disminuir en forma importante los caudales y niveles que circularon por el río Cauca durante la creciente presentada en el año el año 2010, lo cual contribuyó a disminuir el impacto que hubiera tenido esta creciente de no existir la regulación realizada por el embalse.
- En el período de tiempo previo a la creciente los caudales y niveles del río Cauca calculados por el modelo son inferiores a los valores registrados en campo, lo cual es una consecuencia de la regulación impuesta por el embalse de Salvajina.
- Los mayores efectos de la regulación se presentan en el tramo comprendido entre las estaciones La Balsa y Juanchito, donde, de acuerdo con los resultados del modelo, los caudales que circularon por el río experimentaron disminuciones inclusive superiores a los 200 m<sup>3</sup>/s y los niveles llegaron a disminuir hasta en más de 1.0 metro.
- En la estación Juanchito el caudal máximo de la creciente calculado por el modelo ( $Q = 908 \text{ m}^3/\text{s}$ ) fue 192 m<sup>3</sup>/s superior al caudal realmente registrado en campo ( $Q = 908 \text{ m}^3/\text{s}$ ), en tanto que el nivel máximo calculado por el modelo ( $h = 949.39 \text{ msnm}$ ) fue 1.38 metros superior al nivel máximo registrado ( $h = 948.01 \text{ msnm}$ ). A partir de estas reducciones en los parámetros hidrodinámicos del flujo, es posible concluir que de no haber existido la regulación de caudales los efectos de esta creciente hubieran sido mucho más marcados en el tramo La Balsa – Juanchito
- En la estación Mediacanoa se observa una reducción importante en los caudales durante la creciente (llegando a ser superior a los 200 m<sup>3</sup>/s en algunas fechas) y un poco menos significativa en los niveles, debido probablemente a la baja capacidad a banca llena de la sección, por lo cual se generan desbordamientos con caudales relativamente bajos.
- En el tramo comprendido entre las estaciones Guayabal y Anacaro la regulación de caudales realizada por el embalse de Salvajina tiene un impacto menos marcado que el tramo cercano al embalse, lo cual se debe al importante aporte de caudales que realizan los afluentes que tributan al río Cauca aguas abajo del embalse.

### 5.3.2 Modelación de la creciente ocurrida en el Año 1971 considerando una hipotética regulación de caudales del Río Cauca

Con el propósito de determinar los niveles y caudales que se hubieran presentado en el río Cauca durante la creciente del año 1971 si hubiese existido el embalse de Salvajina en ese momento, se realizó la modelación de esta creciente generando una serie de caudales regulada hipotética en la estación La Balsa (frontera aguas arriba del modelo). Para la creación de esta serie de caudales regulados (correspondientes a los que habría liberado el embalse) se modificaron los caudales registrados en la estación Salvajina mediante la implementación de los siguientes criterios:

- El caudal máximo regulado que habría liberado el embalse es de 300 m<sup>3</sup>/s. Cuando el caudal afluente sea mayor a este valor, el caudal excedente (diferencia entre el Caudal afluente y los 300 m<sup>3</sup>/s) sería almacenado en el embalse.
- El volumen almacenado por la regulación de caudales sería liberado cuando el caudal afluente sea inferior a 250 m<sup>3</sup>/s después de haberse presentado un pico de la creciente (caudal superior a 300 m<sup>3</sup>/s). En este caso el embalse liberaría un caudal efluente de 250 m<sup>3</sup>/s.

Los caudales “regulados” en la estación La Balsa fueron calculados utilizando la siguiente expresión:

$$Q_{\text{regulado est. La Balsa}} = Q_{\text{registrado est. La Balsa}} - Q_{\text{estación Salvajina}} + Q_{\text{efluente hipotético}}$$

donde:

$$\begin{aligned} Q_{\text{regulado est. La Balsa}} &= \text{Caudal regulado calculado en la estación La Balsa} \\ Q_{\text{registrado est. La Balsa}} &= \text{Caudal registrado en la estación La Balsa} \\ Q_{\text{estación salvajina}} &= \text{Caudal registrado en la estación Salvajina} \\ Q_{\text{efluente hipotético}} &= \text{Caudal efluente hipotético que habría liberado el embalse} \end{aligned}$$

En las Figuras 5.69 a 5.82 se presentan los resultados obtenidos al realizar la modelación de esta creciente bajo las condiciones descritas. Estas gráficas permiten concluir lo siguiente:

- En general los caudales y los niveles de agua durante los picos de la creciente se verían reducidos ostensiblemente a lo largo del río Cauca, especialmente en el tramo La Bolsa y Juanchito. En el tramo Estación Mediacanoa – Estación Anacaro también se presentarían cambios en los niveles de agua y en los caudales, aunque de menor intensidad que en el tramo superior.
- En la estación Juanchito los caudales pico presentan una reducción que hubiera llegado a ser superior a los 400 m<sup>3</sup>/s y los niveles de agua una reducción superior a 2.0 metros. Esto indica que si Salvajina hubiera estado en operación en ese momento, esta creciente

hubiera tenido un efecto mucho menor al que realmente tuvo dado que por el cauce hubieran circulado caudales muy inferiores a los registrados.

- A partir de la estación Mediacanoa, el efecto de la regulación de caudales en la hidrodinámica del cauce es menor que en el tramo superior debido a los aportes de caudales que realizan los ríos tributarios. En la estación La Victoria, por ejemplo la reducción de caudales y de niveles durante los picos de las crecientes fueron del orden de 200 m<sup>3</sup>/s y 0.9 m respectivamente.
- En los períodos comprendido entre los picos de la creciente (zonas valles de la onda de flujo) los caudales y los niveles de agua a lo largo del río hubieran sido superiores a los registrados. Debido a esto y la reducción en los caudales y niveles máximos, la onda de flujo durante esta creciente hubiera tenido una menor amplitud.

## **6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el presente estudio se realizó la descripción y el análisis de las inundaciones registradas históricamente en el valle alto del río Cauca, cuantificando las contribuciones de los principales ríos tributarios a las crecientes en el río Cauca. Igualmente se realizó el inventario de las fallas de los diques marginales de protección del río Cauca y los afluentes que provocaron gran parte de las inundaciones en el valle alto del río Cauca durante la ola invernal del período 2010-2011; además, se analizaron las posibles causas de las fallas de estas estructuras. Las principales conclusiones del estudio son las siguientes:

### ***CONCLUSIONES***

- En términos generales las principales causas de las inundaciones en el valle alto del río Cauca se pueden resumir en las siguientes: (i) Rebose o desbordamiento de los diques de protección del río Cauca y los ríos afluentes debido a los niveles de agua altos que superaron los niveles de la corona de los diques; (ii) ausencia de canales interceptores para drenar el agua de escorrentía y estaciones de bombeo insuficientes o inexistentes para evacuar los volúmenes de agua que circulan por los canales de drenaje; (iii) rotura de los diques marginales de protección contra inundaciones en el río Cauca y algunos afluentes debido a diferentes causas; (iv) falta de compromiso y capacidad asociativa de los propietarios de los terrenos de la planicie aluvial en algunas zonas, lo cual no ha permitido el desarrollo de proyectos integrales de infraestructura para el control de inundaciones.
- En muchos sectores, durante la ola invernal de los años 2010 y 2011 las inundaciones se originaron por la falla o rotura de los diques de protección. Es decir, buena parte de las inundaciones presentadas estuvieron estrechamente relacionadas con las fallas en estas estructuras. Las principales causas de fallas de los diques marginales de protección durante el período 2010-2011 fueron: (i) Muchas de las obras de protección han sido construidas sin contar con diseños técnicos apropiados, (ii) algunos diques han sido construidos con materiales inapropiados y técnicas constructivas inadecuadas, (iii) el mantenimiento precario o nulo de la estructura del dique, (iv) la falta de programas de monitoreo permanente para verificar el estado y funcionalidad de los diques, (v) el rápido deterioro y posterior destrucción de la estructura del dique cuando los niveles de agua del río superaron el nivel de la corona del dique, (vi) la fuerte erosión marginal del cauce que amenaza y compromete la estructura del dique, (vii) la afectación del cuerpo del dique para la instalación y el anclaje ilegal de tuberías, (viii) la presencia de hormigueros en el cuerpo del dique, lo cual afecta su estructura y disminuye su capacidad para soportar los diferentes esfuerzos a los que resulta sometido durante las crecientes del río, y (ix) la existencia de sitios con filtraciones a través del cuerpo del dique y el terreno natural, lo cual debilita progresivamente la estructura del dique debido al fenómeno de tubificación que se genera.
- De acuerdo con los reportes elaborados por la CVC para las crecientes de la pasada ola invernal 2010-2011, se identificó que las inundaciones se concentraron principalmente

en los sectores cercanos a los municipios de Yotoco, Riofrio, Roldanillo, La Unión, Toro y Obando sobre la margen izquierda del río Cauca y en los sectores cercanos a los municipios de Buga, Tuluá, Bugalagrande, Zarzal y La Victoria sobre la margen derecha del río Cauca. En estos reportes queda en evidencia las fallas de diques y la necesidad de realce de algunos diques sobre el río Cauca (los cuales durante la emergencia fueron sobre-elevados mediante costales como medida de contingencia).

- Existe una estrecha relación entre los eventos históricos de inundación en el valle alto del río Cauca y el fenómeno de La Niña. Según los registros que se tienen desde el año 1950, de un total de 16 inundaciones que se han presentado en las últimas décadas, solamente 4 de ellas han ocurrido en condiciones de neutralidad; en los otros 12 eventos (esto es, en el 75% de las inundaciones) ha estado presente el Fenómeno de La Niña. Adicionalmente, después del inicio de operación del embalse de Salvajina, sólo se ha presentado un evento de inundación en condiciones de neutralidad climática (año 1997), el cual afectó sólo un área de 5.400 ha, muy inferior al promedio de las áreas inundadas históricamente en el valle alto del río Cauca.
- La entrada en operación del embalse de Salvajina tuvo un impacto directo en las inundaciones, especialmente, en el sur del corredor hasta el municipio de Jamundí, lo cual es posible apreciarlo con los parámetros promedio de las crecientes en la estación La Balsa, como por ejemplo la diferencia entre volumen de agua transitado por encima del nivel de banca llena, al pasar de 259 Mm<sup>3</sup> a tan solo 11 Mm<sup>3</sup>, la duración de la creciente disminuyó de 20 días a 6 días y el caudal máximo tuvo una reducción de 831 m<sup>3</sup>/s a 536m<sup>3</sup>/s.
- En la zona central del valle alto del río Cauca, comprendida entre los ríos Amaime y Bugalagrande (sobre ambas márgenes del río Cauca), se concentra la mayor frecuencia de inundaciones. La zona norte del departamento del Valle del Cauca, comprendida entre el río Bugalagrande hasta el sector de ASONORTE (en el municipio de Cartago), muestra una menor frecuencia de inundaciones, lo cual se debe en buena medida a las inundaciones ocurridas aguas arriba en la zona centro, las cuales laminan la creciente reteniendo grandes volúmenes de agua. En la zona sur del valle alto del río Cauca, desde el río Amaime hacia aguas arriba, también se registra una menor frecuencia de inundaciones, debido, principalmente, a la acción reguladora del embalse de Salvajina.
- En general, en los estudios y diseños de sistemas de protección en el valle alto del río Cauca se estableció un grado de protección para un periodo de retorno de 1:30 años para las zonas agrícolas y de 1:100 años para las zonas urbanas, incluyendo un borde libre que puede fluctuar entre 0,50 m y 1,00 m.
- En algunos sectores se encuentran diques ubicados a menos de 60 m del cauce del río Cauca, infringiendo lo estipulado en el Acuerdo CVC 052 de 2011.
- Los anillos de protección (diques, canales interceptores y de drenaje y estaciones de bombeo) para el control de inundaciones que cuentan con una organización para su operación y mantenimiento han sido los más efectivos en el valle alto del río Cauca,

como son los casos del distrito RUT, el distrito de Aguablanca y el anillo de protección del Ingenio Riopaila. En contraste, existen numerosos casos con resultados negativos, en donde los propietarios no han logrado organizarse en torno a un proyecto que requiere no sólo de recursos para la construcción de infraestructura, sino también para su operación y mantenimiento. Los problemas de inundaciones son generalmente de carácter colectivo y sus soluciones también así lo serán; por lo tanto, es necesario estudiar, además de las obras de infraestructura, los mecanismos de asociación y organización que las puedan sostener en el tiempo.

- No existe un inventario ni seguimiento sistemático a la infraestructura de diques a lo largo del río Cauca, ni un análisis del efecto de su construcción en la deformación de las hidrógrafas de los caudales que transitan a lo largo del río Cauca.
- Para el pico de las crecientes del río Cauca en la estación Juanchito el aporte promedio del Efluente (Salvajina) es del 35,6% y le siguen en su orden los ríos afluentes, así: Palo 15,2%, Ovejas 7,5%, Jamundí 5,4%, Timba 4,8% y Claro 1,7%. Las contribuciones no censadas (escorrentía directa, aportes del acuífero y tributarios menores sin registros) representan el 33,8%.
- Los tributarios contribuyen en gran medida a las crecientes del río Cauca. En promedio, para todos los eventos de inundación registrados y analizados, los mayores aportantes al pico de la creciente en la estación La Victoria son: el río Palo con 11,8%, el río Ovejas con 5,4%, el río Guachal con 4,4%, el río Tuluá con 4,1% y el río Bugalagrande con 4,1%. El aporte medio de Salvajina al pico de la creciente en esta misma estación es 26,3%, mientras que los tributarios, el acuífero y la escorrentía en la zona plana (no censada en las estaciones de los tributarios) aportan el 40,1% del caudal en esta estación.
- Según la información suministrada por los afectados durante las últimas inundaciones, muchas de estas obedecieron al colapso de las estructuras de protección y otras debido al rebose de las mismas. Establecer con precisión las causas de las fallas o colapso en los sistemas de protección resulta una tarea difícil y compleja, pues no existen registros precisos ni monitoreos de la condición y funcionamiento de las estructuras.
- Utilizando el modelo matemático del sistema río Cauca – humedales – planicie de inundación implementado en estudios anteriores (Proyecto de Modelación del río Cauca Fases I, II y III y Proyecto de Modelación del Sistema río Cauca - Humedales) por la CVC y la Universidad del Valle, se modelaron las crecientes históricas registradas del río Cauca y se determinó el impacto de la regulación de caudales impuesta por el embalse de Salvajina en los parámetros hidrodinámicos del río Cauca durante las crecientes. Las principales conclusiones derivadas de estas simulaciones se presentan a continuación.
- Si bajo las condiciones topográficas consideradas en el modelo implementado (correspondientes al año 2000 en el tramo La Balsa – Juanchito y al año 2005 en el tramo Juanchito – La Virginia) se presentarán en la estación La Balsa y en los tributarios los mismos caudales registrados durante las crecientes ocurridas entre 1970 y 1984, los

caudales y niveles de agua durante los picos de las crecientes en gran parte del tramo del río Cauca estudiado hubieran sido mayores a los que realmente ocurrieron. Estas diferencias hubieran sido más marcadas en el tramo comprendido entre las estaciones Mediacanoa y Anacaro.

- Estas diferencias en los parámetros hidrodinámicos del flujo se deben muy probablemente a que el modelo implementado considera un mayor confinamiento al flujo a través de diques riberaños que el existente en el momento en el que ocurrieron las crecientes
- Los niveles de agua calculados por el modelo durante las crecientes ocurridas hasta el año 1984 en las estaciones La Bolsa y Hormiguero son inferiores a los registrados en campo. Esto se debe a que en la estación La Bolsa el ancho de la sección transversal en el año 2005 era mucho mayor que el ancho de la sección en los momentos en que ocurrieron las crecientes y en la estación Hormiguero el nivel de fondo en el año 2005 estaba por debajo del nivel de fondo de la sección durante las crecientes, debido a un proceso de degradación probablemente originado por la intensa extracción de materiales.
- Los niveles de agua y caudales calculados por el modelo (utilizando la topografía de los años 2000 y 2005) son inferiores a los registrados en campo a lo largo del río Cauca durante las crecientes ocurridas a partir del año 2007, aunque las diferencias son menores a las encontradas en la simulación de las crecientes ocurridas antes de 1984. Este comportamiento obedece al mayor confinamiento impuesto al flujo a través de diques riberaños cada vez más altos.
- Considerando las condiciones topográficas del río Cauca implementadas en el modelo utilizado, se obtiene que los mayores caudales y niveles a lo largo del río Cauca se presentaron en la creciente del año 1971, la cual ocurrió antes de que entrara en operación la represa de Salvajina. Sin embargo, de haber estado en operación este embalse los niveles y caudales a lo largo del río hubieran sido mucho menores durante los máximos de la creciente por cuanto gran parte de estos caudales hubieran sido almacenados en el embalse.
- El embalse de Salvajina ha permitido gestionar en forma más adecuada las crecientes del río Cauca reduciendo, por ende, el impacto de las mismas sobre el departamento del Valle del Cauca. Esto se evidencia en los caudales relativamente bajos que se registran actualmente en el sector sur del departamento durante las avenidas, los cuales son inferiores a los que se registraban antes de entrar en operación el embalse. Adicionalmente, a través del modelo se ha establecido que sin la regulación realizada por el embalse los niveles de agua y los caudales que se registrarían en el río durante las crecientes serían mucho mayores a los que realmente ocurren.
- Los ríos tributarios realizan un importante aporte de caudales al río Cauca durante las avenidas. Debido a esto, aproximadamente a partir de la estación Mediacanoa el efecto del embalse es mucho menos marcado. Entre los ríos que realizan los mayores aportes se tienen los ríos Ovejas, Palo, Amaime, Tuluá, Bugalagrande y La Vieja.

- La regulación de caudales del embalse de Salvajina y la mayor protección contra inundaciones representada en la mayor longitud y mayor altura de los dique riberaños construidos ha evitado que grandes extensiones de terreno se inunden debido a los desbordamientos del río. Debido a esto crecientes con hidrógrafas similares y/o aportes de caudales de ríos tributarios similares a los ocurrían anteriormente inundan una menor extensión de área.

### **RECOMENDACIONES**

- Se deben implementar estaciones lo más cercanas posible a la desembocadura de los tributarios por fuera de la influencia del remanso que pueda generar el río Cauca. Esto con el fin de dar mayor solidez a los análisis posteriores de la influencia de los aportes de caudal de los tributarios en las hidrógrafas de caudales registrados en las estaciones hidrométricas sobre el río Cauca.
- Con el fin de determinar con mayor precisión los aportes de los ríos tributarios a las crecientes en el río Cauca, se recomienda implementar estaciones hidrométricas en los tramos finales, en secciones localizadas lo más cerca posible a su desembocadura pero por fuera de la influencia del remanso que puede generar el río Cauca cuando se encuentra en niveles altos.
- Se deben adelantar programas de aforos líquidos en el río Cauca, mediante la implementación de métodos directos o indirectos, orientados a enriquecer el conjunto de datos disponibles para la elaboración de las curvas de calibración Nivel – Caudal, principalmente durante los niveles y caudales altos y durante las crecientes en el río. Esto con los siguientes propósitos: (i) reducir la incertidumbre en la extrapolación de las curvas de calibración para los niveles altos en el río y (ii) obtener la información suficiente para establecer las curvas de calibración complejas, características de los flujos no permanentes que se presentan durante las crecientes en un río debido al fenómeno de histéresis.
- Considerando que durante la ola invernal del período 2010-2011 muchas de las inundaciones ocurrieron por fallas en la estructura de los diques se recomienda diseñar e implementar programas de monitoreo permanente de los diques marginales de protección en el río Cauca y los ríos afluentes con el fin de detectar oportunamente posibles irregularidades, intervenciones, afectaciones y fallas en la estructura de los mismos. Igualmente es necesario establecer e implementar programas de mantenimiento preventivo y correctivos para solucionar las anomalías detectadas en procura de garantizar el óptimo estado y funcionalidad de los mismos.
- El diseño y el trazado de las medidas estructurales del nuevo modelo conceptual para la restauración del corredor de conservación y uso sostenible del sistema río Cauca en su valle alto deben considerar darle más espacio al río en la planicie adyacente para permitir una mayor laminación de los flujos, con lo cual se reducen los niveles de agua y, por ende, la altura de los diques; con ello se disminuye la presión sobre los diques y la probabilidad de falla de los mismos. Esta propuesta se halla en consonancia con los nuevos paradigmas a nivel mundial de darle “espacio al río”, el cual es un sistema dinámico de conservación biológica que no se limita únicamente a su cauce menor.
- Considerando que los ríos afluentes son determinantes en las inundaciones en el valle alto del río Cauca, resulta necesario complementar las prácticas tradicionales de manejo

de inundaciones en la planicie con medidas que incrementen la capacidad de las cuencas en las partes alta y media para regular los procesos lluvia-escorrentía.

- Elaborar una guía completa y detallada en la que se definan de manera precisa y rigurosa la metodología de diseño, construcción y mantenimiento de los diques marginales de protección, en la cual se incluyan todos los requerimientos y análisis requeridos para garantizar la estabilidad de los diques, las especificaciones de los materiales a utilizar y las especificaciones técnicas de construcción.
- Las diferentes intervenciones antrópicas en el cauce del río, tales como, extracción de materiales, captaciones de agua, estructuras de protección de orillas, rectificación de cauces y demás, afectan la dinámica de los procesos naturales del río, causando problemas de sedimentación y, principalmente, de erosión del lecho y las orillas del cauce, propiciando el desequilibrio en su morfología, el cual puede llegar a poner en riesgo la estabilidad de las estructuras de control de inundaciones. Por ello, las nuevas intervenciones que se proyecten deben ser diseñadas y evaluadas en función del mínimo impacto generado, lo cual implica estudiar mediante modelación las posibles afectaciones en el sistema fluvial.
- Los nuevos anillos de protección que se proyecten en el valle alto del río Cauca se deben diseñar adecuadamente incluyendo las obras requeridas para drenar los flujos de escorrentía e infiltración (canales interceptores, canales de drenaje y estaciones de bombeo).
- Con el fin de mejorar la confiabilidad de la información disponible y, por ende, de los análisis realizados es necesario implementar algunas acciones que permitirán obtener conclusiones más definitivas. A continuación se presentan algunas de las acciones que se requieren.
- Actualmente se tiene incertidumbre en torno a los niveles de los ceros de las miras ubicadas en las estaciones en varios períodos de tiempo. Se requiere, en consecuencia, realizar una investigación en los registros disponibles en la CVC con el fin de establecer las fechas exactas en las que se definieron determinados ceros de mira en las estaciones hidrométricas localizadas sobre el río Cauca.
- Realizar las modelaciones de las crecientes históricas del río Cauca utilizando la topografía del río y de la planicie de inundación existentes en los momentos en que ocurrieron estos eventos podría permitir realizar análisis adicionales a los aquí efectuados a través de los cuales se podrían enriquecer el diagnóstico efectuado. Se recomienda, en consecuencia, tratar de ubicar esta información en los archivos de la CVC y realizar la calibración del modelo matemático para estas condiciones.
- Considerando que como consecuencia de su propia dinámica el río presenta cambios morfológicos en el tiempo en procura de alcanzar su condición de equilibrio, se recomienda realizar simulaciones de crecientes utilizando modelos morfológicos que

calculen los cambios que estos eventos generan en la sección transversal, los cuales a su vez generan cambios en los parámetros hidrodinámicos del cauce.

## **7 BIBLIOGRAFÍA**

CHÁVES, O.A. (2012). Ubicación de diques en los ríos: CVC actualiza normas. Entrevista Revista Procaña.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – INGETEC - INESCO (1975). Proyecto de Regulación del Río Cauca. Informe técnico. Santiago de Cali, Colombia.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA (1985). Salvajina “El Parto de Una Quimera”. Santiago de Cali. Colombia.

CVC - UNIÓN TEMPORAL HIDROTEC LTDA – INTERPROYECTOS LTDA – INGECIENCIAS S.A. (2002). Estudio y Diseño de las Obras para el Control de Inundaciones en el Río Cauca en el Subproyecto Zanjón Tinajas - Río Claro. Contrato CVC No. 0412-00. Informe Final. Santiago de Cali. Colombia.

CVC - UNIÓN TEMPORAL HIDROTEC LTDA – INTERPROYECTOS LTDA – INGECIENCIAS S.A. (2001). Estudio y Diseño de las Obras para el Control de Inundaciones en el Río Cauca en los Subproyectos Río Claro – Canal Navarro. Recopilación y análisis de la información. Santiago de Cali. Colombia.

CVC - AZ INGENIEROS LTDA (2000). CONTRATACION DIRECTA CVC No 111 - 2000. Proyecto de Control de inundaciones de la margen izquierda del Río Cauca en el tramo comprendido entre el río Mediacanoa y la quebrada Chimbilaco. Informe ejecutivo. Santiago de Cali. Colombia.

CVC - UNIÓN TEMPORAL HIDROINGENIERÍA LTDA - GEICOL LTDA (2000a). CONTRATO CVC N° 0050-2000. Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones en los subproyectos río Piedras – zanjón seco , zanjón seco – quebrada coronando, quebrada coronado – río Riofrio, río Riofrio – madrigal, madrigal – zanjón carrizal, zanjón carrizal – Huasanó. Informe Final. Santiago de Cali. Colombia.

CVC - DICONULTORÍA S.A. (2000b). Contrato CVC No 054-00. Estudios y diseños de las obras para el control de inundaciones en el subproyecto Huasanó – río Pescador. Informe Ejecutivo. Santiago de Cali. Colombia.

CVC - UNION TEMPORAL ALVARO J. CHAPARRO & JOSE F. JARAMILLO (2000c) CONTRATO C.V.C No. 0055 - 2.000. Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones Río Pescador - La Peña. Informe Final. Santiago de Cali. Colombia.

CVC – HIDRO-OCCIDENTE LTDA (2001a). Contrato CVC No. 0048 de 2000. Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones causadas por los desbordamientos del río Cauca y sus tributarios en la zona Río desbaratado - Paso del Comercio. Informe Final. Santiago de Cali. Colombia.

CVC – UNIÓN TEMPORAL INTEGRAL S.A. & CONSULTORÍA AMBIENTAL (2000d). Estudio y diseño de obras para el control de inundaciones en el río Cauca tramo Paso de la Torre – Río Zabaletas. Informe Final. Santiago de Cali. Colombia.

CVC - UNIÓN TEMPORAL HIDROMECHANICAS – INESCO – PLANES (2000e) Contrato Público CVC N°. SGA – 415 – 2000. Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones en el subproyecto Río Sonso – Río Tulúa. Resumen Ejecutivo. Santiago de Cali. Colombia.

CVC – HIDRO-OCCIDENTE LTDA. (2000f). Contrato CVC No. 0483 de 2000. Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones causadas por los desbordamientos del río cauca y sus tributarios en la zona entre los Ríos Tuluá y Morales. Informe Final. Santiago de Cali. Colombia.

CVC - HIDRO-OCCIDENTE LTDA. (2001b). Contrato CVC No. 0049 DE 2000. Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones causadas por los desbordamientos del río cauca y sus tributarios en la zona Rio Morales - Acequia Quintana. Informe Final. Santiago de Cali. Colombia.

CVC - Consorcio INCOL S.A. & JUAN M. MUNDO. Contratación Directa CVC No SGA.039.99. Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones en el subproyecto Acequia Quintana – Río Bugalagrande. Informe Final Técnico. Santiago de Cali. Colombia.

CVC - Unión Temporal HIDROMECHANICAS & INESCO (UT). (2000g) Contrato CVC No. 053 del 2000. Estudio y diseño de las obras para el control de inundaciones en el subproyecto Quebrada Honda – Los Micos. Resumen Ejecutivo. Santiago Cali. Colombia.

CVC – Unión temporal INTEGRAL S.A - CONSULTORÍA AMBIENTAL (2001c). Contrato No 0414 de 2000. Estudios y diseños para las obras de control de inundaciones del subproyecto Quebrada Los Micos – Quebrada Aguaspietas. Informe de Reconocimiento. Santiago de Cali. Colombia.

CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (2011a). Diagnóstico del estado actual de los diques de los ríos Palmira-Bolo-Fraile y Guachal. Informe de Diagnóstico. Santiago de Cali. Colombia.

CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (2011b). Diagnóstico del estado actual del dique de la margen izquierda de los ríos Cali, Arroyohondo y Cauca y derecha del río Arroyohondo entre la desembocadura del río Cali y Puerto Isaacs. Informe de Diagnóstico. Santiago de Cali. Colombia.

CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (2011c). Diagnóstico del estado actual de los diques Quebrada Los Micos – Quebrada Aguaspietas. Informe de Diagnóstico. Santiago de Cali. Colombia.

CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (2011d). Diagnóstico del estado actual del dique de la margen izquierda de los ríos Cauca (Margen derecha) y Amaime (Margen Izquierda) entre el Paso La Torre y el río Amaime, Valle del Cauca. Informe de Diagnóstico. Santiago de Cali. Colombia

CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (2011e). Diagnostico del estado actual de los diques del distrito de Aguablanca. Informe de Diagnóstico. Santiago de Cali. Colombia

CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (2011f). Diagnóstico del estado actual de los diques del río Cauca entre las Quebradas La Honda y Los Micos, en el Municipio de La Victoria. Informe de Diagnóstico. Santiago de Cali. Colombia.

CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (2011g). Diagnóstico del estado actual de los jarillones del río cauca sector Domingo Largo – Poblado Campestre, margen derecha, Valle del Cauca. Informe de Diagnóstico. Santiago de Cali. Colombia.

CVC – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (2011h). Diagnóstico del estado actual de los jarillones del río cauca sector Paso del Comercio – Puerto Isaacs. Municipio de Palmira, Valle del Cauca. Santiago de Cali. Colombia.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – UNIVERSIDAD DEL VALLE (2005). Optimización y aplicaciones de los modelos hidrodinámico, sedimentológico y morfológico del río cauca tramo la Balsa– la Virginia. Proyecto de Modelación del Río Cauca - Fase II, Volumen VII. Santiago de Cali, Colombia.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – UNIVERSIDAD DEL VALLE (2006). Levantamiento topográfico de ejes de diques marginales y llanura de inundación del río Cauca tramo Yumbo - Tuluá. Proyecto de Modelación del Río Cauca - Fase III, Volumen II. Santiago de Cali, Colombia.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – UNIVERSIDAD DEL VALLE (2007). El río Cauca en su valle alto. Programa editorial Universidad del Valle. Santiago de Cali. Colombia.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – UNIVERSIDAD DEL VALLE (2009). Modelación Matemática del Sistema Río Cauca - Humedales. Convenio Interadministrativo 0144 de 2008, Volumen V. Santiago de Cali, Colombia.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – UNIVERSIDAD DEL VALLE (2011). Estudio y diseño de las obras de mejoramiento y rehabilitación del dique marginal y de protección de las orillas del río cauca en el distrito de riego Roldanillo - La unión – Toro. Proyecto RUT. Contrato no. 0984 de 2010 CVC - Univalle, Informe Final. Santiago de Cali, Colombia.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA– VALENCIA ESCOBAR Ingeniería & Arquitectura. (2012). Informe de evaluación y ajuste de la propuesta de intervención presentada como soporte para acceder al fondo de recurso de calamidades. Contrato CVC No. 0309 DE 2011. Informe técnico. Santiago de Cali. Colombia.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA– VALENCIA ESCOBAR Ingeniería & Arquitectura. (2012). Áreas afectadas por ola invernal y evaluación de acciones realizadas por CVC. CONTRATO CVC NO 0309 DE 2011. Informe Final. Santiago de Cali. Colombia

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA– ACODAL Seccional Occidente. (2012). Formulación de Acciones de Control y Manejo de Aguas Residuales, Residuos Sólidos y Peligrosos en Cementerios, Cauces de los Ríos y Zonas Industriales, respectivamente; priorizados y con afectación por ola invernal 2010-2011. Contratación Directa No. 614 de 2011. Informe final. Santiago de Cali. Colombia.

CORPORACIÓN OSSO (2012). Contrato de consultoría n° 101 de 2012 celebrado entre el fondo adaptación y corporación observatorio sismológico. Informe de avance n° 2 República de Colombia Ministerio de Hacienda y Crédito Público.

JIMÉNEZ, N. (2005). Elementos históricos y urbanos en la generación de desastres por inundaciones y deslizamientos en Cali, 1950 – 2000. Trabajo de Grado. Universidad del Valle. Santiago de Cali. Colombia.

PERAFÁN, A. (2005) Transformaciones paisajísticas en la zona plana vallecaucana. Revista Historia y Espacio No. 24. Universidad del Valle

SIERRA, J.A. (2002). Adecuación de tierras en el alto valle del río Cauca. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Subdirección de gestión ambiental. Grupo de infraestructura.

SIERRA, J.A. (2008). Embalse de La Salvajina: Inundaciones otra vez. Revista Procaña. Colaboración especial.

YEN, B.C. (1998). Hydraulics and effectiveness of levees for flood control. U.S.- Italy Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts, and Management of Extreme Floods. University of Illinois at Urbana-Champaign, USA.

## **8 ANEXOS**

### **ANEXO 1 FICHAS DAR OLA INVERNAL 2010 - 2011**

ANEXO 1 FICHAS DAR OLA INVERNAL 2010 - 2011

Fallas en el valle alto del río cauca causadas durante la ola invernal 2010 - 2011 (Margen izquierda)

Localización		Descripción de la falla o problema	Posibles causas de la falla o problema	Medidas propuestas de mitigación	Fuente (año)	Fotografía	
Corriente(s)	Municipio						
1	Zanjón El Rosario	Jamundi	Las fuertes lluvias que se presentaron en las primeras horas del 13 de diciembre afectadas 150 viviendas, en la tarde del día 23 de diciembre de 2010, siendo afectados 16 barrios del municipio, aproximadamente damnificados 600 viviendas y a la 6:00 pm del 19 de abril de 2011 en el casco urbano y sus alrededores de Jamundi, colapso la red de alcantarillado y el nivel del zanjón Rosario sobrepasó el tope máximo y en su defecto se desbordó causando inundación en 16 barrios del municipio de Jamundi	Fuertes precipitaciones ocasionan aumento en el nivel en el zanjón, inadecuado Manejo y disposición de residuos sólidos que se depositan en el zanjón, cercanía de viviendas al zanjón. Lo anterior influyó en la capacidad hidráulica del zanjón para caudales altos.	* Disposición de sacos llenos de arena a manera de diques sobre los bordes del zanjón El Rosario para tratar de evitar inundaciones en el casco urbano. * Retiro del material deteriorado del talud que da al zanjón, así como el revestimiento del mismo en enrocado y muros engavionados para protección marginal. * Descolmatación del cauce del zanjón El Rosario para recuperar su capacidad hidráulica.	DAR SUROCCIDENTE (SEPTIEMBRE - 2011)	
2	Río Mediacanoa	Yotoco	El río Mediacanoa amenaza con derrumbar el dique en el recodo de la finca Emaus, amenazando la población que se encuentra en el sector.	Dique sin mantenimiento y sin berma suficiente, inadecuada canalización de aguas lluvias y de escorrentía, además del remanso del río Cauca hacia el río Mediacanoa. Cambio en la desembocadura del río Mediacanoa al Río Cauca a partir del corte de meandro de este último. Desplazamiento hacia el NW de uno de los meandros del río Cauca desde el año 1958 hasta 1999 donde los cauces de los ríos Cauca y Mediacanoa se unen.	* Se definió realizar una descolmatación frente a la curva impactada y sobre la misma realizar un empedrado para protegerla de la socavación. * Efectuar limpieza bermas, retirar ramas y material de depósito sobre la curva en la margen derecha e izquierda. * Efectuar estudio hidráulica fluvial para determinar proceso de movimiento del cauce.	DAR CENTRO SUR (NOVIEMBRE - 2011)	
3	Río Riofrio - Río Lindo	Riofrio	En el barrio Entrerrios, margen derecha del río Lindo, destrucción de un dique en tierra de 190 metros de longitud. Sitio de desembocadura del río Lindo al río Riofrio, margen izquierda se presenta una erosión debido a las crecientes en el dique construido como control de inundación del barrio Entrerrios, en una longitud de 30 metros se ha perdido entre el 60% y 70% de la estructura. Existe una ausencia en la construcción de 15 metros de la estructura del dique, para lograr el empalme al estribo izquierdo del puente sobre el río Riofrio. El debilitamiento de la estructura del dique existente amenaza con producir inundación en varias viviendas del barrio Entre rios del corregimiento de Salónica. Es de anotar que esta construcción fue realizada por la CVC y cuenta con los respectivos diseños.	* Precipitaciones altas que causaron el crecimiento de los ríos Lindo y Riofrio. * Deforestación de las partes altas de las cuencas hidrográficas de los ríos que causaron las inundaciones y erosiones de taludes, generando aumento al arrastre de sedimentos y aceleración del flujo de agua por falta de regulación hídrica por la falta de la cobertura boscosa. * Asentamientos de viviendas en la franja forestal protectora de los cauces de los ríos en mención y las zonas protectoras y amortiguas.	Descolmatación del material de arrastre que se encuentra en el lecho de los dos ríos Lindo y Riofrio, conformación del dique frente al caserío del barrio Entre rios	DAR CENTRO NORTE (NOVIEMBRE - 2010)	
4	Río cauca	Roldanillo	Sobre la vía del dique cerca al Puente Guayabal sitio conocido como el trapiche de guayabal, la creciente del río Cauca generó una rotura del dique en el RUT e inundo distrito.	* Es evidente la invasión con viviendas en la berma izquierda del río Cauca. * Niveles de inundación altos y persistentes durante mucho tiempo. Zonas anegadas por los mismos sitios de llanura de inundación del río Cauca. * Falta de mantenimiento * Hormiga Arriera * Viviendas en la berma del río.	* Efectuar monitoreo y mantenimiento preventivo para detectar problemas * Reubicar las viviendas del lado de la Berma. * Reforzamiento de los diques con materiales impermeables	DAR BRUT (ENERO - 2012)	

**Fallas en el valle alto del río cauca causadas durante la ola invernal 2010 – 2011 (Margen izquierda) (cont.)**

5	Río Cauca	RUT	Aproximadamente unas 3000 Hectáreas de cultivos semestrales, frutales, caña de azúcar, correspondientes a las Veredas y Corregimientos de Isugú, Mandarino, Puerto Quintero, Simón Bolívar, Remolino, Candelaria, San Rafael, Córcega, La Cayetana, El Banco, La Isla, Linderos pertenecientes a los municipios de Roldanillo, La Unión y Toro se encuentra inundado y dado que se encuentra en un terreno natural más bajo que el río Cauca, es imposible que por medios naturales se presente la evacuación de las aguas por lo que se hace necesario la utilización de medios mecánicos, en este caso motobomba para conseguir el drenaje de dichas aguas. Así mismo aproximadamente 300 familias del distrito ASORUT se encuentran reubicadas en planteles educativos, coliseos, y viviendas de familiares por efectos de los altos niveles.	* La inundación se generó por aumento en el caudal del río Cauca en el mes de noviembre, sobrepasando el nivel de los diques. * Manejo inapropiado del dique por su uso para el tránsito vehicular en el área de la corona del dique, así como la presencia de cultivos en la cara seca del dique. Las anteriores causas, indujeron a las inundaciones por rotura del dique del río Cauca a la altura de la Vereda Mandarino, Corregimiento Puerto Quintero, Municipio de Roldanillo y por efectos de drenaje.	Después del día 8 de diciembre de 2010, después de taponar el boquete del río Cauca, se propuso el bombeo de 3000 Hectáreas para drenaje de las aguas en el Distrito de Riego ASORUT en los municipios de Roldanillo, La Unión, Toro.	DAR BRUT (DICIEMBRE - 2010)	
6	Río Roldanillo - Río Rey	Roldanillo	En el sector se presenta gran cantidad de material forestal que ha sido arrastrado por el río con ocasión de las continuas crecientes que ha presentado en esta época, el cual puede llegar a ocasionar represamientos a su paso por el municipio. Igualmente se hace necesario la descolmatación de los puentes, pontones, alcantarillas los cuales se encuentran llenos de sedimentos con la consiguiente pérdida de capacidad hidráulica.	Aumento en el caudal del río Rey en el mes de noviembre producido por crecientes súbitas. Manejo inapropiado del recurso bosque y del suelo, por el cambio de actividades económicas.	Recolección del material forestal que ha quedado disperso en el tramo descrito, aparte del material que en cada creciente arrastra el río.	DAR BRUT (NOVIEMBRE - 2010)	
7	Río Cauca	Roldanillo - Corregimiento de Tierra blanca, Corregimiento de Guayabal, Vereda Simón Bolívar, Pto Quintero sitio conocido como La Bodega, y Corregimiento de Candelaria	Se vive una situación de alerta a lo largo del dique marginal del Río Cauca por cuanto la faja de terreno entre éste y el cauce del río ha sido ocupada por edificaciones para viviendas, dotadas de servicios públicos, y el desarrollo de actividades agropecuarias llegando incluso hasta la misma cresta del dique, las labores para el establecimiento de dichas actividades sumando la incidencia de hormiga arriera, han terminado paulatinamente por deteriorar su estructura.	* Fuertes precipitaciones, la cuales aumentaron el caudal del río Cauca y por ende sus niveles máximos; la presencia de hormiga arriera, la cual induce al flujo a través de las galerías que construyen al interior de la estructura del dique. * Apropiación de la berma entre el dique y la margen izquierda del río Cauca para uso habitacional y labores agropecuarias, el tránsito vehicular sobre la corona del dique y las prácticas inadecuadas de	Realece de 4 tramos de terraplén marginal en la margen izquierda del río Cauca en una longitud de 500 metros en el Corregimiento de Tierra blanca, de 1500 metros en el Corregimiento de Guayabal, Vereda Simón Bolívar; de 500 metros en Pto Quintero sitio conocido como La Bodega, y 1000 metros en el Corregimiento de Candelaria, en una altura promedio de 60 centímetros y con un ancho de corona de 2,0 metros.	DAR BRUT (NOVIEMBRE - 2010)	
8	Q. La Unión	La Unión	En el sector se presenta gran cantidad de material forestal que ha sido arrastrado por el río con ocasión de las continuas crecientes que ha presentado en esta época, el cual puede llegar a ocasionar represamientos a su paso por el municipio. Igualmente se hace necesario la descolmatación de los puentes, pontones, alcantarillas los cuales se encuentran llenos de sedimentos con la consiguiente pérdida de capacidad hidráulica. Inundación de parte del área urbana del municipio de La Unión, en el cual habitan aproximadamente 8000 personas.	Aumento en el caudal de la quebrada La Unión en el mes de noviembre producido por crecientes súbitas. Manejo inapropiado del recurso bosque y del suelo, por el cambio de actividades económicas.	Recolección del material forestal que ha quedado disperso en el tramo descrito, aparte del material que en cada creciente arrastra el río.	DAR BRUT (NOVIEMBRE - 2010)	

**Fallas en el valle alto del río cauca causadas durante la ola invernal 2010 – 2011 (Margen Izquierda) (cont.)**

9	Río Cauca	La Unión	El dique en los tramos en mención, se encuentra muy bajo con respecto al nivel del río con un período de retorno muy bajo para la zona, ocasionando con esto que el río amenaza por pasar por encima del dique, estando en la actualidad a 15 centímetros de la corona del dique. Igualmente esta situación amenaza cincuenta viviendas con una población aproximada de 300 personas. En caso de rotura de este se inundan alrededor de 5000 Has del Distrito de riego ASORUT afectando áreas de cultivos tales como, melón, maíz, caña de azúcar, entre otros.	* La amenaza de inundación se genera por el aumento en el caudal del río cauca en el mes de noviembre * Manejo inapropiado del dique por su uso para el tránsito vehicular en el área de la corona del dique, así como la presencia de cultivos en la cara seca del dique.	Realce de 3 tramos de terraplén marginal en la margen izquierda del río Cauca en una longitud de 1000 metros en el Corregimiento de Córcega, de 1000 metros en el Corregimiento de Linderos y de 500 metros en el Corregimiento del Banco para protección contra inundaciones, en el municipio de La Unión.	DAR BRUT (NOVIEMBRE - 2010)	
10	Río Cauca	Toro - Corregimiento de San Antonio y Bohío sector La Pepa	El dique en el tramo en mención, se encuentra muy bajo con respecto al nivel del río con un período de retorno muy bajo para la zona, ocasionando con esto que por encima del dique está ingresando el río, afectando áreas de cultivos tales como, melón, maíz, caña de azúcar, entre otros. Igualmente esta situación amenaza veinticinco viviendas con una población aproximada de 170 personas. El área afectada corresponde aproximadamente a 1000 has de cultivos transitorios. La inundación de más de 25 viviendas así como La inundación de extensas áreas de cultivos, pérdidas económicas y restricciones para la adecuación de los terrenos para volverlos nuevamente productivos.	* La inundación se genero por el aumento n el caudal del río cauca en el mes de noviembre sobrepasando el nivel de los diques los cuales fueron insuficientes para contener al río Cauca. * Ha ayudado el manejo inapropiado del dique por su uso para el tránsito vehicular en el área de la corona del dique, así como la presencia de cultivos en la cara seca del dique.	Realce de un tramo de terraplén marginal en la margen derecha del río Cauca en una longitud de 3000 metros y una altura promedio de 60 centímetros y con un ancho promedio de 2,0 metros como protección contra inundaciones, en los Corregimiento de San Antonio y Bohío en el municipio de Toro.	DAR BRUT (NOVIEMBRE - 2010)	
11	Río Cauca	Obando - Corregimientos: - Molina, El Pleito y Juan Díaz	El dique en el tramo en mención, se encuentra muy bajo con respecto al nivel del río con un período de retorno muy bajo para la zona, ocasionando con esto que por encima del dique está ingresando el río, afectando áreas de cultivos tales como, melón, maíz, caña de azúcar, entre otros. Igualmente esta situación amenaza veinticinco viviendas con una población aproximada de 170 personas. El área afectada corresponde aproximadamente a 1000 has de cultivos transitorios. La inundación de más de 25 viviendas así como La inundación de extensas áreas de cultivos, pérdidas económicas y restricciones para la adecuación de los terrenos para volverlos nuevamente productivos.	* Aumento en el caudal del río cauca en el mes de noviembre sobrepasando el nivel de los diques los cuales fueron insuficientes para contener al río Cauca. * Manejo inapropiado del dique por su uso para el tránsito vehicular en el área de la corona del dique, así como la presencia de cultivos en la cara seca del dique.	Realce de un tramo de terraplén marginal en la margen derecha del río Cauca en una longitud de 4000 metros y una altura promedio de 60 centímetros y con un ancho promedio de 2,0 metros como protección contra inundaciones, en los Corregimiento de Molina, El Pleito y Juan Díaz en el municipio de Obando	DAR BRUT (NOVIEMBRE - 2010)	
12	Río Cauca	Obando - Puerto Molina	En Puerto Molina se generaron grandes daños especialmente con la inundación de más de 3.000 hectáreas de cultivos.	* Niveles altos del Río Cauca * Hormiga arriera. * Falta de monitoreo y mantenimiento del dique * Viviendas dentro de la berma del río.	* Efectuar monitoreo y mantenimiento de la zona del dique. * No permitir la existencia de viviendas dentro de la berma del río.	DAR BRUT (ENERO - 2012)	

### Fallas en el valle alto del río cauca causadas durante la ola invernal 2010 - 2011 (Margen derecha)

Localización		Descripción de la falla o problema	Posibles causas de la falla o problema	Medidas propuestas de mitigación	Fuente (año)	Fotografía	
Corriente(s)	Municipio						
1	Ríos Palmira, Bolo, Frayle, Zanjon Rozo, Interceptor Norte Palmira y río Guachal	Palmira - Corregimientos de Palmaseca, Obando, la Herradura, Matapalo, Rozo, la torre, la acequia, Guanabanal, Caucaseco, Piles, la Union	Varios ríos, quebradas, zanjones y canales aumentaron sus niveles hasta situaciones críticas, entre ellos, los ríos Palmira, Bolo Frayle, Zanjon Rozo, Interceptor Norte Palmira, Bolo y el río Guachal, lo cual ha ocasionado el desbordamiento de estos y ha inundado cultivos y viviendas y ha puesto en riesgo a la población de los corregimientos y veredas de la zona plana del municipio de Palmira. Se ha presentado el desbordamiento de los ríos citados los cuales ha inundado a los predios vecinos, empresas como la Zona Franca del Pacífico, Avícolas, Restaurantes y ha puesto en riesgo a las poblaciones citadas anteriormente.	Lluvias intensas – fenómeno de la niña. Intervenciones de los lechos de los ríos por arrastre de material particulado y de lodos por las avalanchas presentadas a raíz de las fuertes precipitaciones	* Es necesario iniciar trabajos de descolmatación de los ríos Palmira, Bolo, Frayle, Guachal, Zanjon Rozo e Interceptor Norte Palmira Bolo Frayle.  * Es conveniente mantener en estado de alerta a la comunidad de los corregimientos mencionados y Zona Industrial, con el propósito de prevenir afectación de la misma, por estas causas.	DAR SURORIENTE (DICIEMBRE - 2010)	No hay
2	Río Frayle	Palmira - Corregimiento la Dolores	Varios ríos, quebradas, zanjones y canales aumentaron sus niveles hasta situaciones críticas, entre ellos, los que cruzan el corregimiento de la Dolores – municipio de Palmira. El desbordamiento de aguas del río Frayle por rompimiento del dique de protección sobre la margen izquierda en longitud de 30 metros lineales ha inundado cerca de 600 Has dedicadas al cultivo de caña de azúcar, frutales, hortalizas, ganadería, presentando además riesgo de inundación las poblaciones de la Dolores y Piles en cerca de 3000 personas posiblemente afectadas con infraestructura de servicios públicos y bienes inmuebles.	* Lluvias intensas – fenómeno de la niña. * Debilitamiento de obras de protección contra inundaciones.	* Cierre del dique existente con la tecnología de hincado de pilotes. * Refuerzo del dique por ambas caras con pilotes y sacos o costales entrelazados, además de construcción de espolones. * Rotura y reconstrucción del dique a la altura de Piles para evacuación de aguas residuales. * Retiro del puente que represa flujo sobre el río Guachal mediante técnica de voladura controlada. * Manejo sedimentos sobre la margen derecha del Río Frayle. * Conformación de la corona del dique sobre la margen	DAR SURORIENTE (DICIEMBRE - 2010)	No hay
3	Río Guadalajara	Buga	El sector se localiza a lo largo del cauce del río Guadalajara, frente a la dependencia de la DAR CENTRO SUR del municipio de Buga; el cual presentó colmatación del cauce y socavación del puente. Se observa la socavación del estribo derecho e izquierdo del puente ocasionada por la alta velocidad que adquiere el agua al pasar a través del puente, debido a la reducción de la sección que se ve sometido el río.	* Crecientes torrenciales y alta precipitación. * Aporte de sedimentos y caudales de escorrentía. * Aumento de la sección del río. * El puente restringe el paso del río lo que ocasiona estrangulamiento del cauce, generando inundación.	* Se realizó la descolmatación del cauce del río Guadalajara. * Se recomienda revisar la cimentación del puente.	DAR CENTRO SUR (NOVIEMBRE - 2011)	
4	Acequia El Albergue	Buga	La acequia El albergue es una derivación de agua de río Guadalajara para diferentes usuarios en su recorrido. Esta acequia presentó inundación por colmatación debido a sedimentos de la ladera del piedemonte de la cordillera central que redujeron su capacidad hidráulica y un deslizamiento del talud del cauce al recibir las aguas de escorrentía. En la época de lluvias del mes de noviembre de 2010. Se afectaron tres viviendas localizadas en el sector de Quebrada Secca y amenaza riesgo para las demás viviendas localizadas en el sector ya que el cauce colmatado no es suficiente para la evacuación de los caudales que circulan en época de invierno por el cauce.	* Crecientes torrenciales y alta precipitación. * Aporte de sedimentos y caudales de escorrentías desde la ladera. * El trazado del canal que recoge gran parte de las aguas que escurren desde el piedemonte de la cordillera.	* Se realizó limpieza y descolmatación del cauce El Albergue, quedando con la sección hidráulica reestablecida.	DAR CENTRO SUR (NOVIEMBRE - 2011)	
5	Zanjón Burrigá	San Pedro	El puente Tibet presenta una estrangulación de la sección hidráulica lo que ocasiona que se presenten inundaciones hacia aguas arriba. También presenta un remanso en la zona de entrega de las aguas del zanjón al río Cauca cuando este se encuentra crecido. La suma de estos dos remansos en épocas como la de la pasada Ola Invernal, Noviembre 2010 Marzo 2011, generó la inundación de los predios vecinos. Para el mes de noviembre de 2011 se encontraba en buen estado el flujo por el canal debido a las obras de mantenimiento que se realizaron en el transcurso del año. Además, se observa la reducción de la sección hidráulica y la sedimentación sobre el estribo derecho y material vegetal (empalizada) que queda atravesado al pasar debajo del puente.	Crecientes torrenciales, alta precipitación y deforestación de las cuencas de las quebradas, construcción de obras hidráulicas.	* Efectuar un estudio hidrológico - hidráulico para definir niveles y métodos de control de inundación. * Reubicar el puente Tibet dado que al reducir la sección hidráulica permite sedimentación y colmatación en el tramo el Atravesadero y el Puente Tibet. * Hacer mantenimiento permanente a las bermas y diques del mismo.	DAR CENTRO SUR (DICIEMBRE - 2010)	

**Fallas en el valle alto del río cauca causadas durante la ola invernal 2010 – 2011 (Margen derecha) (cont.)**

6	Zanjón Burrigá	Buga - San Pedro	El Zanjón Burrigá es el principal canal de drenaje del sector y recibe las aguas tanto de drenajes de canales de riego como de los drenajes naturales y quebradas que discurren desde la margen occidental de la cordillera Central, tal es el caso de las quebradas Chambimbal, Presidente, Todos Santos, El Yeso y la Quebrada Artieta, las cuales durante la actual temporada invernal han presentado varias crecientes torrenciales depositando un gran volumen de sedimentos en el cauce del canal colmatando el cauce e impidiendo la evacuación de las aguas con lo cual se encuentran anegadas mas de 600 hectáreas de cultivos de caña de azúcar y se corre el riesgo de que en caso de continuar la temporada de lluvias se pueda presentar la inundación del corregimiento de San Jose, municipio de San Pedro.	* Crecientes torrenciales y alta precipitación. * Deforestación de las cuencas de las quebradas, construcción de obras hidráulicas.	Se debe realizar de manera perentoria la descolmatación de la totalidad del cauce del zanjón Burrigá, tomando como prioridad el tramo comprendido entre la abscisa K7+996 y la abscisa K9+990, las actividades deberán estar ligadas a un seguimiento topográfico con el fin de garantizar las condiciones de pendiente del cauce y la estabilidad de los niveles de la ciénaga del Conchal la cual esta ligada a este canal.	DAR CENTRO SUR (DICIEMBRE - 2010)	 <p>Colmatación del cauce</p>
7	Río Tuluá, Morales y Cauca	Tuluá - Corregimiento de Bocas de Tuluá	Situación ambiental localizada en los predios La Rañela, La Guajira, La Julia y El Nilo. Inundación de 740 Has aproximadamente de las cuales 500 están en cultivo de caña de azúcar, 40 en cultivos agrícolas (maíz, plátanos, maracuyá y cacao), y 200 en praderas, también se encuentran afectadas por inundación 20 viviendas. Ingreso de lodos a través del cauce del río Cauca, debido a las crecientes de los ríos Tuluá, Morales y el Cauca que sobrepasando los diques de protección, situación que acelera los niveles de sedimentación en el ecosistema estratégico del humedal Bocas de Tuluá, afectando el hábitat y la biodiversidad, también, los pescadores riverños que habitan contiguos al humedal, están afectados por la inundación en varias de sus viviendas.	Las precipitaciones altas que causaron desbordamientos de los ríos Tuluá, Morales y el río Cauca, la deforestación de las partes altas de las cuencas hidrográficas de los ríos mencionados y los asentamientos de viviendas en la franja forestal protectora de los cauces de los ríos en mención y las zonas protectoras y amortiguadoras del humedal.	Se recomienda la reconstrucción del dique de protección entre el humedal Bocas de Tuluá y los ríos Morales, Tuluá y el río Cauca. Para disminuir la afectación inmediata de la inundación, se recomienda hacer esta construcción temporalmente en bolsas de polipropileno con un revestimiento de tierra compactada.	DAR CENTRO NORTE (NOVIEMBRE - 2010)	
8	Río Bugalagrande	Bugalagrande - Zona urbana de Bugalagrande (sector Plaza Vieja) Corregimiento El Guayabo (sector Caramanta)	En el sector de Lourdes se presentó una erosión severa del talud de la margen derecha del río Bugalagrande, causado por recientes crecientes del río, situación que dejo como consecuencia la inundación de 400 Has. Aproximadamente, de las cuales 100 están en cultivo de caña de azúcar, 70 en cultivos agrícolas y 30 en pastos. En el Sector Caramanta hubo incremento del nivel de agua y la disminución de la sección hidráulica del río Cauca por la construcción de diques para la ampliación del área agrícola, esta sobrepasando la cota corona del jarillón existente, con un posible rompimiento lo que ocasionaría la afectación a cultivos de cacao, cítricos y caña de azúcar y algunas viviendas	* Precipitaciones altas que causaron el crecimiento de río Bugalagrande y el crecimiento y desbordamiento del río Cauca. * Deforestación de las partes altas de las cuencas hidrográficas de los ríos que causaron las inundaciones y erosiones de taludes, generando aumento al arrastre de sedimentos y aceleración del flujo de agua por falta de regulación hídrica por la falta de la cobertura boscosa. * Asentamientos de viviendas en la franja forestal protectora de los cauces de los ríos en mención y el	Para el sector de Lourdes, realizar obras de construcción de un muro de concreto reforzado para la protección de las viviendas. Para disminuir la amenaza inminente, se recomienda la construcción de un dique sobre la margen derecha del río Bugalagrande, en estopas de polipropileno, compactadas con tierra que sirvan como muro de contención provisional. Para el sector Caramanta, realce temporal con bolsas de polipropileno, compactadas con tierra que sirvan como muro de contención provisional del dique existente localizado entre el río cauca y los cultivos.	DAR CENTRO NORTE (NOVIEMBRE - 2010)	
9	Río La Paila	Zarzal - Puente de la doble calzada y el puente de la vereda Cumba, corregimiento de La Paila	En el sector se presenta gran cantidad de material forestal que ha sido arrastrado por el río con ocasión de las continuas crecientes que ha presentado en esta época, el cual puede llegar a ocasionar represamientos a su paso por el corregimiento, ya que estos se acumulan en el puente del ferrocarril, impidiendo el flujo normal de sus aguas.	* Aumento en el caudal del río La Paila en el mes de noviembre. * Manejo inapropiado del recurso bosque y del suelo, por el cambio de actividades económicas.	Recolección del material forestal que ha quedado disperso en el tramo descrito, aparte del material que en cada creciente arrastra el río.	DAR BRUT (NOVIEMBRE - 2010)	
10	Q. las Cañas	Zarzal - tramo comprendido entre el puente de la vía que comunica al Corregimiento de Vallejuelo con la Vía Panamericana y 1 kilómetro aguas arriba, corregimiento de Vallejuelo	En el sector se presenta gran cantidad de material forestal que ha sido arrastrado por el río con ocasión de las continuas crecientes que ha presentado en esta época, el cual puede llegar a ocasionar represamientos a su paso por el corregimiento, ya que estos se acumulan en el puente del ferrocarril, impidiendo el flujo normal de sus aguas.	Aumento en el caudal de la Quebrada Las Cañas en el mes de noviembre. Manejo inapropiado del recurso bosque y del suelo, por el cambio de actividades económicas.	Recolección del material forestal que ha quedado disperso en el tramo descrito, aparte del material que en cada creciente arrastra el río.	DAR BRUT (NOVIEMBRE - 2010)	

**Fallas en el valle alto del río cauca causadas durante la ola invernal 2010 – 2011 (Margen derecha) (cont.)**

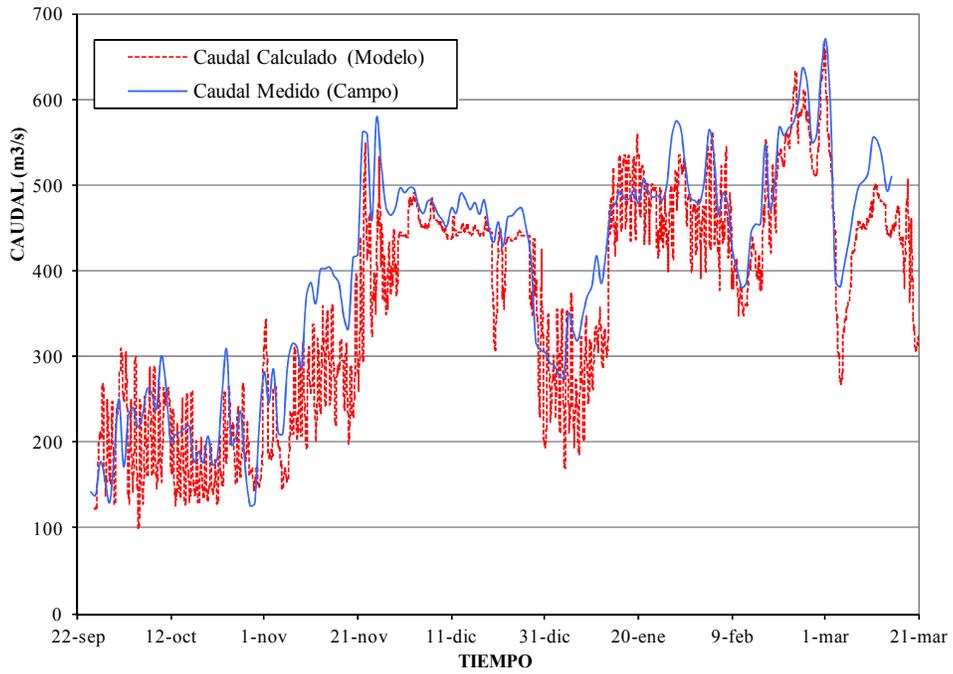
11	Río Cauca	Zarzal - Vereda El Vergel	El dique en el tramo en mención, se encuentra muy bajo con respecto al nivel del río con un período de retorno muy bajo para la zona, ocasionando con esto que con los niveles actuales del río Cauca se presente una amenaza sobre extensas áreas de cultivos tales como, melón, maíz, caña de azúcar, entre otros. Igualmente esta situación amenaza veinticinco viviendas con una población aproximada de 170 personas. El área amenazada corresponde aproximadamente a 1000 has de cultivos transitorios. La amenaza de inundación de más de 20 viviendas así como La amenaza de inundación de unas 1000 Hectáreas de extensas áreas de cultivos, pérdidas económicas y restricciones para la adecuación de los terrenos para volverlos nuevamente productivos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Aumento en el caudal del río cauca en el mes de noviembre</li> <li>* Manejo inapropiado del dique por su uso para el tránsito vehicular en el área de la corona del dique, así como la presencia de cultivos en la cara seca del dique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La amenaza de inundación de más de 20 viviendas así como La amenaza de inundación de unas 1000 Hectáreas de extensas áreas de cultivos, pérdidas económicas y restricciones para la adecuación de los terrenos para volverlos nuevamente productivos</li> </ul>	DAR BRUT (NOVIEMBRE - 2010)	
12	Río Cauca	La Victoria	Zona que fue inundada por ruptura del dique margen derecha. Durante la ola invernal los diques fueron sobre elevados con costales pero el agua de la creciente pasó a través del box culvert e ingresó por las cámaras de alcantarillado al barrio acabándolo de inundar	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Niveles altos y persistentes del río Cauca.</li> <li>* Hormigueros.</li> <li>* Falta de planeación para evitar construcciones tan cercanas al río.</li> <li>* Falta de mantenimiento diques.</li> <li>* Sitio muy cercano al río, zona de berma del mismo.</li> <li>Viviendas sobre la misma franja.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Control de monitoreo preventivo dique.</li> <li>* Efectuar planeación reglamentaria para evitar infraestructura cercana a la berma del río.</li> <li>* Elevación de las cajas de inspección por parte de Acuavalle.</li> </ul>	DAR BRUT (ENERO - 2012)	 Realce de protección
13	Río Cauca	La Victoria - Corregimiento de San Pedro	El dique en el tramo en mención, se encuentra muy bajo con respecto al nivel del río con un período de retorno muy bajo para la zona, ocasionando con esto que por encima del dique está ingresando el río, afectando áreas de cultivos tales como, melón, maíz, caña de azúcar, entre otros. Igualmente esta situación inundó veinticinco viviendas con una población aproximada de 170 personas. El área afectada corresponde aproximadamente a 1000 has de cultivos transitorios, y sus aguas por topografía del terreno ingresan al casco urbano del municipio de La Victoria inundando unas 500 viviendas aproximadamente con alrededor de 3000 personas ubicadas en la actualidad en albergues temporales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Aumento en el caudal del río cauca en el mes de noviembre sobrepasando el nivel de los diques los cuales fueron insuficientes para contener al río Cauca.</li> <li>* Manejo inapropiado del dique por su uso para el tránsito vehicular en el área de la corona del dique, así como la presencia de cultivos en la cara seca del dique.</li> </ul>	Realce de un tramo de terraplén marginal en la margen derecha del río Cauca en una longitud de 1000 metros como protección contra inundaciones, en el Corregimiento de San Pedro, en el municipio de La Victoria	DAR BRUT (NOVIEMBRE - 2010)	 La Victoria
14	Río Cauca	Zona rural del municipio de Cartago - Corregimientos de Cauca y El Guanábano, Barrio Guayabal.	Inundaciones en los sectores mencionados dado que se encuentran en un terreno natural más bajo que el río Cauca, es imposible que por medios naturales se presente la evacuación de las aguas, las cuales han dejado sin techo por el momento a unas 100 familias, y causado pérdidas económicas representadas en las cosechas, áreas de pastoreo, enseres y muebles de las personas afectadas, al igual que las restricciones para la adecuación de los terrenos para volverlos nuevamente productivos. En el área rural como consecuencia del represamiento de las aguas, se ha incrementado los olores nauseabundos, poniendo en riesgo la salud de la población, especialmente la infantil.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* La inundación se genero por el aumento en el caudal del río cauca en el mes de noviembre sobrepasando el nivel de los diques los cuales fueron insuficientes para contener el río Cauca.</li> <li>* El manejo inapropiado del dique por su uso para el tránsito vehicular en el área de la corona del dique, así como la presencia de cultivos en la cara seca del dique.</li> </ul>	Bombeo de 2.300 Hectáreas para drenaje de las aguas en el área rural del municipio de Cartago, Corregimientos de Cauca y El Guanábano; y en el barrio Guayabito del perímetro urbano, con una profundidad promedio de 0.7 metros	DAR NORTE (DICIEMBRE - 2010)	 Zona inundada
15	Quebrada Cementerio	Argelia	La quebrada Cementerio bordea el casco urbano del municipio de Argelia desde la Estación de servicio ubicada a la entrada por el sector La Marina hasta la desembocadura a la quebrada Paraíso Verde en el sector del matadero municipal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Las constantes lluvias en el sector genero el arrastre de sedimentos al cauce de la quebrada, los cuales son depositados en el fondo y lo van colmatando.</li> <li>* El Cambio del uso del suelo y la explotación del mismo en actividades pecuarias hace que los suelos queden expuestos a la inclemencia de las lluvias.</li> </ul>	Retiro material de arrastre	DAR NORTE (DICIEMBRE - 2010)	No hay

**ANEXO 2    MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LOS  
SITIOS Y LAS CAUSAS DE LAS INUNDACIONES  
OCURRIDAS EN EL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA  
DURANTE LA OLA INVERNAL 2010-2011**

**ANEXO 3 FIGURAS 5.5 A 5.82 (CAPÍTULO 5:  
MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL RÍO CAUCA EN  
EL TRAMO LA Balsa – LA VIRGINIA)**

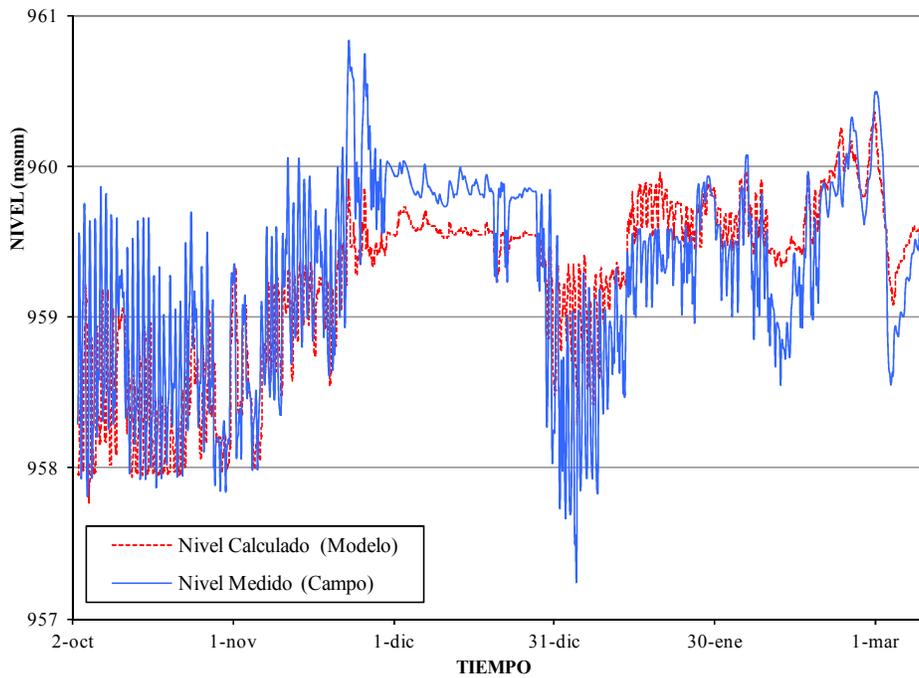
**FIGURA 5.5 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO**  
Estación: La Bolsa Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

**Caudal Calculado vs Caudal Medido**



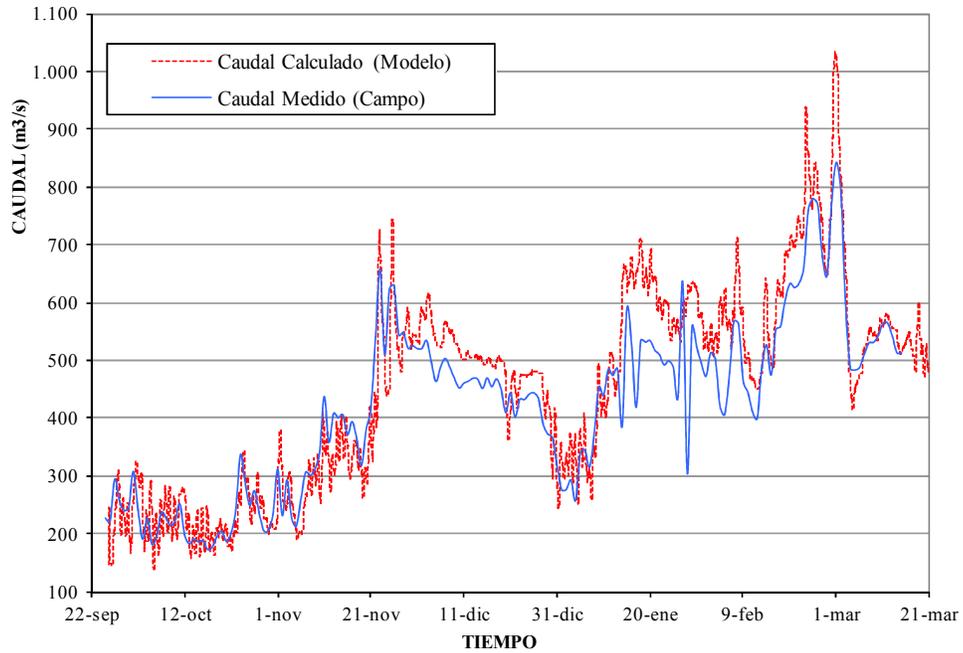
**FIGURA 5.6 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO (Cont.)**  
Estación: La Bolsa Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

**Nivel de Agua Calculado Vs Nivel de Agua Medido**



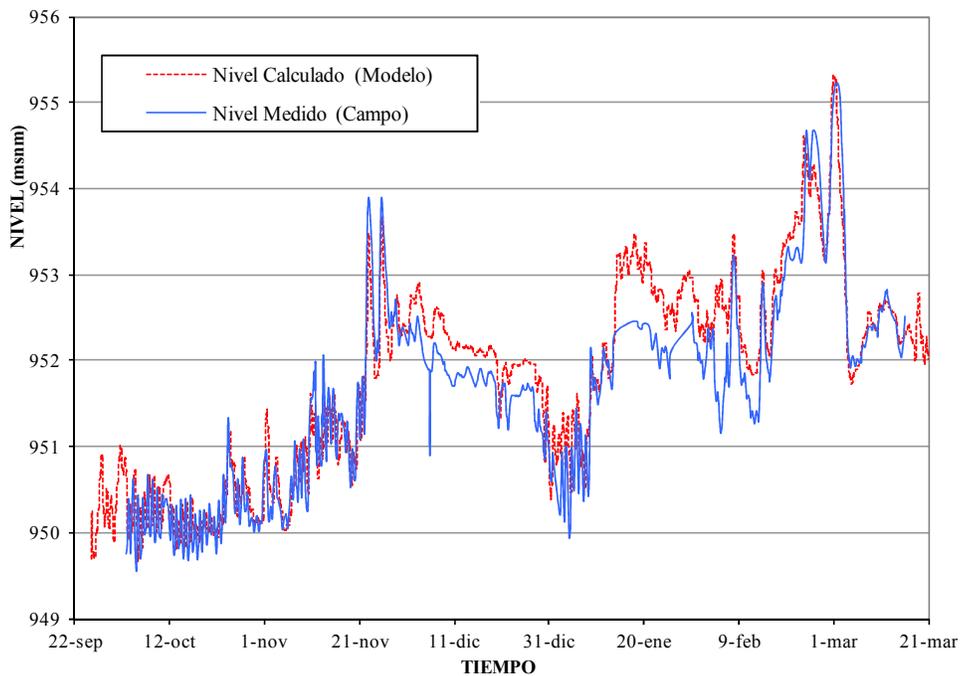
**FIGURA 5.7 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRIDINÁMICO**  
Estación: Hormiguero Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

**Caudal Calculado vs Caudal Medido**



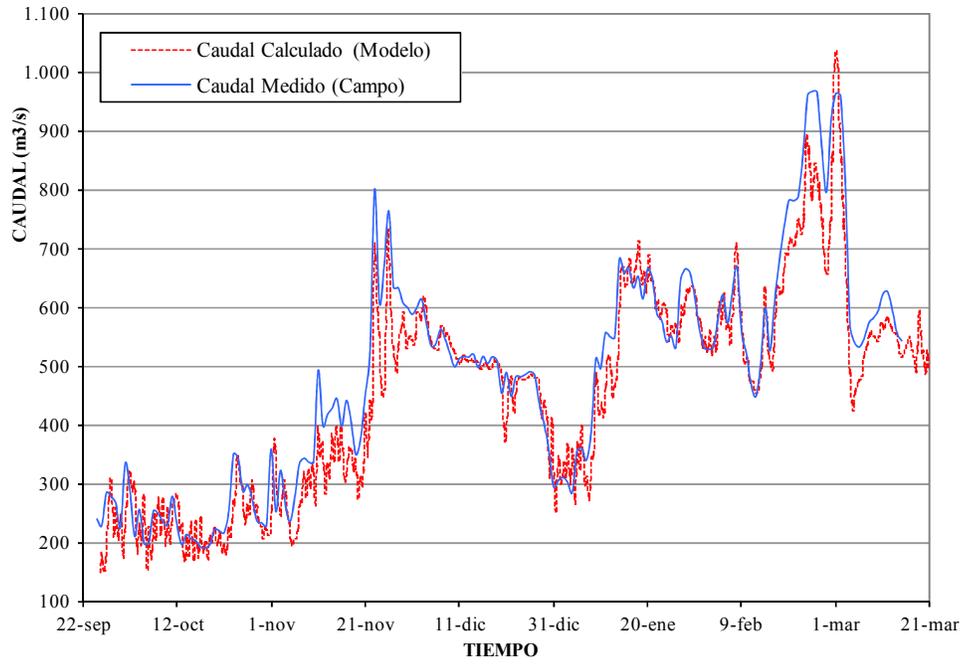
**FIGURA 5.8 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRIDINÁMICO (Cont.)**  
Estación: Hormiguero Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

**Nivel de Agua Calculado Vs Nivel de Agua Medido**



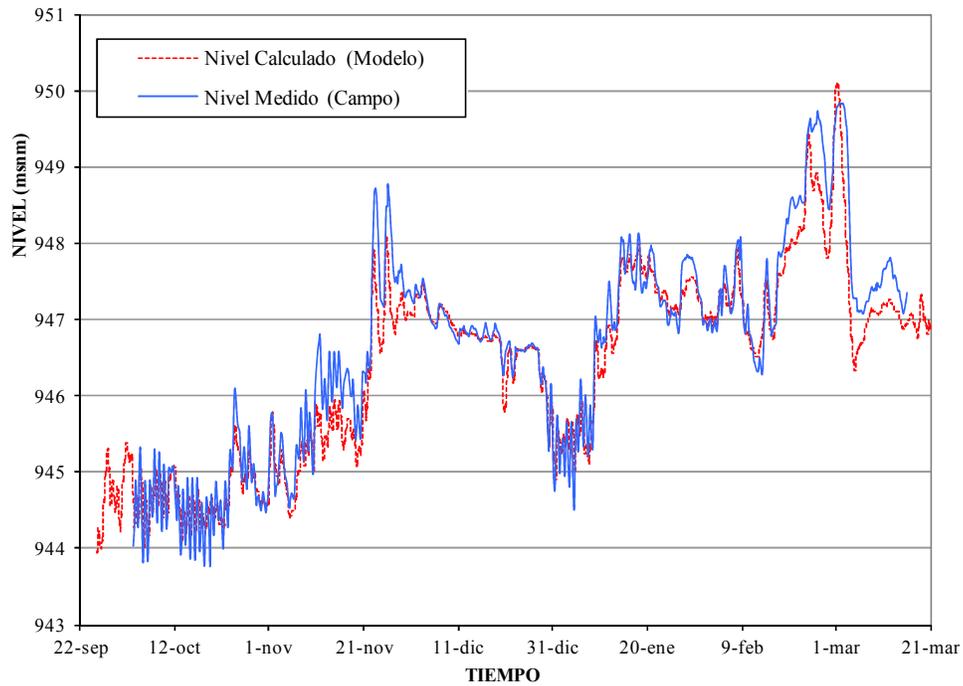
**FIGURA 5.9 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO**  
Estación: Juanchito Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

**Caudal Calculado vs Caudal Medido**



**FIGURA 5.10 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO (Cont.)**  
Estación: Juanchito Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

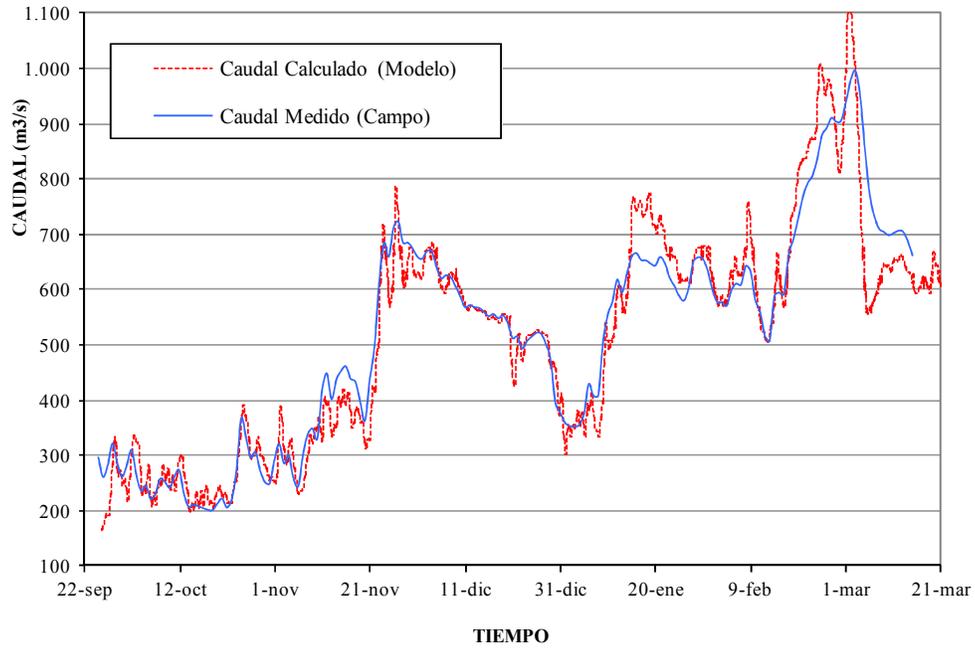
**Nivel de Agua Calculado Vs Nivel de Agua Medido**



**FIGURA 5.11 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO**

Estación: Mediacanoa Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

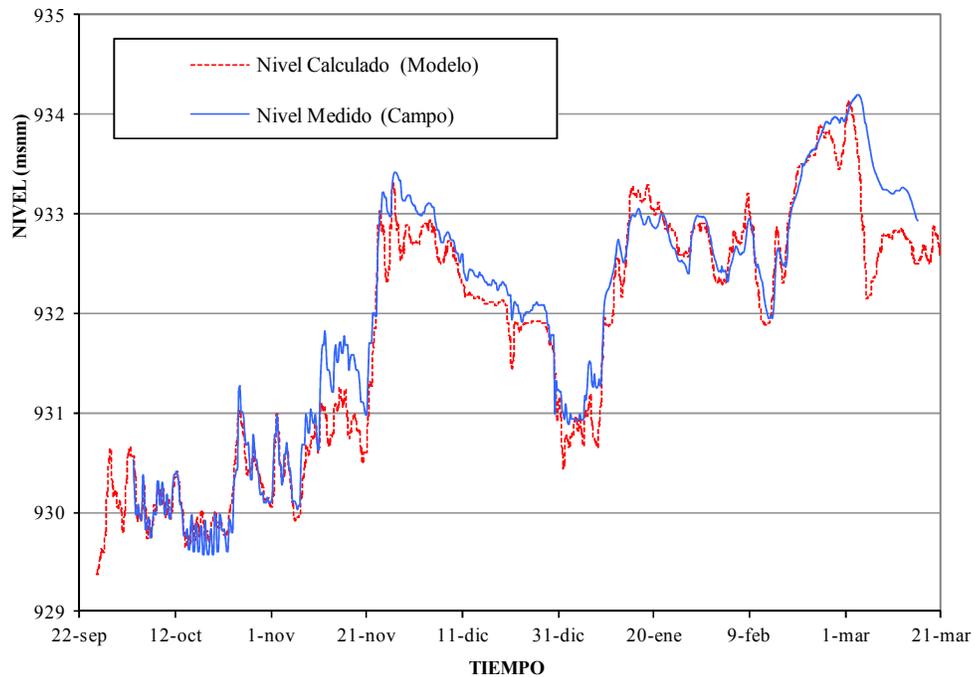
**Caudal Calculado vs Caudal Medido**



**FIGURA 5.12 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO (Cont.)**

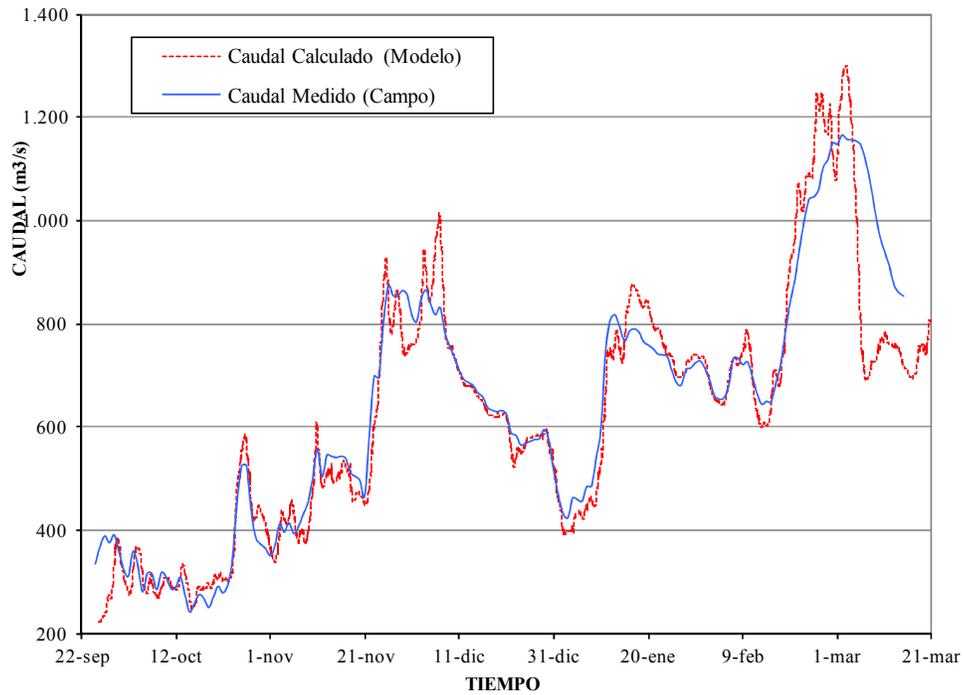
Estación: Mediacanoa Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

**Nivel de Agua Calculado Vs Nivel de Agua Medido**



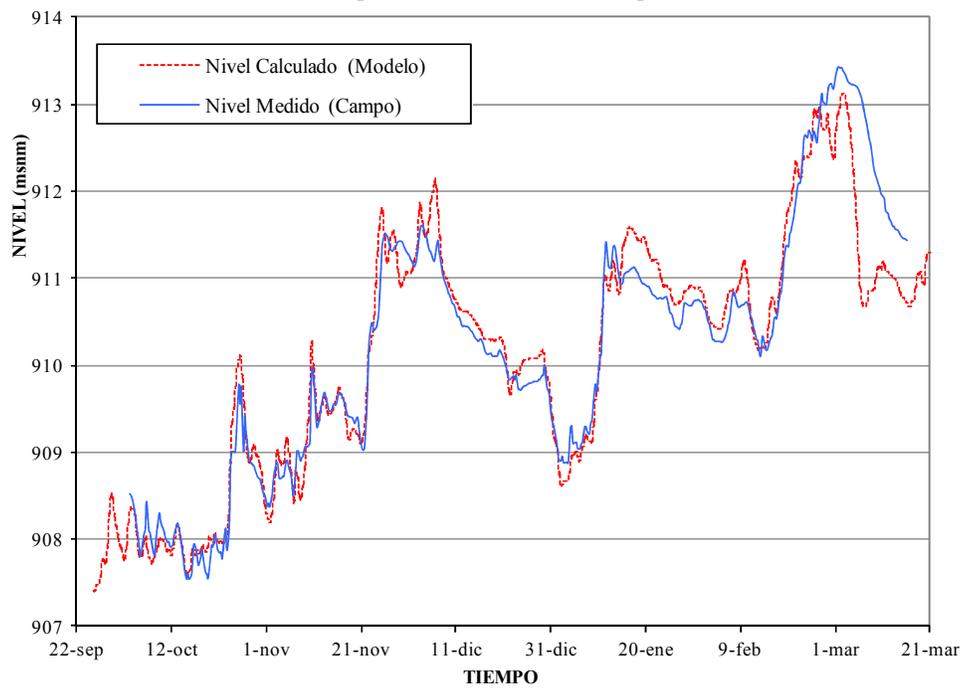
**FIGURA 5.13 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO**  
Estación: Guayabal Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

**Caudal Calculado vs Caudal Medido**



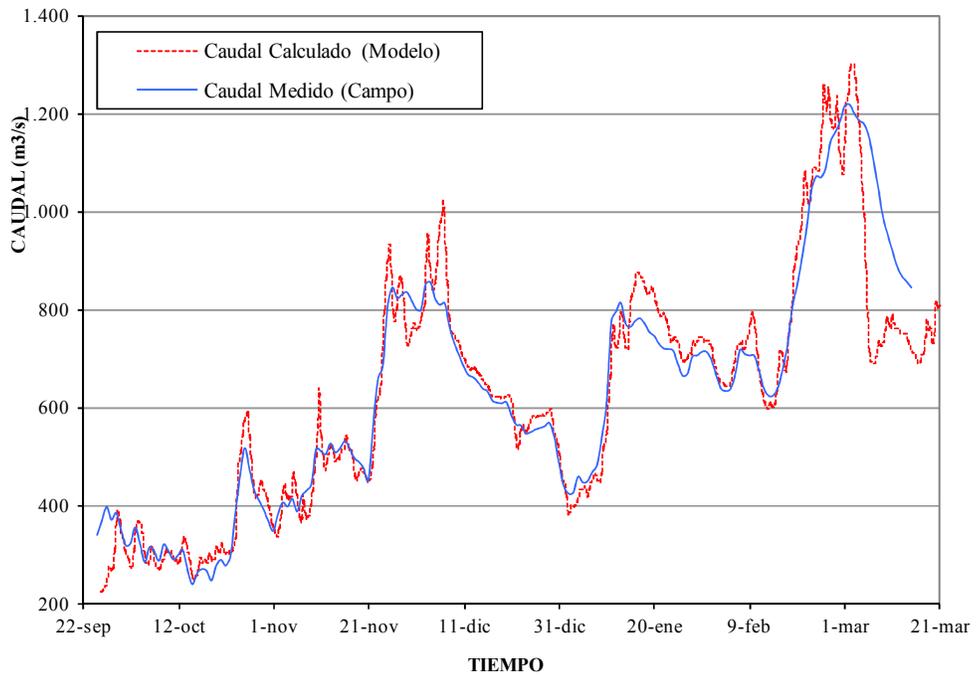
**FIGURA 5.14 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO (Cont.)**  
Estación: Guayabal Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

**Nivel de Agua Calculado Vs Nivel de Agua Medido**



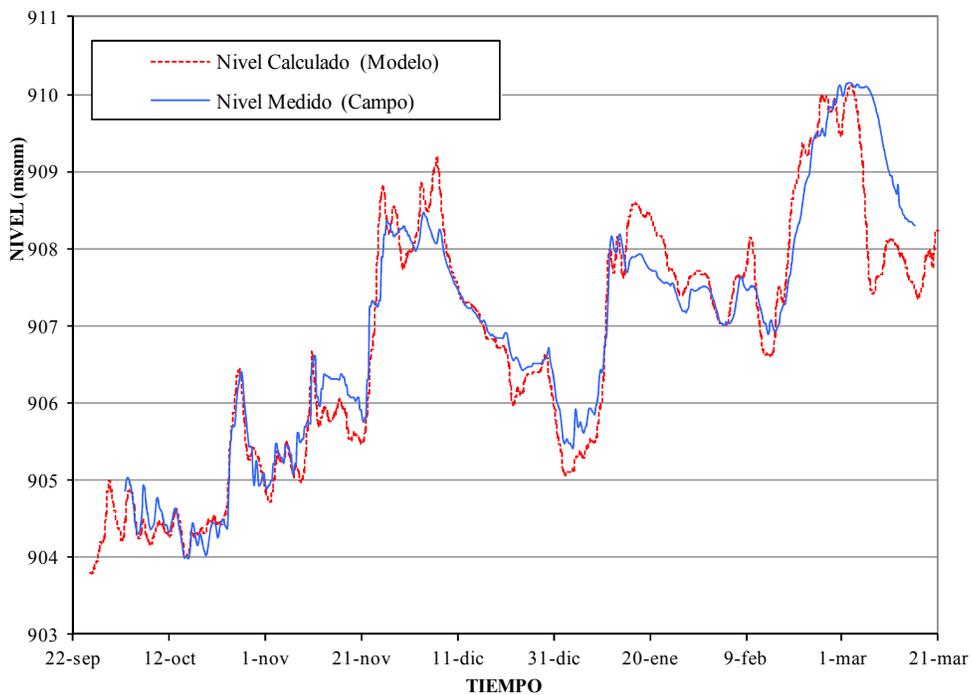
**FIGURA 5.15 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO**  
Estación: La Victoria Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

**Caudal Calculado vs Caudal Medido**



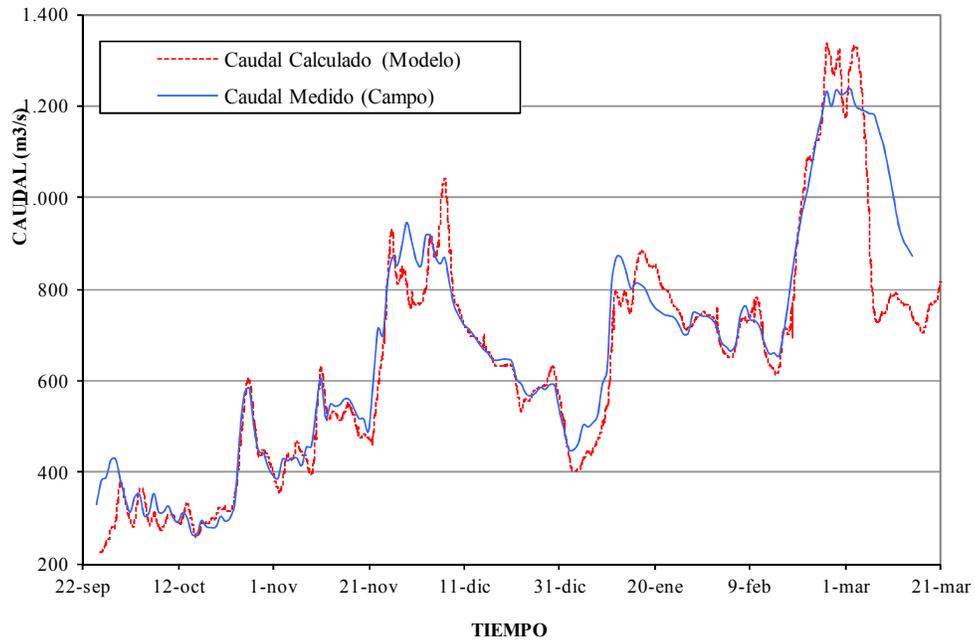
**FIGURA 5.16 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO (Cont.)**  
Estación: La Bolsa Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

**Nivel de Agua Calculado Vs Nivel de Agua Medido**



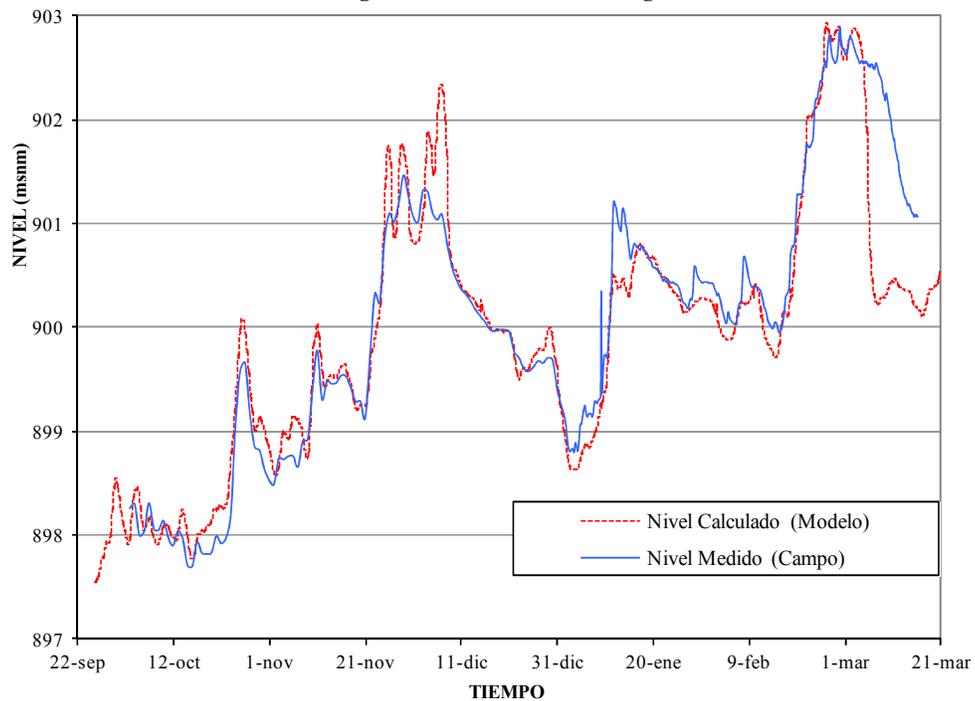
**FIGURA 5.17 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO**  
Estación: Anacaro Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

**Caudal Calculado vs Caudal Medido**

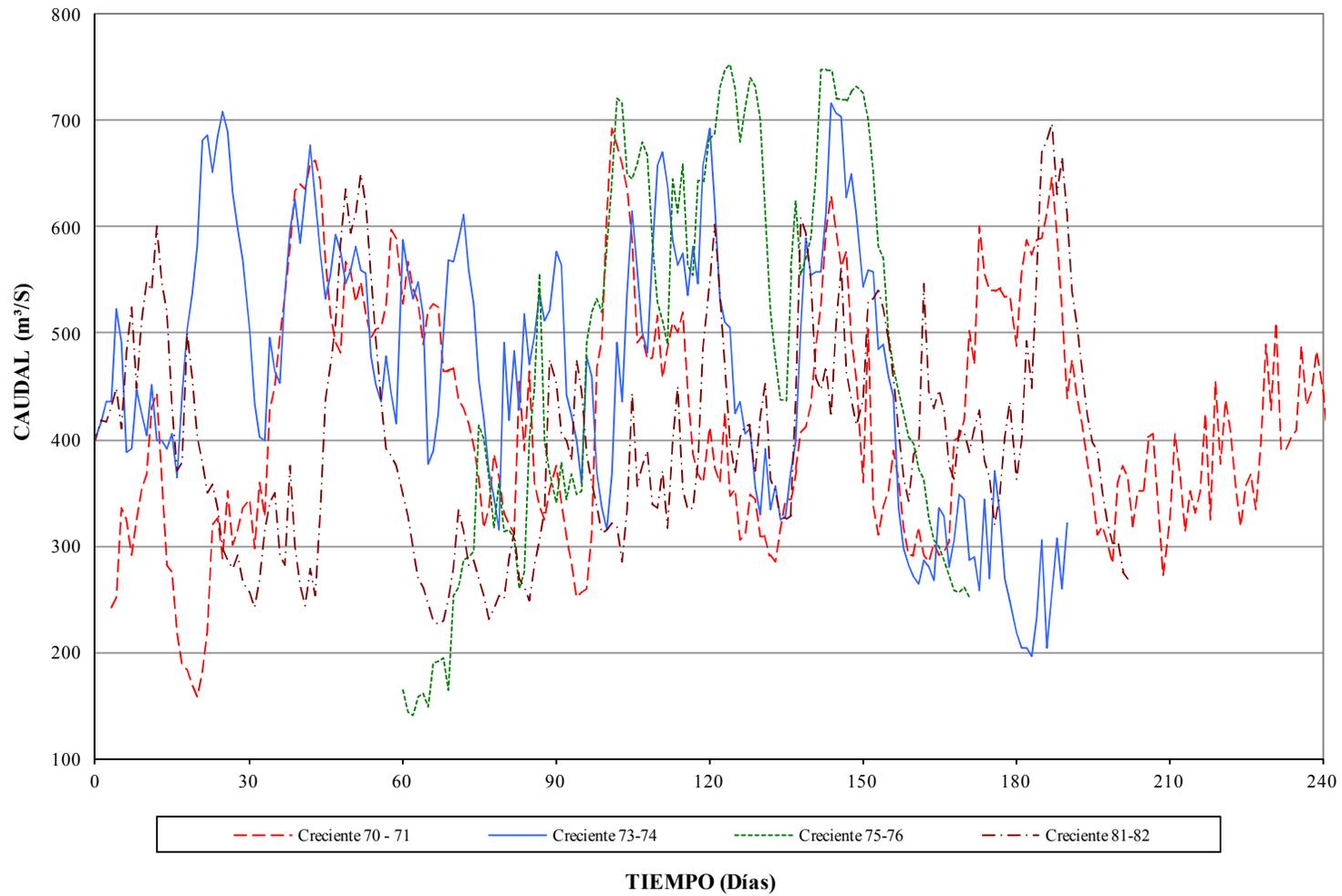


**FIGURA 5.18 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO (Cont.)**  
Estación: La Bolsa Período: Octubre 1998 - Marzo 1999

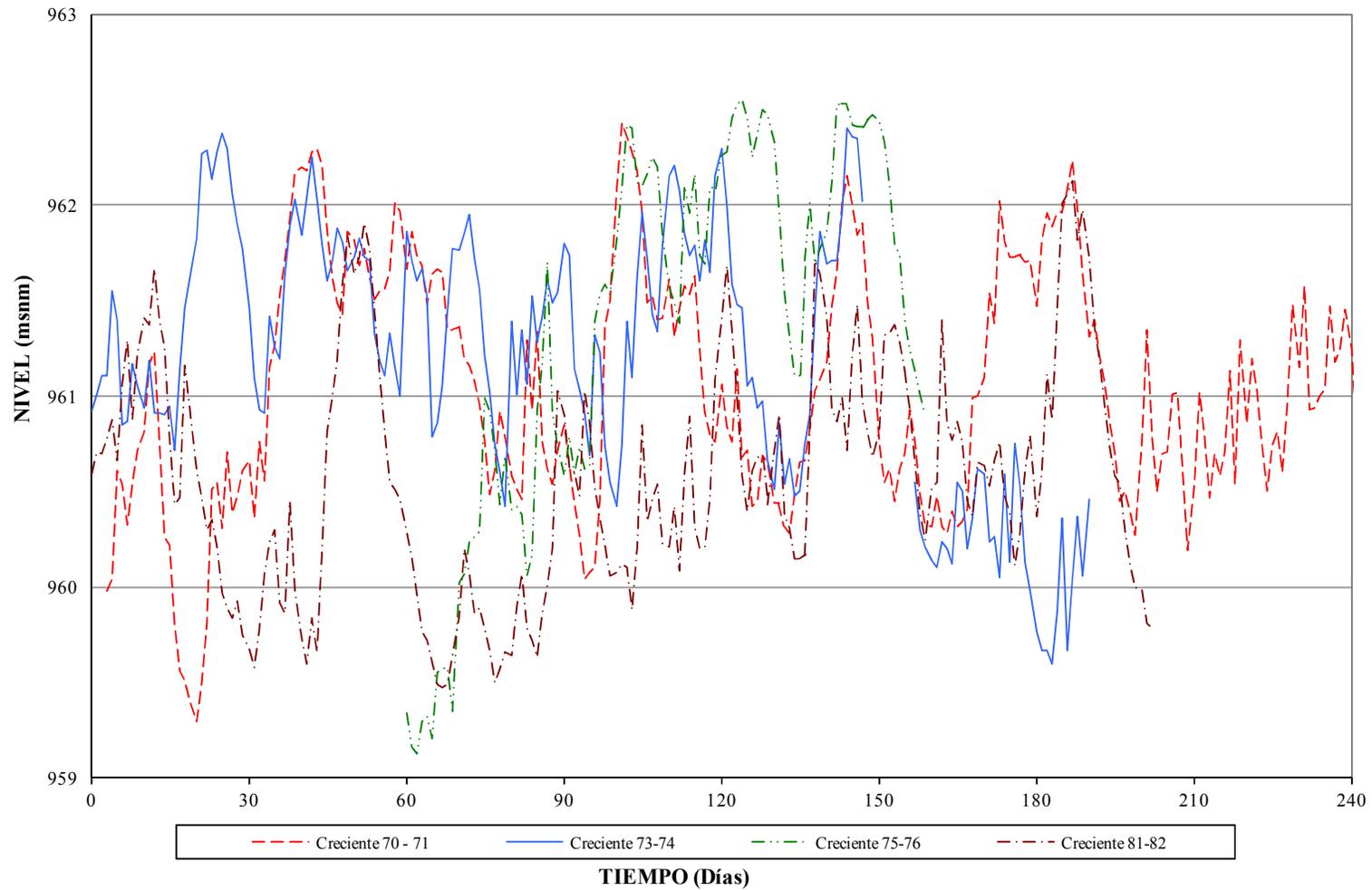
**Nivel de Agua Calculado Vs Nivel de Agua Medido**



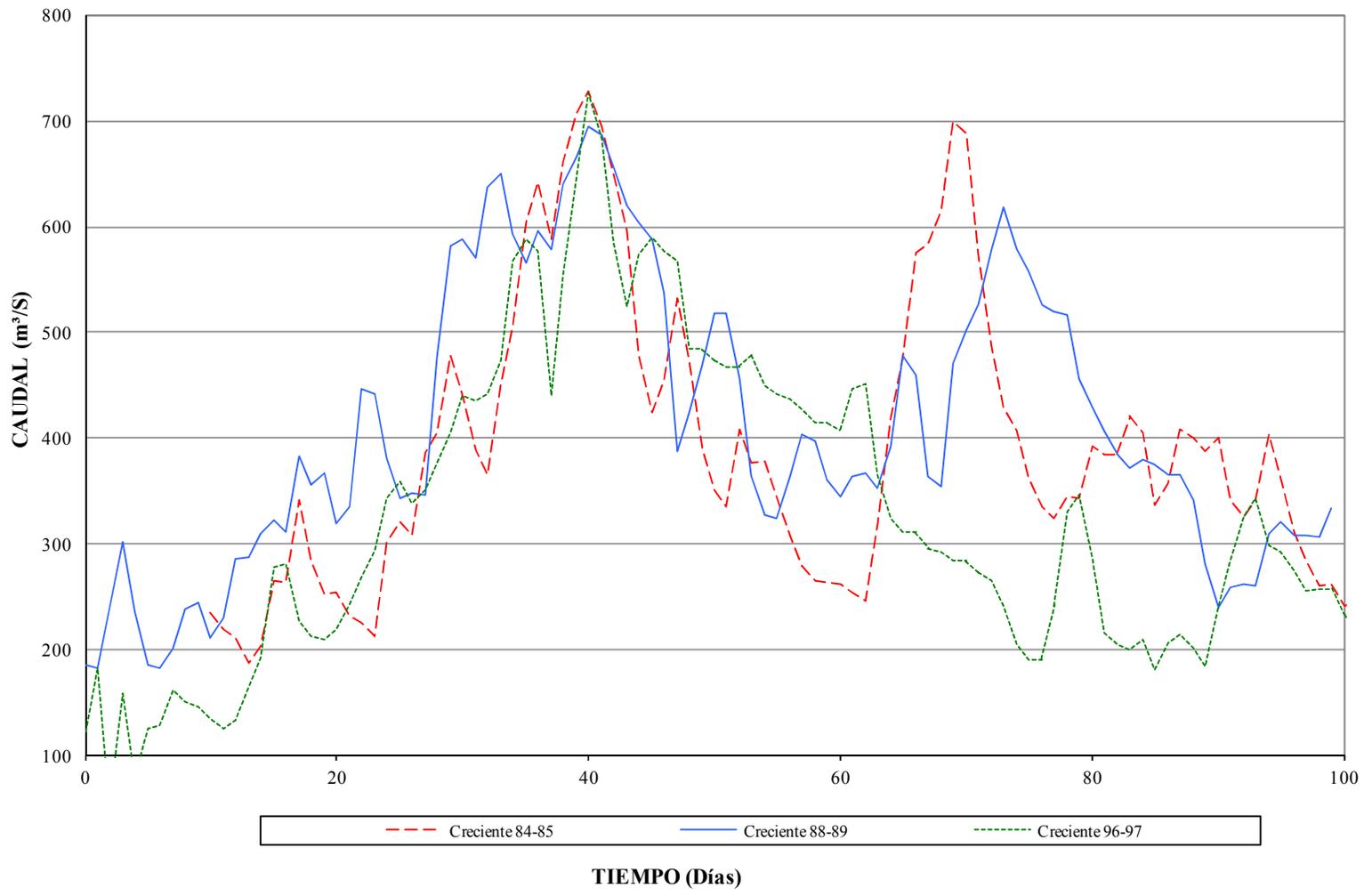
**FIGURA 5.19 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1982 ESTACION: LA BOLSA**



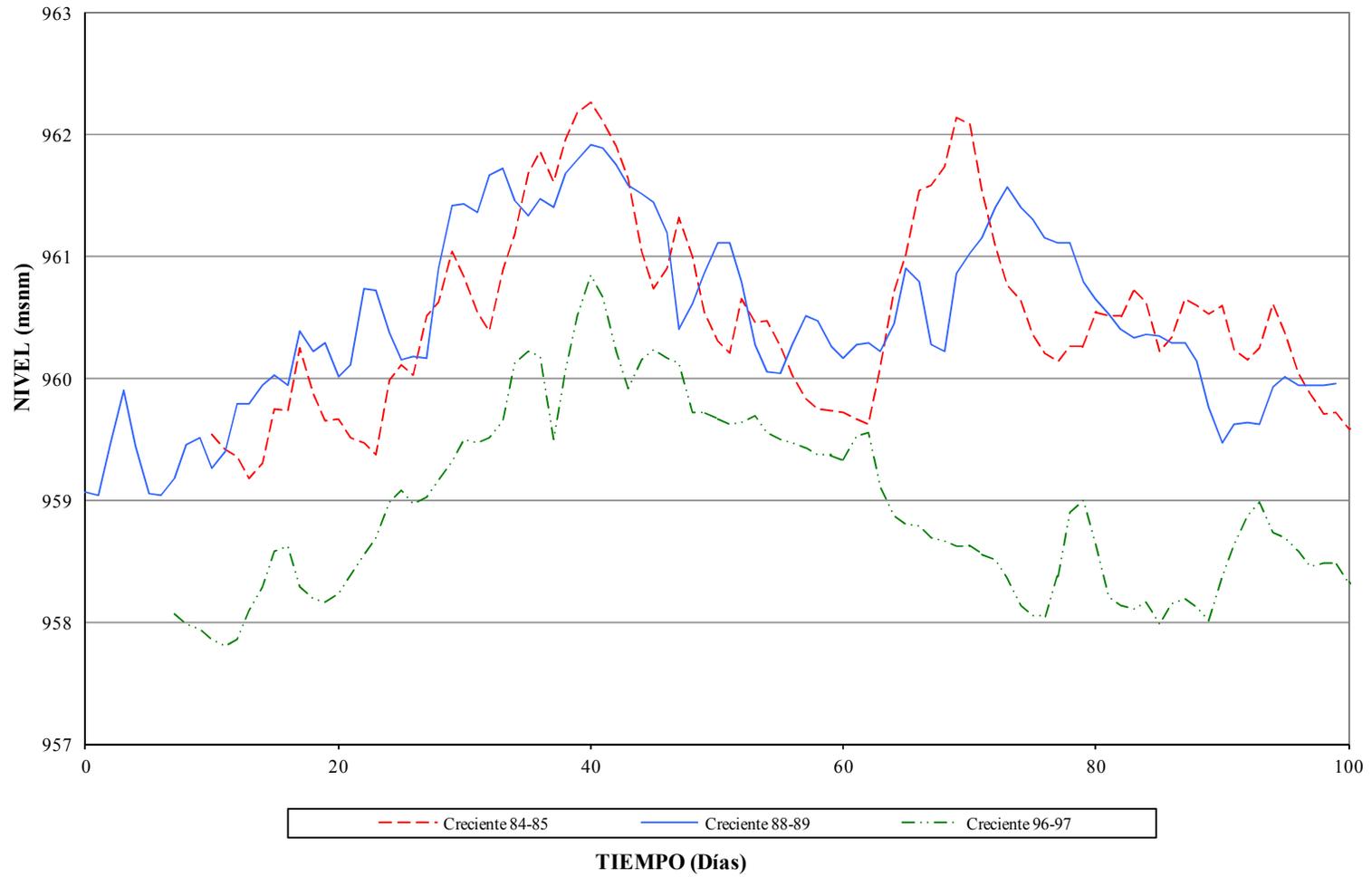
**FIGURA 5.20 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1982 ESTACION: LA BOLSA**



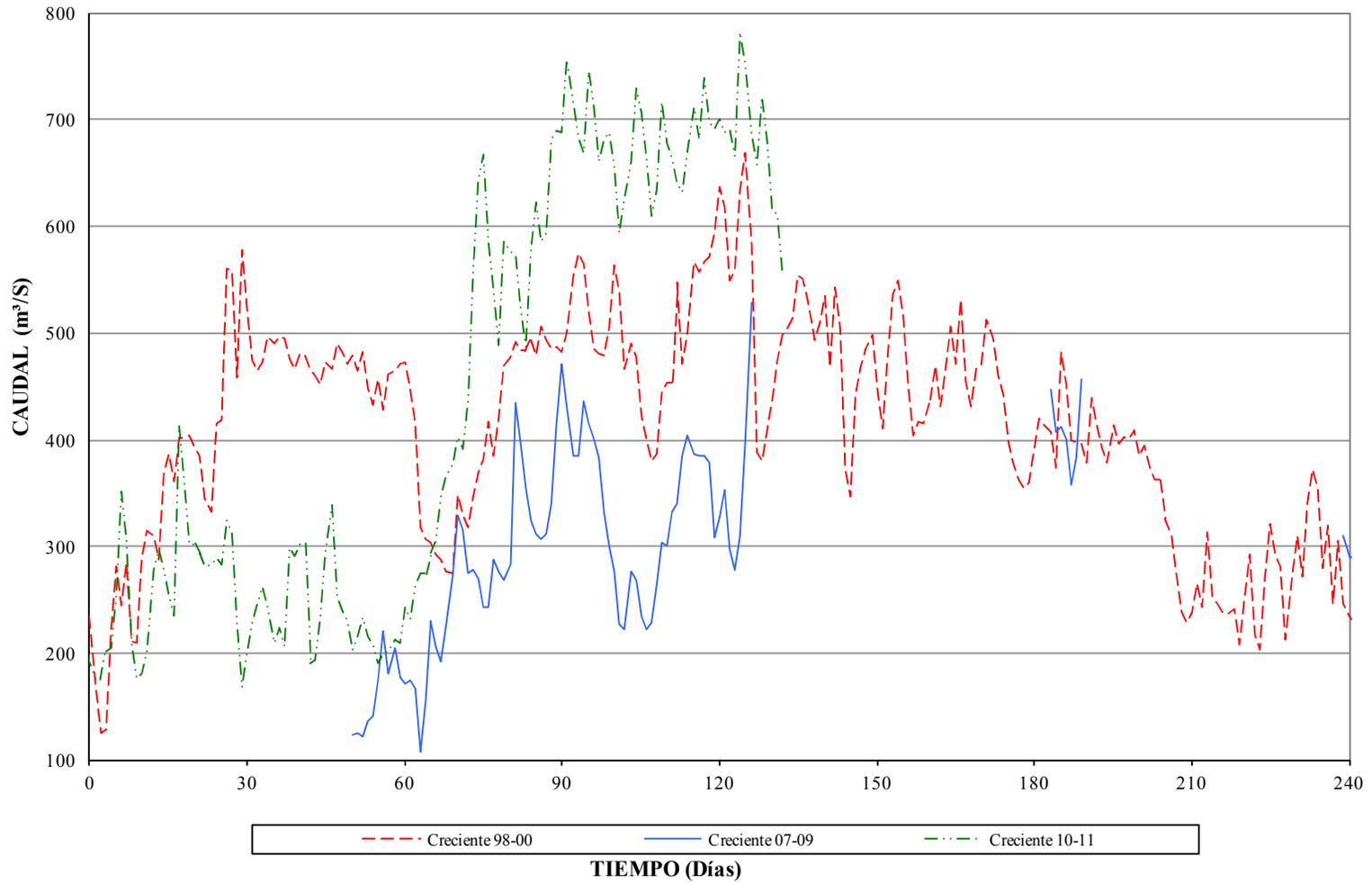
**FIGURA 5.21 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1984 Y 1997 ESTACION: LA BOLSA**



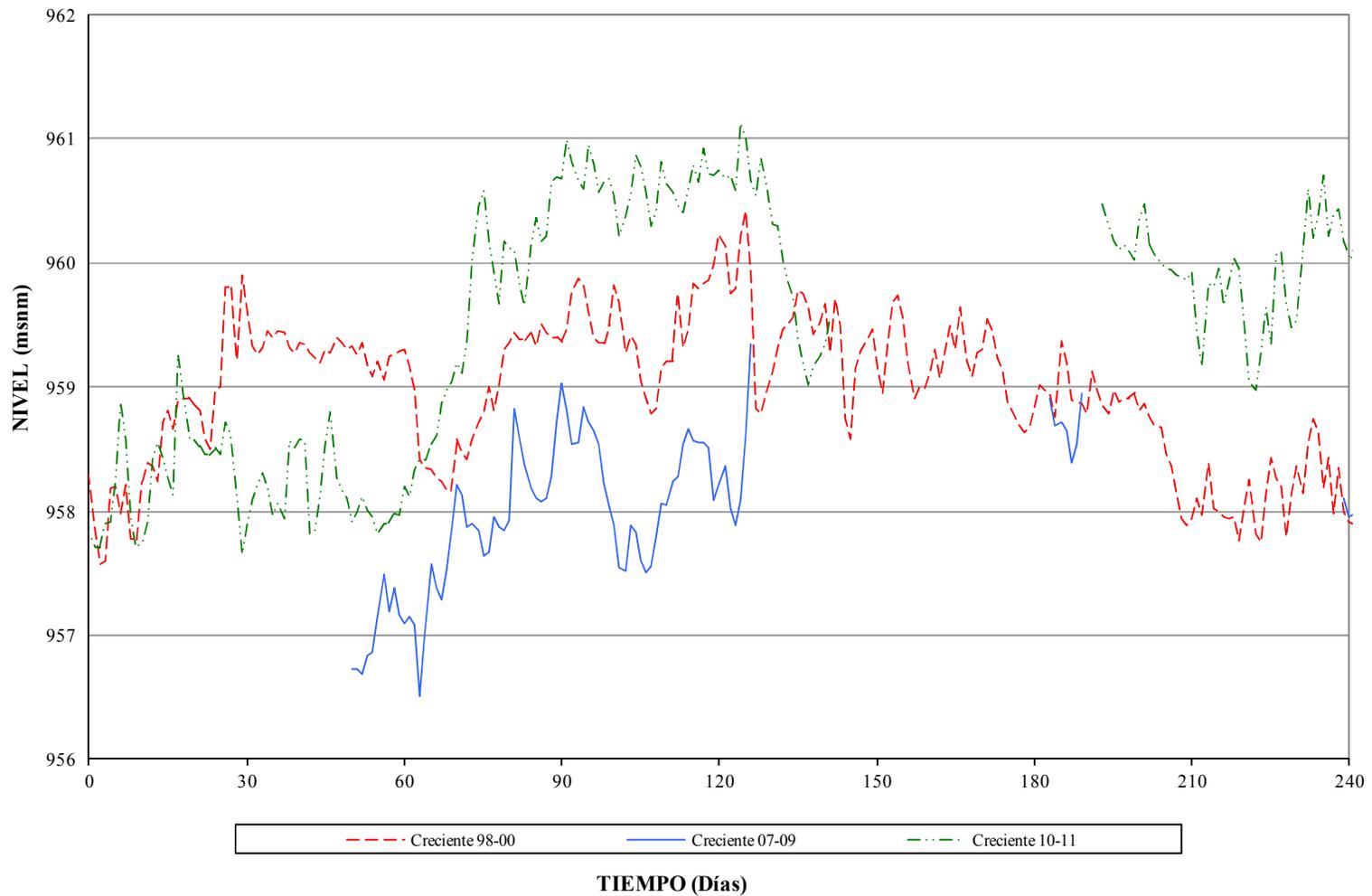
**FIGURA 5.22 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1984 Y 1997 ESTACION: LA BOLSA**



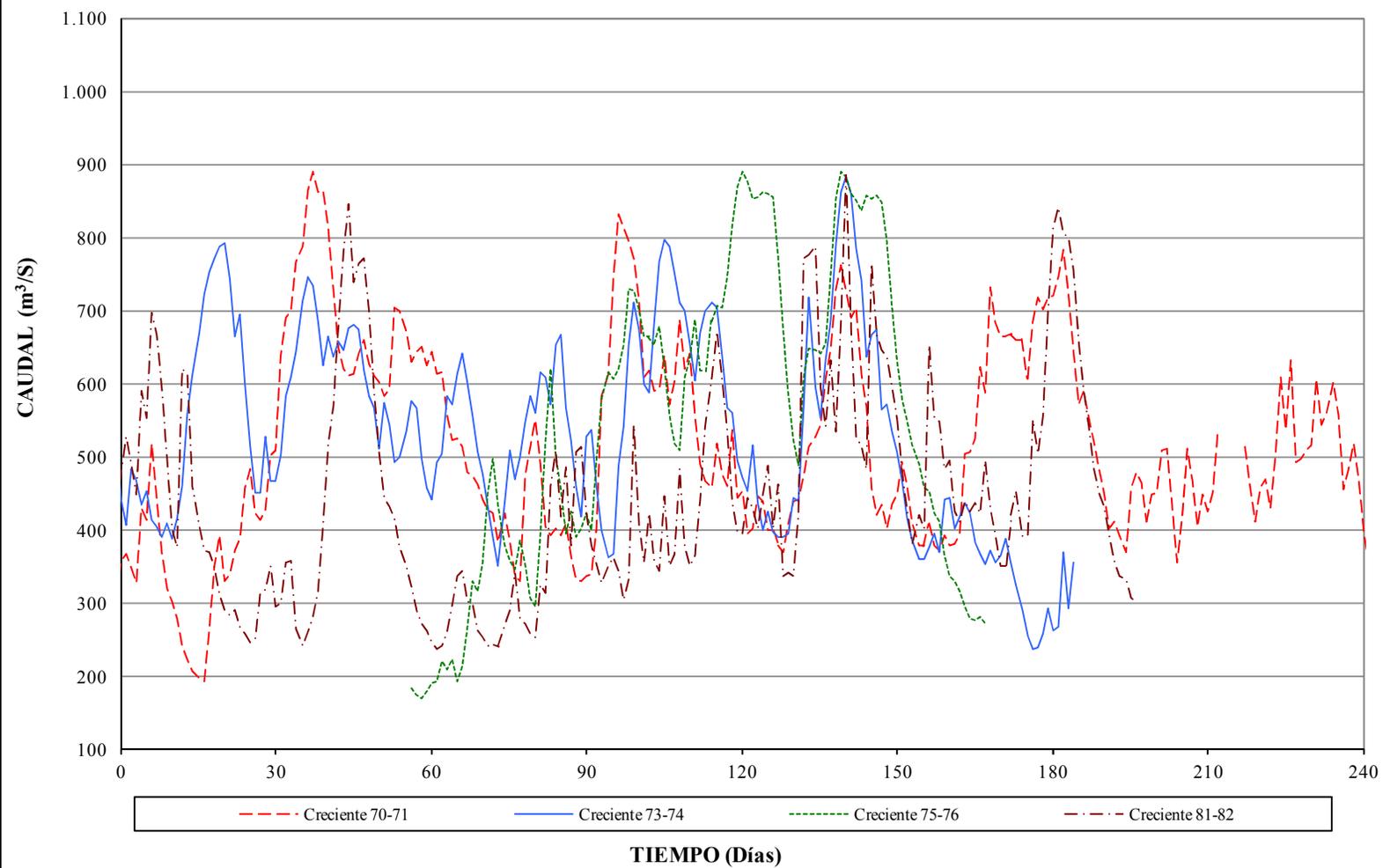
**FIGURA 5.23 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1998 Y 2011 ESTACION: LA BOLSA**



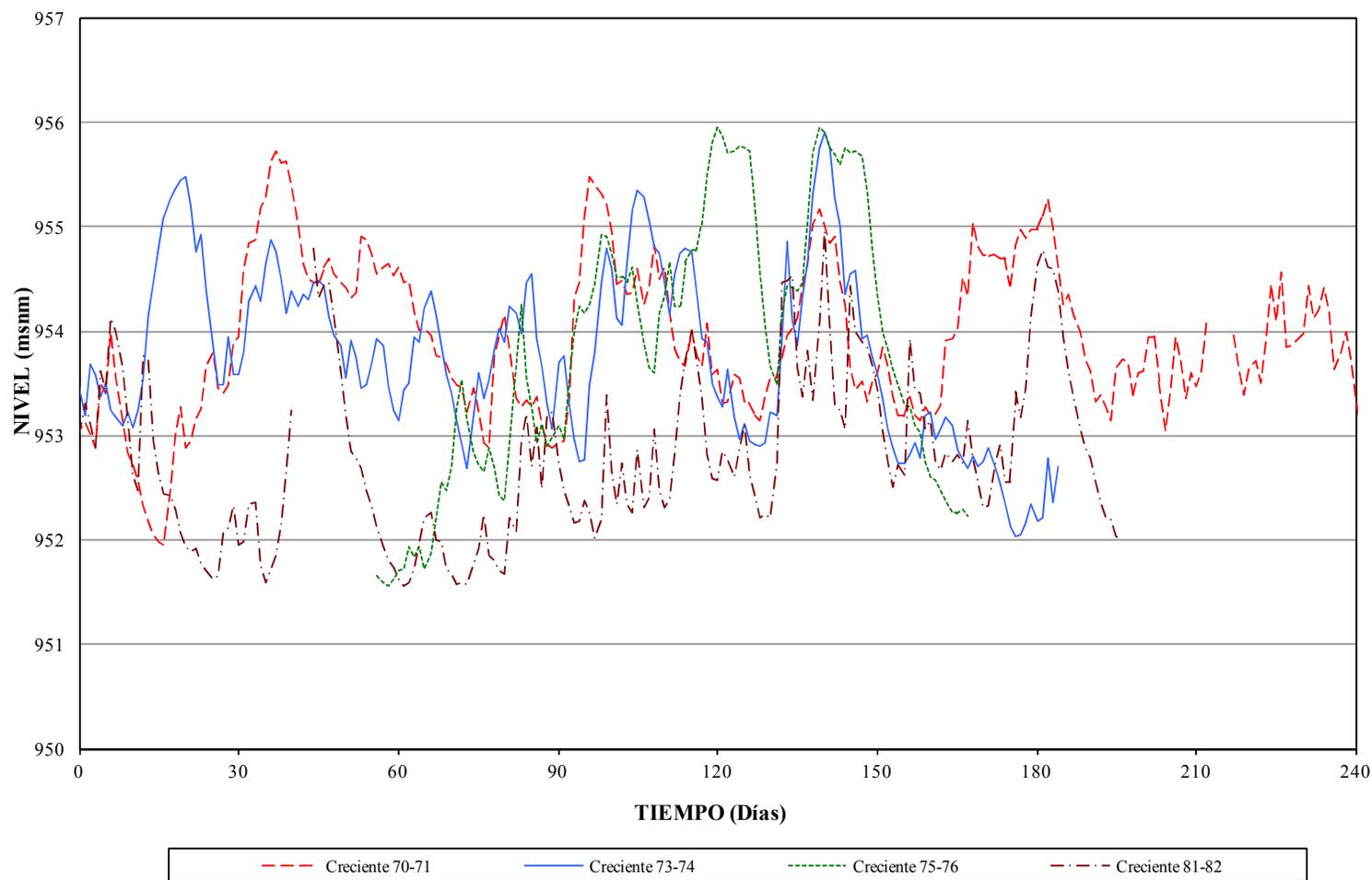
**FIGURA 5.24 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1998 Y 2011  
ESTACION: LA BOLSA**



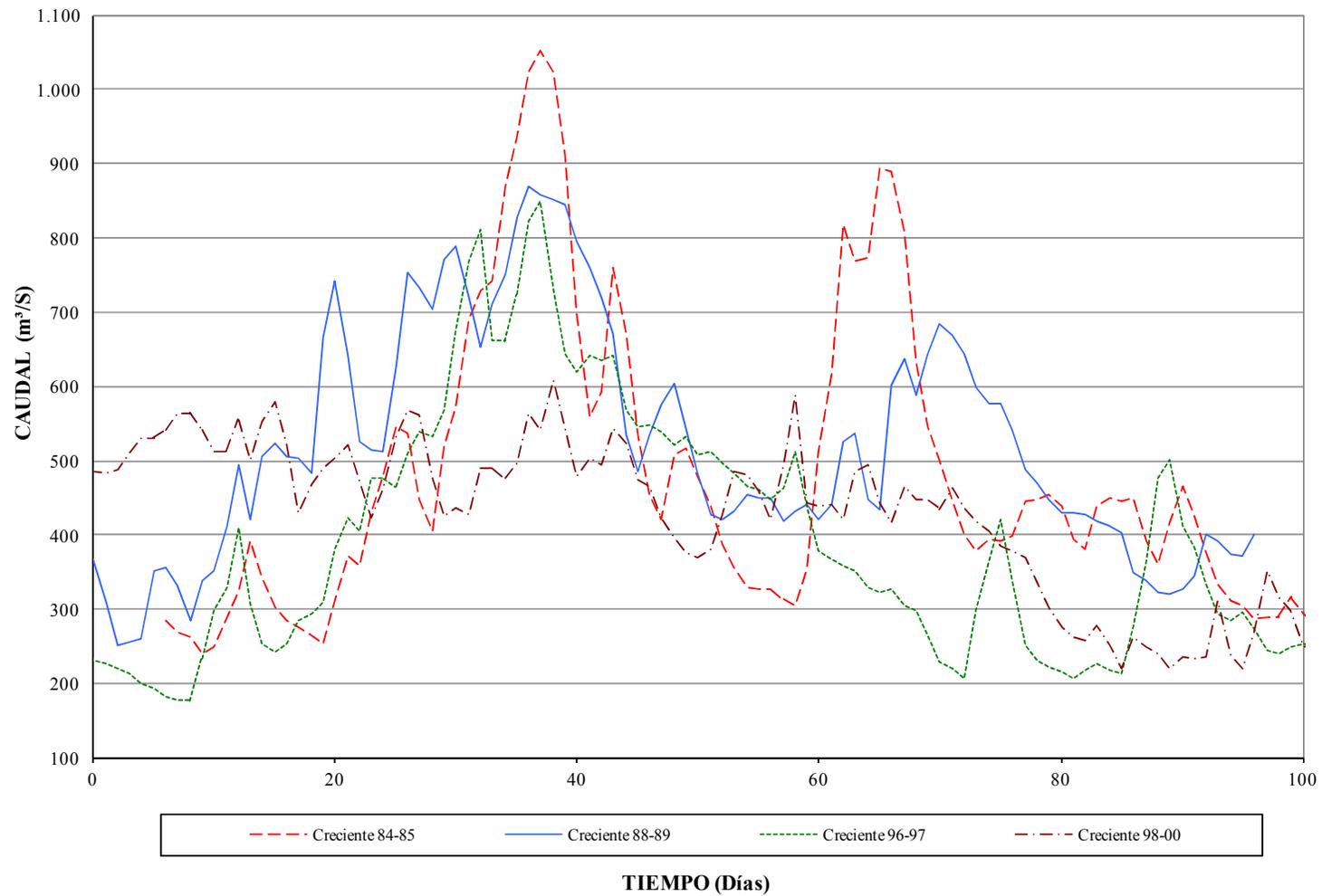
**FIGURA 5.25 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1982 ESTACION: HORMIGUERO**



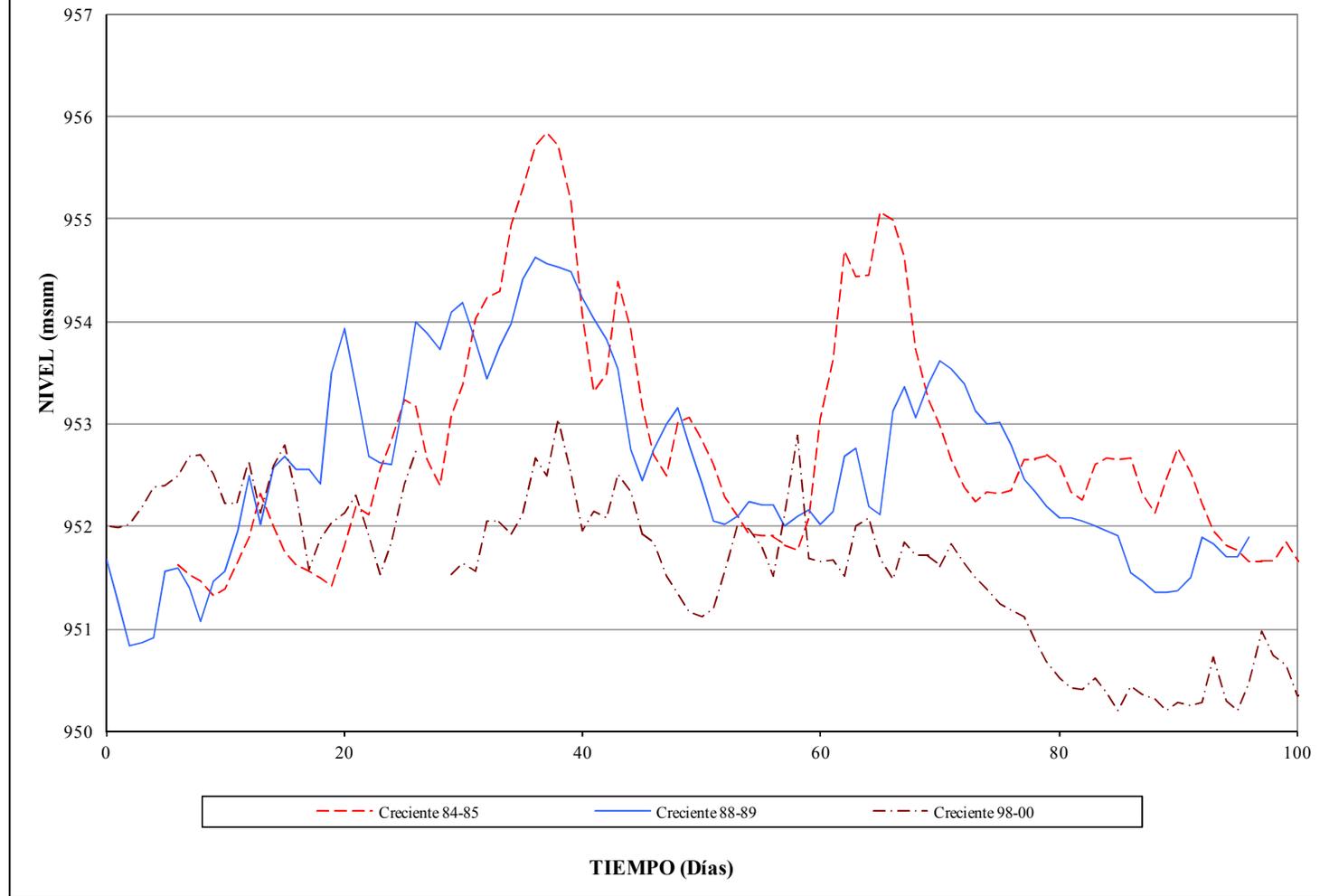
**FIGURA 5.26 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1982 ESTACION: HORMIGUERO**



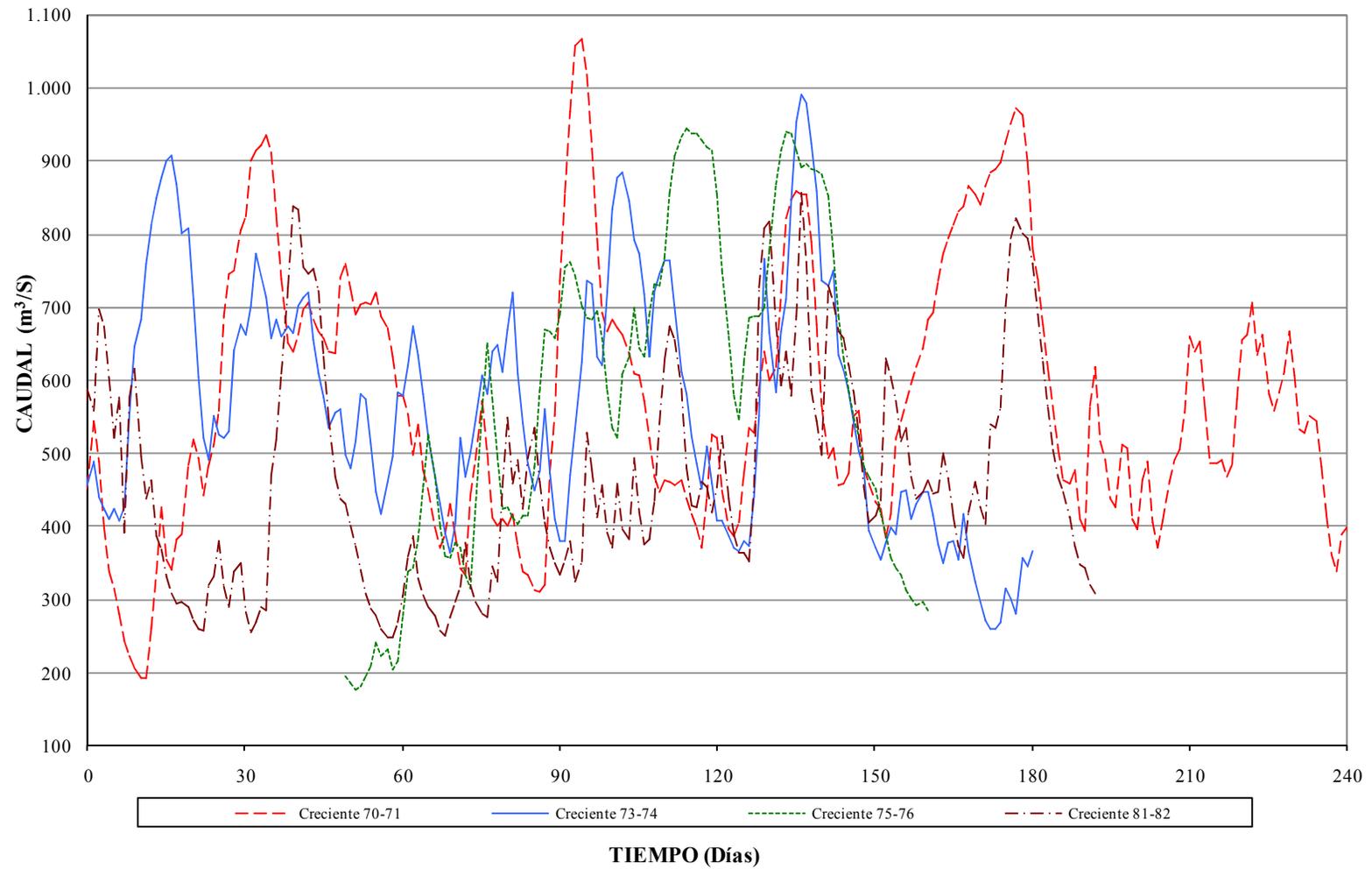
**FIGURA 5.27 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1984 Y 2000 ESTACION: HORMIGUERO**



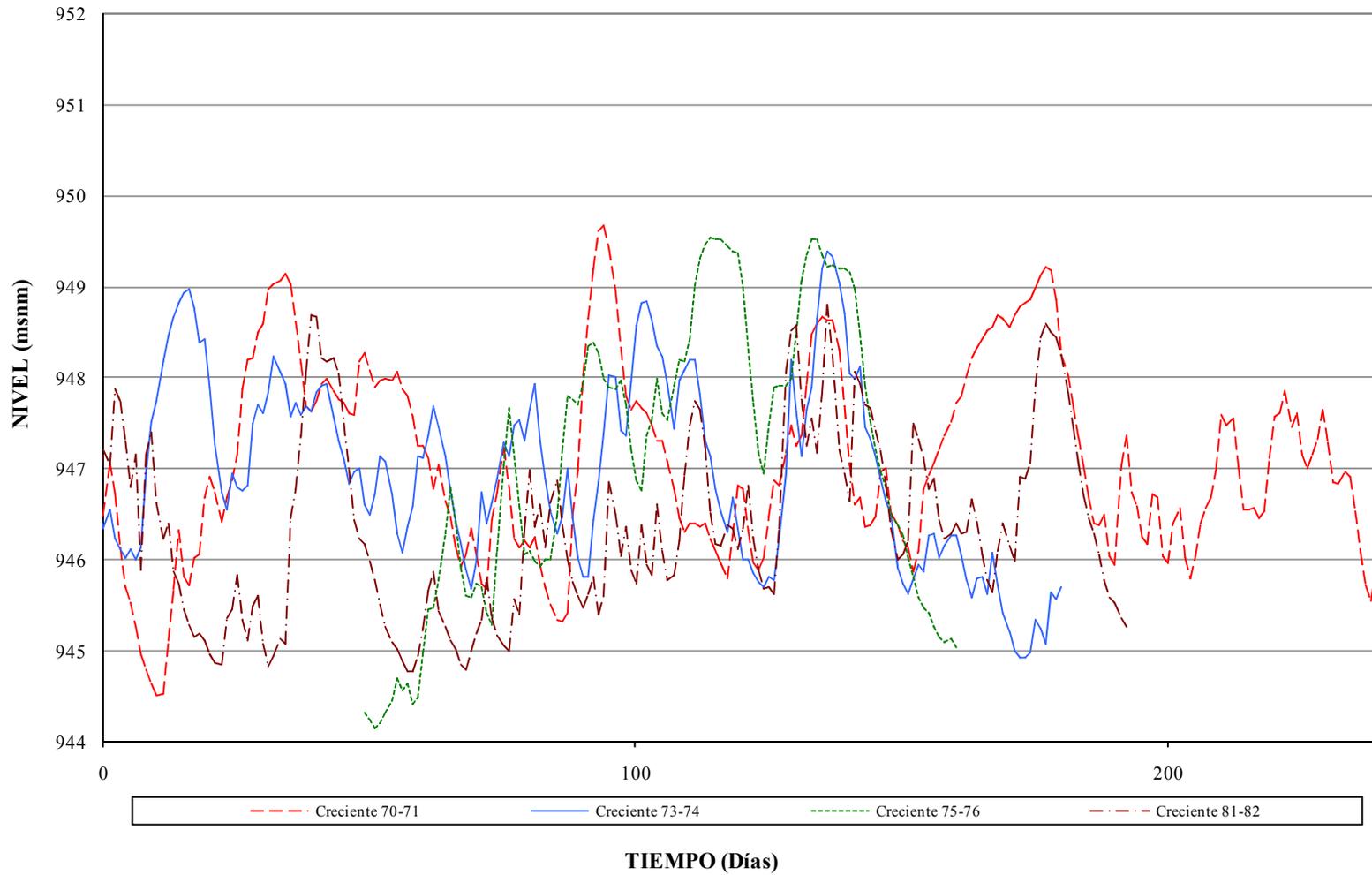
**FIGURA 5.28 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1984 Y 2000 ESTACION: HORMIGUERO**



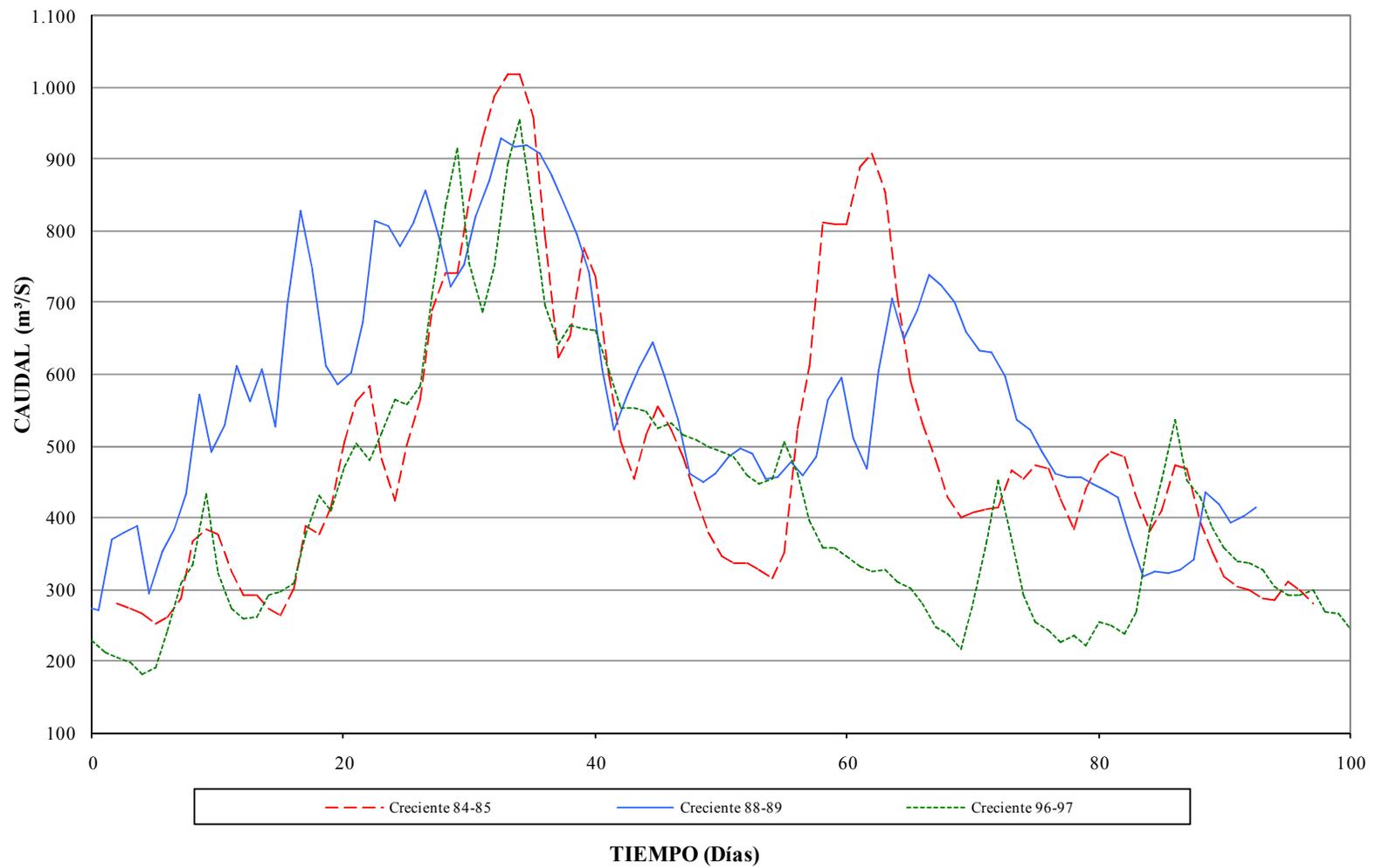
**FIGURA 5.29 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1982 ESTACION: JUANCHITO**



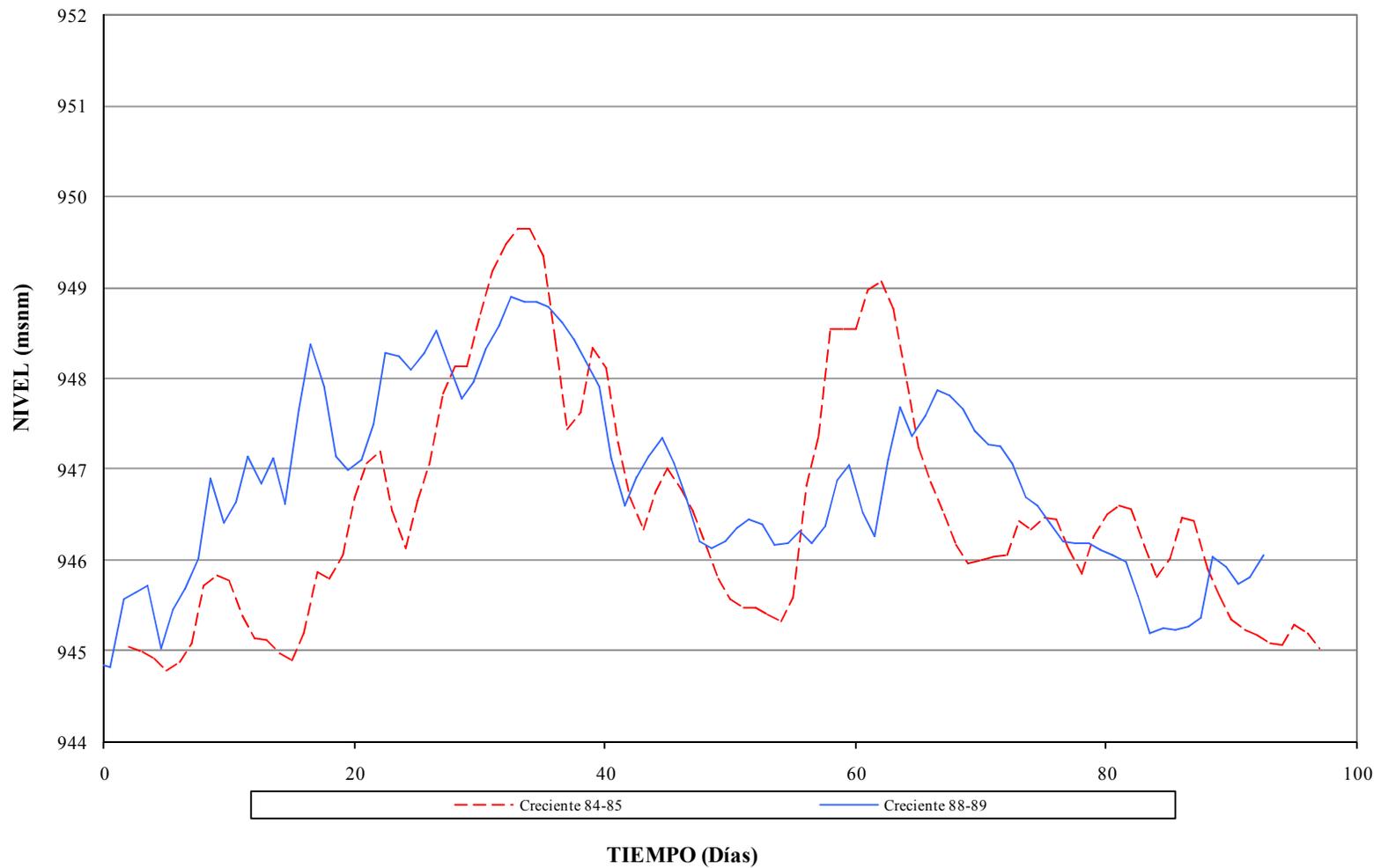
**FIGURA 5.30 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1982 ESTACION: JUANCHITO**



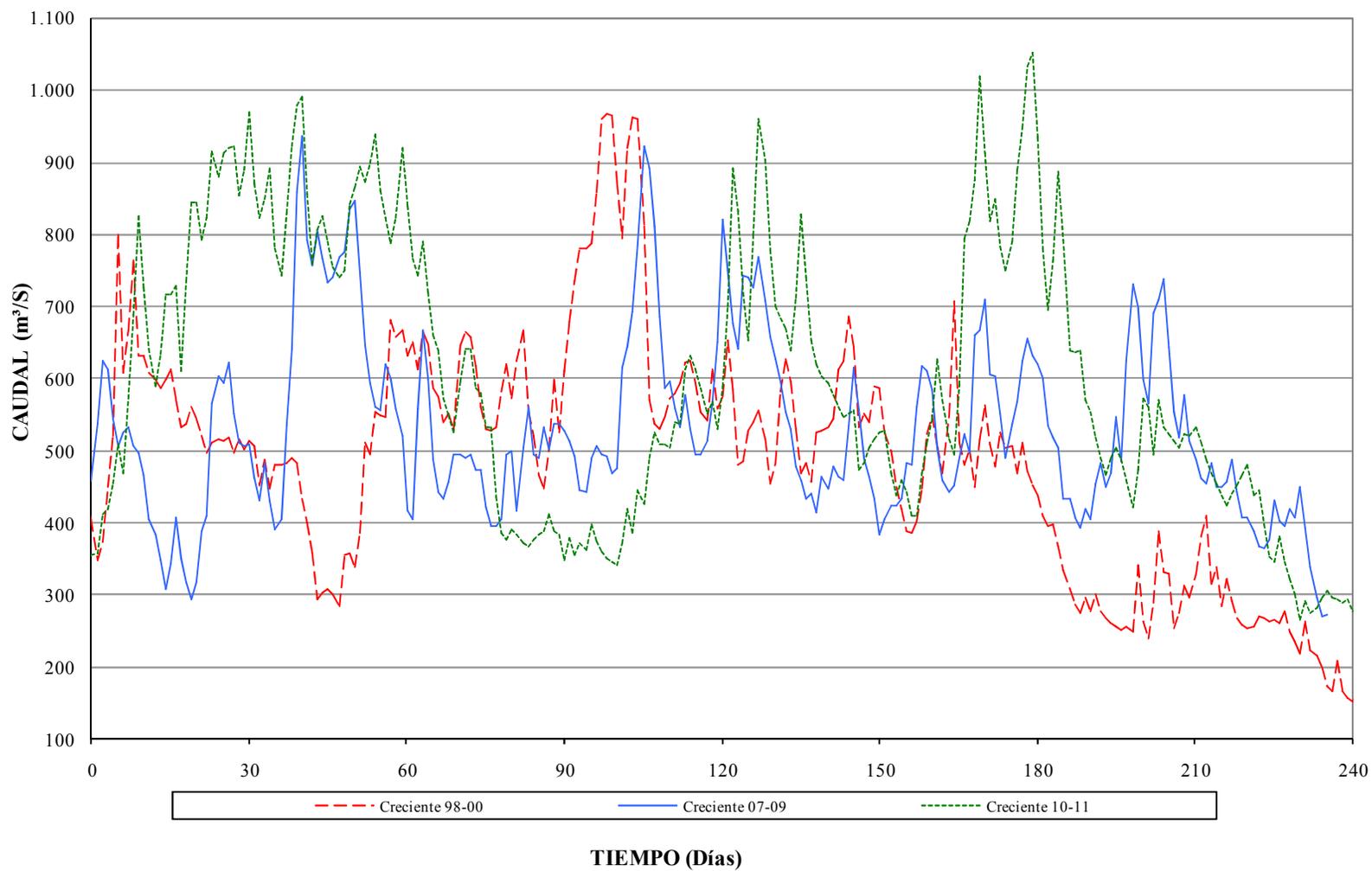
**FIGURA 5.31 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1984 Y 1997  
ESTACION: JUANCHITO**



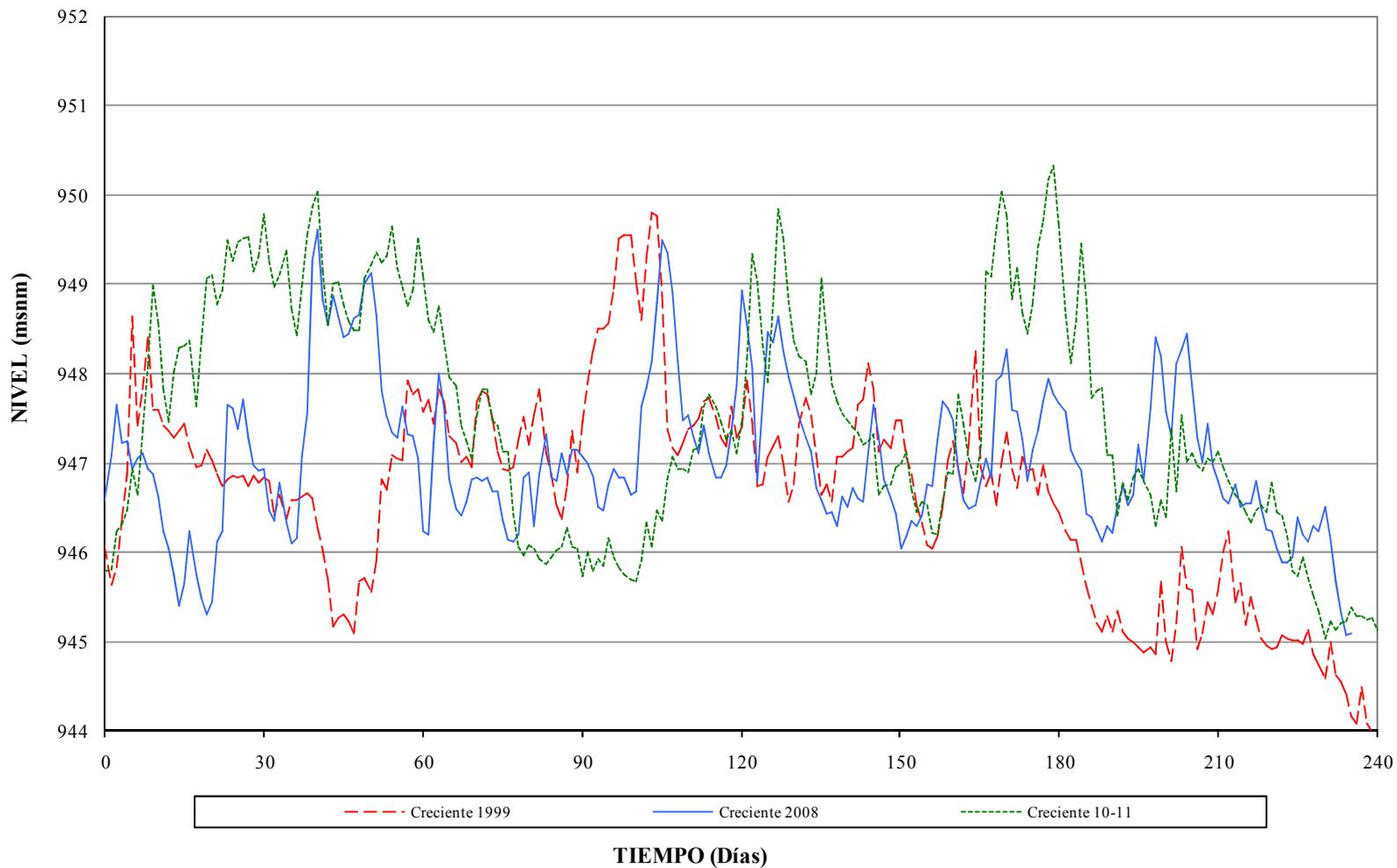
**FIGURA 5.32 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1984 Y 1997 ESTACION: JUANCHITO**



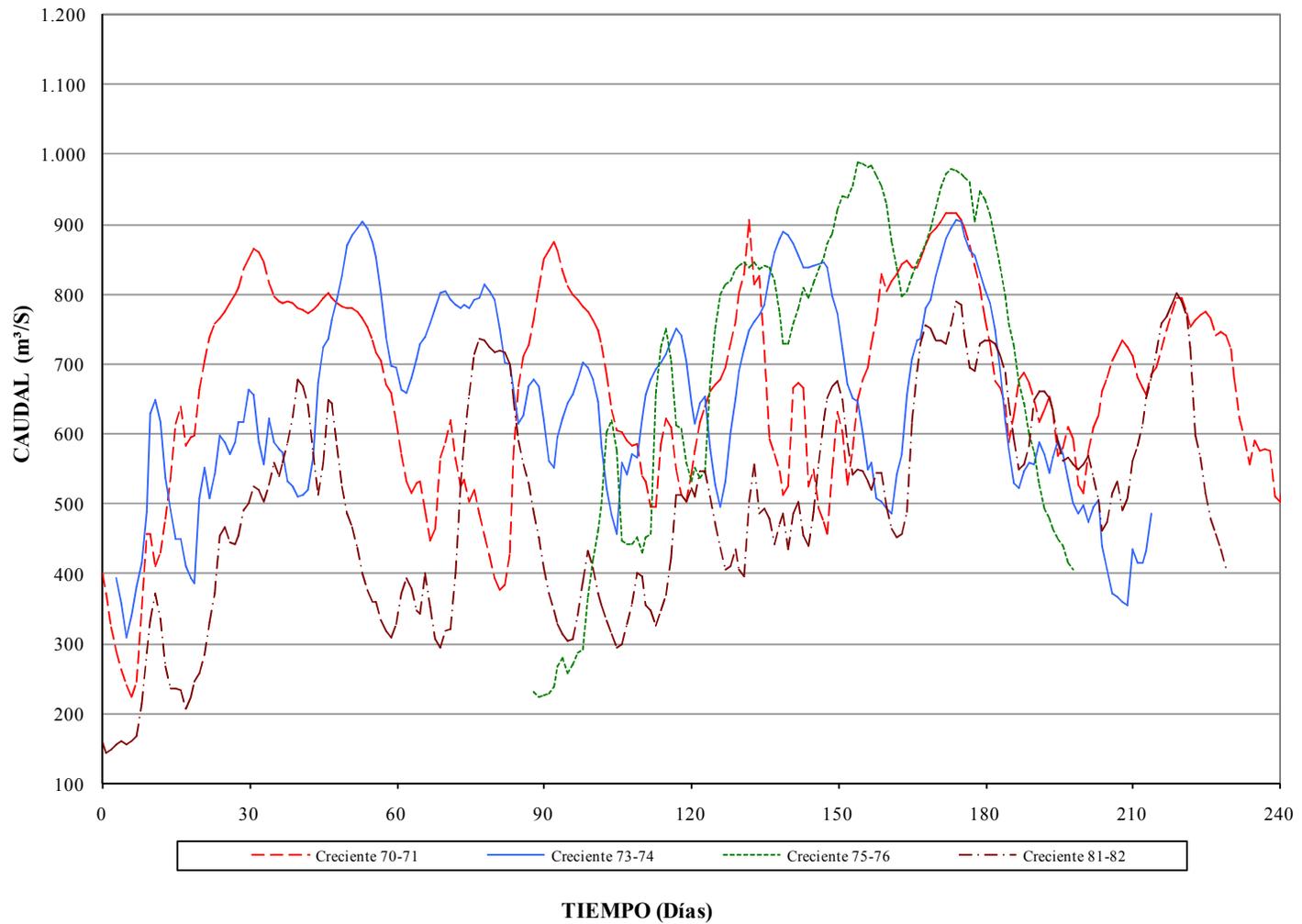
**FIGURA 5.33 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1998 Y 2011 ESTACION: JUANCHITO**



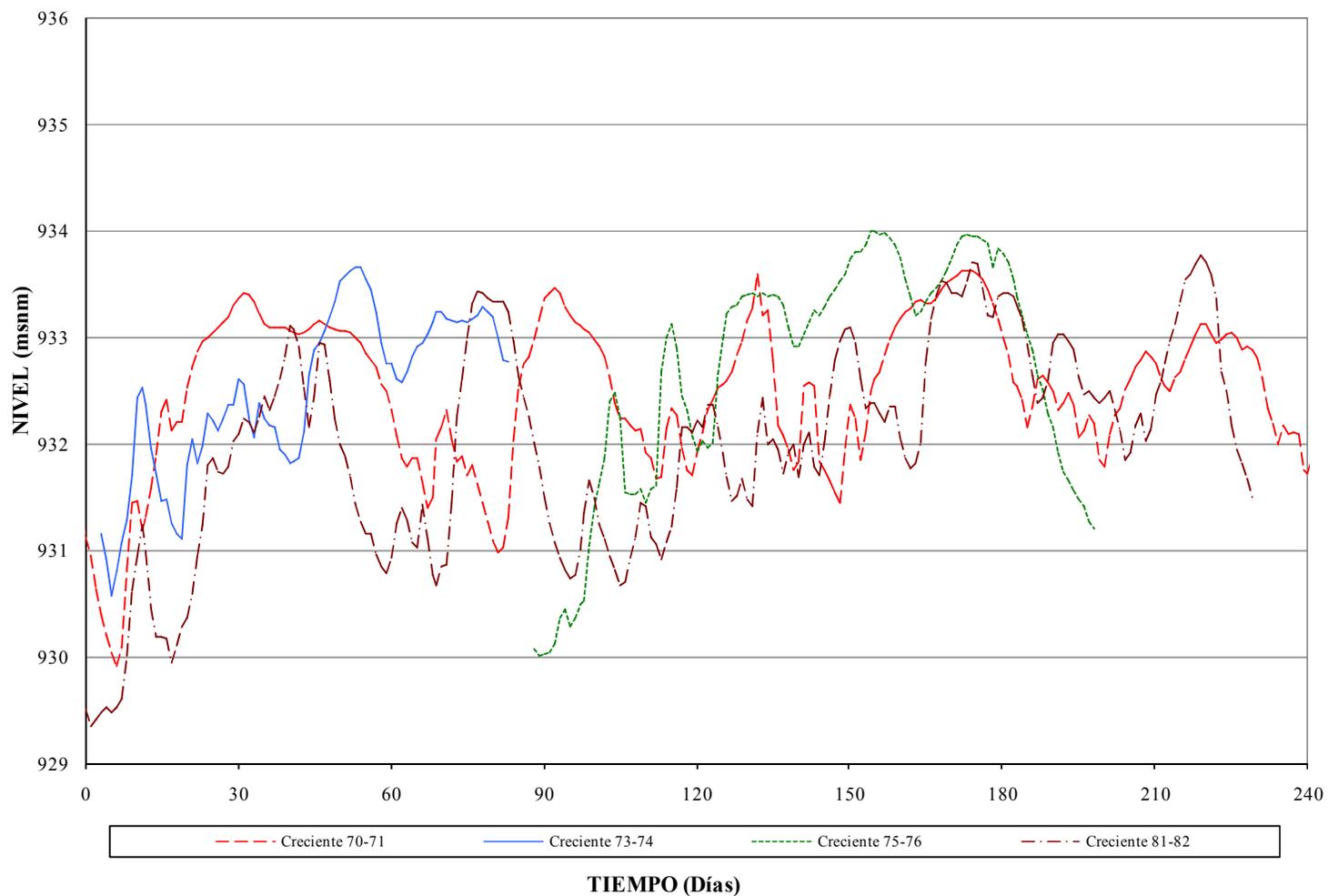
**FIGURA 5.34 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA AÑO 1999, 2008, 2010 Y 2011 ESTACION: JUANCHITO**



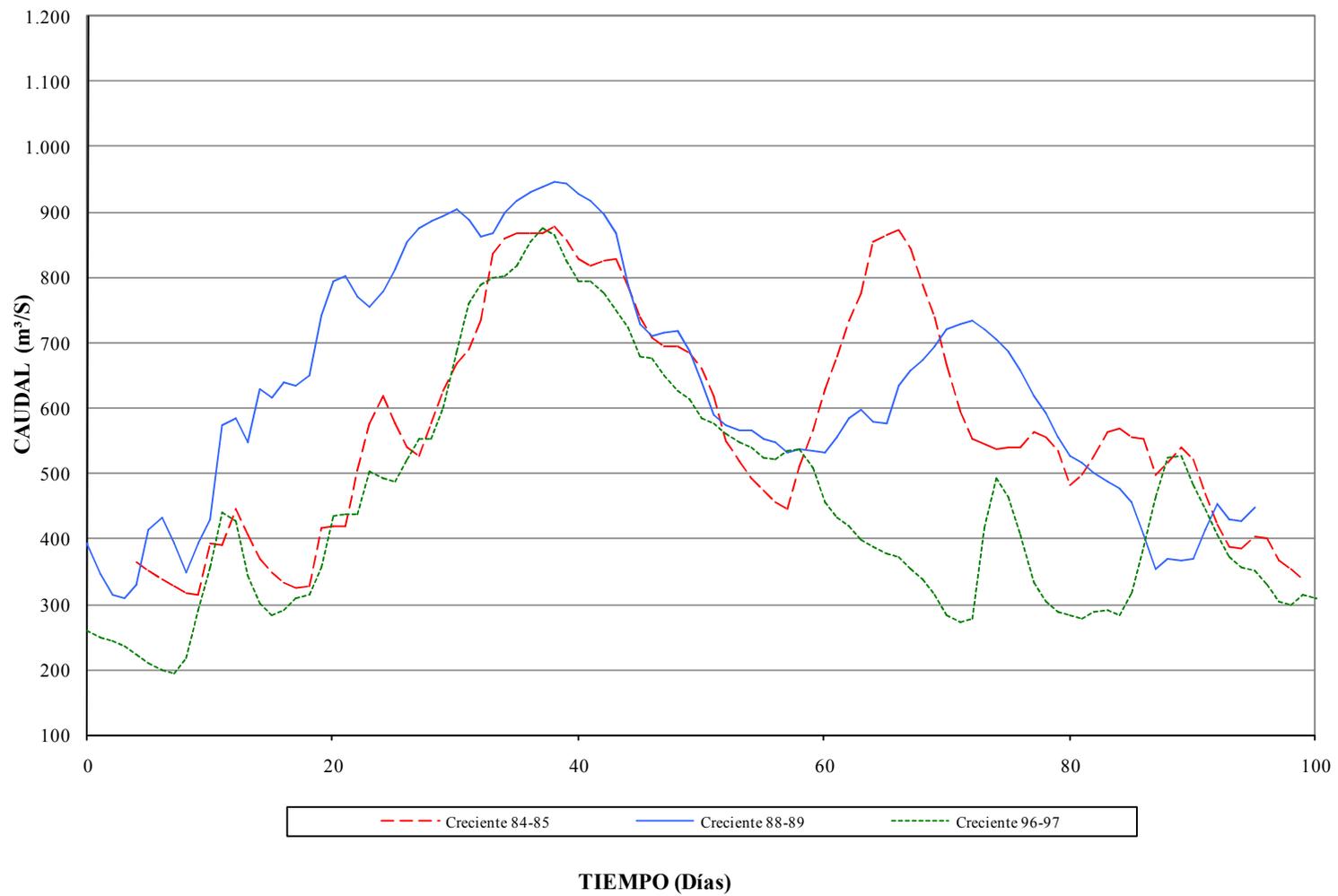
**FIGURA 5.35 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1982 ESTACION: MEDIACANOA**



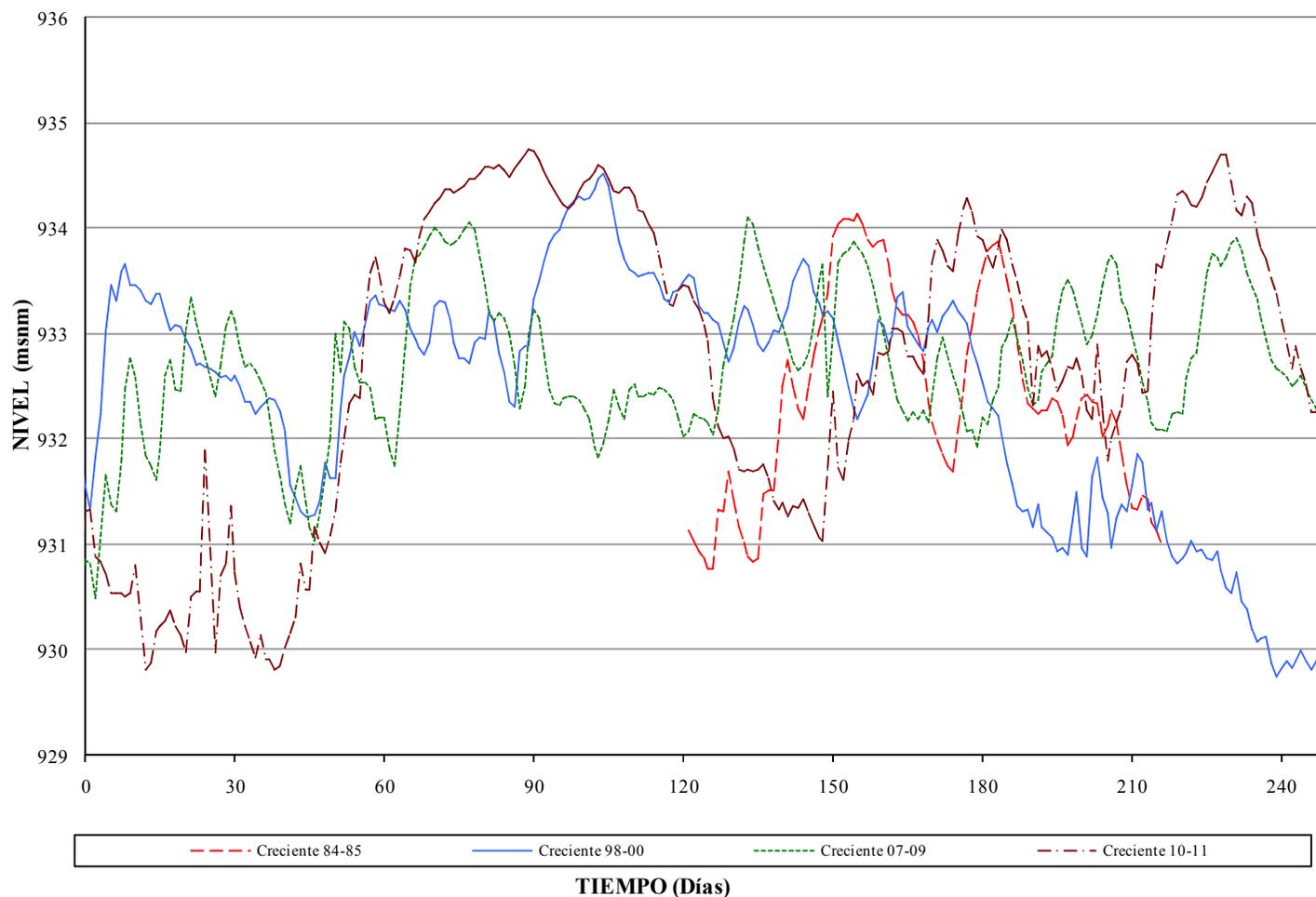
**FIGURA 5.36 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1982 ESTACION: MEDIACANOA**



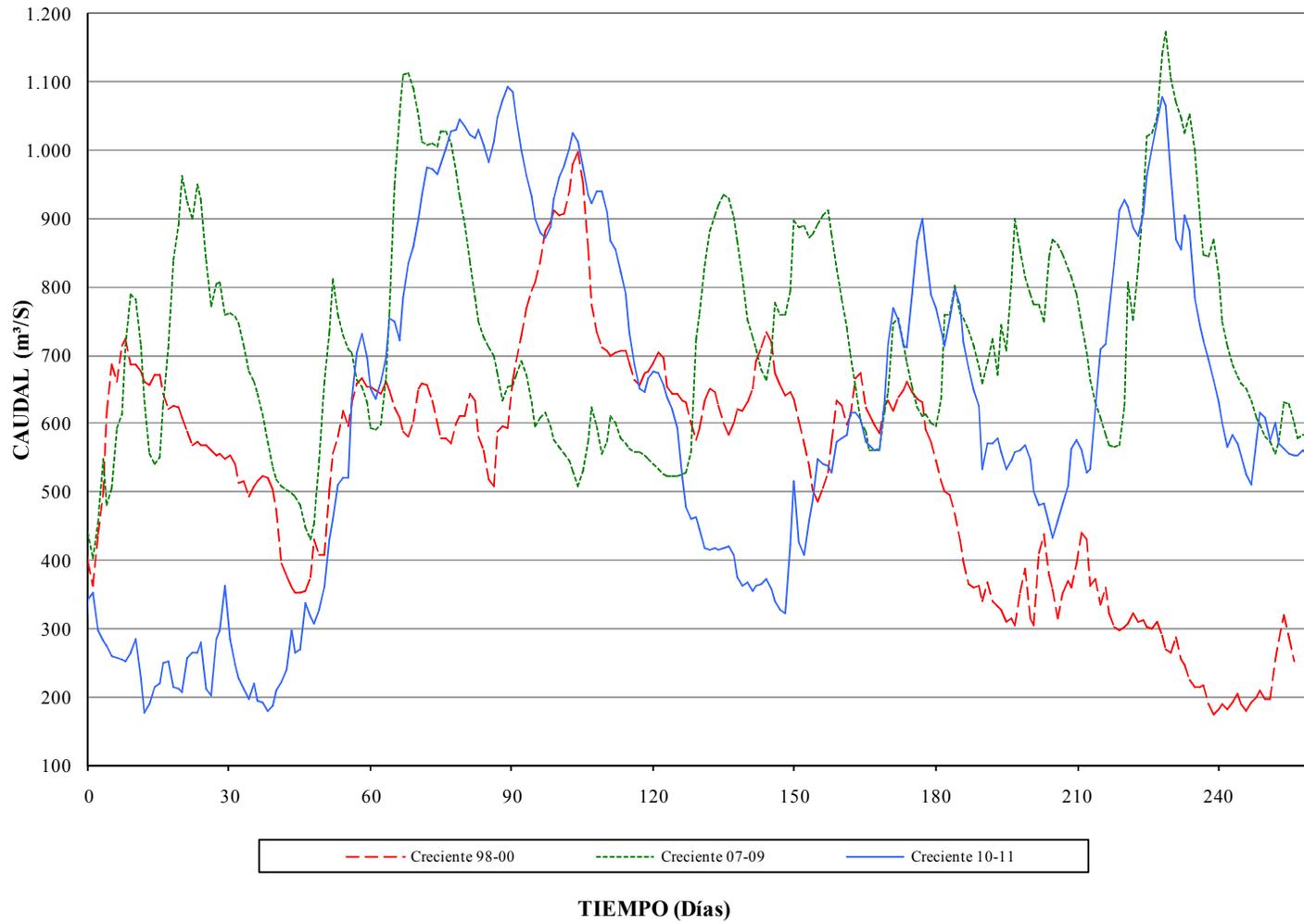
**FIGURA 5.37 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1984 Y 1997 ESTACION: MEDIACANOA**



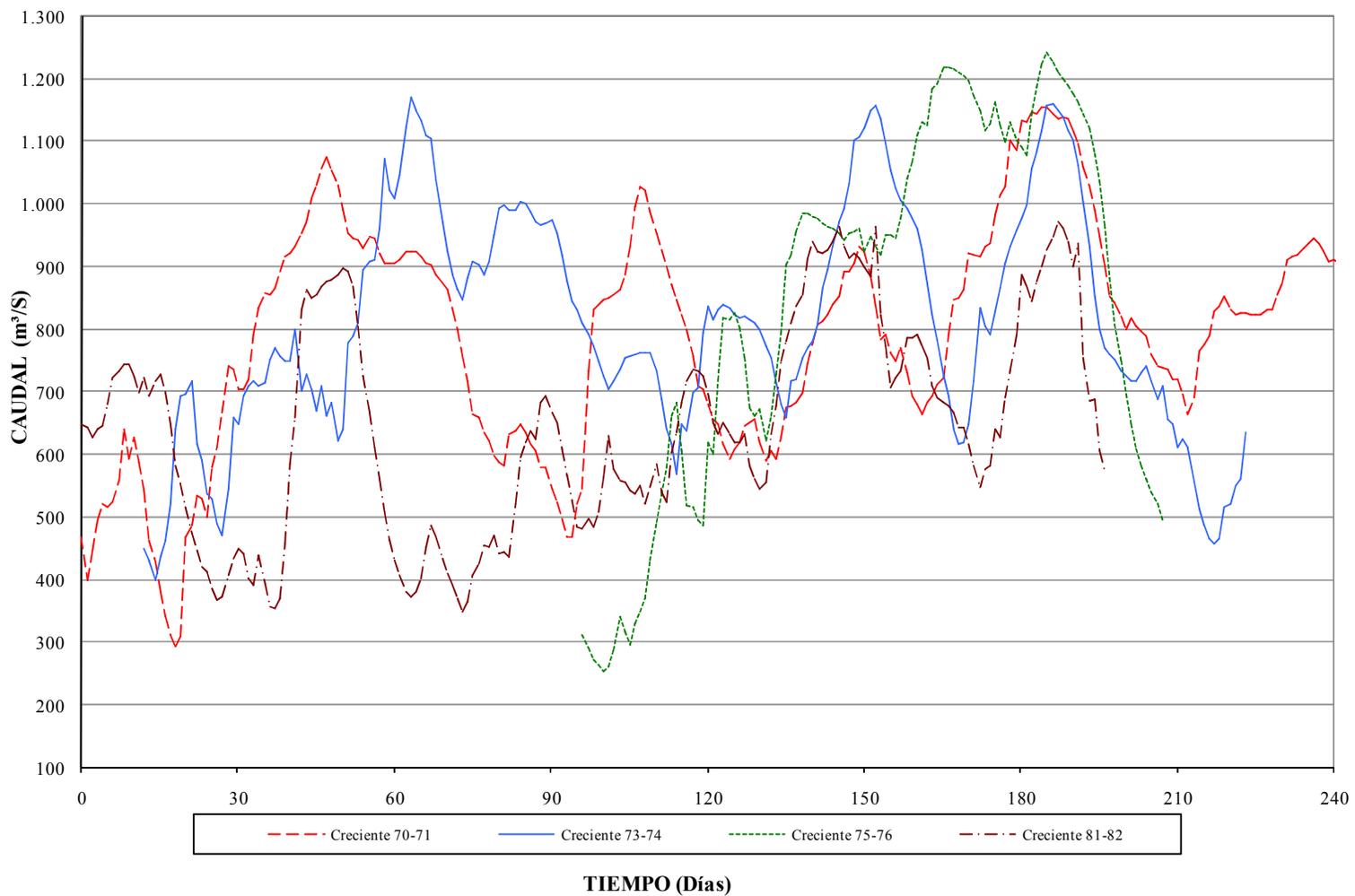
**FIGURA 5.38 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1984 Y 2011 ESTACION: MEDIACANOA**



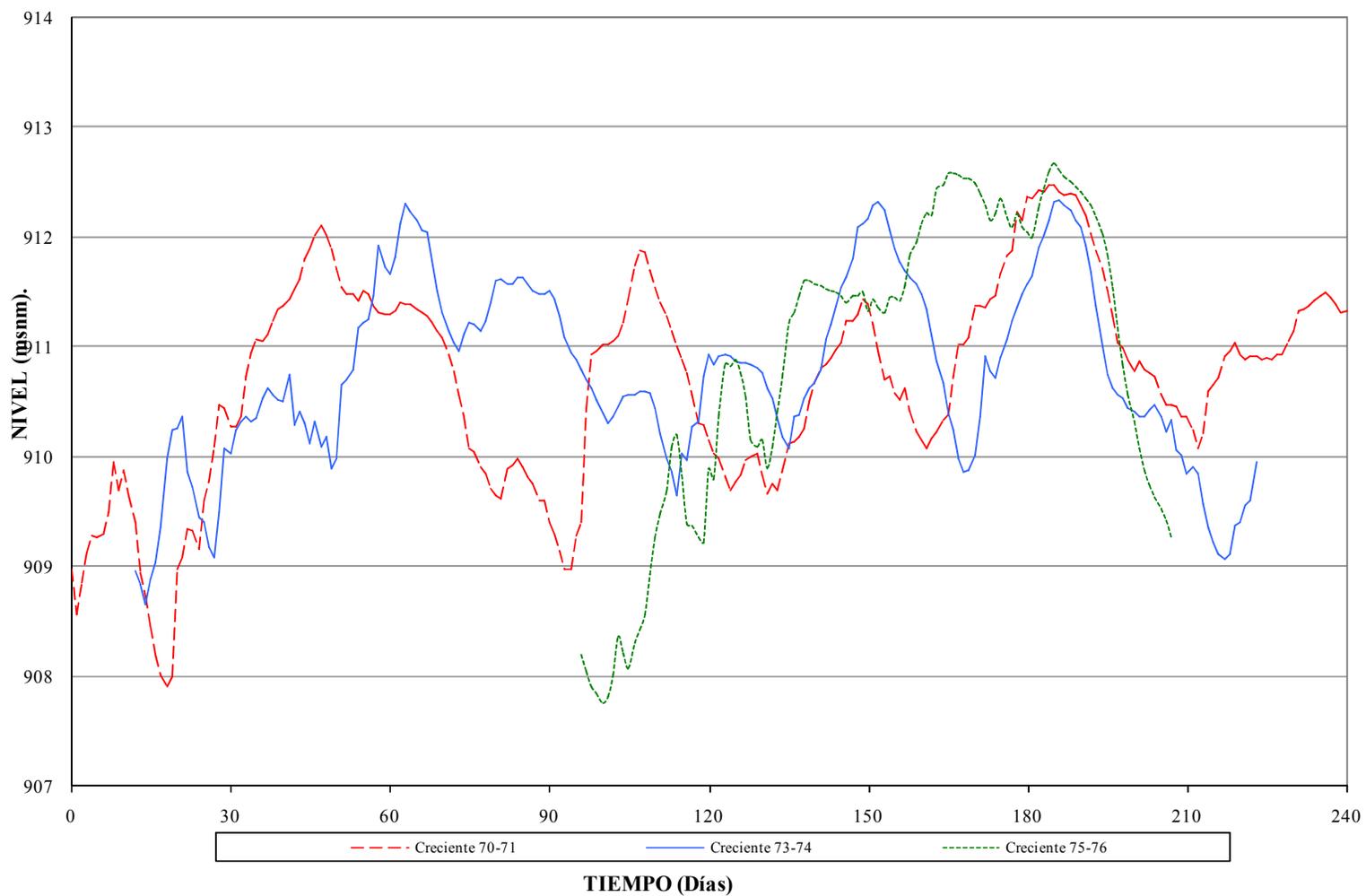
**FIGURA 5.39 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1998 Y 2011 ESTACION: MEDIACANOA**



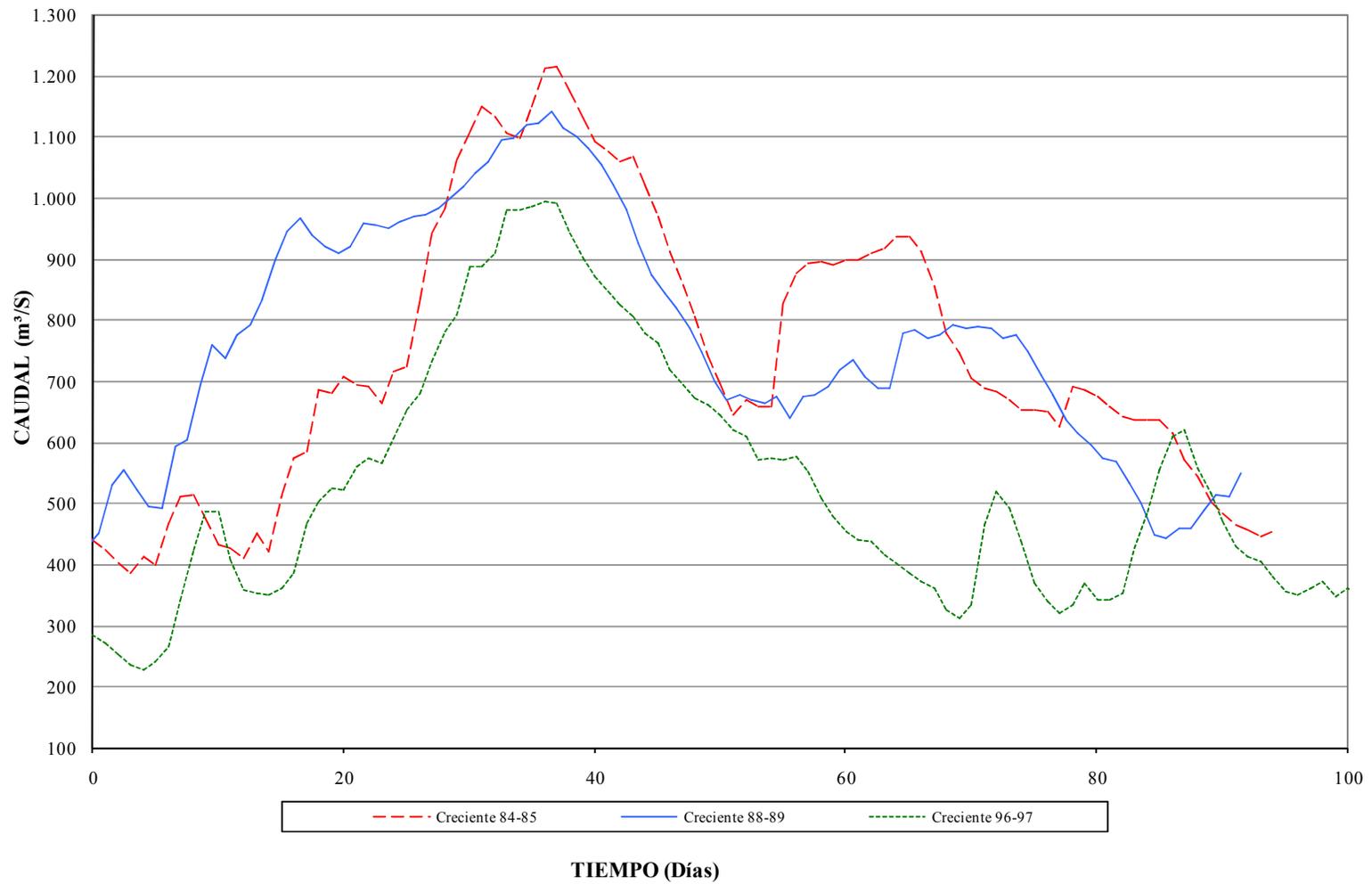
**FIGURA 5.40 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1982 ESTACION: GUAYABAL**



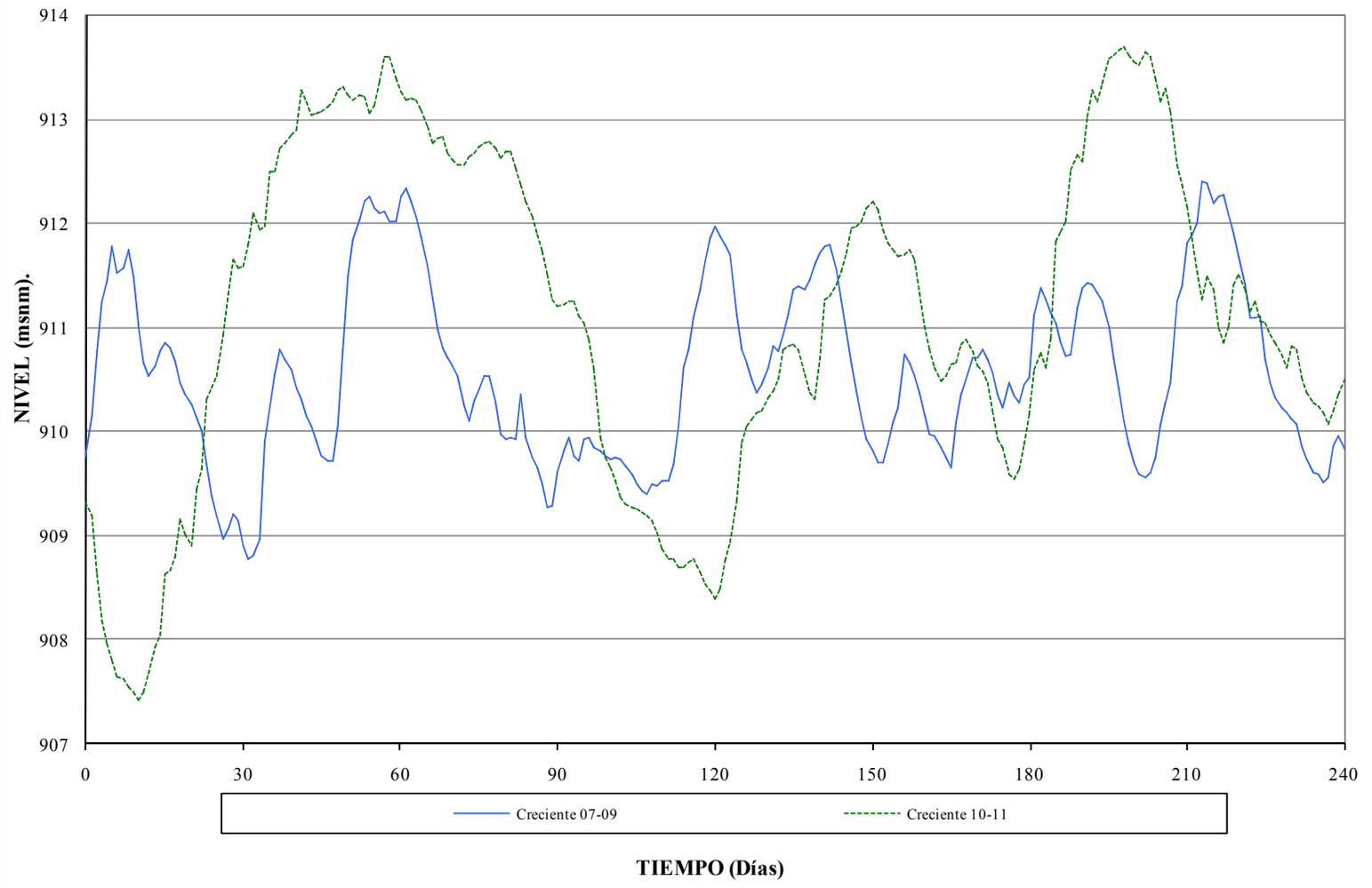
**FIGURA 5.41 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1976 ESTACION: GUAYABAL**



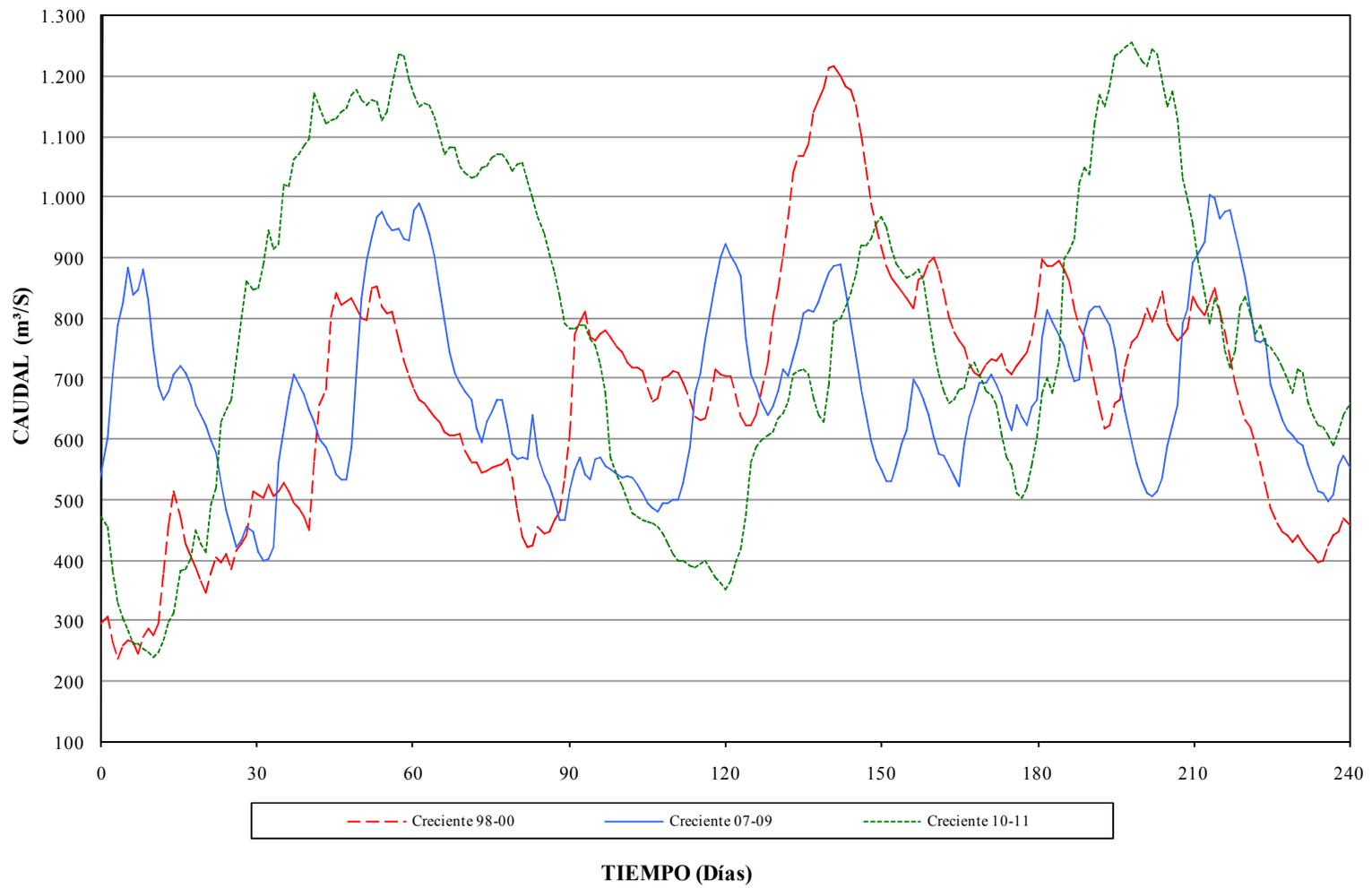
**FIGURA 5.42 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1984 Y 1997 ESTACION: GUAYABAL**



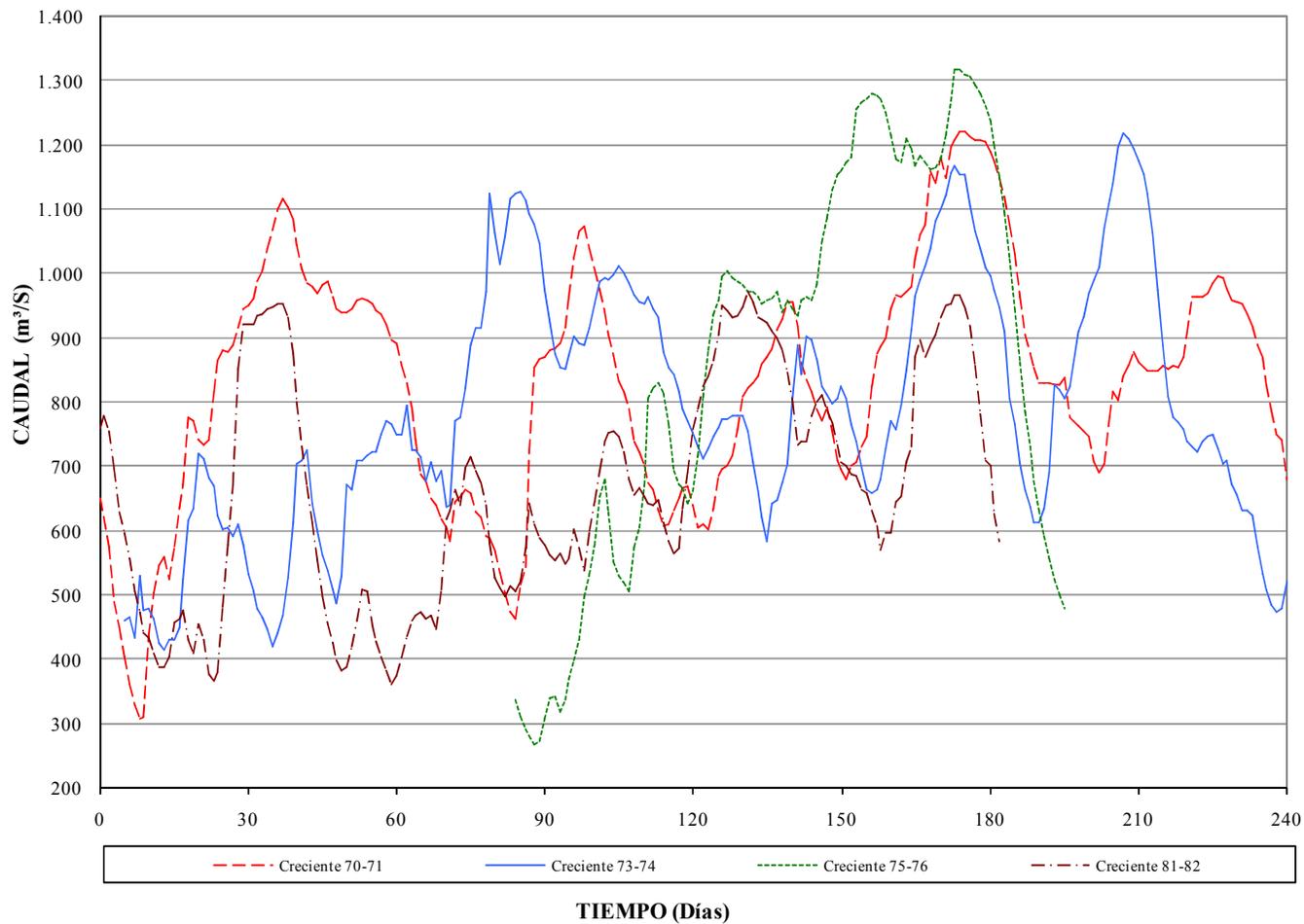
**FIGURA 5.43 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 2007 Y 2011 ESTACION: GUAYABAL**



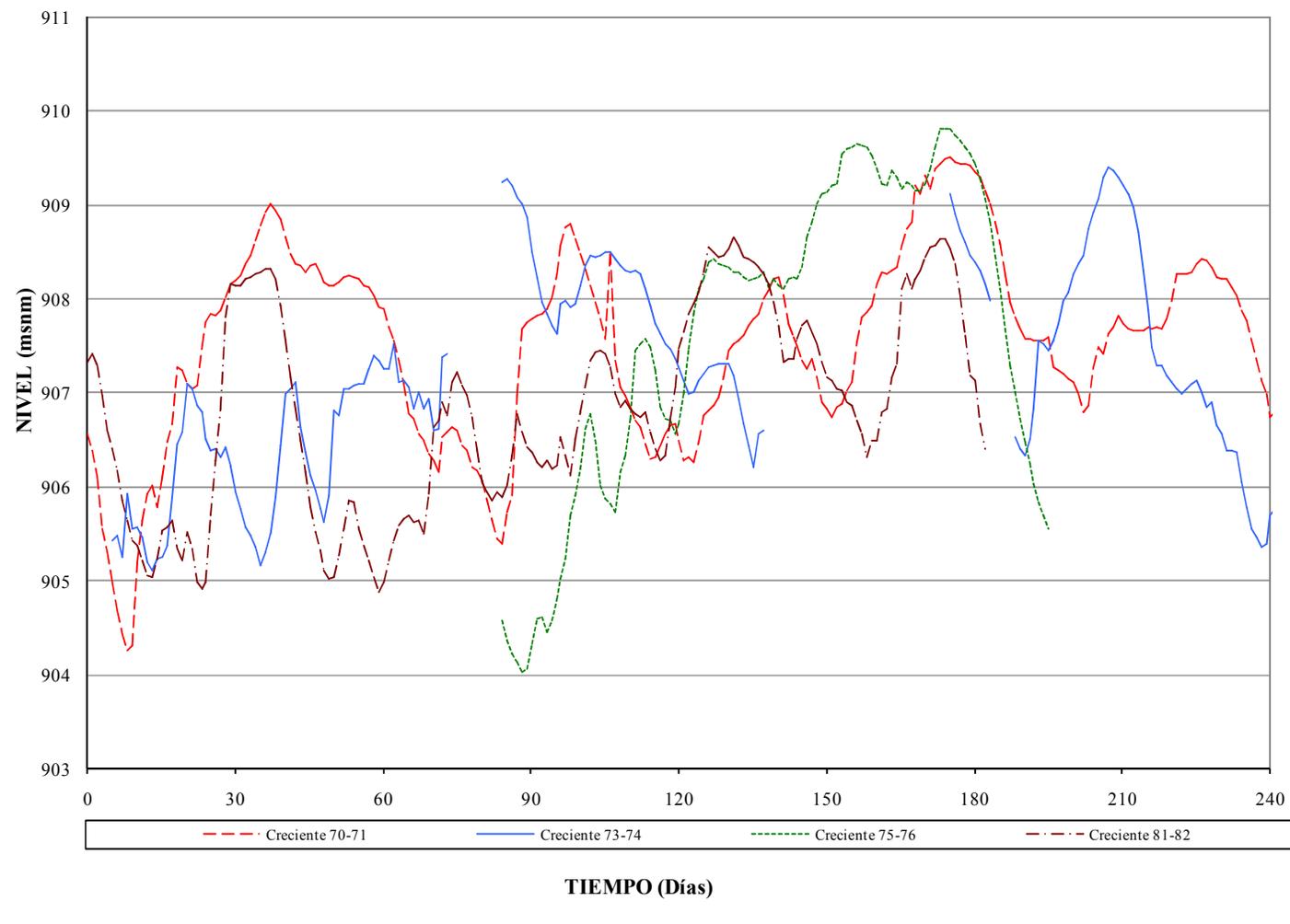
**FIGURA 5.44 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1998 Y 2011 ESTACION: GUAYABAL**



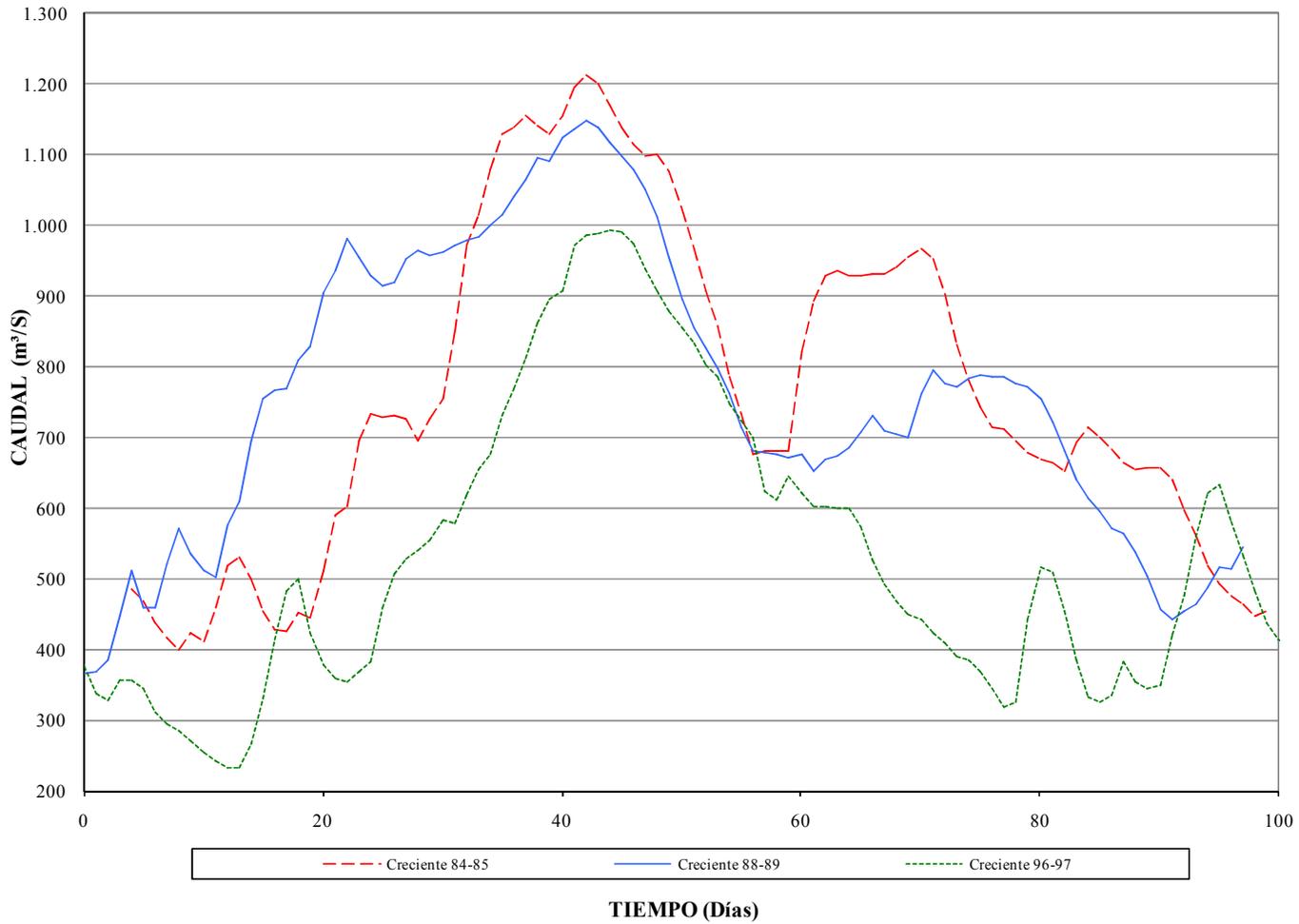
**FIGURA 5.45 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1982 ESTACION: LA VICTORIA**



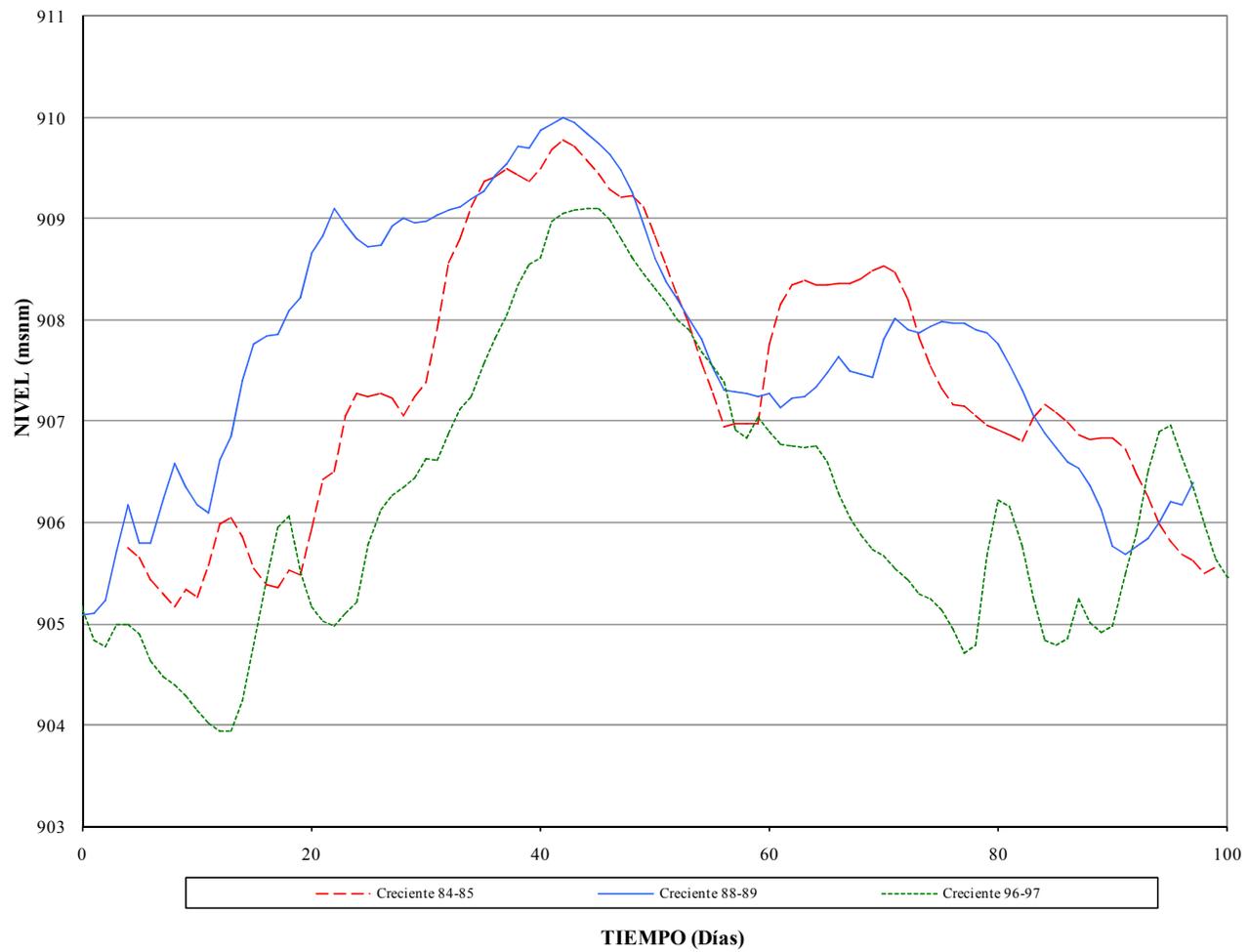
**FIGURA 5.46 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1982 ESTACION: LA VICTORIA**



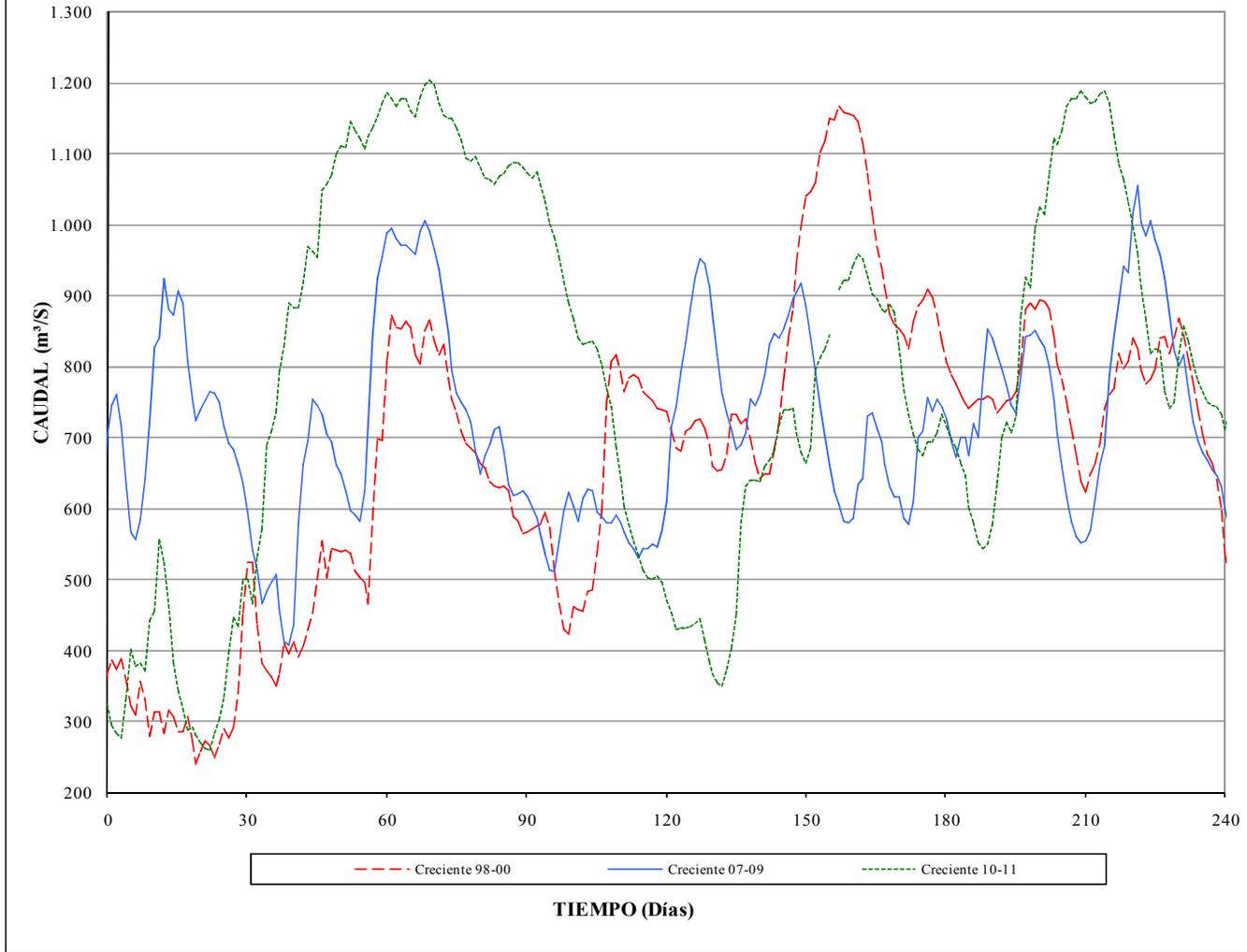
**FIGURA 5.47 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1984 Y 1997 ESTACION: LA VICTORIA**



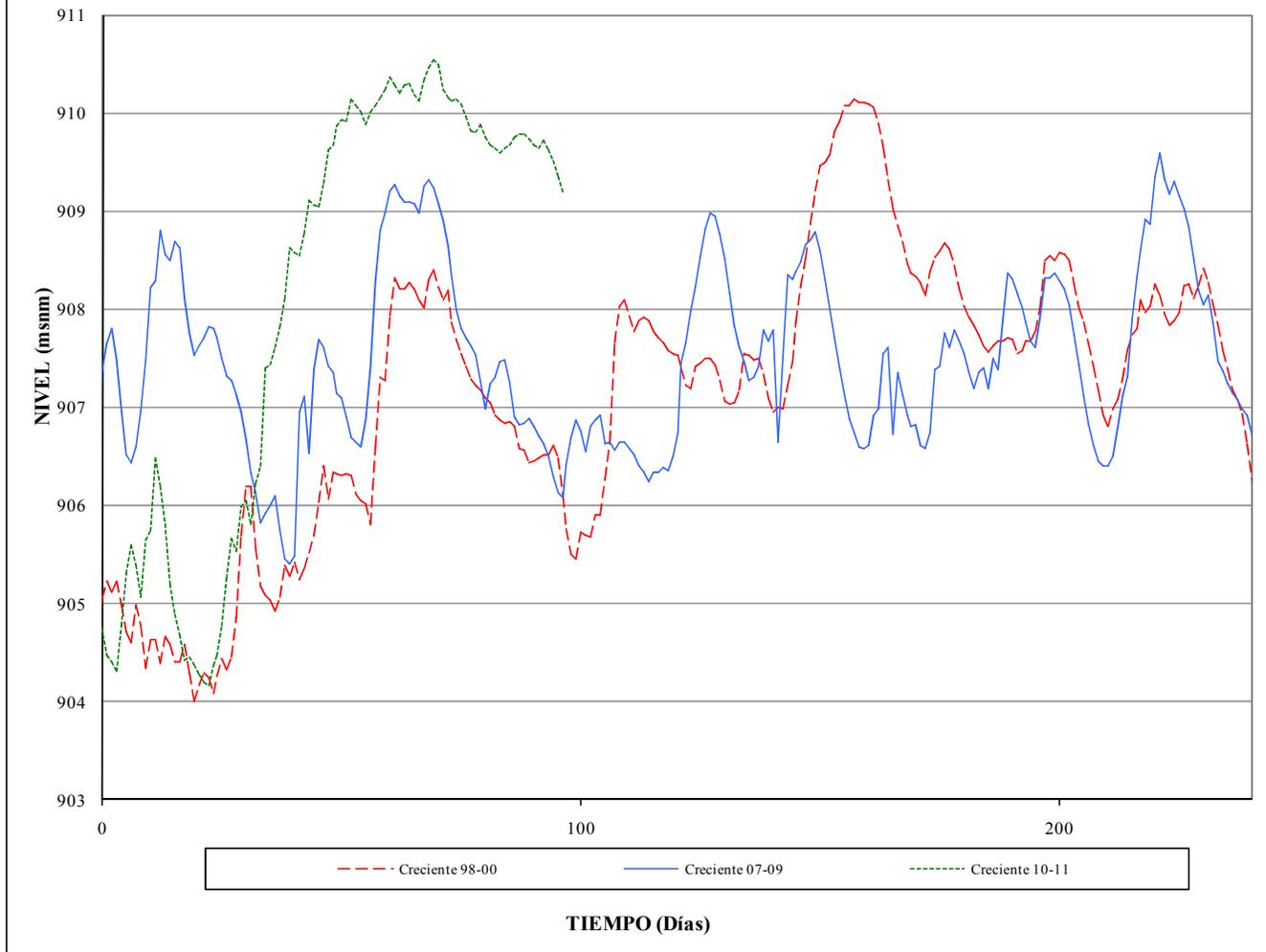
**FIGURA 5.48 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1984 Y 1997 ESTACION: LA VICTORIA**



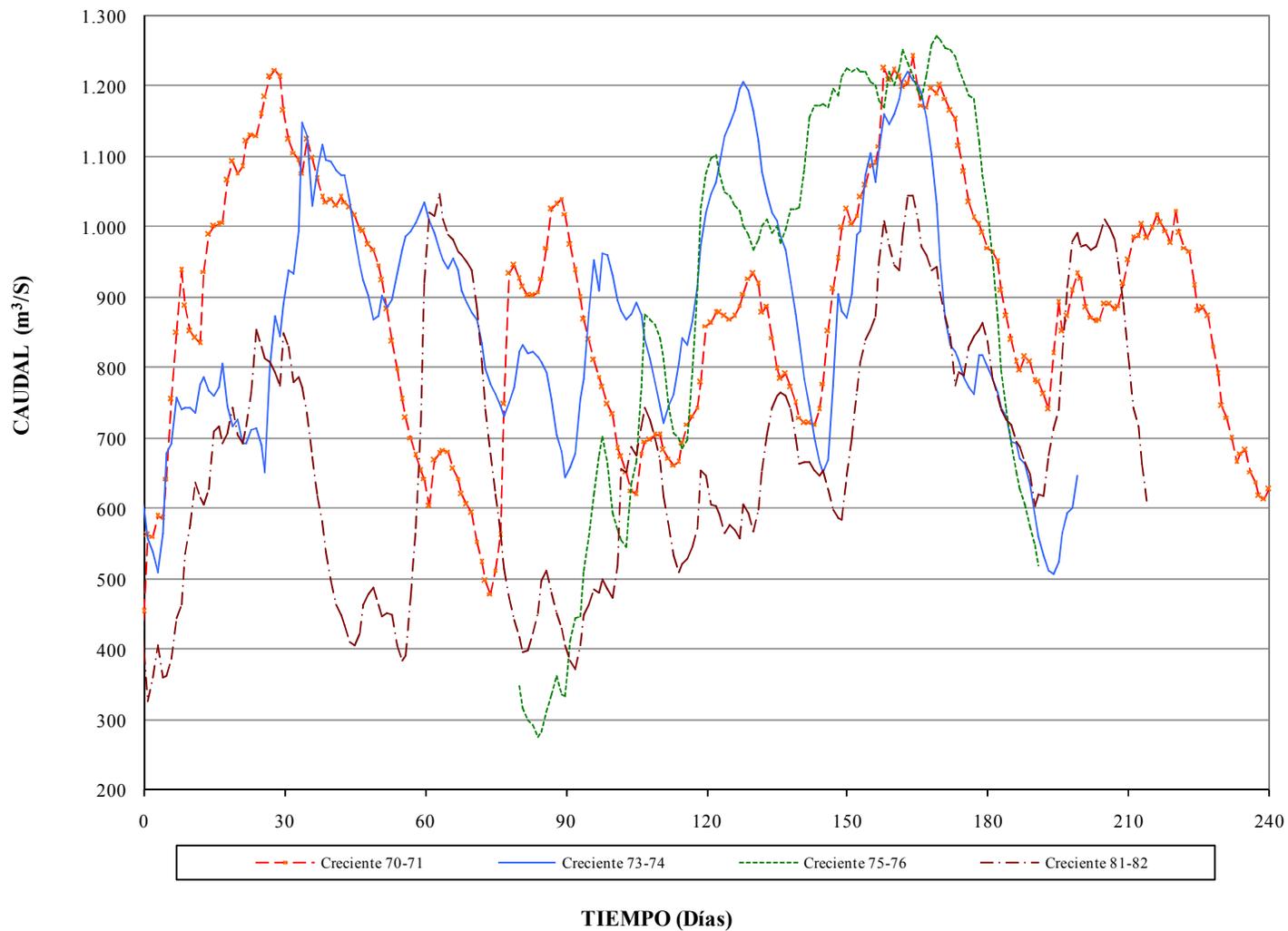
**FIGURA 5.49 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1998 Y 2011 ESTACION: LA VICTORIA**



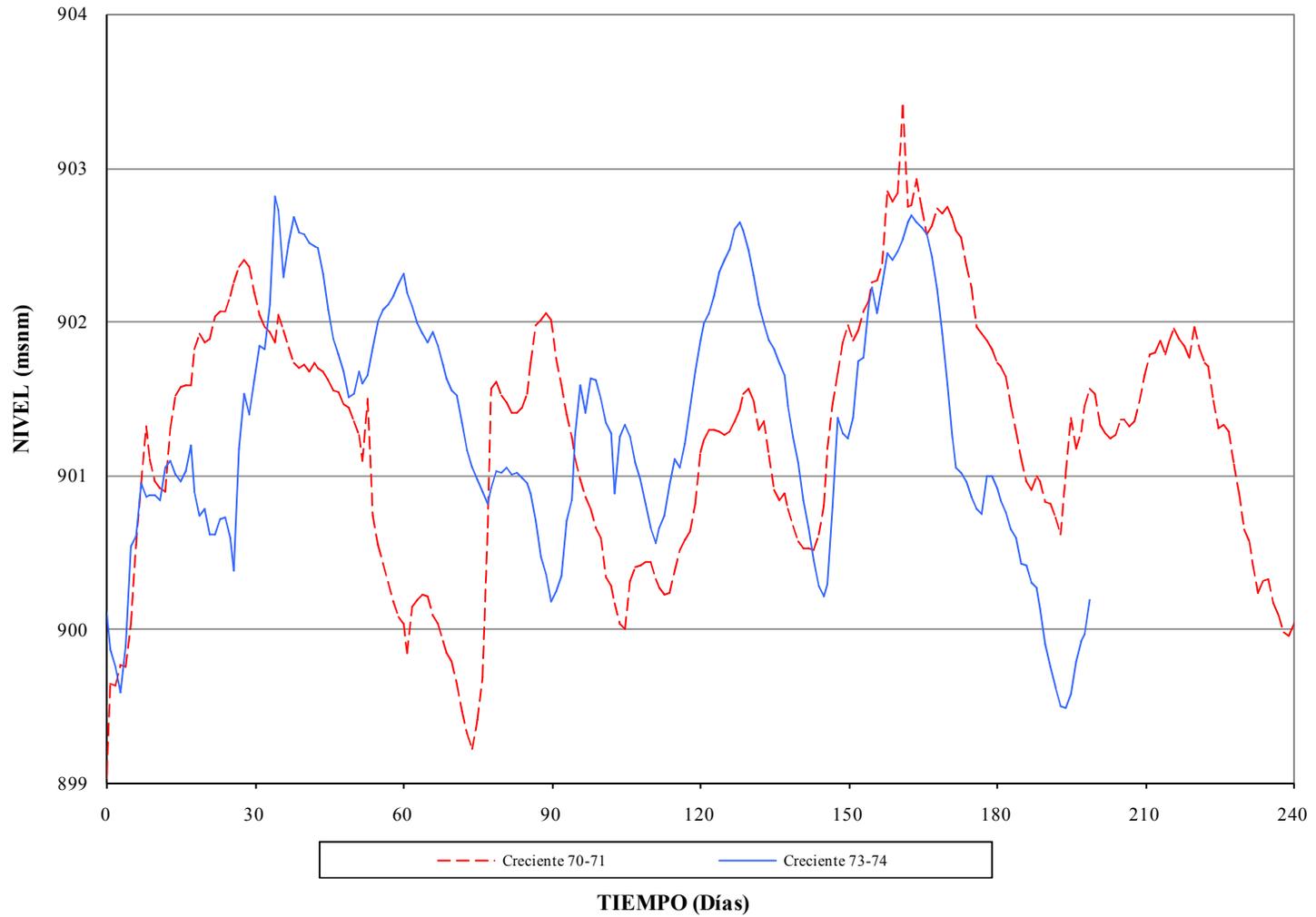
**FIGURA 5.50 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1998 Y 2011 ESTACION: LA VICTORIA**



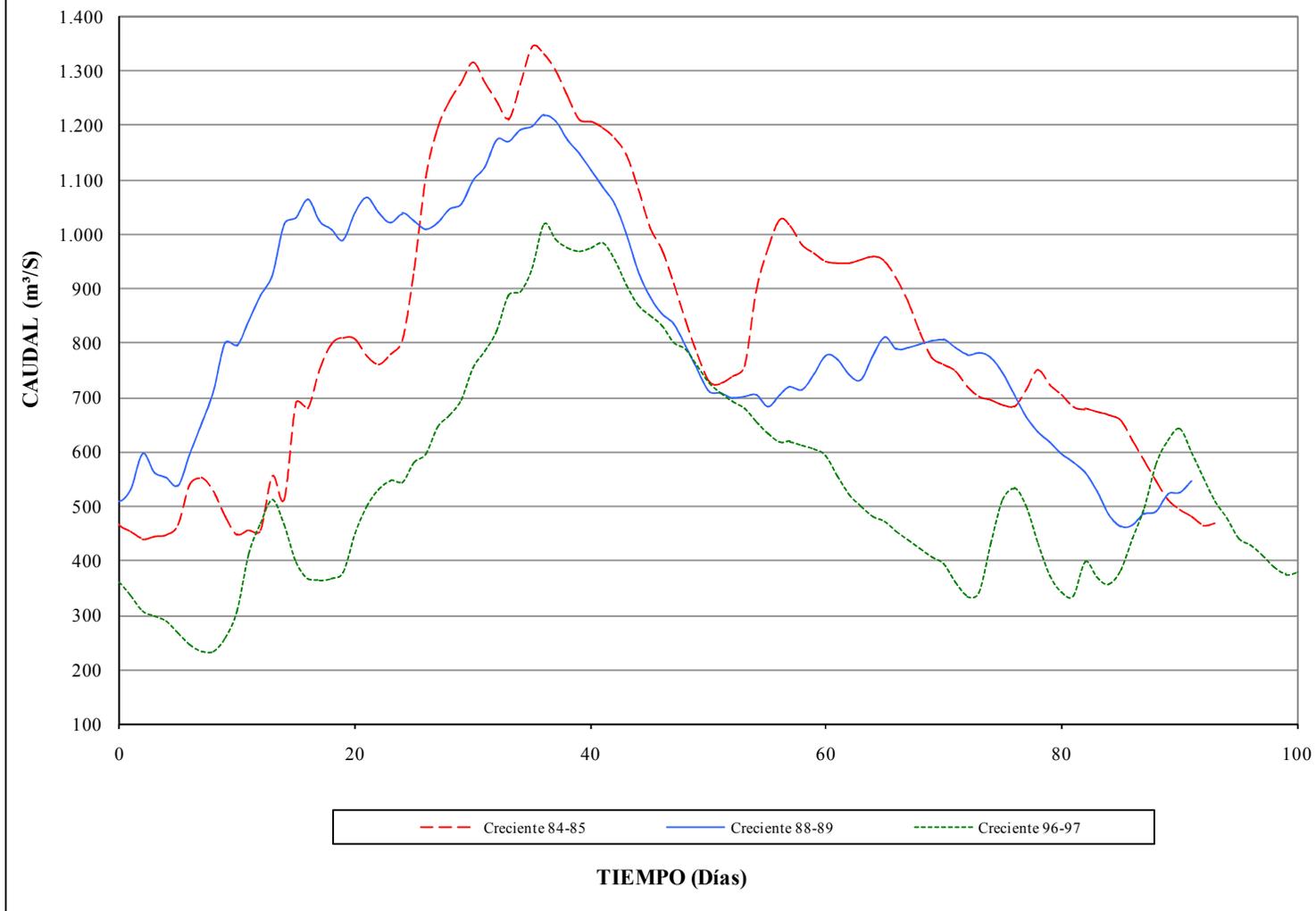
**FIGURA 5.51 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1982 ESTACION: ANACARO**



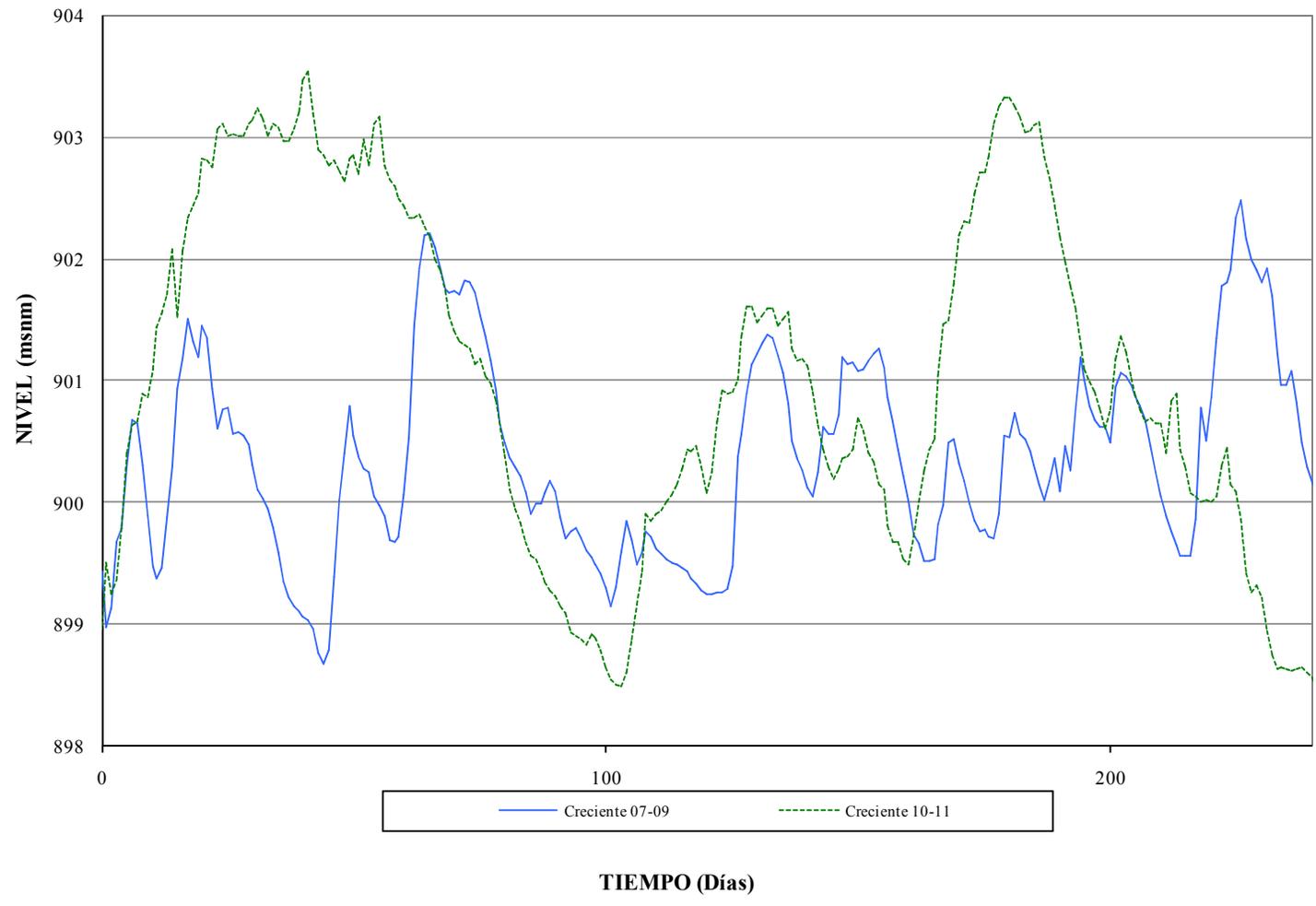
**FIGURA 5.52 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1971 Y 1982 ESTACION: ANACARO**



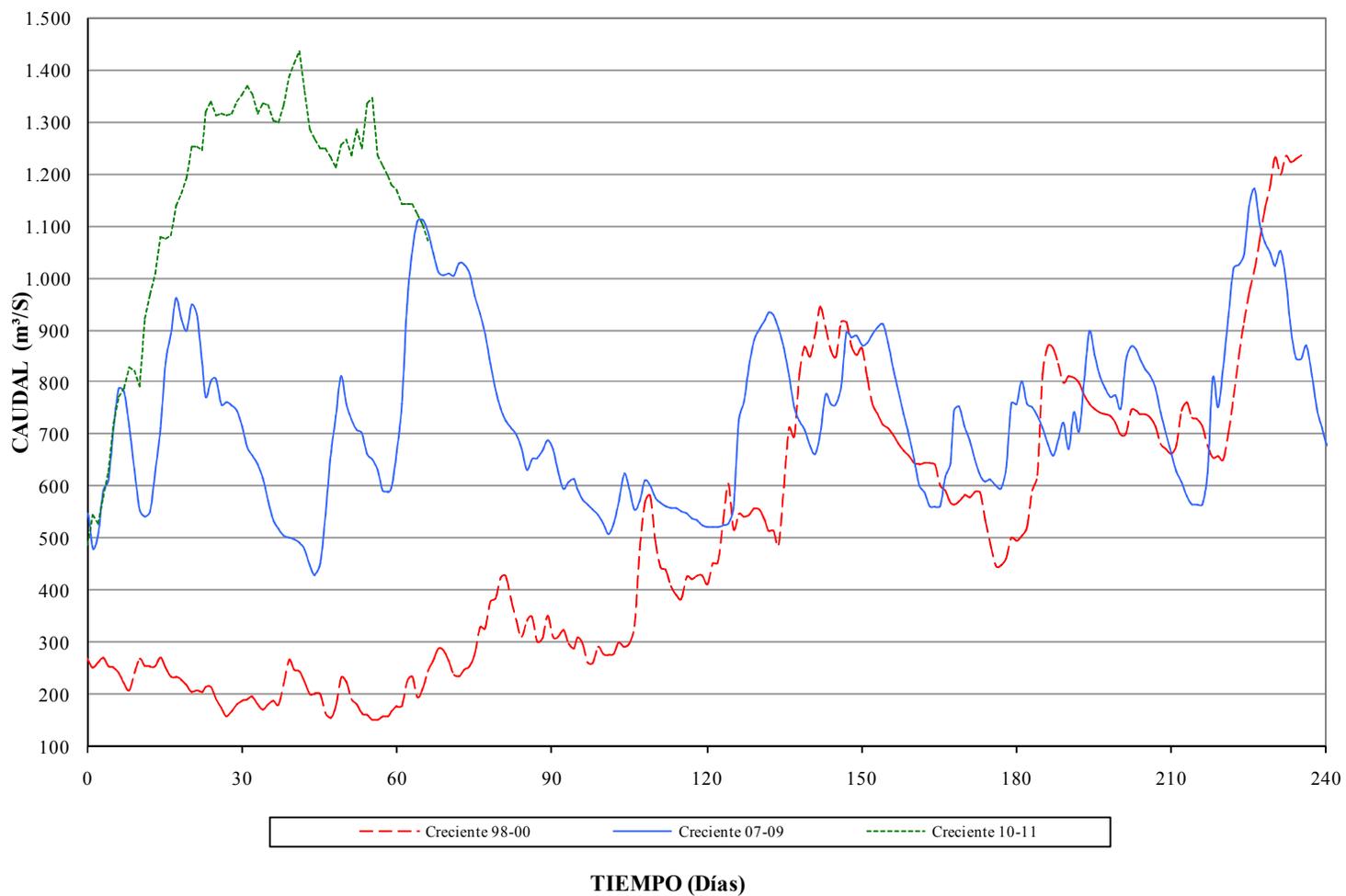
**FIGURA 5.53 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1984 Y 1997 ESTACION: ANACARO**



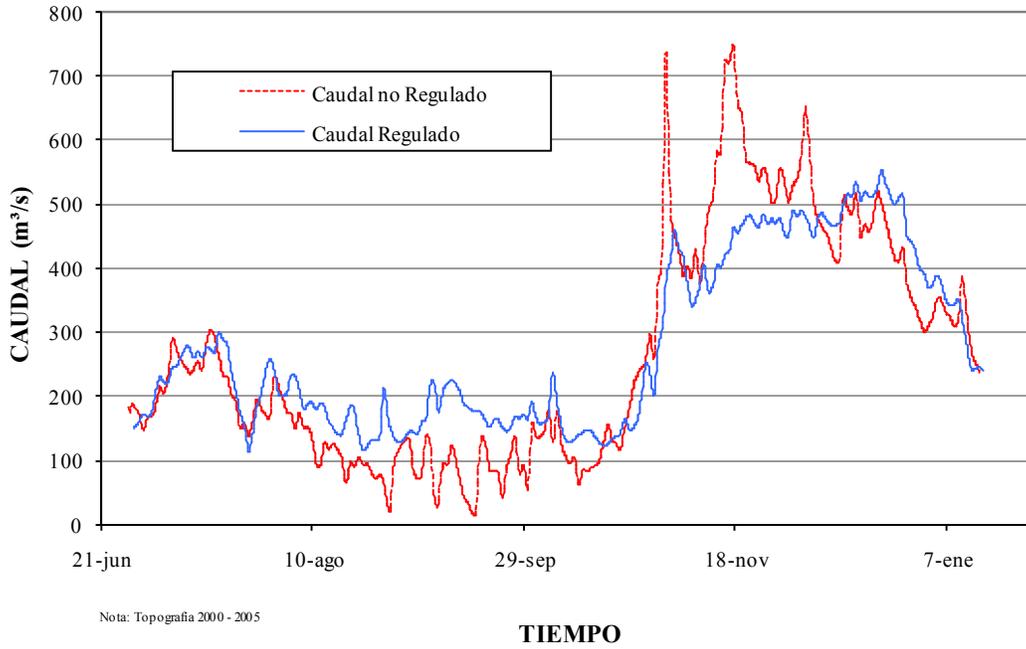
**FIGURA 5.54 NIVELES DE AGUA REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1984 Y 1997 ESTACION: ANACARO**



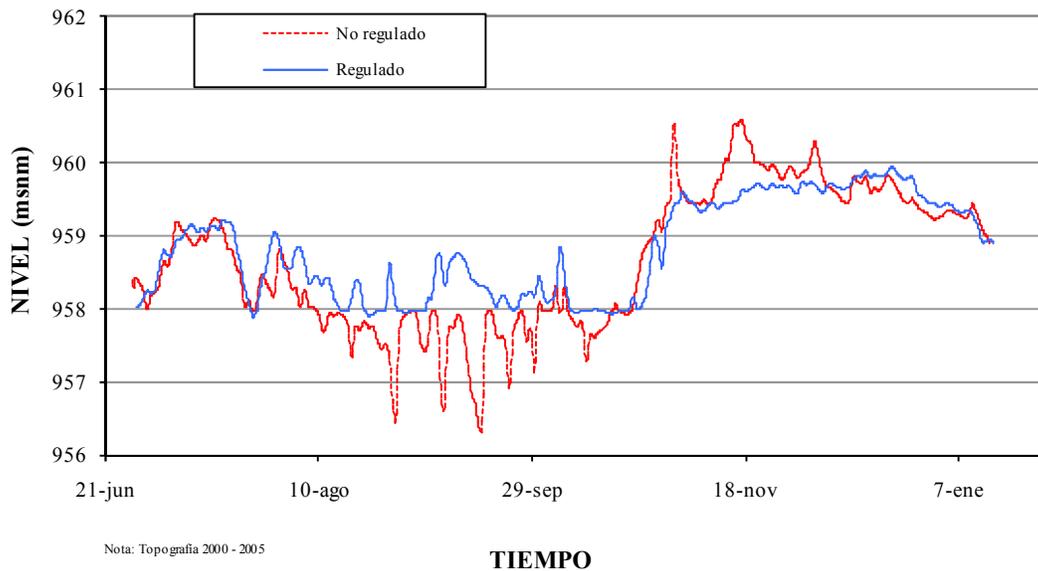
**FIGURA 5.55 CAUDALES REGISTRADOS DURANTE LAS CRECIENTES HISTÓRICAS DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1998 Y 2011 ESTACION: ANACARO**



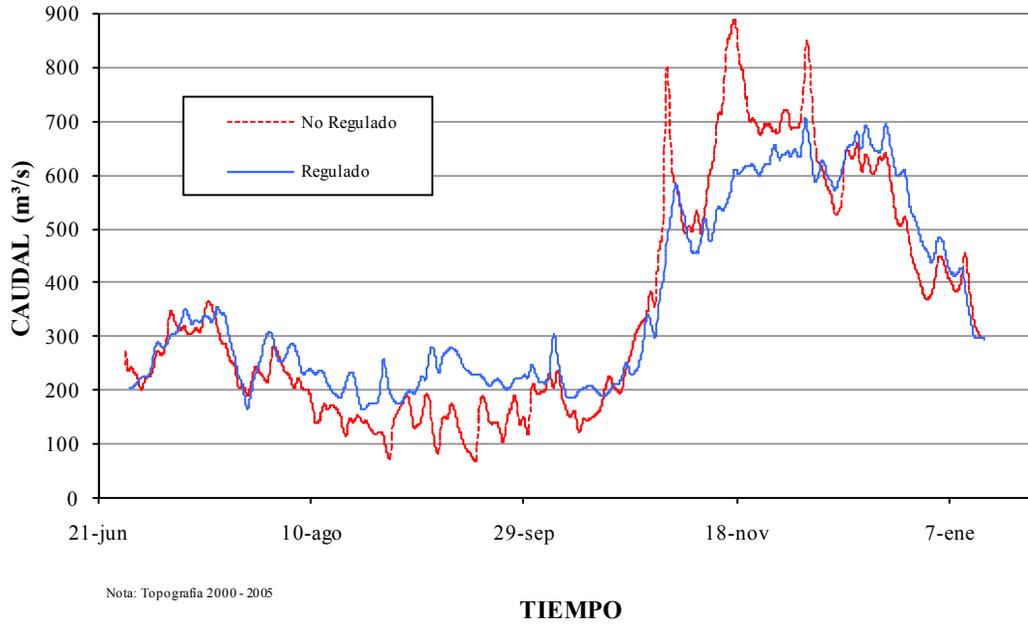
**FIGURA 5.56 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACION: LA BOLSA**



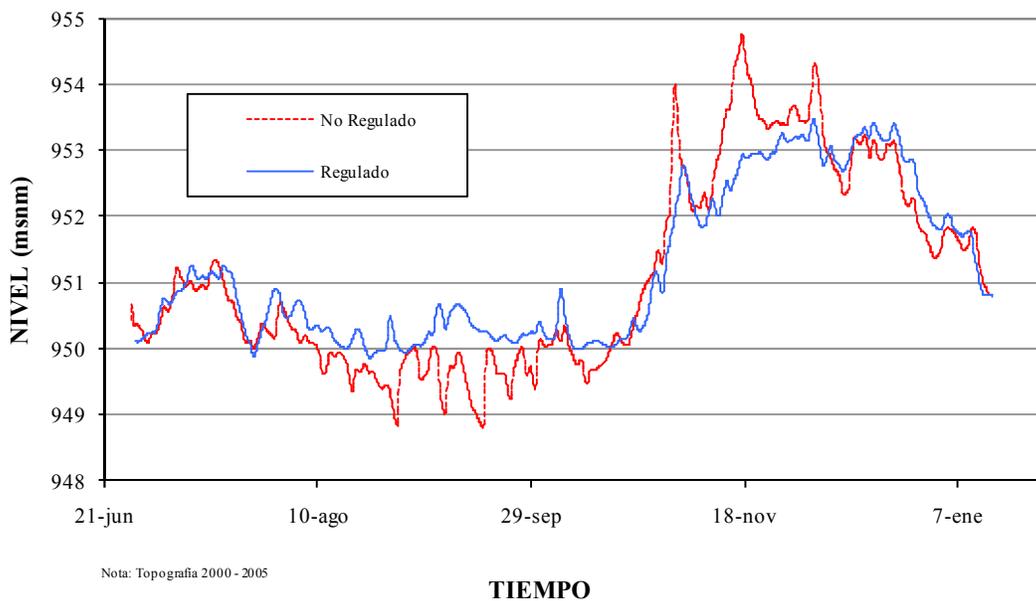
**FIGURA 5.57 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACION: LA BOLSA**



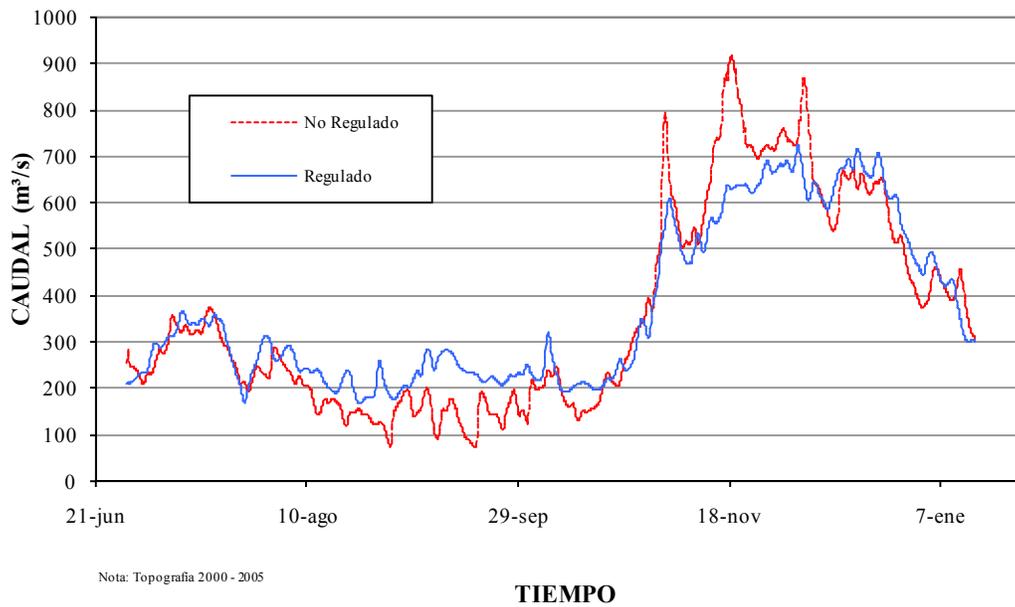
**FIGURA 5.58 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACION: HORMIGUERO**



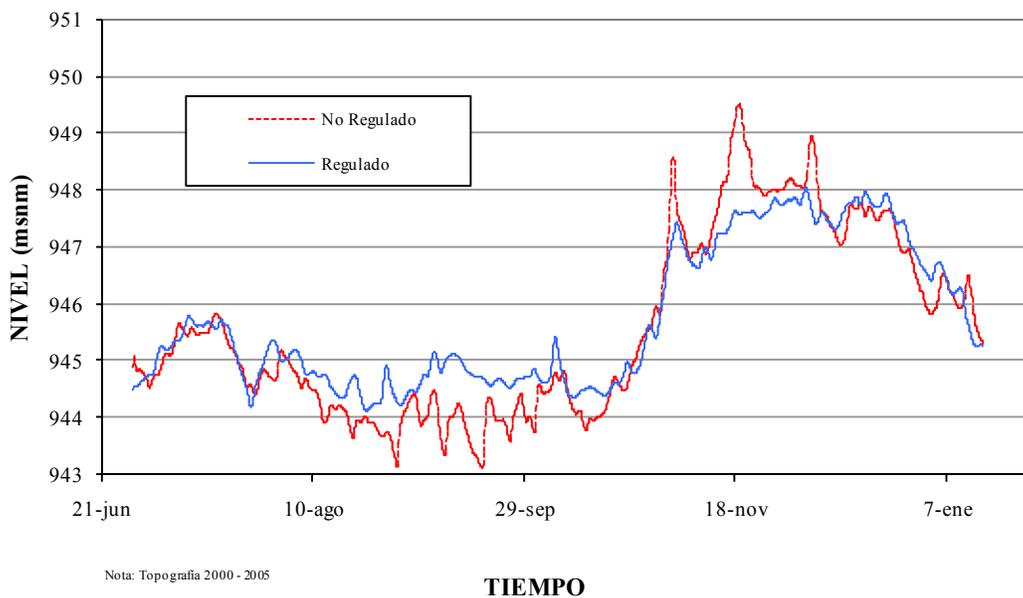
**FIGURA 5.59 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACION: HORMIGUERO**



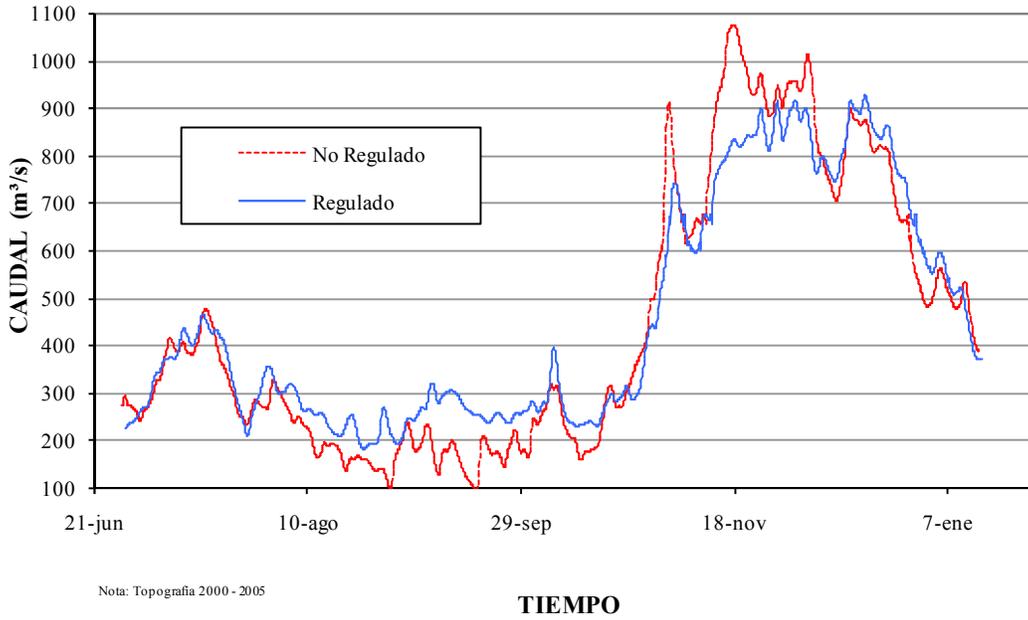
**FIGURA 5.60 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACION: JUANCHITO**



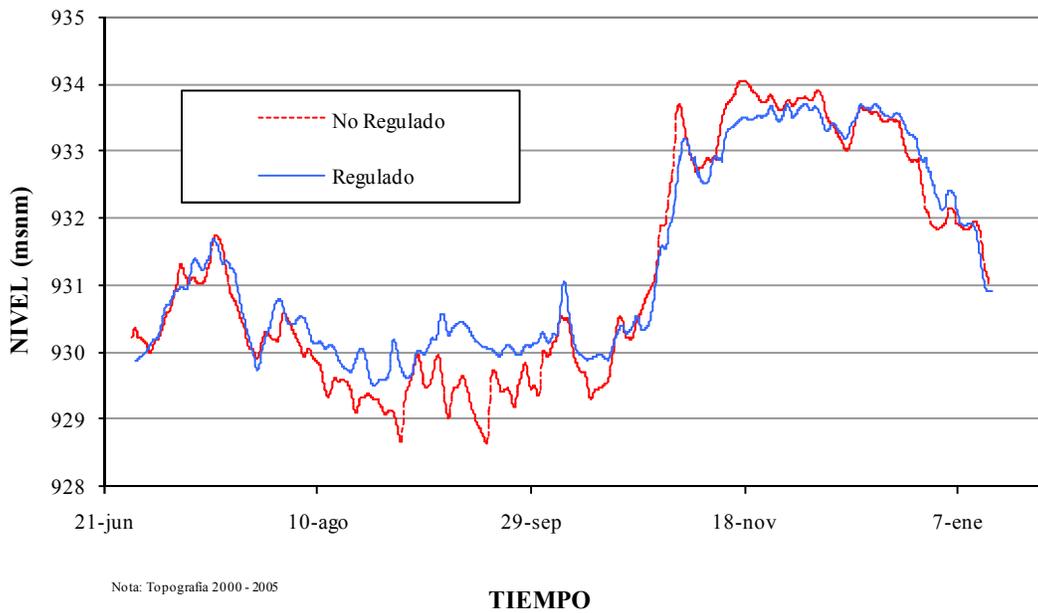
**FIGURA 5.61 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACION: JUANCHITO**



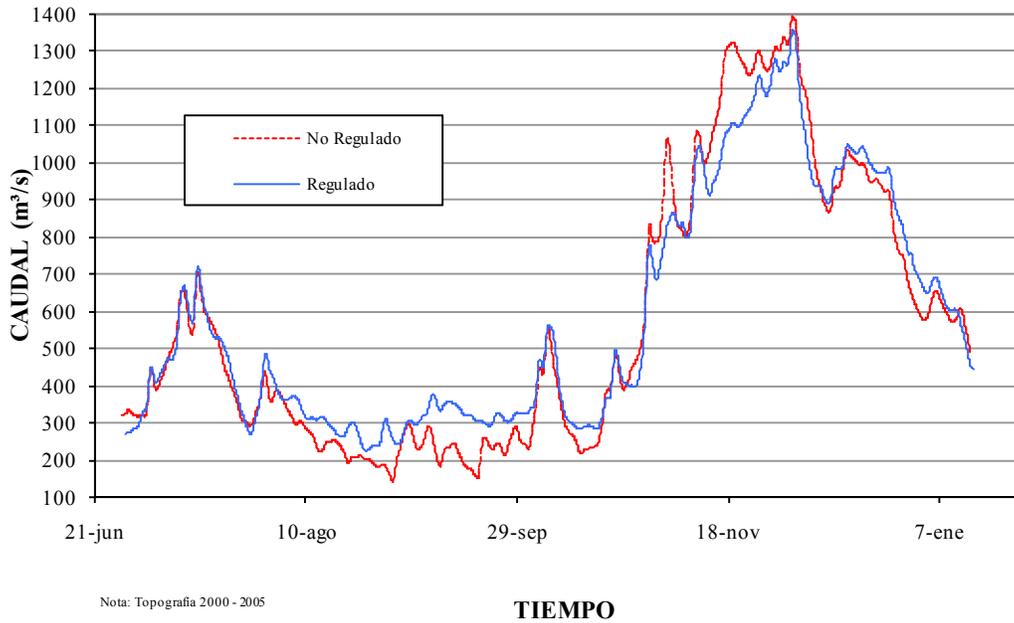
**5.62 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACION: MEDIACANOA**



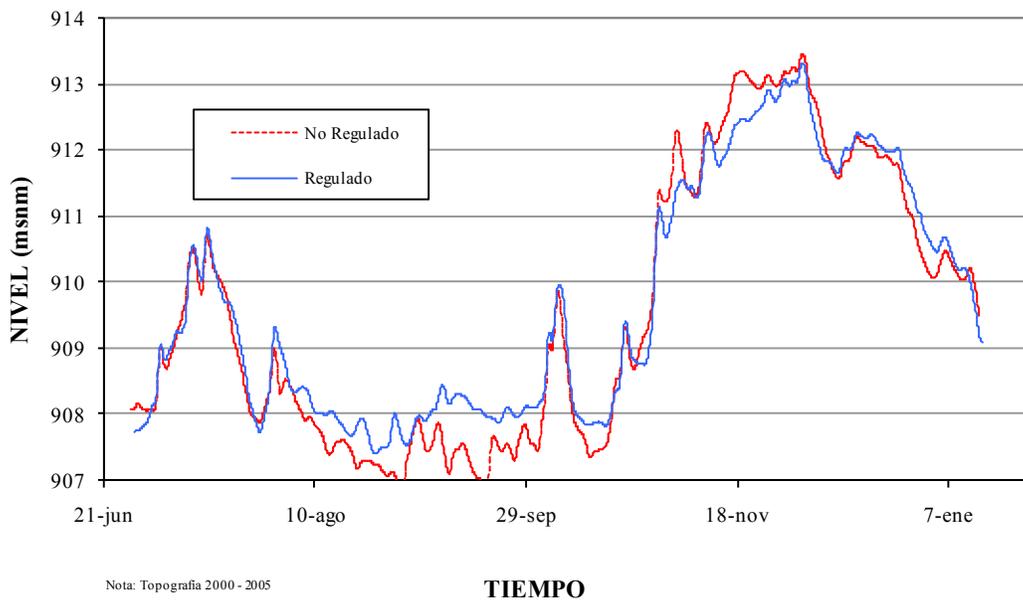
**FIGURA 5.63 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACION: MEDIACANOA**



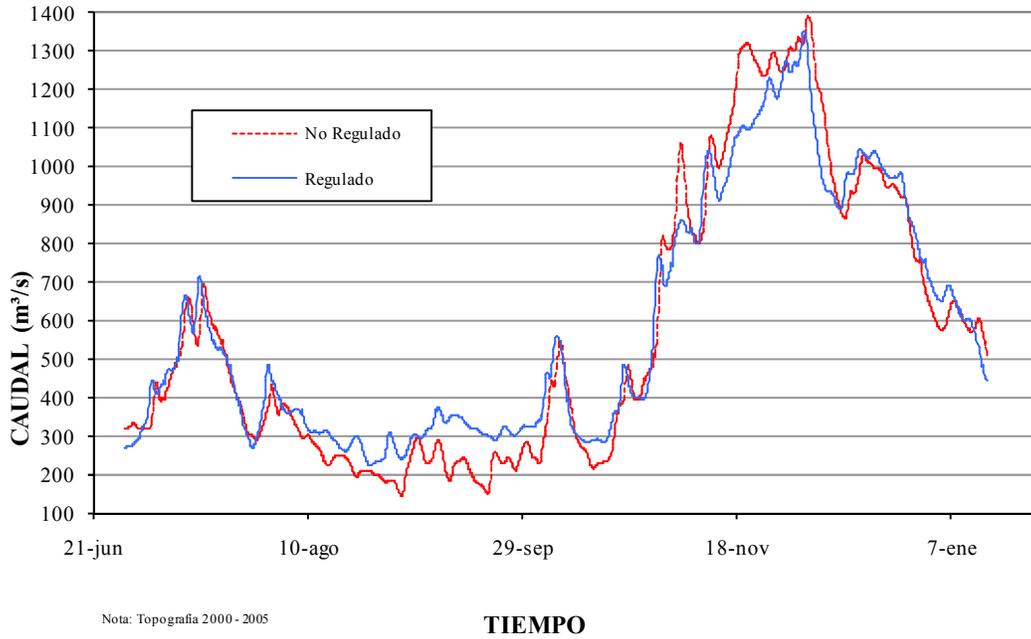
**FIGURA 5.64 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACIÓN: GUAYABAL**



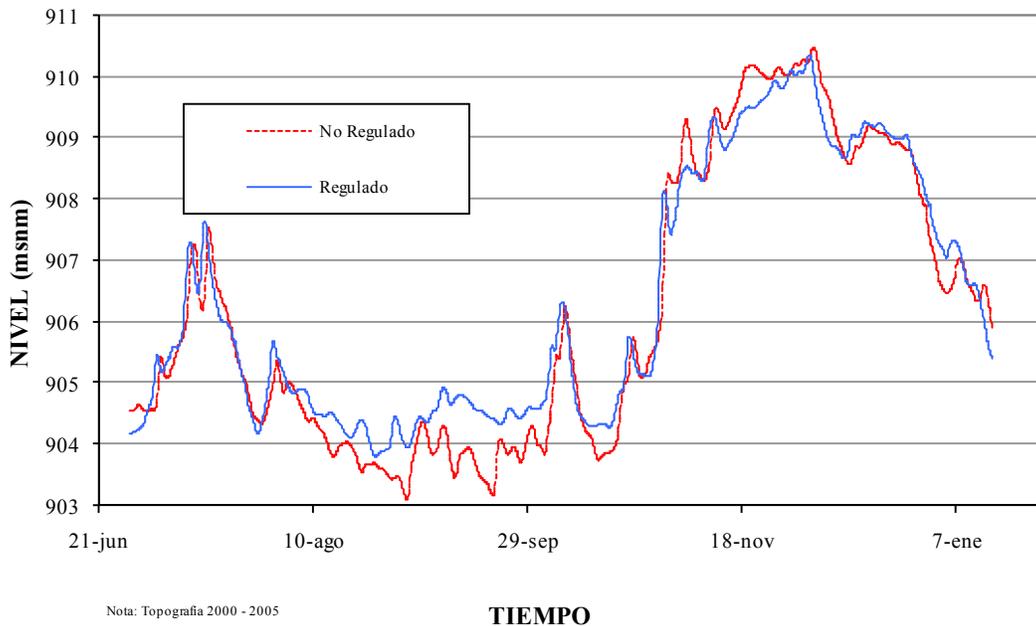
**FIGURA 5.65 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACIÓN: GUAYABAL**



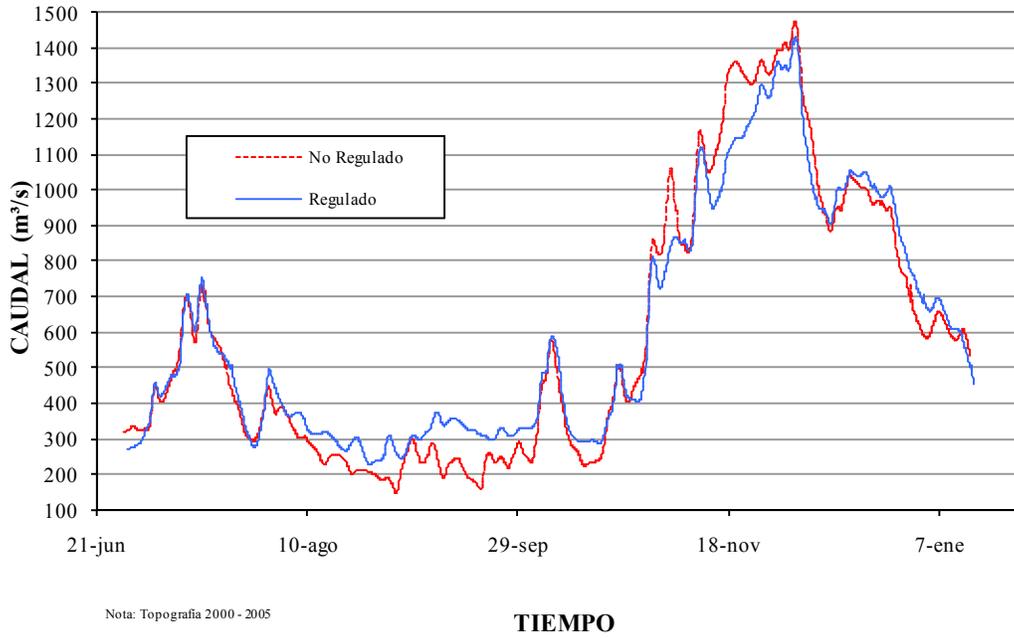
**FIGURA 5.66 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACIÓN: LA VICTORIA**



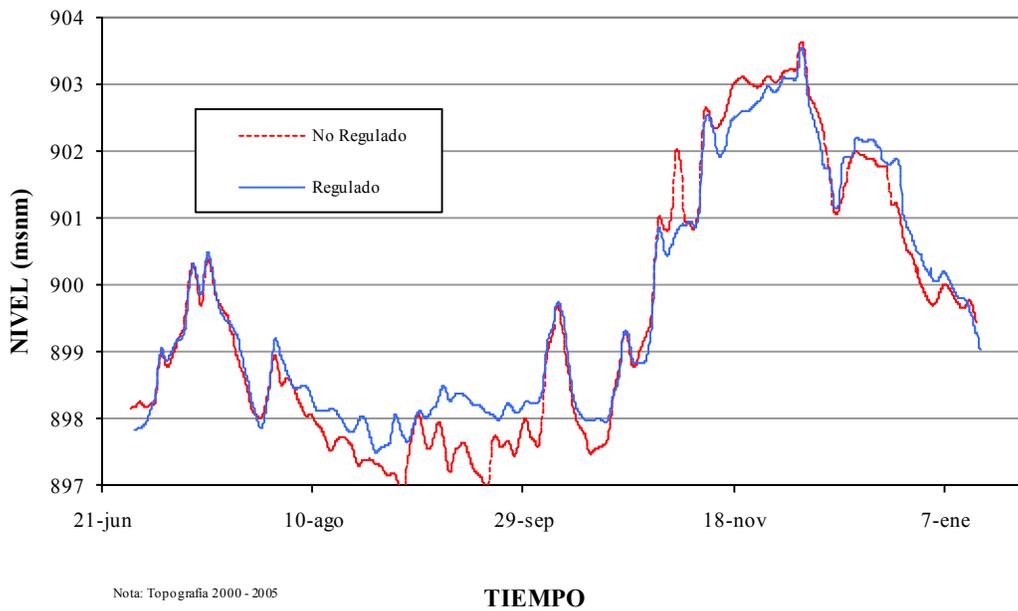
**FIGURA 5.67 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACIÓN: LA VICTORIA**



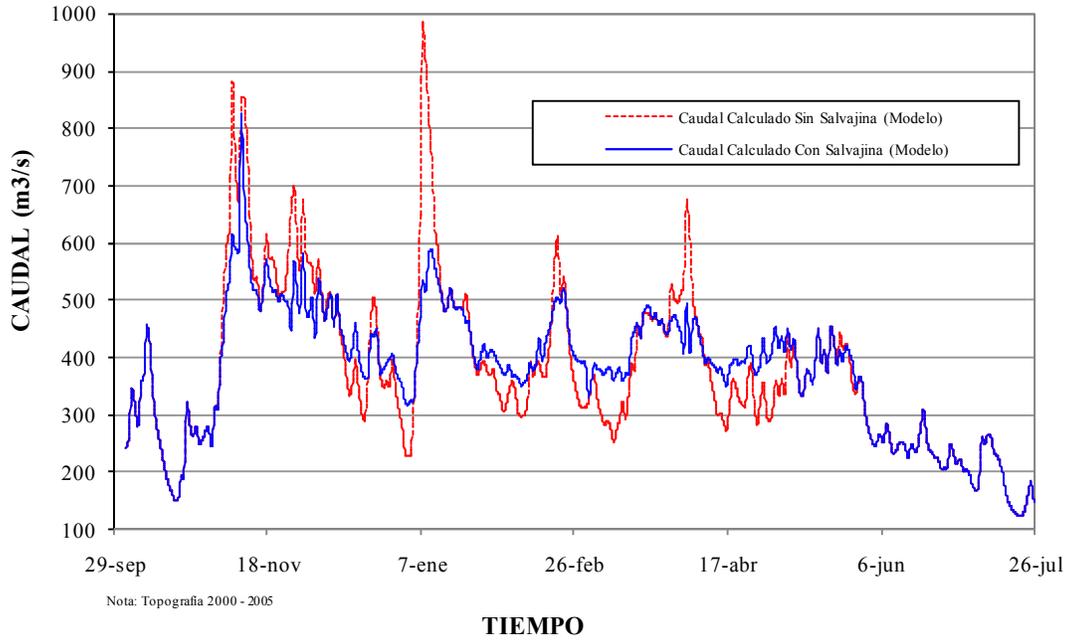
**FIGURA 5.68 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACIÓN: ANACARO**



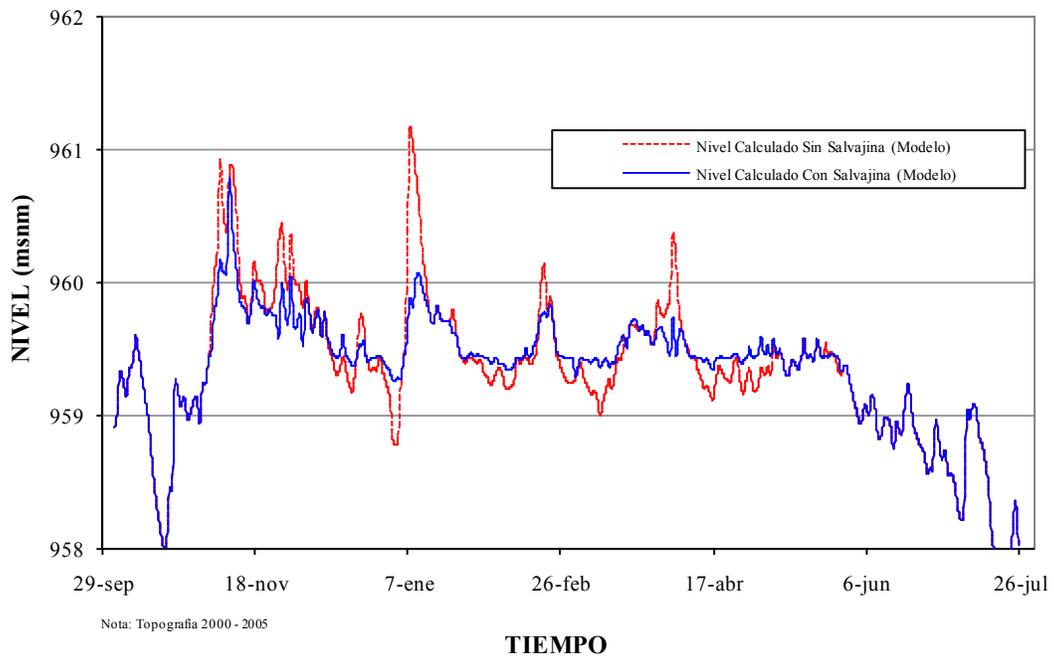
**FIGURA 5.69 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE DEL AÑO 2010  
ESTACIÓN: ANACARO**



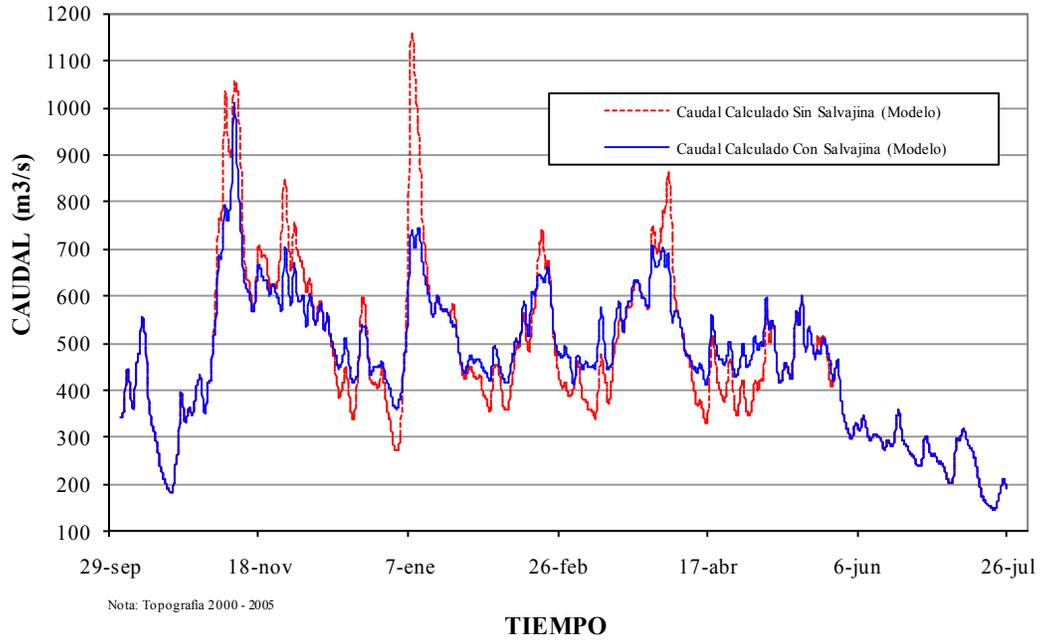
**FIGURA 5.70 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971 ESTACIÓN: LA BOLSA**



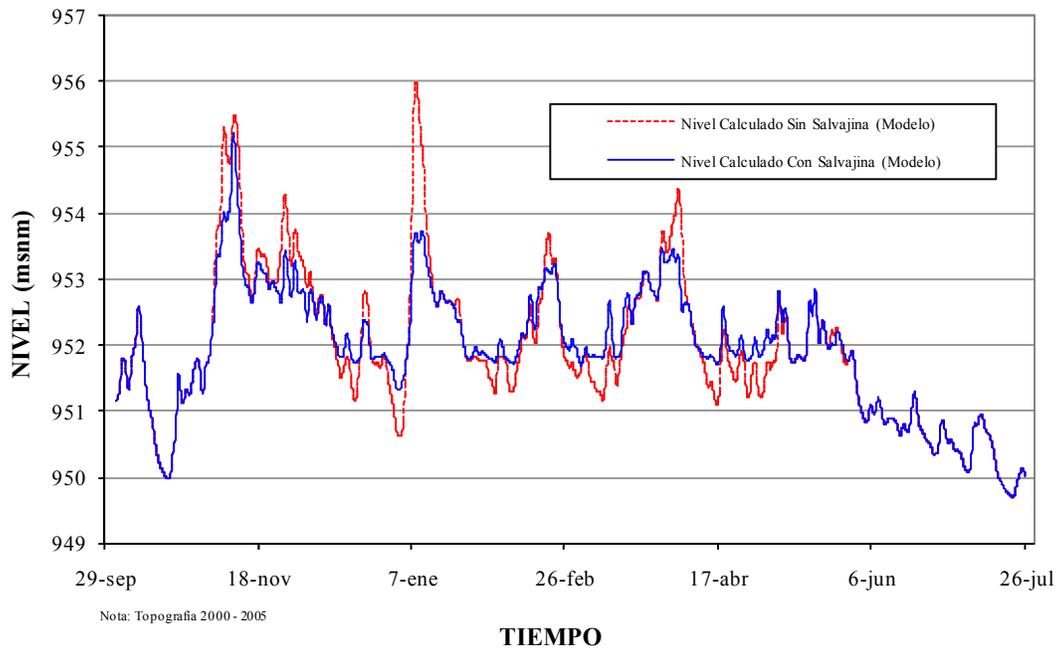
**FIGURA 5.71 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971 ESTACIÓN: LA BOLSA**



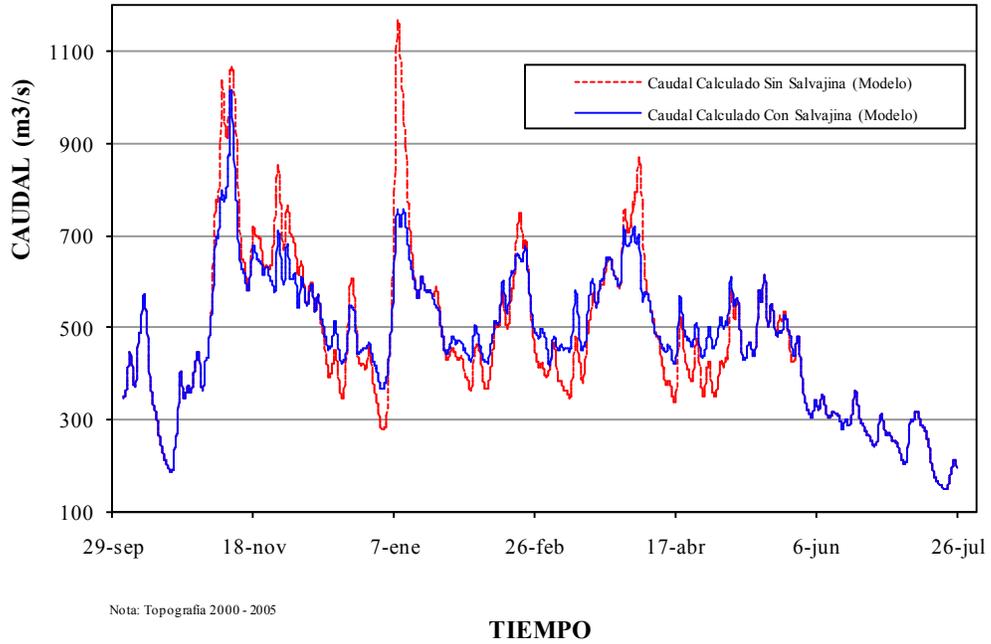
**FIGURA 5.72 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971  
ESTACIÓN: HORMIGUERO**



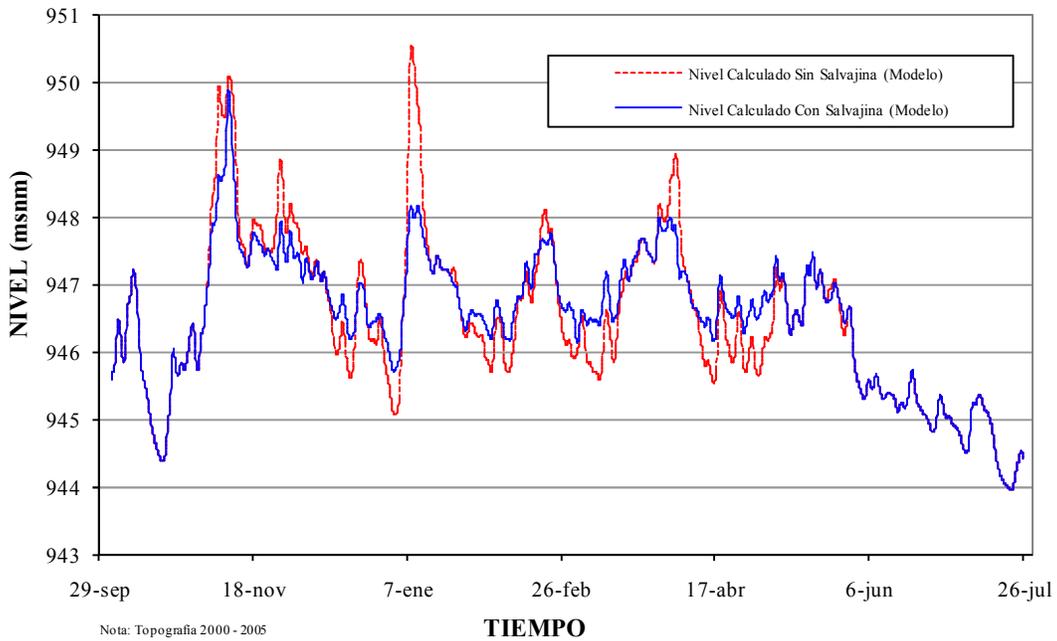
**FIGURA 5.73 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971  
ESTACIÓN: HORMIGUERO**



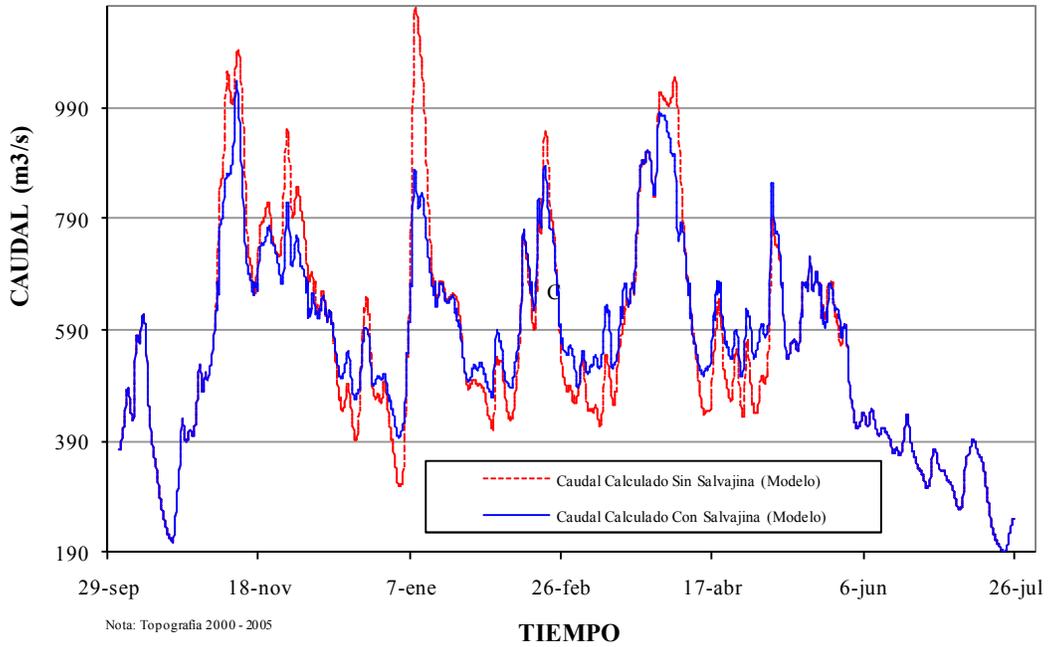
**FIGURA 5.74 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971  
ESTACIÓN: JUANCHITO**



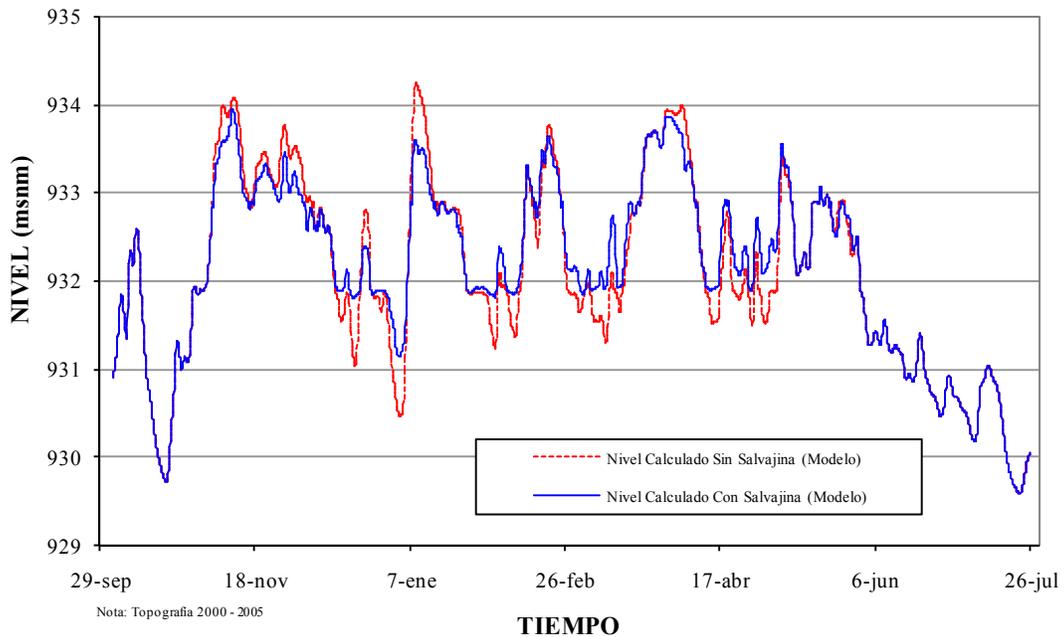
**FIGURA 5.75 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971  
ESTACIÓN: JUANCHITO**



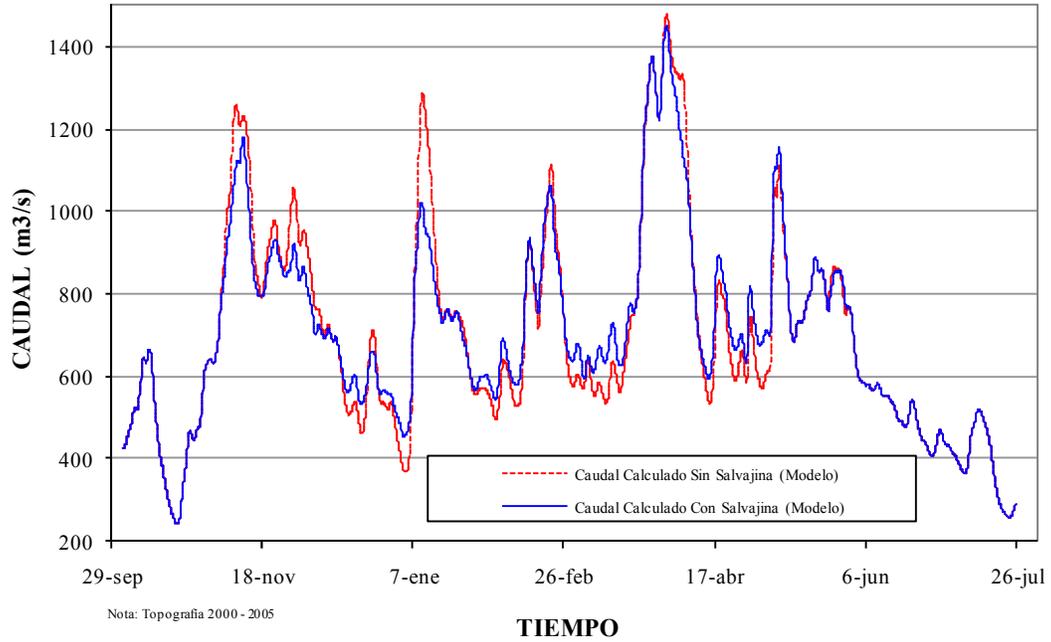
**FIGURA 5.76 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971  
ESTACIÓN: MEDIACANOA**



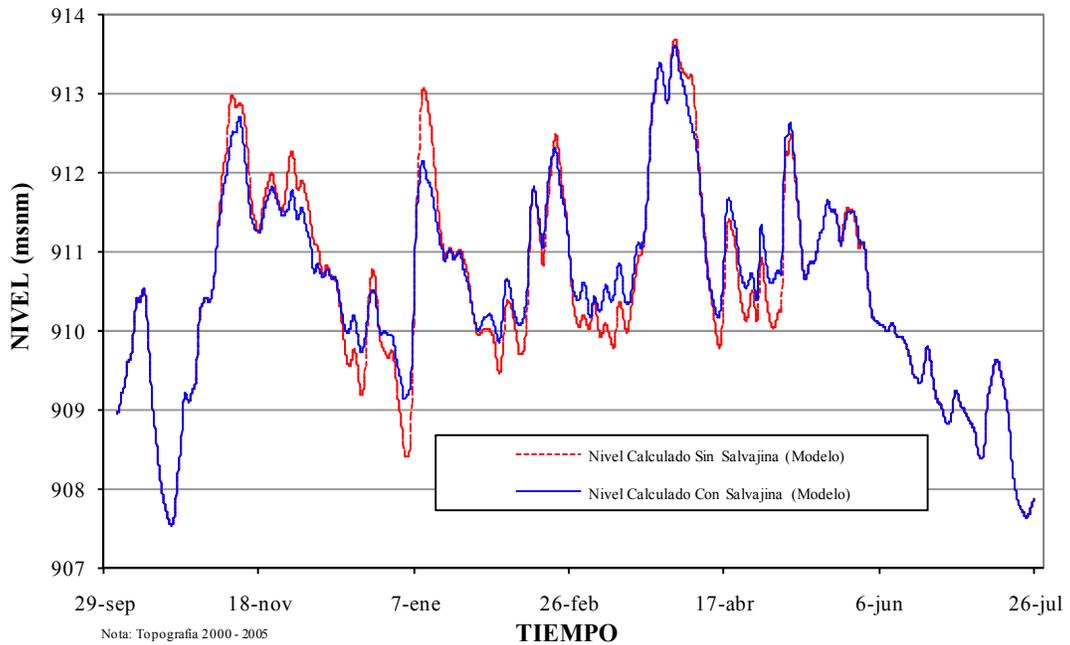
**FIGURA 5.77 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971  
ESTACIÓN: MEDIACANOA**



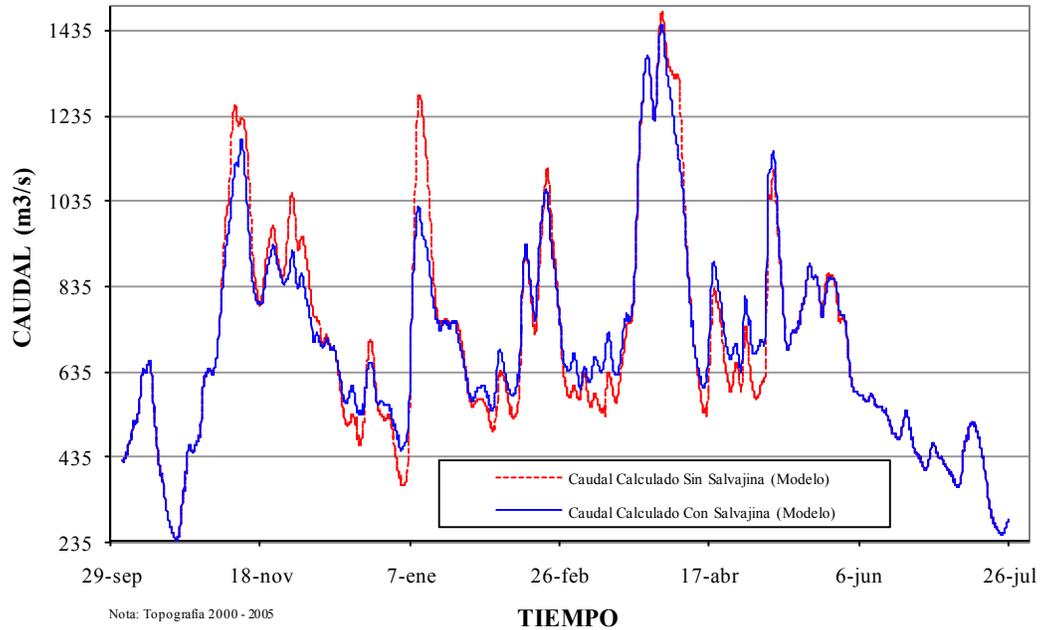
**FIGURA 5.78 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971  
ESTACIÓN: GUAYABAL**



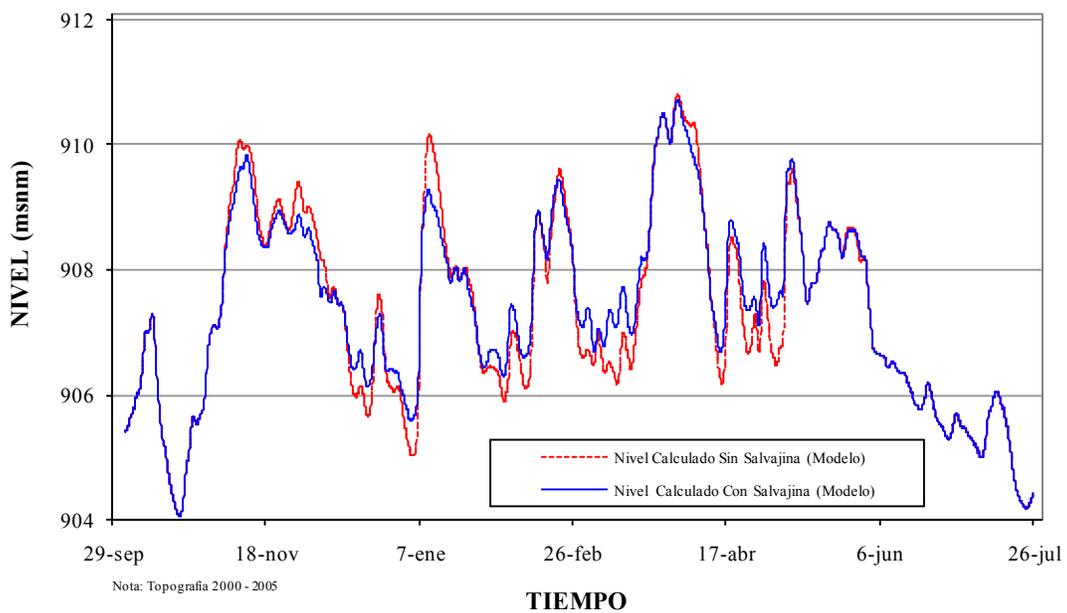
**FIGURA 5.79 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971  
ESTACIÓN: GUAYABAL**



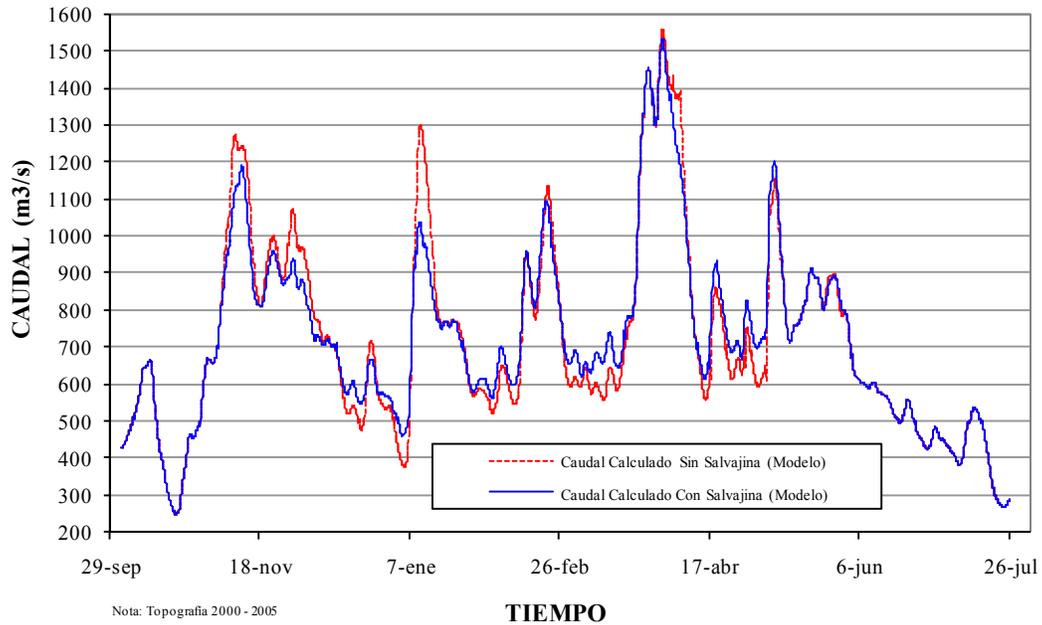
**FIGURA 5.80 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971  
ESTACIÓN: LA VICTORIA**



**FIGURA 5.81 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971  
ESTACIÓN: LA VICTORIA**



**FIGURA 5.82 CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971  
ESTACIÓN: ANACARO**



**FIGURA 5.83 NIVELES CORRESPONDIENTES A CAUDALES CALCULADOS REGULADOS Y NO REGULADOS POR EL EMBALSE DE SALVAJINA PARA LA CRECIENTE OCURRIDA ENTRE 1970 Y 1971  
ESTACIÓN: ANACARO**

