

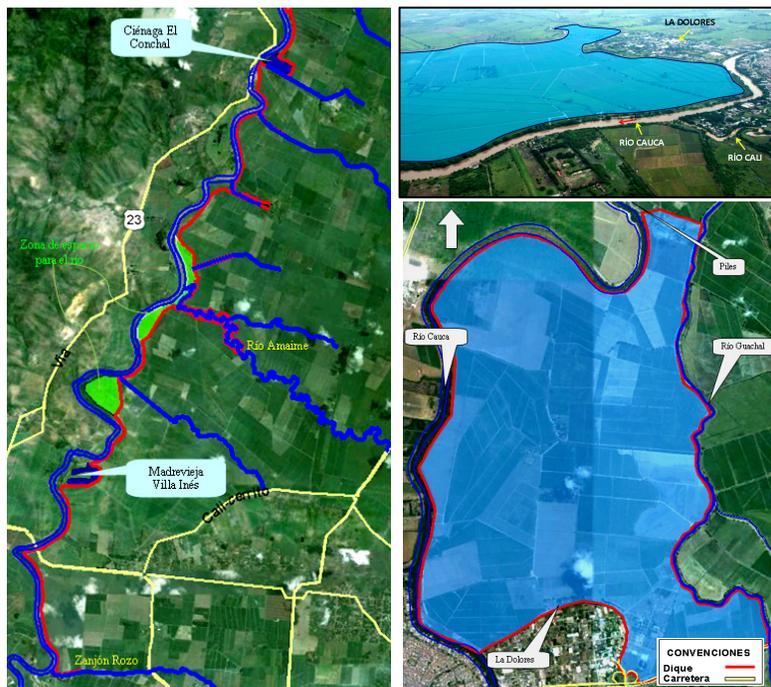


Convenio de Asociación No.001 de 2013
ASOCARS – UNIVERSIDAD DEL VALLE



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

**PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES PARA LA
GESTIÓN DE INUNDACIONES EN EL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA**



VOLUMEN IX



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



Santiago de Cali, Junio de 2014

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. Carlos Omar Ayala Collazos	Ingeniero Civil
Ing. Andrés Felipe Ojeda Arias	Ingeniero Agrícola
Ing. Edwin Hurtado Orobio	Ingeniero Civil
Ing. Emilio Corrales Lalinde	Ingeniero Civil
Ing. David Cataño Benavides	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:

Diana Gimena Martínez, Daniela Muñoz, Elizabeth Fajardo y Valeria Patiño.

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

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1.1
2. MEDIDAS PARA LA GESTIÓN DE INUNDACIONES	2.1
2.1. MEDIDAS ESTRUCTURALES	2.1
2.1.1 Medidas Extensivas	2.1
2.1.2. Medidas Intensivas	2.2
2.2. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES	2.5
2.2.1. Sistema de Pronóstico y Alerta Temprana	2.5
2.2.2 Mapas de Amenaza de Inundación.....	2.5
2.2.3. Mapas de Riesgo de Inundación.....	2.7
2.2.4. Seguro de Inundación.....	2.8
2.2.5. Construcciones Resistentes a Crecientes.....	2.8
2.2.6. Planes de Reubicación.....	2.8
3. CATÁLOGO DE PROPUESTAS DE MEDIDAS ESTRUCTURALES CONSIDERADAS PARA EL RÍO CAUCA.....	3.1
3.1. EMBALSES DE REGULACIÓN DE CRECIENTES.....	3.2
3.2. LAGUNAS DE LAMINACIÓN DE CRECIENTES.....	3.4
3.3. DIQUES.....	3.9
3.3.1 Realce de diques	3.10
3.3.2 Reubicación de diques.....	3.14
3.3.3 Dobles diques	3.17
3.4. CANALES SECUNDARIOS	3.21
3.5. INCLUSIÓN DEL SISTEMA DE HUMEDALES AL RÍO.....	3.23
3.6. OTRAS MEDIDAS	3.23
3.6.1 Descenso de la llanura de inundación.....	3.24
3.6.2 Mantenimiento de vegetación en las llanuras de inundación	3.25
3.6.3. Reconexión de la planicie de inundación	3.26
3.6.4. Intervenciones en el cauce.....	3.26
4. ESTUDIOS EXISTENTES DE MEDIDAS ESTRUCTURALES DE PROTECCIÓN EN EL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA.....	4.1
4.1. ESTUDIOS DE OBRAS DE CONTROL DE INUNDACIONES.....	4.1
4.1.1. Proyecto Regulación del río Cauca (1975).....	4.1
4.1.2. Anillo de Aguablanca (1958)	4.4
4.1.3. Anillo RUT (1959)	4.5
4.1.4. Embalse de Salvajina (1986)	4.6
4.1.5. Anillos de protección (2000).....	4.7
4.1.6. Levantamiento topográfico de ejes de diques marginales y llanura de inundación del río cauca tramo Yumbo – Tuluá (2006).....	4.8
4.2 MODELACIÓN DE ESCENARIOS DE OBRAS DE PROTECCIÓN	4.9
4.2.1 Modelación de proyectos de control de inundaciones (2007).....	4.9
4.2.2 Análisis de la incidencia de la operación del embalse de salvajina sobre el río Cauca (2007).....	4.10
4.2.3. Modelación matemática del sistema río Cauca – humedales (2009).....	4.11
4.1.7. Regulación de caudales en los ríos tributarios	4.12

4.1.8.	Modelación hidrodinámica del río Cauca en el tramo La Bolsa - Guayabal, para definir la altura y la adecuada localización de diques riberaños (2011).....	4.14
5.	PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES PARA EL MANEJO DE LAS INUNDACIONES EN EL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA	5.1
5.1	ALTERNATIVAS CONSIDERADAS PARA EL MANEJO DE INUNDACIONES EN EL RÍO CAUCA.....	5.2
5.1.1	Zonas de Amortiguamiento Multipropósito	5.2
5.1.2	Diques y humedales integrados al sistema fluvial.....	5.8
5.1.3	Lagunas de Laminación.....	5.9
5.1.4	Embalses de regulación en tributarios.....	5.9
5.2	SELECCIÓN DE MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LOS DIFERENTES SECTORES A LO LARGO DEL RÍO CAUCA	5.13
5.2.1	Consideraciones generales en la formulación de las intervenciones.....	5.14
5.2.2	Medidas estructurales planteadas a lo largo del valle alto del río Cauca	5.15
6.	PRIORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS	6.1
6.1	CRITERIOS DE CALIFICACIÓN	6.1
6.1.1	Matriz de comparación por pares	6.1
6.1.2	Diques con integración de humedales	6.4
6.1.2	Lagunas de laminación	6.8
6.1.3	Embalses en tributarios.....	6.13
6.2	CALIFICACIÓN DE CADA UNA DE LAS INTERVENCIONES	6.17
6.2.1	Rangos de calificación.....	6.18
6.2.2	Clasificación de intervenciones según el tipo de medida	6.19
6.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	6.26
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	7.1
8.	BIBLIOGRAFÍA	8.1

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 2.1. Descripción de los principales tipos de medidas estructurales	2.1
Cuadro 3.1. Proyecto río Sipalay.....	3.28
Cuadro 4.1. Embalses viables en tributarios.....	4.2
Cuadro 4.2 Escenarios evaluados para establecer criterios para la determinación del ancho óptimo de la franja forestal protectora.....	4.11
Cuadro 5.1 Zonas de Amortiguamiento Multipropósito propuestas en el Valle Alto del Río Cauca	5.6
Cuadro 5.2 Zonas de Embalses naturales propuestas en el Valle Alto del río Cauca	5.7
Cuadro 6.1 Plazo de ejecución de cada tipo de medida.....	6.1
Cuadro 6.2 Escala de calificación de Saaty	6.2
Cuadro 6.3 Ejemplo de matriz de comparación por pares.....	6.2
Cuadro 6.4 Índice de consistencia aleatorio	6.3
Cuadro 6.5 Criterios para priorización de la Medida Diques	6.4
Cuadro 6.6 Calificación criterios para Diques - Experto 1.....	6.5
Cuadro 6.7 Calificación criterios para Diques - Experto 2.....	6.5
Cuadro 6.8 Calificación criterios para Diques - Experto 3.....	6.6
Cuadro 6.9 Calificación criterios para Diques - Experto 4.....	6.6
Cuadro 6.10 Calificación global con base en el criterio de los 4 expertos.....	6.7
Cuadro 6.11 Valores ponderados para cada criterio de la medida Diques	6.7
Cuadro 6.12 Criterios para priorización de la Medida Lagunas de laminación	6.9
Cuadro 6.13 Calificación criterios para Diques - Experto 1.....	6.9
Cuadro 6.14 Calificación criterios para Diques – Experto 2.....	6.10
Cuadro 6.15 Calificación criterios para Diques – Experto 3.....	6.10
Cuadro 6.16 Calificación criterios para Diques – Experto 4.....	6.11
Cuadro 6.17 Calificación global con base en el criterio de los 4 expertos.....	6.11
Cuadro 6.18 Valores ponderados para cada criterio de la medida Lagunas de Laminación	6.12
Cuadro 6.19 Criterios para priorización del Embalse en tributarios	6.13
Cuadro 6.20 Calificación criterios para Diques - Experto 1.....	6.14
Cuadro 6.21 Calificación criterios para Diques – Experto 2.....	6.14
Cuadro 6.22 Calificación criterios para Diques – Experto 3.....	6.15
Cuadro 6.23 Calificación criterios para Diques – Experto 4.....	6.15
Cuadro 6.24 Calificación global con base en el criterio de los 4 expertos.....	6.16
Cuadro 6.25 Calificación global con base en el criterio de los 4 expertos.....	6.16
Cuadro 6.26 Valores de calificación de criterios.....	6.18
Cuadro 6.27 Lista de priorización de medidas tipo Dique	6.19
Cuadro 6.28 Valores por criterio para cada una de las medidas tipo Dique.....	6.21
Cuadro 6.29 Lista de priorización de medidas tipo Lagunas de Laminación.....	6.22
Cuadro 6.30 Valores por criterio para cada una de las medidas tipo Lagunas de Laminación	6.23
Cuadro 6.31 Lista de priorización de medidas tipo Embalses en Tributarios	6.24
Cuadro 6.32 Valores por criterio para cada una de las medidas tipo Embalses en tributarios	6.25

LISTADO DE FIGURAS

Figura 2.1. Efecto del retiro de la cobertura vegetal en el escurrimiento.....	2.2
Figura 2.2. Protección localizada contra inundaciones por medio de dique	2.3
Figura 2.3. Almacenamiento de volúmenes de creciente por medio de presas	2.4
Figura 2.4. Mapas de inundación y amenaza de inundación en el sector de la laguna de Sonso en el Valle del Cauca	2.6
Figura 3.1. Medidas estructurales a implementar en el Valle alto del río Cauca: (a) Almacenamiento de agua, (b) Realce de diques, (c) Reubicación de diques y (d) Canales secundarios	3.1
Figura 3.2. Hidrógrafa de reducción del pico de descarga	3.2
Figura 3.3. Localización general de algunas obras a lo largo del río Nilo	3.4
Figura 3.4. Laguna de laminación (a) Fuera de línea y (b) En línea	3.5
Figura 3.5. Arreglo general para un desvío temporal	3.6
Figura 3.6. Vista en planta del embalse de Cañaveralejo	3.8
Figura 3.7. Esquema típico de realce de diques. Izquierda la forma correcta de hacerlo; Derecha la forma más común encontrada en nuestro medio	3.10
Figura 3.8. Evolución histórica sección transversal río Po	3.11
Figura 3.9. Tendencia del nivel de agua en el cauce principal en relación con la construcción de diques.....	3.11
Figura 3.10. Configuración de los eventos de inundación	3.12
Figura 3.11. Anillo de protección distrito Aguablanca	3.13
Figura 3.12. Perfil de la margen izquierda dique Aguablanca	3.14
Figura 3.13. Reubicación de diques en el río Elba a la altura de Lenzen.....	3.16
Figura 3.14. Dobles diques, uno de verano o inundación frecuente y otro de invierno o inundaciones de altos períodos de retorno.....	3.17
Figura 3.15. Mapa de transporte de La Mojana Sucreña.....	3.18
Figura 3.16. Modelo del proyecto de La Mojana Sucreña	3.19
Figura 3.17. Proyecto de disminución de diques.....	3.20
Figura 3.18. Esquemas de dobles diques.....	3.20
Figura 3.19. Esquema del canal de desvío propuesto.....	3.22
Figura 3.20. Desarrollo del proyecto para eliminar el efecto cuello botella mediante un canal de desvío.....	3.22
Figura 3.21. Inclusión de los humedales a la dinámica del río.....	3.23
Figura 3.22. Humedal como laguna de detención fuera de línea con diques de cierre y estructuras de control de entrada y salida de flujo.....	3.24
Figura 3.23. Adecuación llanura de inundación, río Waal - Holanda	3.25
Figura 3.24. Corte del meandro de un río.....	3.27
Figura 4.1 Ubicación general del distrito de riego RUT	4.6
Figura 5.1 Ubicación de diques según artículo 052.....	5.9
Figura 5.2 Esquema del Embalse del río Timba.....	5.11
Figura 5.3 Esquema del Embalse del río Bugalagrande.....	5.12
Figura 5.4 Esquema del embalse del río Riofrío	5.13
Figura 5.5 Esquema de diques conformando un delta en la desembocadura de tributarios	5.15
Figura 5.6 Esquema de medidas estructurales planteadas en el valle alto del río Cauca ..	5.15

Figura 6.1 Valores ponderados para cada criterio de la medidas Diques.....	6.8
Figura 6.2 Valores ponderados para cada criterio de la medida Lagunas de Laminación	6.12
Figura 6.3 Valores ponderados para cada criterio de la medida Embalses	6.17
Figura 6.4 Lista de priorización de medidas tipo Dique con Integración de Humedales..	6.20
Figura 6.5 Lista de priorización de medidas tipo Lagunas de Laminación	6.22
Figura 6.6 Lista de priorización de medidas tipo Embalses en tributarios.....	6.24

LISTADO DE FOTOS

Foto 3.1. Vista panorámica hacia aguas abajo de laguna de laminación del río Parma	3.6
Foto 3.2. Hidrogramas de crecientes río Parma. Línea continúa situación natural, línea discontinua situación controlada	3.7
Foto 3.3. Estructura de control (vertedero) para almacenamiento y laminación del pico de crecientes y (b) Zona de embalse utilizada para actividades de recreación	3.9
Foto 3.4. Las casas ubicadas en la zona adaptadas para las inundaciones	3.21
Foto 4.1 Represa de Salvajina. Vista (a) Aguas abajo y (b) Aguas arriba	4.7

1. INTRODUCCIÓN

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 las planicies adyacentes, denominadas planicies o llanuras de inundación. Es decir, las reales dimensiones de un río están definidas por las áreas que ocupan sus aguas durante el invierno. Por consiguiente, las planicies de inundación 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 tienden a moverse o desplazarse horizontalmente dentro de una franja, conocida como el cinturón meándrico, a causa de la dinámica morfológica relativamente intensa. Las márgenes o taludes del cauce principal son erosionadas por la acción directa de la corriente, ocasionando el desplazamiento y la progresión de los meandros, llegando incluso, con alguna frecuencia, 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 avenidas o crecientes del río.

Cualquier intervención antrópica, independiente si corresponde a una medida estructural o no estructural, que se pretenda realizar para proteger de las inundaciones una cierta área del territorio 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.

Las condiciones climáticas, hidrológicas, hidráulicas y geomorfológicas del valle alto del río Cauca propician la generación de crecientes en el río y sus tributarios durante los períodos de invierno. Como consecuencia de estas crecientes frecuentemente se origina el desbordamiento del río y la inundación de las planicies adyacentes al mismo. No obstante, las inundaciones son parte importante de la dinámica natural de los ríos y son necesarias para mantener su buen estado ecológico, por cuanto en ellas se produce un aporte significativo de sedimentos y nutrientes, contribuyendo a la fertilización de las tierras de cultivo.

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 adelantó 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 planteamiento de medidas estructurales para la gestión de inundaciones en el Valle alto del río Cauca, teniendo como base los nuevos enfoques y las tendencias actuales que se están implementando con éxito alrededor del mundo. Estas tendencias procuran devolverle al sistema fluvial parte del espacio que le pertenece, lo cual permite laminar de forma más natural las crecientes, disminuyendo los caudales y los niveles máximos, obteniendo como resultado una reducción de los niveles de amenaza, y, por ende, mitigando los riesgos por inundaciones. En el Capítulo 2 del informe se presenta una descripción general de los diferentes tipos de medidas, tanto estructurales como no estructurales, generalmente empleadas para lograr un adecuado manejo de las inundaciones. La experiencia indica que una gestión más eficaz y eficiente del riesgo de inundaciones se logra cuando se implementan los dos tipos de medidas.

En el Capítulo 3 se presenta un catálogo de algunas de las medidas estructurales que se pueden considerar para el corredor del río Cauca en su valle alto, tomando como referencia algunos proyectos que se vienen implementando en diferentes países, en especial el proyecto “Espacio para el río” (*Room for the river*), desarrollado en Holanda en los últimos años.

Por otra parte, en el Capítulo 4 se presenta un compendio de los estudios existentes de medidas estructurales de protección en el valle alto del río Cauca, donde se listan los diferentes estudios realizados hasta la fecha de obras de control de inundaciones y los estudios de modelación matemática de escenarios de obras de protección ejecutadas.

Considerando las características particulares de la planicie aluvial del río Cauca así como las características de las inundaciones (frecuencia, caudales, niveles, volúmenes de agua transitados durante las crecientes, extensión de las áreas inundada), en el Capítulo 5 del informe se plantean algunas alternativas que se considera pueden conducir a un manejo más eficiente y eficaz de las inundaciones causadas por el desbordamiento del río Cauca. Las alternativas consideradas en el estudio fueron: (i) Zonas de amortiguamiento multipropósito, (ii) Diques y humedales integrados al sistema fluvial (Acuerdo CVC No. 052 de 2011), (iii) Lagunas de laminación y (v) Embalses de regulación en tributarios. Teniendo como objetivo principal alcanzar una mayor laminación o regulación de las crecientes en el río Cauca, con base en el análisis de la información disponible se seleccionó, en primera instancia, un conjunto de medidas estructurales para los diferentes sectores a lo largo del río Cauca, las cuales se presentan en este capítulo. En otro estudio de este proyecto (Modelación de alternativas estructurales para la gestión de inundaciones en el valle alto del río Cauca) se evalúan, mediante la modelación matemática, las alternativas planteadas y se presentan los resultados obtenidos, identificando las medidas más promisorias.

Posteriormente, en el Capítulo 6 se presenta e implementa una metodología de priorización de intervenciones, aplicada a las alternativas de “Medidas estructurales en la planicie” y “Embalses de regulación en tributarios”. Esta metodología tiene por objeto proponer, de manera preliminar, un plan de ejecución de las diferentes intervenciones propuestas.

Finalmente, en el Capítulo 7 se incluyen las principales conclusiones y recomendaciones del estudio de planteamiento de medidas estructurales para la gestión de inundaciones en el valle alto del río Cauca.

2. MEDIDAS PARA LA GESTIÓN DE INUNDACIONES

Para efectuar un adecuado manejo de las inundaciones se requiere implementar tanto medidas estructurales como no estructurales, las cuales pueden ser de diferentes tipos y con características que las convierten en apropiadas o no dependiendo de las condiciones específicas de cada situación determinada. A continuación se presenta una breve descripción de estas medidas.

2.1. MEDIDAS ESTRUCTURALES

Las medidas estructurales corresponden a obras de ingeniería que modifican el sistema fluvial con el objetivo de evitar el desbordamiento de la creciente hacia el cauce mayor. Cuando estas medidas se implementan en la cuenca reciben el nombre de medidas extensivas y cuando se implementan en el río se denominan medidas intensivas (Tucci, 2007; Invías, 2011). En el cuadro 2.1 se presentan las principales características de las medidas estructurales.

Cuadro 2.1. Descripción de los principales tipos de medidas estructurales

Medidas Estructurales		Ventaja	Desventaja	Aplicación
Extensivas	Cambio de la Cobertura Vegetal	Reducción del pico de la creciente	Inaplicable en áreas grandes	Cuencas Pequeñas
	Control de erosión	Reducción del escurrimiento	Inaplicable en áreas grandes	Cuencas Pequeñas
Intensivas	Construcción de Diques	Alto grado de protección	Generación de daños grandes si fallan	Ríos grandes
	Desobstrucción - Reducción de la rugosidad	Aumento de la capacidad de drenaje	Efecto puntual	Ríos pequeños
	Corte de Meandros	Aceleración del escurrimiento	Impacto negativo en ríos aluviales	Áreas de inundación estrechas
	Construcción de Represas	Regulación de la creciente	Difícil Localización	Cuencas medianas
	Canales de Desvío	Reducción del caudal en el canal principal	Dependencia de la topografía	Cuencas medianas y grandes

2.1.1 Medidas Extensivas

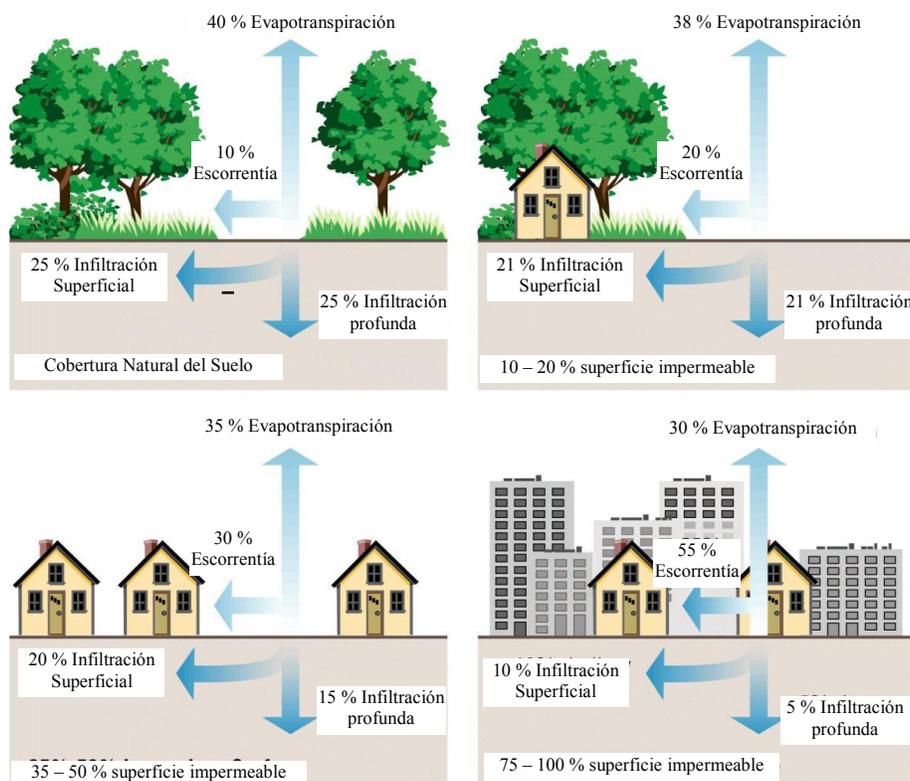
Las medidas extensivas corresponden a intervenciones en la cuenca que buscan modificar la relación precipitación – caudal. Entre estas medidas se tienen la alteración de la cobertura vegetal del suelo y el control de la erosión de la cuenca.

La cobertura vegetal reduce y retarda los picos de las crecientes mediante el almacenamiento de una parte de la precipitación a través de la interceptación vegetal, el aumento de la evapotranspiración y la reducción de las velocidades de flujo (Figura 2.1). El

aumento de la cobertura es una medida extensiva para el manejo de las inundaciones que aporta buenos resultados en cuencas pequeñas (áreas menores a 10 km²).

Debe evitarse la erosión del suelo de la cuenca por cuanto ésta tiene altos impactos ambientales debido al transporte de sedimentos. Entre estos impactos se tienen la disminución de la sección de los ríos, la alteración de la relación entre el transporte y la capacidad de transporte, la posible contaminación de los ríos aguas abajo y el aumento de la frecuencia de las inundaciones en los sectores en los que se produzca agradación del fondo. El control de la erosión se puede realizar mediante reforestación, construcción de pequeños reservorios, obras de estabilización de orillas e implementación de técnica agropecuarias adecuadas.

Figura 2.1. Efecto del retiro de la cobertura vegetal en el escurrimiento



Fuente: Federal Interagency Stream Restoration Working Group (2001)

2.1.2. Medidas Intensivas

Las medidas intensivas se enfocan en el río y pueden ser de tres tipos (Simons *et al.*, 1977): (i) obras que aceleran el escurrimiento, como son la construcción de diques, el aumento de la capacidad de drenaje de los ríos y la rectificación del cauce; (ii) obras que regulan la creciente, como por ejemplo, las presas; y, (iii) obras que desvían parte del caudal, como son los canales de desvíos.

- **Obras que aceleran el escurrimiento**

Diques

Los diques son estructuras en tierra localizados a una determinada distancia de las bancas de los ríos, que tienen la finalidad de evitar la inundación de la llanura de inundación. Entre los aspectos negativos de estas estructuras se tienen la reducción del ancho de la berma y el confinamiento del flujo, lo cual trae como consecuencia el aumento del nivel de agua para un mismo caudal, el aumento de la velocidad de flujo y de la erosión la sección transversal y la disminución del tiempo de viaje de la creciente.

Los diques permiten la protección localizada de ciertas zonas (Figura 2.2). En su diseño se debe planificar el drenaje de las áreas que escurren hacia al dique, el cual puede realizarse por bombeo o por gravedad.

Figura 2.2. Protección localizada contra inundaciones por medio de dique



Fuente: Brandimarte (2012)

En general, debe evitarse la construcción de diques demasiado altos porque si éstos llegan a fallar el impacto sería mayor que el que se tendría si los diques no existieran. Para el manejo de las inundaciones frente a centros poblados se debe adoptar un menor riesgo en comparación con terrenos dedicados a actividades agrícolas.

Cambios en el río

Los cambios en la morfología del río tienen como objetivo disminuir el nivel de agua para un determinado caudal, reduciendo de esta manera la frecuencia de las inundaciones. Estos cambios consisten en aumentar el área de la sección transversal y/o aumentar la velocidad de flujo y pueden obtenerse a través de la reducción de la rugosidad, el retiro de obstrucciones en la sección de flujo, el dragado del río y/o la rectificación del cauce. Estas medidas generalmente son costosas y deben ser evaluadas cuidadosamente dado que

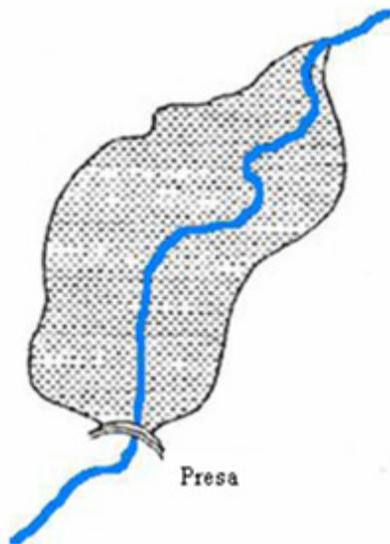
pueden generar cambios en la estabilidad del cauce afectando los tramos localizados aguas arriba y aguas abajo de la intervención realizada.

- **Obras que regulan la creciente**

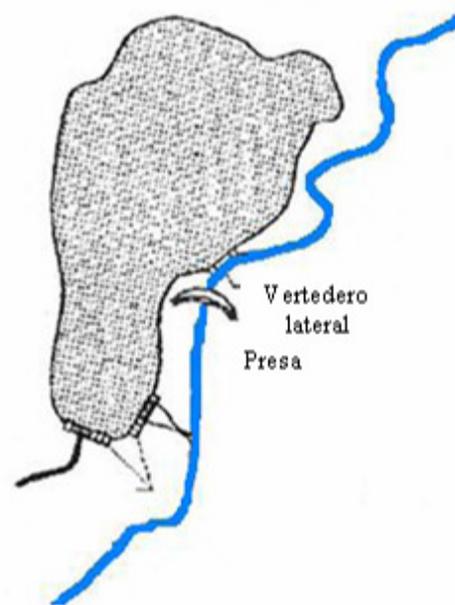
Las presas almacenan parte del volumen de agua correspondiente a las crecientes, disminuyendo los caudales pico y, en consecuencia, los impactos aguas abajo del embalse (Figura 2.3). Al diseñar una presa se deben tener en cuenta los efectos que se generarán por su construcción: aguas abajo el embalse generará el amortiguamiento de las crecientes, por lo cual es posible que se produzca la ocupación de áreas ribereñas no utilizadas y aguas arriba el nivel de agua en el embalse puede generar represamientos.

Figura 2.3. Almacenamiento de volúmenes de creciente por medio de presas

a. Almacenamiento sobre el curso del río



b. Almacenamiento a un lado del río



Fuente: Brandimarte (2012)

- **Obras que desvían parte del caudal**

Se fundamentan básicamente en desviar parte del caudal de la creciente que fluye por el canal principal de tal manera que se reduzcan los niveles de agua en este, a lo largo del tramo de desvío. Un ejemplo claro son los canales secundarios que se construyen con el propósito de reducir la presión del caudal sobre una zona en particular.

2.2. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

Las medidas no estructurales corresponden a aquellas medidas que permiten una mejor convivencia de la comunidad con las crecientes minimizando los impactos negativos a través de medidas de prevención como la zonificación de áreas de riesgos de inundación, los sistemas de pronóstico y alerta temprana, los seguros contra inundaciones y las medidas de protección individual (Tucci, 2007; Alveirinho, 2006).

Considerando que las medidas estructurales no se pueden proyectar para brindar una protección total, la estrategia más eficaz para la gestión de inundaciones se obtiene cuando se combinan las medidas estructurales y no estructurales, ya que éstas últimas complementan a las primeras contribuyendo a disminuir las pérdidas a un costo menor (Escuder, 2010; Tucci y Bertoni, 2003).

2.2.1. Sistema de Pronóstico y Alerta Temprana

Los sistemas de pronóstico y alerta temprana buscan avisar a la población en forma anticipada la ocurrencia de la creciente con el fin de que se tomen las medidas necesarias para disminuir los impactos negativos de la inundación (Hill y Verjee, 2012).

Estos están conformados por tres fases: prevención, alerta y mitigación. Durante la fase de prevención se llevan a cabo tareas preventivas con el fin de disminuir los perjuicios de las inundaciones cuando éstas ocurran. En la fase de alerta se realiza el acompañamiento durante la ocurrencia de los eventos de lluvia y en la fase de mitigación se desarrollan acciones con el fin de disminuir el impacto sobre la población una vez ha ocurrido la inundación; estas acciones pueden ser la reubicación de la población y de animales, la protección de sitios de interés público, el aislamiento de zonas de riesgo, etc (Tucci, 2007)

2.2.2 Mapas de Amenaza de Inundación

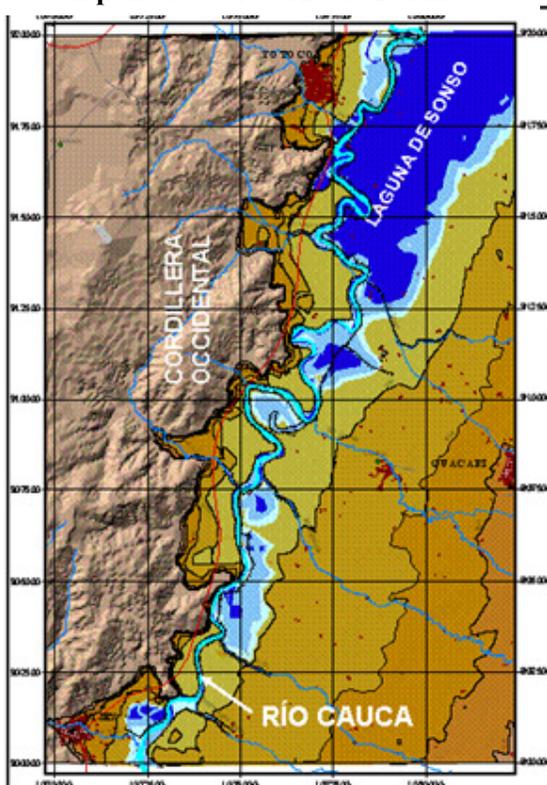
Los mapas de amenaza de inundación establecen las áreas que resultarán inundadas por crecientes correspondientes a tiempos de retorno seleccionados. Para la generación de estos mapas se debe contar con topografía detallada de las zonas sometidas a riesgo de inundación y se debe realizar una modelación matemática con el fin de determinar la extensión de las áreas inundadas y la magnitud de la inundación en términos de los niveles de agua, las velocidades en la planicie, etc. (Ríccardi, 1997; Ramírez *et al.*, 2002; Ribera, 2004). A manera de ejemplo, en la Figura 2.4 se presenta el mapa de inundación para una creciente con un período de retorno de 25 años y el mapa de amenaza de inundación generados para el sector de la Laguna de Sonso en el Valle del Cauca (Universidad del Valle - CVC, 2007b).

Los criterios de clasificación de la amenaza se basan en la combinación de factores hidrodinámicos y las características topográficas del terreno. En términos generales, la amenaza de inundación se establece a partir de cuatro criterios: (i) las profundidades de agua, (ii) la velocidad del flujo, (iii) la combinación de las profundidades de agua y las velocidades y (iv) la capacidad del flujo para generar erosión y transportar escombros (Oñate y otros, 2002).

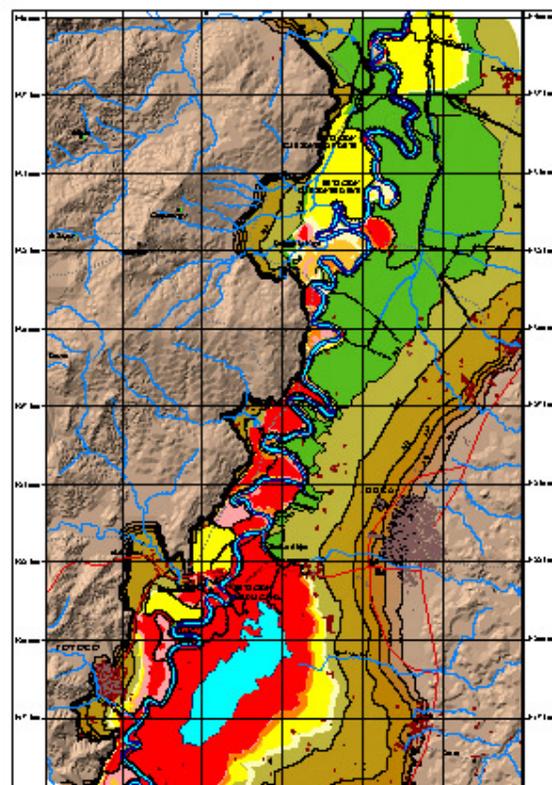
Se han desarrollado varias metodologías para la elaboración de los mapas de amenaza de inundación a partir de los criterios para la clasificación de la misma. Las metodologías existentes difieren entre sí en los requerimientos de información y los criterios establecidos para la zonificación de la amenaza (incluyendo los valores límites adoptados). Algunas de las metodologías desarrolladas son las siguientes: (i) Metodología establecida por la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones de España (Secretaría de Estado interior de España, 1995), (ii) Metodología adoptada por la Agencia Catalana del Agua (2003), (iii) Metodología planteada por el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana, PATRICOVA (Generalitat Valenciana, 2002), (iv) Metodología propuesta en el Plan Medioambiental del Ebro y tramo bajo del Cinca (Gobierno de Aragón – Iberinsa, 2005). (v) Metodología para la zonificación de amenaza por inundación del Bajo Magdalena, Cauca San Jorge, Sinú y Atrato propuesta por el IDEAM y la Universidad Nacional de Colombia (IDEAM – Universidad Nacional, 2011) (vi) Metodología para la evaluación de amenaza por inundación planteado por el International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC, 2003).

Figura 2.4. Mapas de inundación y amenaza de inundación en el sector de la laguna de Sonso en el Valle del Cauca

Mapa de inundación para una Creciente con período de retorno de 25 Años



Mapa de Amenaza de Inundación



2.2.3. Mapas de Riesgo de Inundación

Los mapas de riesgo de inundación son modelos que permiten la evaluación y predicción de las consecuencias de un evento de precipitaciones extraordinarias, es decir, permiten identificar, clasificar y valorar las áreas potencialmente inundables del territorio. La condición de riesgo se presenta únicamente cuando ocurre un evento natural en un área ocupada por actividades humanas que deben soportar las consecuencias de dicho evento. Por lo tanto, el riesgo es función de tres factores estrechamente interrelacionados: la amenaza, la vulnerabilidad y la exposición.

La amenaza o peligro se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural con una cierta magnitud, generalmente de carácter sorpresivo y de evolución rápida que afecta a un componente o a la totalidad del sistema territorial expuesto. En consecuencia, las inundaciones constituyen las amenazas. Desde esta perspectiva, la diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo es que la primera se refiere a la probabilidad de que se manifieste un evento natural, mientras que el segundo está relacionado con la probabilidad de que se den ciertas consecuencias (Fournier, 1985).

La vulnerabilidad se refiere a la predisposición o susceptibilidad de los componentes antrópicos del sistema territorial para ser dañados total (destrucción) o parcialmente (deterioro) debido al impacto de la amenaza. Representa la medida de probabilidad de daño o pérdida de un componente o sistema territorial expuesto a la acción de la amenaza. La vulnerabilidad depende de dos condiciones: la ubicación del componente respecto a la zona de impacto de la amenaza (exposición) y las características y el estado de conservación del mismo. Por tanto, la vulnerabilidad es esencialmente una condición humana (Lavell, 1994).

En consecuencia, el riesgo de las inundaciones depende de la ocurrencia y magnitud de la amenaza natural y de la vulnerabilidad de un elemento o sistema territorial expuestos a ella. Un desastre natural constituye la ocurrencia efectiva y real del riesgo que, debido a la vulnerabilidad de los elementos expuestos, causa efectos negativos sobre los mismos. En el caso de las inundaciones, la manifestación del desastre se presenta cuando el impacto de los desbordamientos supera los mecanismos de defensa adoptados por la sociedad, generando perjuicios económicos, sociales, físicos, etc. Así, para que un evento de desbordamiento se convierta en desastre es necesario que sus consecuencias tengan un impacto en una estructura humana vulnerable. Por esta razón, no todos los eventos de precipitaciones fuertes o constantes pueden ser considerados como amenazas, por cuanto su peligrosidad depende del grado de vulnerabilidad de los elementos expuestos al riesgo. Adicionalmente, el tiempo de duración de la creciente es otro parámetro importante en la determinación del riesgo debido a inundaciones.

Para la evaluación del riesgo de inundaciones es necesario determinar, en primer término, los mapas de amenazas (mapa de inundación) y de vulnerabilidad, para posteriormente integrarlos obteniendo el mapa de riesgos. La realización de una cartografía de riesgo es un paso previo ineludible a la puesta en práctica de cualquier tipo de medida no estructural y, por tanto, esencial para poder llevar a cabo una gestión eficaz de las zonas inundables (CEDEX y Otros, 2002).

2.2.4. Seguro de Inundación

El seguro de inundación es una medida que adquiere importancia cuando se tienen intervenciones antrópicas de alto valor y cuando los propietarios tienen capacidad económica suficiente para cubrir el costo del seguro. Cuando la población no dispone de recursos suficientes esta alternativa es inviable.

2.2.5. Construcciones Resistentes a Crecientes

Se refiere a las medidas que pueden adoptarse con el fin de disminuir la afectación de las edificaciones localizadas ubicadas en las llanuras de inundación durante las crecientes. Algunas de estas medidas son las siguientes (Tucci, 2007):

- Sellado de las aberturas de las estructuras (temporal o permanente).
- Elevación de estructuras existentes.
- Construcción de estructuras palafíticas (sobre pilotes).
- Construcción de muros o diques aislando la estructura.
- Reubicación de artículos que puedan ser dañados.
- Reglamentación de la ocupación del área sometida a amenaza de inundación.
- Código de construcción adecuado para estas situaciones.
- Compra de áreas de inundación.

2.2.6. Planes de Reubicación

A diferencia de los planes de acción durante la emergencia, los planes de reubicación planificada, consisten en una medida que se efectúa con el fin de evitar la afectación de la población y/o la infraestructura durante un posible evento, ya que el objeto de esta medida es reducir o anular la exposición a la que se encuentran en una condición inicial.

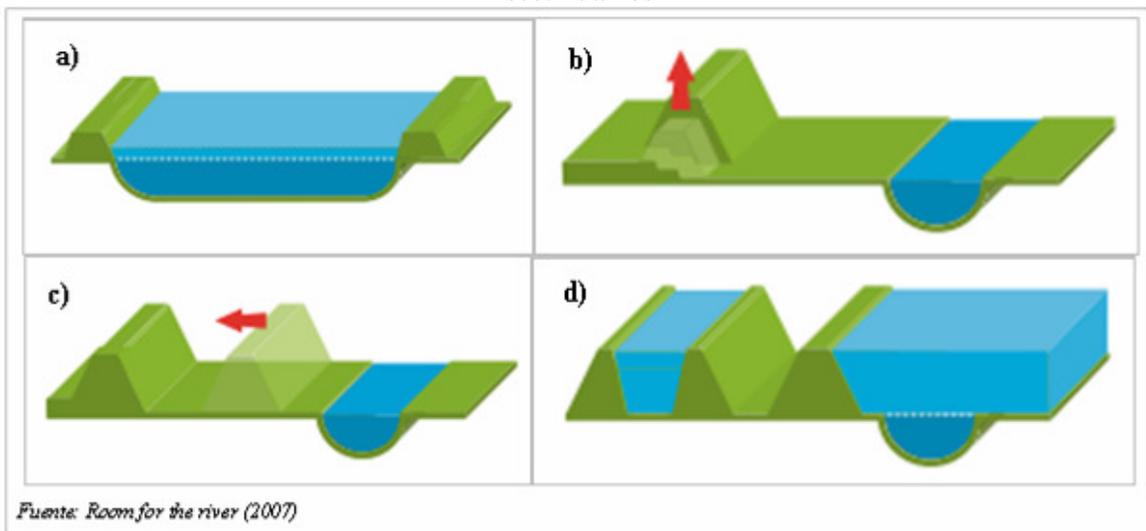
3. CATÁLOGO DE PROPUESTAS DE MEDIDAS ESTRUCTURALES CONSIDERADAS PARA EL RÍO CAUCA

Como ya se mencionó, todas las medidas estructurales planteadas, se deben implementar preferiblemente junto a un plan integrado de medidas no-estructurales que comprendan el mantenimiento, cultivo de bosques de protección, medidas de planeación del uso del suelo y de construcción, planeación y organización de la emergencia. Sin embargo en este capítulo se abordarán únicamente las medidas de tipo estructural.

En el programa “*room for the river*” en Holanda, el cual comenzó en 2007, donde se implementaron alrededor de 30 medidas con un costo total de 2.3 millones de Euros, contemplando dentro de las medidas más relevantes las siguientes: (i) Profundización del cauce principal, (ii) Almacenamiento de agua, (iii) Relocalización de diques, (iv) aumento de la elevación de los diques, (iv) High-water channel y depoldering, (v) Descenso de llanuras de inundación, (vi) Espolones bajos y, (vii) Remoción de obstáculos.

Gran parte del abanico de medidas concebidas en el programa *room for the river*, son el punto de partida para conceptualizar las medidas estructurales generales que más se amoldan a las condiciones del corredor fluvial del valle alto del río Cauca y que se abordan en este documento, además de otras medidas tales como (i) la inclusión del sistema de humedales al río, (ii) mantenimiento de la vegetación en las llanuras de inundación, (iii) Reconexión de la planicie de inundación, la protección de orillas y otras medidas de intervención del cauce.

Figura 3.1. Medidas estructurales a implementar en el Valle alto del río Cauca: (a) Almacenamiento de agua, (b) Realce de diques, (c) Reubicación de diques y (d) Canales secundarios

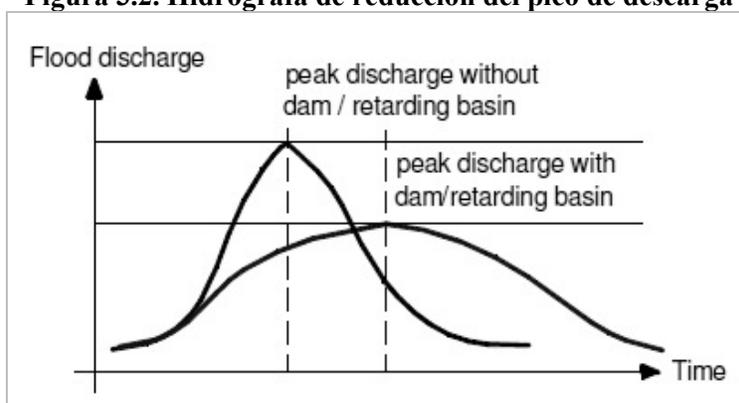


3.1. EMBALSES DE REGULACIÓN DE CRECIENTES

Se define el embalse como un reservorio o lago artificial construido en un río para almacenar agua y que tiene como propósito la regulación estacional, anual o multianual, de los caudales naturales de un río. Todo embalse consta de tres estructuras básicas: La presa, el aliviadero y las obras de toma (Foattorelli y Fernández, 2011).

Una forma de hacer frente al problema de las inundaciones es modificando el hidrograma de la avenida, disminuyendo el gasto máximo que deberá conducir la corriente; la forma más efectiva y por tanto más utilizada a nivel general, consiste en atenuar el pico de la avenida y desfasarlo en el tiempo (Figura 3.2). Este fenómeno se conoce como *regulación* (Salas, 1999).

Figura 3.2. Hidrógrafa de reducción del pico de descarga



Fuente: JICA (2002)

La regulación o laminado de una creciente en un embalse se puede estimar a partir de las ecuaciones de laminado, deducidas a partir de la ecuación de continuidad, cuya solución permite establecer la forma de la onda de creciente a la salida de un embalse. En otras palabras, a partir de la cuenca de aporte a un embalse, se puede estimar el hidrograma de una creciente extraordinaria de ingreso al embalse, definida por una función $Q_i(t)$, y estimar el hidrograma de salida $Q_o(t)$, además de las variaciones en el volumen almacenado en el embalse dV/dt representadas por la ecuación:

$$Q_i(t) - Q_o(t) = \frac{dV}{dt}$$

De la anterior ecuación se observa que cuando el caudal de salida es inferior al de entrada, el embalse (o laguna de laminación en línea) se llena progresivamente, hasta un tiempo después del cual se invierte la situación y este comienza a vaciarse. El área comprendida entre los hidrogramas en el intervalo de tiempo definido es igual al volumen total almacenado (ver Figura 3.2).

Adicional a la disminución del tamaño de las avenidas en un río, almacenando parte de la misma en un embalse, se adicionan otros fines tales como: generación de energía eléctrica, riego, abastecimiento de agua potable, etc. Al tener en cuenta el control de inundaciones y al mismo tiempo el uso del agua para los fines señalados, el resultado es un conflicto de

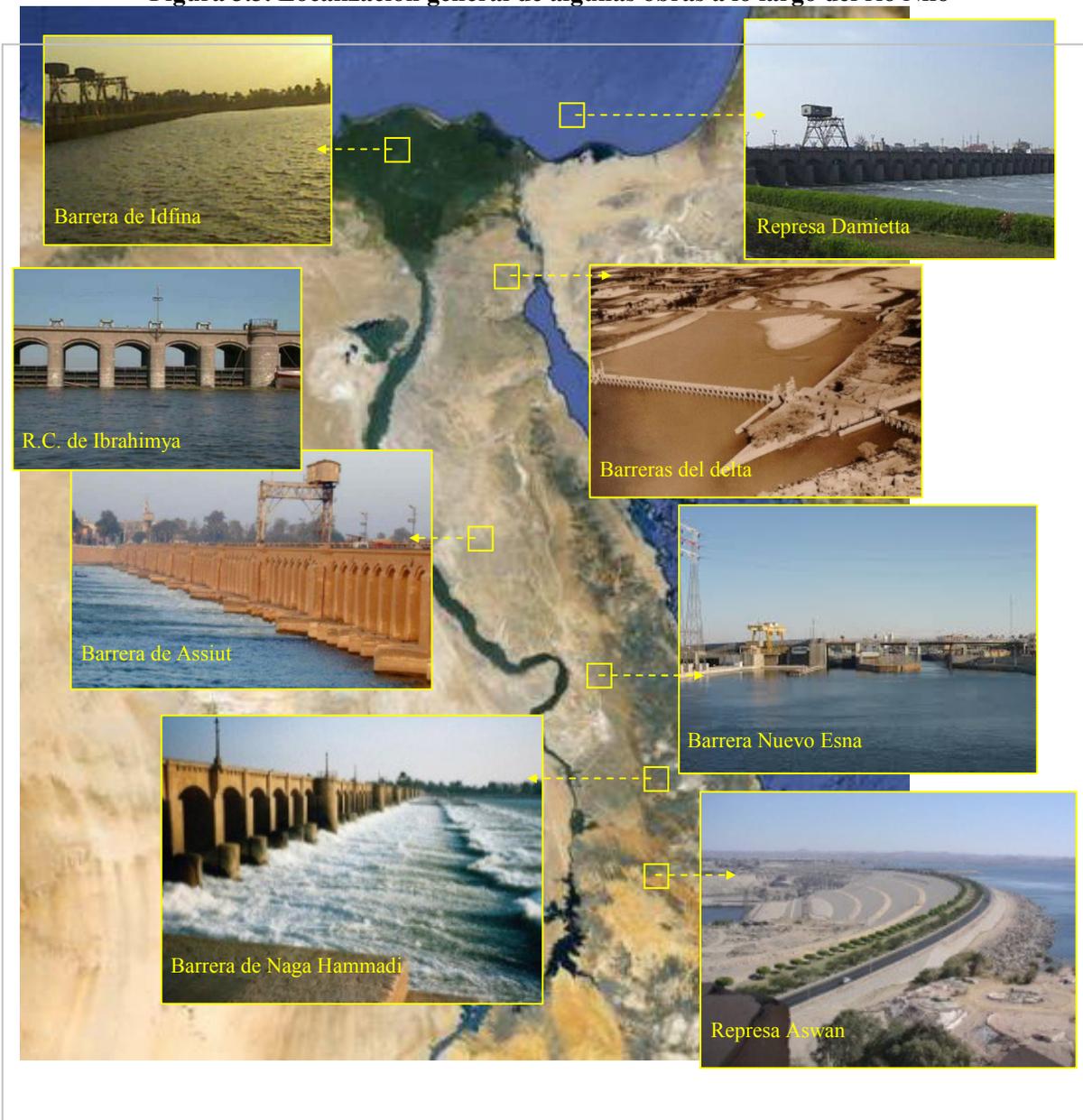
intereses ya que cuanto más vacío se encuentre el embalse se dispone de una mayor capacidad para el control de las avenidas, reduciendo a su vez el volumen de agua almacenado para los usos diferentes a laminación de crecientes.

La consecuencia inmediata a lo anterior resulta ser un problema de optimización, ya que es necesario maximizar los aprovechamientos minimizando los posibles daños provocados por las crecientes generadas aguas abajo de la presa al operar la obra de excedencias (Salas, 1999).

Caso río Nilo

Un caso especial, por la magnitud de la corriente a regular, es el río Nilo, el cual es el de mayor longitud de los ríos del mundo. En su recorrido la regulación de la variación natural del flujo ha sido llevada a cabo en etapas: (i) La construcción de diques a lo largo del curso del río para prevenir inundaciones, (ii) la construcción de presas (barreras) a través del río y, (iii) el planteamiento de algunos proyectos de almacenamiento anual de agua ejecutados a nivel de la cuenca del río. Los proyectos que hasta la fecha se han implementado en el río son: (i) Las Represas de: Aswan (Complementada por la depresión de Tohska) y Damietta, (ii) Las barreras de: Nuevo Esna, Naga, Hammadi, Assiut, Delta, Zifta e Idfina, (iii) Los reguladores de carga de: Asfon, Kalabia, Western, Eastern, Ibrahimya, Ismallia, Tawfiki, Nasri, Behiri, Abass y Mansouria (Figura 3.3).

Figura 3.3. Localización general de algunas obras a lo largo del río Nilo



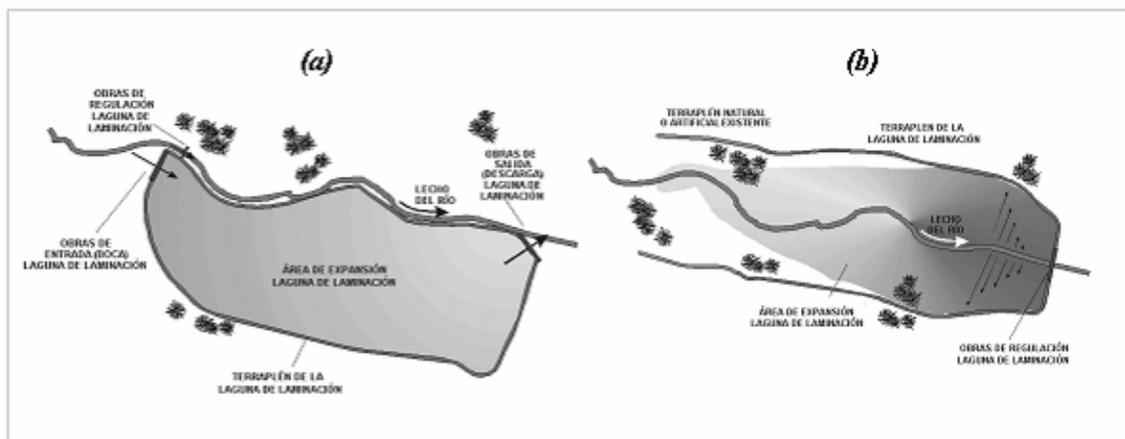
El principal proyecto de regulación de caudales implementado y el de mayor magnitud, es la represa de Aswan, la cual posee una altura de 111 m construida en piedra de granito y arena con núcleo en arcilla con un volumen total de almacenamiento de 162 km^3 dentro de los cuales 31 km^3 corresponden al depósito de sedimentos y 41 km^3 corresponden al flujo de inundación. Esta represa posee estaciones con capacidad de generación de 2,1 MkW.

3.2. LAGUNAS DE LAMINACIÓN DE CRECIENTES

Otra de las obras de infraestructura citadas comúnmente en la literatura para el control de inundaciones es la *laguna de laminación de crecientes*, la cual disminuye los picos de las crecientes inundando zonas previamente establecidas y adecuadas para tal fin. Existen dos

tipos de lagunas que cumplen esta función: (i) *Lagunas en Línea*, las cuales se construyen dentro del cauce, y constan principalmente de una presa que atraviesa transversalmente a éste para generar un volumen de almacenamiento aguas arriba de dicha presa (ver Figura 3.4) y (ii) *Lagunas Fuera de Línea*, las cuales inundan un área de inundación o receptor que se encuentra por fuera del cauce, generalmente detrás de los diques y adyacente al cauce cuya conexión hidráulica se logra usualmente mediante un vertedero aguas arriba de la obra para permitir la entrada del flujo del cauce y un vertedero aguas abajo de ésta para retornar el flujo al cauce después de un evento de creciente (ver Figura 3.4). Sin embargo, son obras que se deben implementar con mucho cuidado debido al gran impacto, tanto hidrológico como ambiental que generan en la cuenca durante y después de su construcción. Adicionalmente, requieren la disponibilidad de porciones extensas de territorio, e implican el diseño y construcción de un conjunto de diferentes obras que requieren, a su vez, la disponibilidad de recursos (Fattorelli y Fernández, 2011).

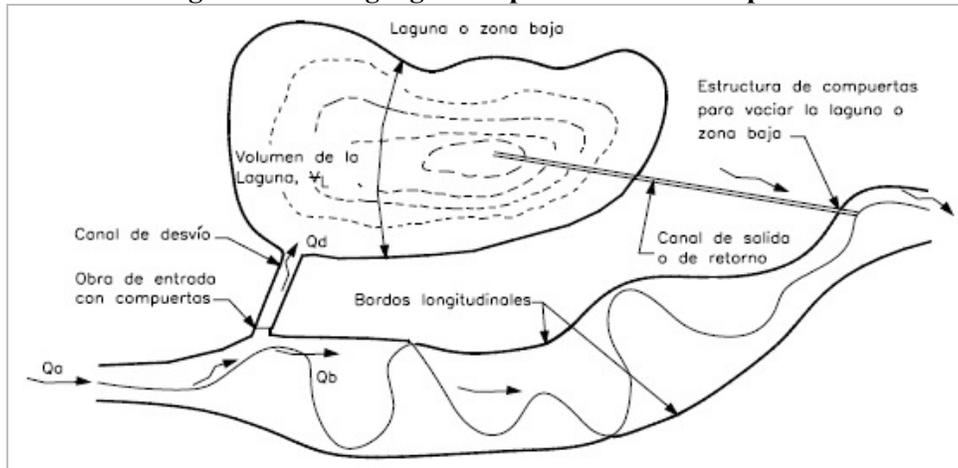
Figura 3.4. Laguna de laminación (a) Fuera de línea y (b) En línea



Fuente: Fattorelli y Fernández (2011)

Otra variante que obedece a la existencia de zonas bajas, lagunas o depósitos artificiales que puedan ser inundados momentáneamente, mientras se presenta la avenida son los *desvíos temporales* (ver Figura 3.5).

La principal diferencia con respecto a un desvío permanente es que mientras éste puede desviar volúmenes muy grandes, los temporales sólo están en posibilidad de desviar un volumen prefijado (que corresponde al de la zona o depósito artificial seleccionado para tal fin). Otra diferencia es que al descender los niveles del río, el agua desviada retorna a él (Salas, 1999).

Figura 3.5. Arreglo general para un desvío temporal

Fuente: Maza (1997) citado por Salas (1999)

Caso Río Parma

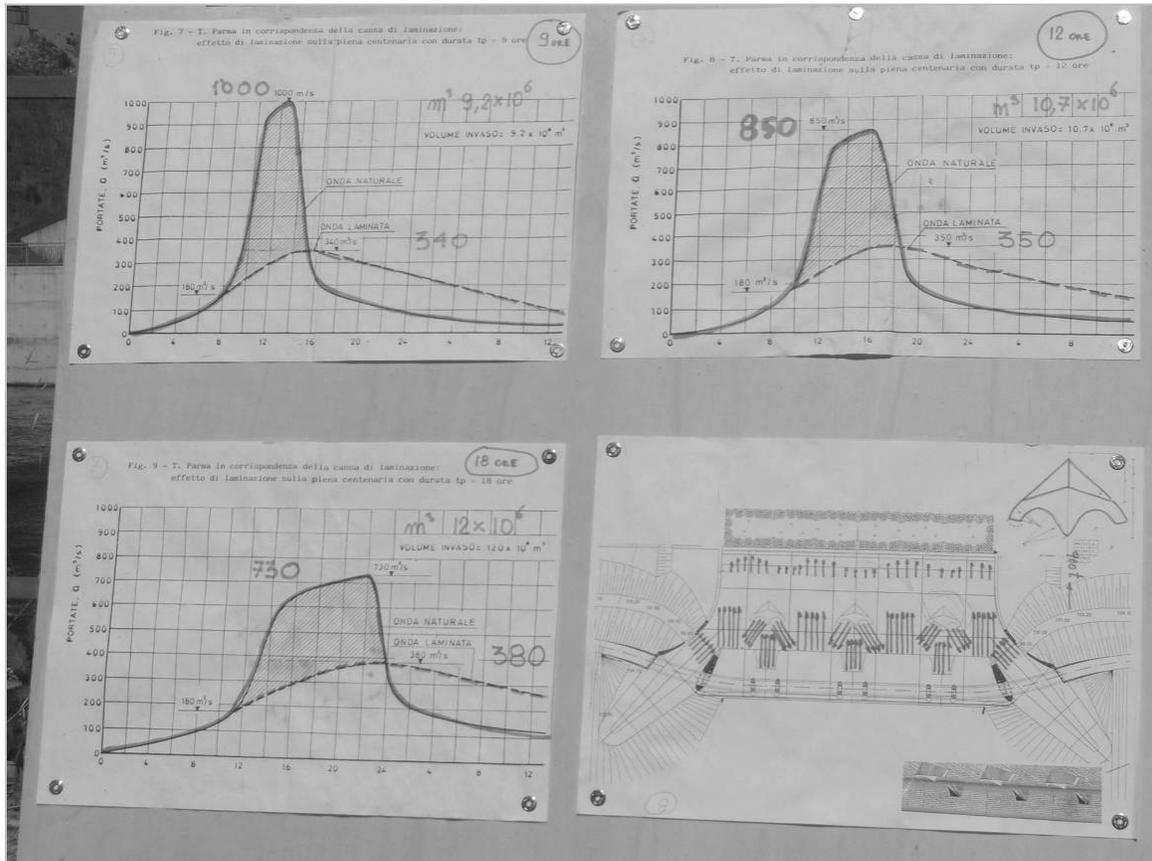
Existen múltiples casos en las agencias de manejo de recursos naturales en Italia, casi todos enfocados en la protección de ciudades entre los que se encuentra el caso del río Parma con una laguna de laminación de crecientes, ubicada aguas arriba de la ciudad del mismo nombre, (ver Foto 3.1).

Foto 3.1. Vista panorámica hacia aguas abajo de laguna de laminación del río Parma

Fuente: ADBPO

En la Foto 3.2 se muestra el efecto de la laminación de crecientes en los hidrogramas para diferentes escenarios de duración (9, 12 y 18 horas), el área entre las dos curvas corresponde al volumen de almacenamiento que almacena la laguna en el evento de creciente. El caudal de salida que brinda seguridad a la ciudad de Parma ante eventos de inundación debe ser menor a $400 \text{ m}^3/\text{s}$ (ej. para una creciente de 9 horas con un pico de $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$, la laguna lamina $9,2 \text{ Mm}^3$ y reduce el pico a $340 \text{ m}^3/\text{s}$).

Foto 3.2. Hidrogramas de crecientes río Parma. Línea continua situación natural, línea discontinua situación controlada



Caso Río Cañaveralejo

En la ciudad de Cali, en el piedemonte, existe una laguna de laminación de picos de crecientes para el río Cañaveralejo, construida a finales de los 80's por EMCALI (ver Figura 3.6). La estructura fue diseñada de tal forma que no requiera operación alguna. Dicha estructura cuenta con un vertedero que restringe la salida de caudal hacia la ciudad represando el volumen de agua hacia aguas arriba en la laguna, laminando el caudal (como un embalse en línea). Esta obra ha sido efectiva y ha protegido a la ciudad de innumerables eventos de creciente. Como valor agregado de esta medida, el área de embalse es usada por los habitantes del sector como un área de recreación pasiva, (ver Foto 3.3).

Foto 3.3. Estructura de control (vertedero) para almacenamiento y laminación del pico de crecientes y (b) Zona de embalse utilizada para actividades de recreación



3.3. DIQUES

Los diques son estructuras que limitan o impiden el paso de las aguas de desbordamiento, generalmente, ubicadas alrededor de los cuerpos de agua. Para el caso de un río, un dique es una estructura en tierra (también llamada terraplén) paralela al cauce del río con el objetivo de restringir el caudal en un evento de creciente hacia su correspondiente planicie de inundación. Los efectos más comunes de los diques en los flujos de creciente son: (i) Aumento de la tasa de flujo de inundación, (ii) Incremento en los niveles del flujo de inundación, (iii) Incremento en la capacidad de transporte del canal, (iv) Incremento de la acción erosiva de la corriente y, (v) Disminución de la pendiente de la superficie de la corriente sobre la sección con diques (Raghunat, 2006).

Estas estructuras se diseñan bajo condiciones de saturación y presiones hidrostáticas de diversas duraciones propias de cada inundación (condiciones chequeadas en el diseño). La diferencia respecto a la estructura tipo presa es el material del que están construidas, los cuales son generalmente excavados con material adyacente a la zona de construcción (material de préstamo) el cual no es siempre el ideal por lo que se pueden presentar problemas de estabilidad. La implementación de un sistema de protección contra inundaciones con diques, aumenta el nivel de agua en los picos de creciente, ya que restringe el área de flujo por donde antes transitaba la creciente.

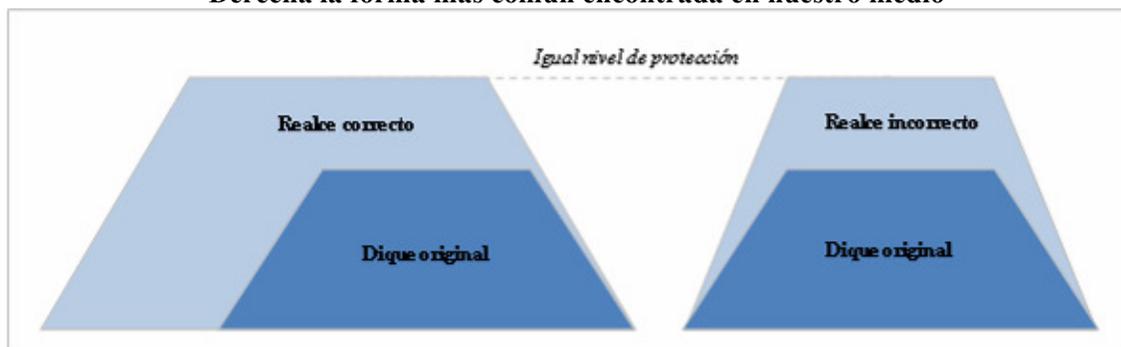
Adicional a su función de controlar los riesgos de inundación, algunas de estas estructuras son utilizadas como vías carretables para el movimiento de maquinaria y personal, función que le suma riesgo a su estabilidad por efecto de encharcamientos por huella de tráfico. Sin embargo, en épocas de lluvias suelen convertirse en las únicas vías de acceso al río o al movimiento de personal, equipos y materiales para atender una emergencia invernal.

3.3.1 Realce de diques

En sitios donde existe un dique y no es posible implementar otra medida para aumentar la capacidad del flujo en el río (ej. reubicando el dique), se requiere el realce del dique, conformando un nuevo cuerpo de la estructura y no solo aumentando la cota de la corona.

Existe una práctica común en el medio de la ingeniería para realizar este tipo de medidas, la cual consiste en aumentar solo la corona del dique sin intervenir la totalidad del cuerpo del mismo, conduciendo esto a una pérdida de los taludes originales del dique e incrementando el riesgo de falla de la estructura (ver Figura 3.7). Esta práctica se hace comúnmente por: (i) Falta de material de sitio para reforzar el dique, utilizando la berma como zona de préstamo, la cual no siempre está en la capacidad de suministrar todo el material, donde realizar el dique con material de zonas alejadas eleva los costos de construcción. (ii) Intervenciones durante el periodo de emergencia para realzar el dique a través de pestañas que elevan sólo la corona del dique, las cuales prevalecen de manera definitiva aún finalizado dicho periodo. (iii) Falta de recursos económicos, dado que aún sin ser una opción técnicamente aceptada, requiere de menor inversión. (iv) Existencia de una infraestructura cercana al dique tal como vías, canales, estaciones de bombeo o cultivos, realizando este incorrecto realce para no ceder más terrenos con una ocupación previa.

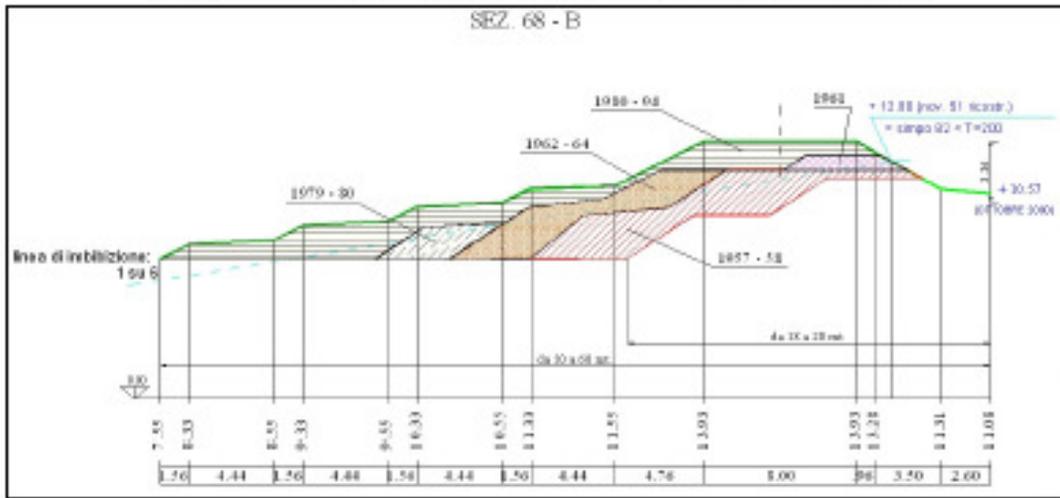
Figura 3.7. Esquema típico de realce de diques. Izquierda la forma correcta de hacerlo; Derecha la forma más común encontrada en nuestro medio



Caso Río Po

El río Po desde el siglo XVI se encuentra confinado por diques desde la montaña hasta el mar Adriático, seguido del desarrollo los diques en sus tributarios después de la ocurrencia de eventos de inundación. La consolidación de la construcción de diques y el posterior aumento del nivel de la corona de los mismos en el tiempo, ha originado un comportamiento progresivo y significativo de aumento del nivel y caudal del flujo del río, fenómeno que ha sido documentado desde el año 1800. En la figura 3.8 se puede observar la evolución histórica de la sección transversal del cuerpo del dique en la parte baja de la cuenca.

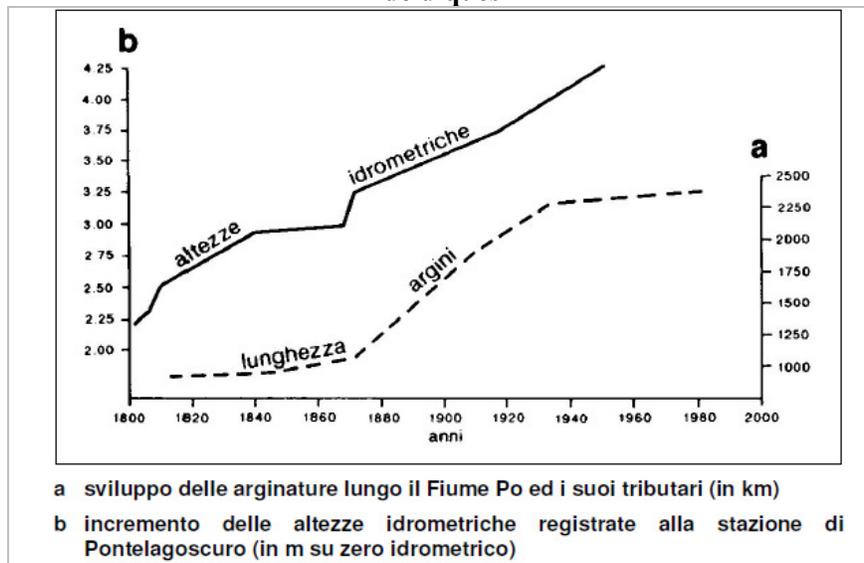
Figura 3.8. Evolución histórica sección transversal río Po



Fuente : AdbPo (2005)

En la figura 3.9 se puede ver la tendencia entre la altura del nivel de agua en la estación Pontelagoscuro (después de la entrega de todos los tributarios y próxima a la desembocadura al mar) y la construcción de diques (longitud), tanto en el cauce principal (río Po) como en sus tributarios.

Figura 3.9. Tendencia del nivel de agua en el cauce principal en relación con la construcción de diques



Fuente : AdbPo (2005)

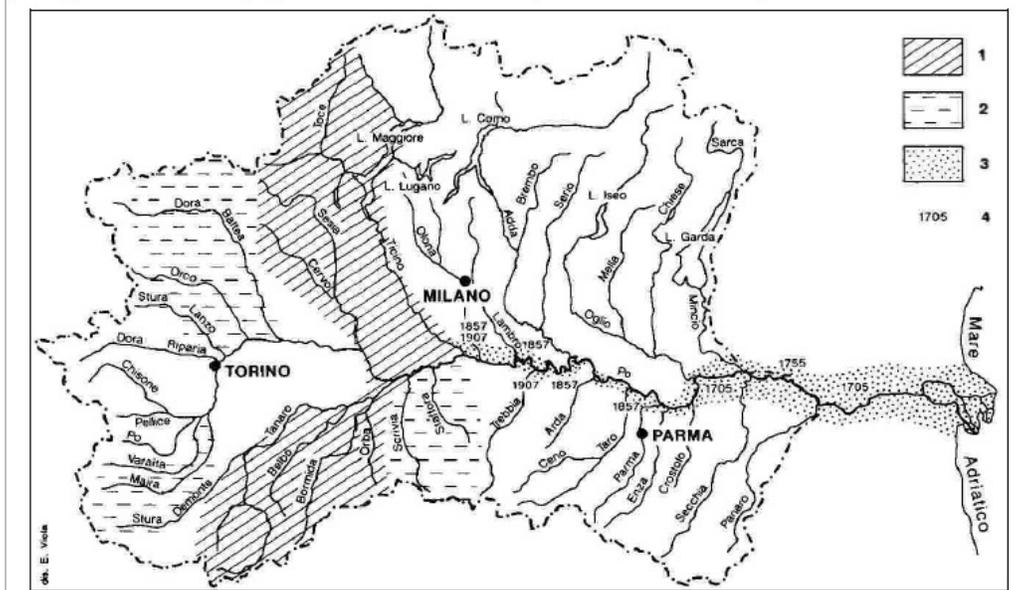
Para la cuenca del río Po con una área de drenaje de 70.000 km² y una longitud de cauce de 300 km aproximadamente, existen un total de 50 lagunas de laminación en toda la red de río y tributarios. El área acumulada de inundación controlada es de 13.375 ha y una capacidad de embalse acumulada de 450.6 Mm³, en promedio un capacidad de regulación de picos de caudales de 1.5 MMm³/km. Para una evento de creciente ocurrido en octubre

del 2000, el sistema de lagunas de laminación embalsó 405MMm^3 y se estima que la reducción en el nivel de agua entre el 0,20 y 0,30 m.

Siendo una cuenca muy grande con numerosos e importantes tributarios, la configuración de los eventos de inundación depende de muchos factores. Por lo tanto, se reconstruyen los eventos de inundación con base en datos históricos y la clasifican en cinco tipos de eventos de inundación, de acuerdo a los aportes de las cuencas tributarias. En la figura 3.10 se muestra el primer tipo (Fecha 1705), dos cuencas tributarias, Tanaro (margen derecha) y Ticino (margen derecha), son las que hacen el mayor aporte y la parte alta del Po hace el otro aporte de manera secundaria. Siempre la parte de baja de la cuenca es la que recibe las inundaciones.

Figura 3.10. Configuración de los eventos de inundación

Figura 3.1.1: Area del bacino contribuyente ad una piena di tipo piemontese (Legenda: 1) bacino o gruppo di bacini che hanno ripetutamente contribuito alle piene del Po con apporti elevati; 2) bacino o gruppo di bacini che hanno occasionalmente contribuito con apporti da moderati ad elevati; 3) principali aree inondate; 4) anno dell'evento che ha prodotto l'inondazione).

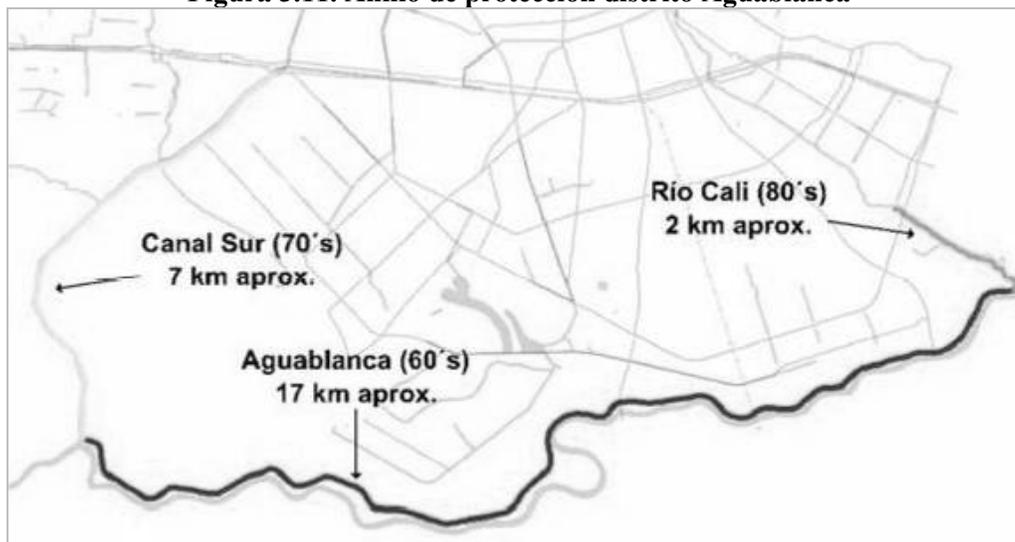


Fuente : AdbPo (2005)

Al ser el dique, la medida de control de inundación más sencilla y ampliamente utilizada en los ríos de todo el mundo, en la literatura se encuentran diversas variantes implementadas en los diques para mejorar su nivel de protección ante las amenazas por inundación. A continuación se presenta una breve descripción de cada una de ellas.

Caso Río Cauca - Dique Aguablanca

El anillo de diques de protección contra inundaciones de la Ciudad de Cali tiene una longitud aproximada de 24 km; 17 km aproximadamente sobre la margen izquierda del río Cauca corresponden al dique de Aguablanca y los 7 km se dividen entre los diques del canal interceptor sur (4 km aprox.) y del río Cali (3 km aprox.), (ver Figura 3.11. Anillo de protección distrito Aguablanca).

Figura 3.11. Anillo de protección distrito Aguablanca

Fuente: Corposso (2012)

Para el caso del dique de Aguablanca en Cali, por ejemplo la reubicación del dique no es una medida posible, debido a que los límites de la ciudad han alcanzado el dique e incluso lo han sobrepasado (asentamientos sobre el cuerpo del dique y entre éste y el río). Razón por la cual, la medida de realce de dique es la que mejor se ajusta a las condiciones mencionadas para mejorar su grado de protección. Existen otro tipo de consideraciones que amenazan al dique como los asentamientos antes mencionados, pero que hacen parte de consideraciones de estabilidad y no directamente de grado de protección (periodo de retorno).

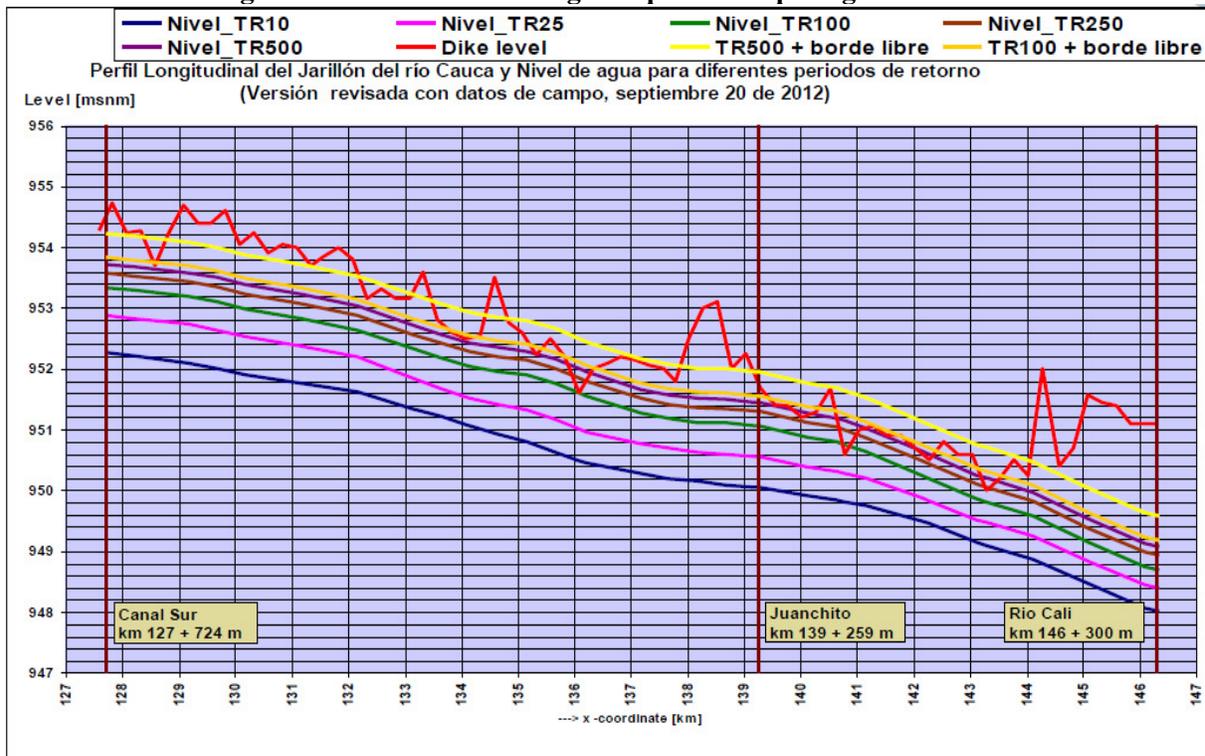
En el año 2011 la CVC firmó un convenio de asociación con la Fundación Pacífico Verde, para realizar el diagnóstico del estado de los diques del Distrito de Aguablanca, debido al periodo invernal que afectó al país a finales del año 2010. La conclusión referente a la cota del dique fue sobre elevar inicialmente el nivel de la corona hasta el correspondiente al nivel de la creciente de 1 en 100 años sin borde libre. Esto se hace teniendo en cuenta que sobre la margen derecha los diques existentes tienen un nivel de corona inferior a los de la margen izquierda y por consiguiente el desbordamiento del río se hace primero hacia esa orilla (CVC – FPV, 2011). Inclusive en algunos tramos no existe dique (Juanchito y Domingo Largo). De la misma forma los diques existentes aguas arriba presentan niveles de protección para 1 en 30 años.

Después se realizó otro estudio “Diagnóstico del sistema de diques de protección contra inundaciones en Cali” mediante un Contrato de consultoría N° 101 de 2012 celebrado entre el Fondo Adaptación y Corporación Observatorio Sismológico del Sur Occidente con la participación de la firma Holandesa Royal Haskoning. En dicho estudio incluyeron un análisis de riesgo, vulnerabilidad y análisis económico de beneficio costo, planteando que se debe nivelar de carácter urgente los puntos bajos de la corona del dique y en el corto

plazo elevar el nivel del dique de Aguablanca para un periodo de retorno de 500 años y un borde libre de 0,5 m (Corposso, 2012).

En la figura 3.12 se muestra el perfil longitudinal del dique de Aguablanca (cota de corona en color rojo) y los perfiles hidráulicos para diferentes periodos de retorno y el nivel de corona de dique propuesto (amarillo). Se puede observar que aguas abajo de Juanchito casi todo el dique requiere ser realzado y aguas arriba solo en tres tramos que suman alrededor de 10 km de los 17 km totales del dique.

Figura 3.12. Perfil de la margen izquierda dique Aguablanca



3.3.2 Reubicación de diques

En este procedimiento se construye un nuevo dique más alejado del río y después se suprime el dique antiguo, aumentando así, la extensión de la llanura de inundación y el área de transporte de flujo. Aunque es una medida especial para eliminar los cuellos de botella del sistema fluvial, puede no ser una medida muy usada a nivel local. Por ejemplo, en el sector agrícola se debe sacrificar el área productiva (antes cultivada) para integrarla a la llanura de inundación, en donde las condiciones de producción cambian y el precio de la tierra disminuye. Para el caso del sector urbano, la medida es más compleja, pues puede implicar la reubicación de viviendas.

Caso Río Elbe

Desde 1890, cerca del 86% de las áreas de retención natural del río Elbe se han perdido y sólo las pequeñas zonas marginales entre el cauce y el dique de las llanuras de inundación originales permanecen libres al momento de ocurrir las inundaciones. En consecuencia, se

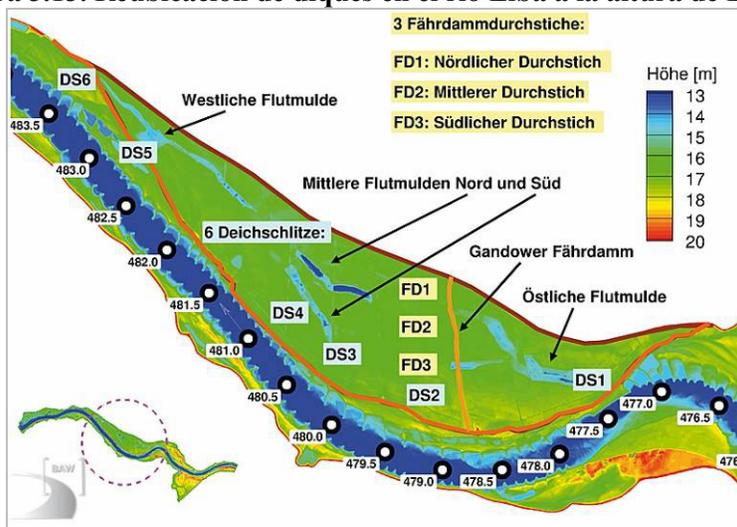
han protegido asentamientos humanos, zonas industriales, carreteras, y zonas agrícolas. Los diques han sido construidos a lo largo de todo el río, sólo en Alemania con una longitud de 1299 km de diques. Entre 1991 y 2006 aproximadamente 438 km han sido restaurados. De acuerdo con estudios actuales, después de una inundación ocurrida en el río Elbe otros 528 km de diques deben ser reconstruidos para el año 2015 con un costo de 561,5 millones de euros. Como respuesta a las inundaciones ocurridas en el año 2002, las prácticas tradicionales de manejo de inundaciones han sido muy criticadas y se plantea complementar las defensas técnicas contra inundaciones, incrementando la capacidad de retención de la cuenca.

La intervención consiste principalmente en la reubicación de 7,4 km dique hasta una distancia máximo de 1,3 km respecto al cauce del río. Para la construcción del nuevo dique se utilizan materiales de la nueva llanura de inundación con el propósito de recrear bajos, viejos meandros, y canales de conexión de drenaje. Esto es considerado como necesario para desarrollo de los procesos hidrológicos en la nueva llanura de inundación. Sin embargo, a pesar de reubicar el nuevo dique, el dique existente se mantiene, en gran medida, para preservar el cauce principal para navegación. El dique existente se abre en seis puntos, cada uno con longitudes entre 200 y 400 m de largo, después de completado el nuevo dique (denominados DS1-6) (ver Figura 3.13. Reubicación de diques en el río Elba a la altura de Lenzen

). Adicionalmente, una serie de tramos bajo se configuran en el dique existente para el llenado y posterior vaciado de la nueva llanura de inundación.

El objetivo principal de este proyecto era el de restaurar el paisaje de planicie a un estado casi natural y restituir el régimen de inundaciones mediante la creación de una nueva llanura de inundación de 420 ha y mediante cortes en el antiguo dique.

Figura 3.13. Reubicación de diques en el río Elba a la altura de Lenzen



Fuente: Bawaktuell (2012)



Fuente: Burg-Lenzen (2012)

- **Resultados Ecológicos**

La planicie de inundación entre el nuevo dique y el río se ha convertido en un mosaico de nuevos canales de inundación favoreciendo la conservación del bosque aluvial que con el tiempo crecerá a través de la sucesión natural para cubrir una superficie de unas 300 ha. Los complejos de hábitats creados como resultado del proyecto beneficiarán a especies como el castor, el sapo de vientre de fuego, rana de árbol y el águila de cola blanca. En 2008, poco después de la creación de los nuevos canales de inundación, muchas especies de patos fueron vistos junto con otras especies como el avefría snipe, en el norte, archibebe común, avoceta Pied, chorlitejo chico y común, ostrero, agachadiza de cola negro y negro zanco con alas. Desarrollo continuo del área será documentado en las evaluaciones de 2015 y 2020.

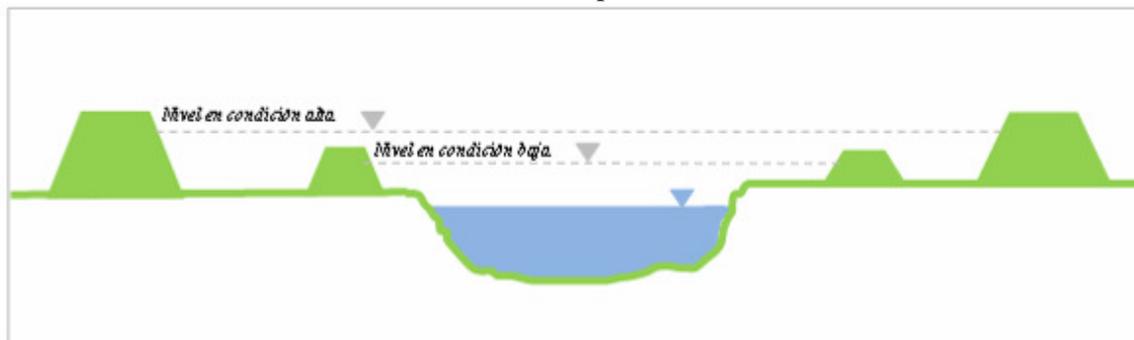
- **Resultados Hidráulicos**

La reubicación de los diques tuvo como resultado la generación de un volumen con un potencial de retención de 15 Mm³. De acuerdo con los pronósticos de modelos a partir del año 2009, en el caso de un evento de con un periodo de retorno de 100 años y con caudal local de 4.020 m³/s, la reubicación del dique conduciría a una reducción de 0,35 m del nivel del agua en el primer espacio (DS1, Elbe 477.3 km) y aún más aguas arriba, en el km 470,0, se presentaría una disminución de 0,2 m. Sin embargo, cuando el agua se descarga nuevamente de la zona de retención hacia el río en la brecha DS6, el agua local adicional aumentará el nivel de agua hasta 0.08 m. Estos cálculos han demostrado ser exactos en las inundaciones de marzo de 2010, octubre de 2010 y enero de 2011. Por otro lado, el bosque inundable crea una alta rugosidad, lo que disminuye la velocidad del flujo, en parte disminuyendo el efecto de disminución de los niveles de agua debido a la reubicación del dique. Sin embargo, los modelos muestran que, incluso con un bosque completamente desarrollado el nivel del agua local todavía se reducirá en 0,25 m con respecto a 2008.

3.3.3 Dobles diques

En esta alternativa, se disminuye la corona del dique y se construye uno nuevo más alejado del río, creando una zona de amortiguación de crecientes en la que existe una zona que puede destinarse para actividades económicas. Dependiendo del grado de protección frente a las inundaciones, se pueden destinar dichas zonas para vivienda, industria o fines agrícolas (ej. cultivos perennes) (ver Figura 3.14).

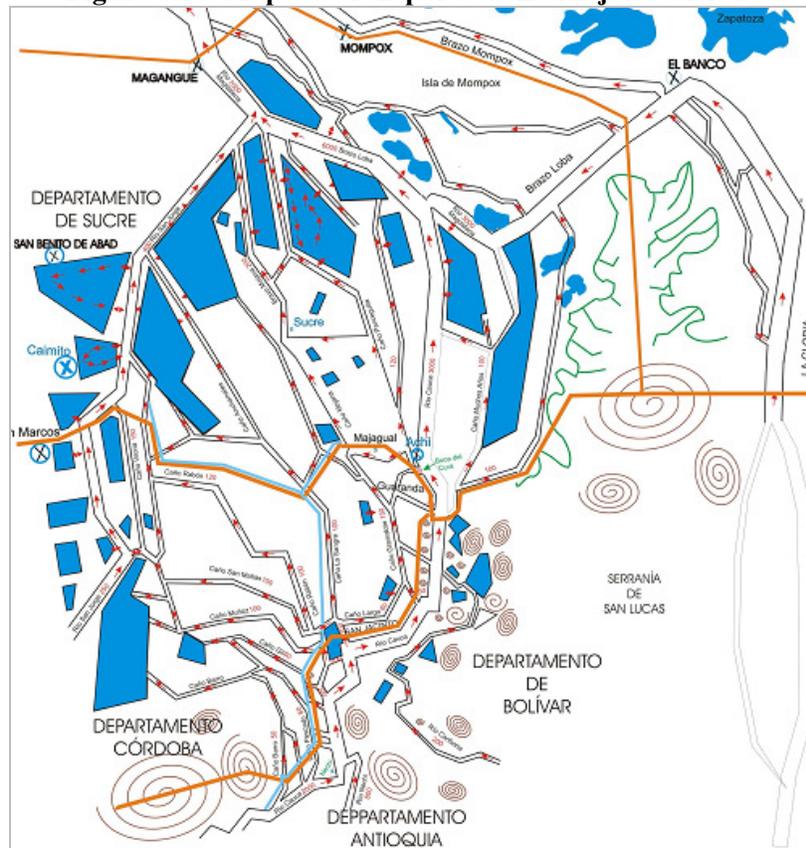
Figura 3.14. Dobles diques, uno de verano o inundación frecuente y otro de invierno o inundaciones de altos periodos de retorno



Caso Río Cauca - La Mojana Sucreña

Este proyecto es estratégico para el desarrollo sostenible de la región, porque al mismo tiempo que garantiza la regulación y control de las inundaciones (que causan gran daño a los sistemas productivos de la Mojana y a sus comunidades), se puede aprovechar como carretera y como canal de drenaje y riego para la recuperación del sistema hidráulico de los caños de la Mojana. Este proyecto multimodal y multipropósito, a la par con la transversal de la Mojana, es uno de los dos proyectos más esperados por las comunidades y las administraciones municipales de la región, porque ellos saben que con la regulación de las inundaciones se promoverá el desarrollo de la zona (ver figura 3.15).

Figura 3.15. Mapa de transporte de La Mojana Sucreña

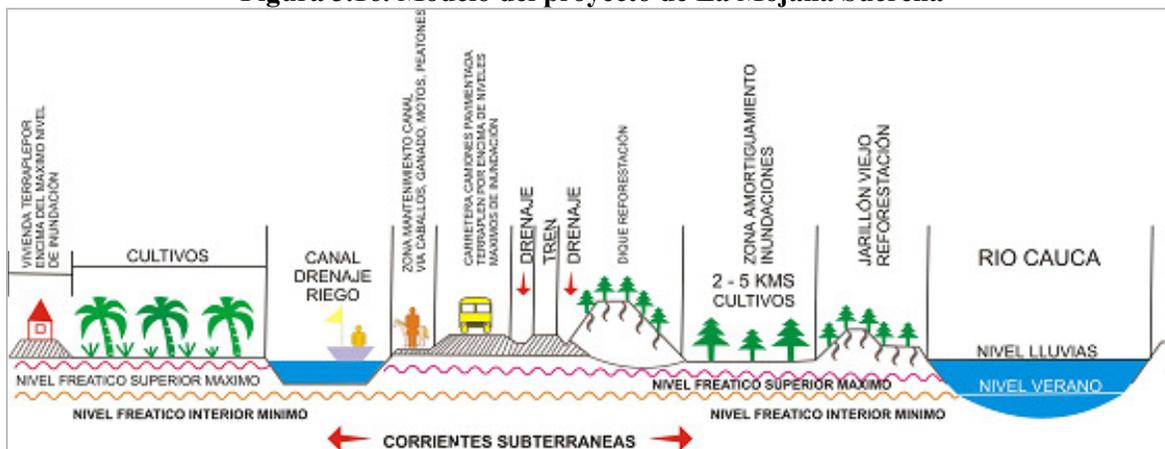


Fuente: DNP y FAO (2003)

El proyecto de marginal del río Cauca, consiste en la construcción de un dique con compuertas - canal - carretera, que va desde la población de Colorado en Nechí, Antioquia, hasta la población de Guaranda, Sucre, donde se une al proyecto de la transversal de La Mojana (ver Figura 3.15). La realización de este proyecto garantiza la sostenibilidad ambiental de la Mojana, porque facilita la recuperación de todos los caños y los sistemas de humedales y ciénagas desecadas, al restablecer el sistema hidráulico original del territorio. Este proyecto es una importante iniciativa de recuperación ambiental, drenaje y riego, pues se aprovecharía el flujo a gravedad natural del agua a través de la suave pendiente del territorio de la Mojana, al captar agua del río Cauca cerca a la población de Margento con una cota de 38 msnm, y se lleva hasta la parte baja de la Mojana a 13 msnm, recorriendo una distancia de 80 kilómetros, con el caudal disponible que proporciona el río Cauca. Además, el proyecto concibe la construcción de embalses para almacenar grandes cantidades de agua en los períodos de inundación y liberarla en la época de sequía, drenando estos embalses a través de sistemas de riego.

En la figura 3.16 se puede apreciar el modelo del proyecto multipropósito para la Mojana, el cual consta de dos diques: el primero el existente cerca del cauce del río y el segundo más alejado dejando una zona de amortiguación de crecientes. Detrás del segundo dique se plantea establecer la infraestructura de transporte para la región y unos cultivos industriales. En la actualidad el proyecto no se ha implementado por completo.

Figura 3.16. Modelo del proyecto de La Mojana Sucreña



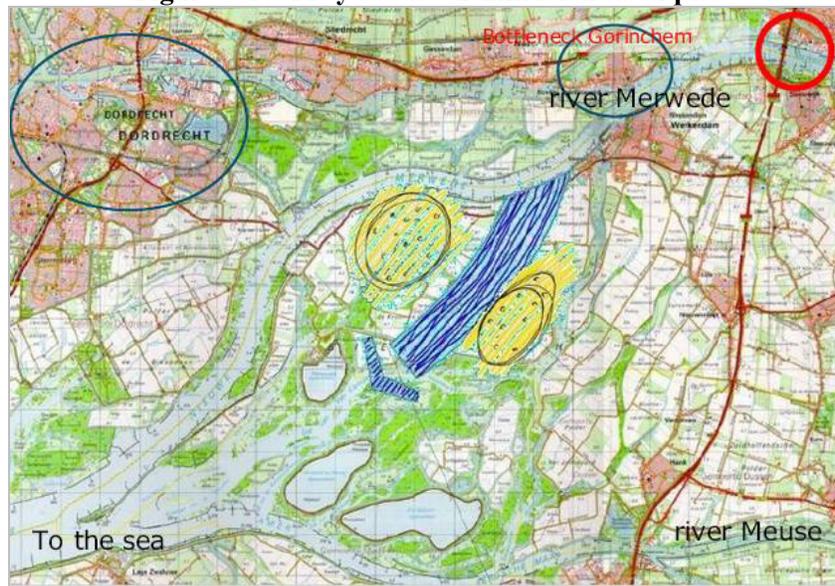
Fuente: DNP y FAO (2003)

Caso Río Rin

El nivel del agua en la ciudad Gorinchem, a 40 kilómetros al este de Rotterdam tiene que ser reducido en 30 centímetros. El proyecto “*depoldering*” será el principal contribuyente, con la reducción parcial de los diques para crear entradas y salidas de excesos de agua. El objetivo es desviar una parte del volumen en la situación de niveles altos de agua. Esta zona quedará sumergida algunas veces al año, sobre todo en los meses de invierno. En estas áreas adicionales se detendrá una parte del volumen que se produce en situaciones de alto nivel de agua una vez cada 100 a 1.000 años (ver Figura 3.17)

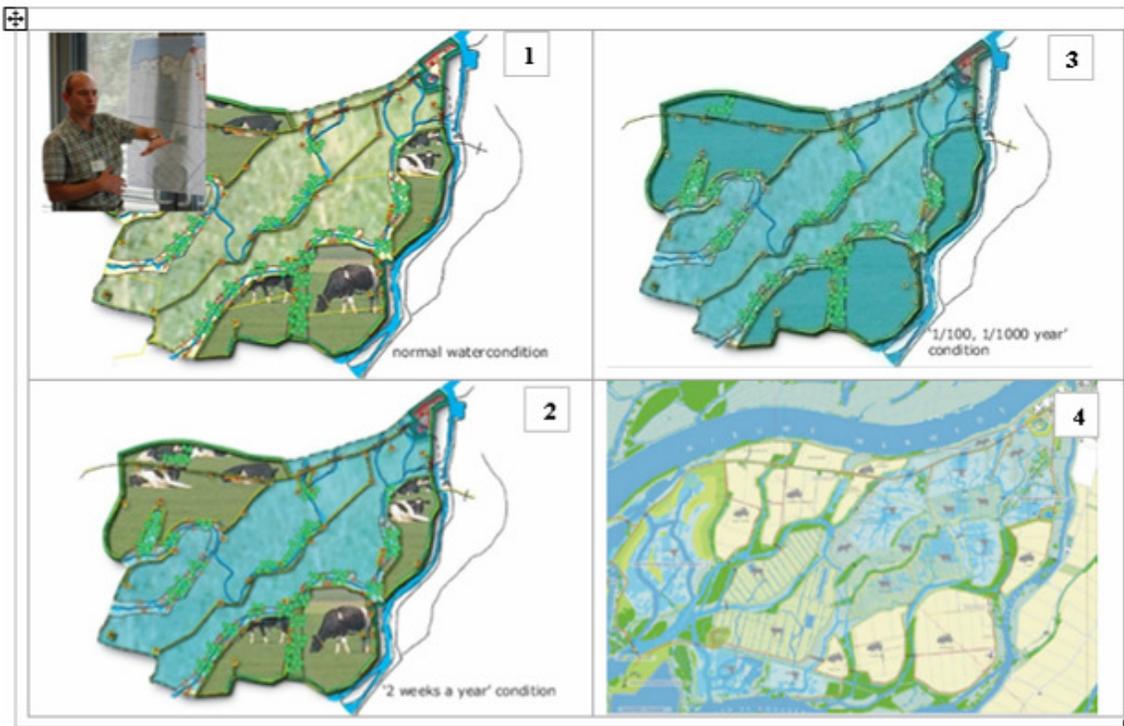
En la figura 3.18 se muestra la planeación que se ejecuta del territorio cuando se implementa una medida de reducción de diques para darle espacio al río. La zona existen diques que en condiciones normales la mantienen seca y desarrollando sus actividades económicas (recuadro 1). Una parte recibiría inundaciones durante dos semanas al año (recuadro 2). Para eventos con periodos de retorno para 1/100 o 1/1000 el total del área estaría inundada. En el recuadro 4 se aprecia cómo se subdivide esta zona rural en actividades de conservación, ganadería y agricultura dependiendo de la frecuencia de inundación a la que están expuestas.

Figura 3.17. Proyecto de disminución de diques



Fuente: Room for the river

Figura 3.18. Esquemas de dobles diques



Fuente: Room for the river

Las actuales operaciones agrícolas no encajarán con el paso de flujo, aunque la agricultura puede continuar en otras secciones de Noordwaard. La clave del proyecto es que los residentes pueden permanecer en el polder, por lo que algunas viviendas se adaptarán y otras se trasladarán (ver Foto 3.4).

Foto 3.4. Las casas ubicadas en la zona adaptadas para las inundaciones
(b)



Fuente: Robbert de Koning

3.4. CANALES SECUNDARIOS

Los canales secundarios se construyen con el propósito de reducir la presión del caudal sobre una zona en particular, generalmente protegiendo una ciudad, en donde una parte del caudal de la creciente fluye a través de dicho canal reduciendo los niveles de agua en el canal principal sobre el tramo de desvío.

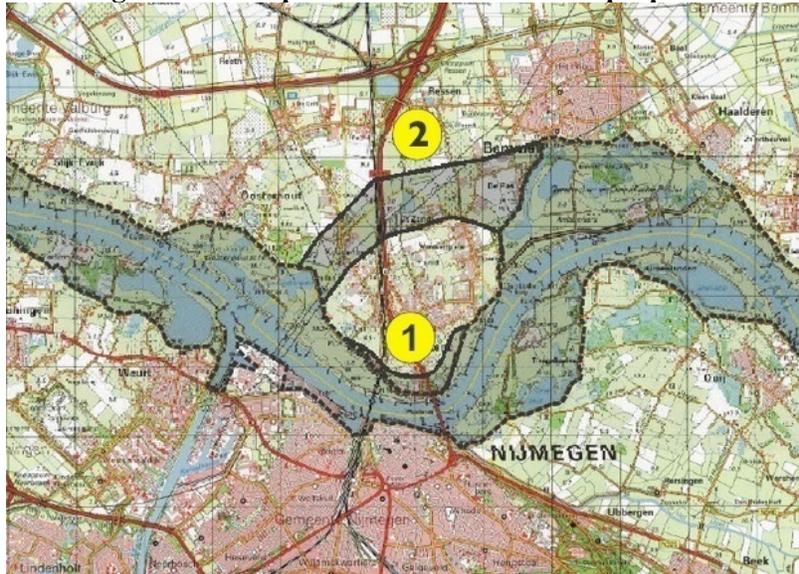
El término canal secundario es en cierto modo un nombre combinado para canales que transportan agua continuamente o transitoriamente, es decir, solo durante las crecientes. Estos últimos, se encuentran secos durante los períodos de caudales bajos por lo menos en alguna parte de su trazado, lo que imposibilita el flujo. Debido a que los canales secundarios están casi permanentemente conectados al río principal, sus niveles de agua son aproximadamente iguales a aquellos presentados en canal principal, sin embargo, las velocidades de flujo pueden variar fuertemente, la cual por regla general es más baja que en el canal principal, ya que la pendiente de la línea de energía del flujo es menor y la resistencia hidráulica es más alta debido a la escasa profundidad del agua.

Normalmente, los canales secundarios naturales se sedimentan lentamente con limos hacia el extremo de aguas arriba de éstos, con lo que se transforma en una llanura de inundación con canales desconectados que sólo durante las inundaciones se conectan. Debido a que los canales secundarios se caracterizan a menudo por una lámina de agua pequeña y una velocidad de flujo baja en comparación con el canal principal, los canales secundarios ofrecen condiciones adecuadas para muchas especies de peces y macro - invertebrados. Debido a la profundidad limitada de agua y la conexión continua con el canal principal, también pueden ser importantes para especies que requieren condiciones de poca profundidad y el agua solo fluyendo durante una parte del año. No obstante en los canales naturales secundarios se tienen una tendencia a la lenta sedimentación y al poblamiento con vegetación de tendencia a ser cada vez más permanente.

Caso Río Waal

Existe un cuello de botella a la altura de ciudad de Nijmegen por una restricción de ancho al pasar de 1500m a tan solo 400 m. Se planteo la construcción de un bypass al norte de la ciudad en una zona no muy desarrollada (Ver Figura 3.19).

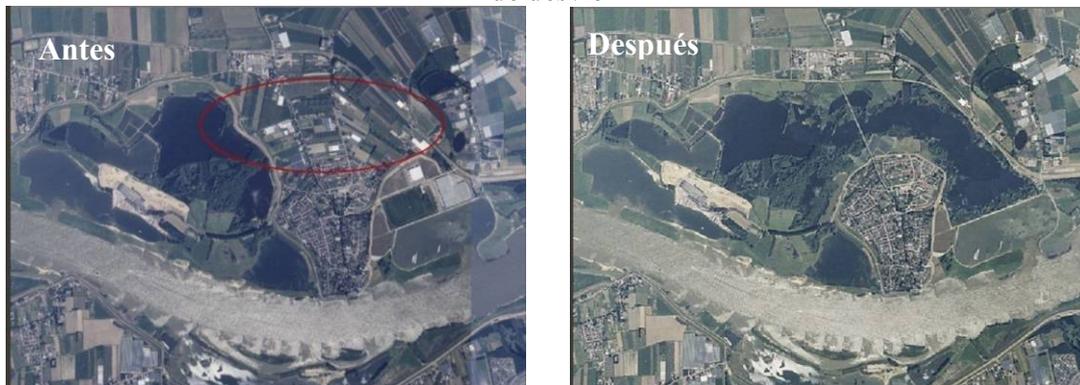
Figura 3.19. Esquema del canal de desvío propuesto



Fuente: Room for the river

En la figura 3.20 se puede apreciar el antes y después de la implementación de la medida, en la cual se construye una anillo para la ciudad quedando protegida del río y del bypass.

Figura 3.20. Desarrollo del proyecto para eliminar el efecto cuello botella mediante un canal de desvío



Fuente: Room for the river

3.5. INCLUSIÓN DEL SISTEMA DE HUMEDALES AL RÍO

La mayoría de los humedales del Valle del Cauca se encuentran aislados o desconectados del sistema del río Cauca. Los humedales pueden funcionar como uno de los mecanismos para proporcionar más espacio al río, caso en el que estarían abiertos al sistema del río y se convertirían en una extensión de su llanura de inundación contando con los beneficios antes mencionados para este tipo de medidas (Figura 3.21).

Figura 3.21. Inclusión de los humedales a la dinámica del río



Fuente: CVC

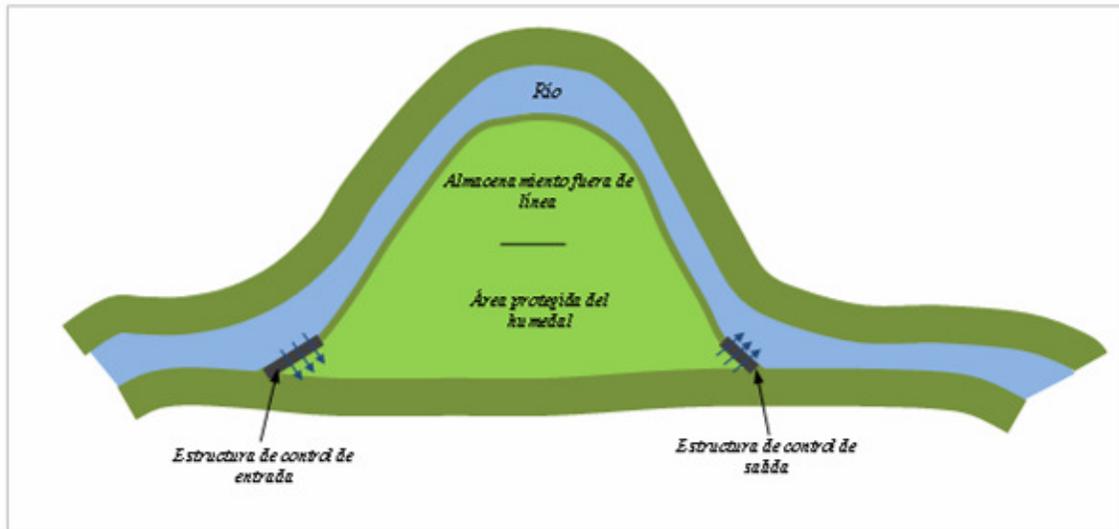
Sin embargo, podría estudiarse la posibilidad de ponerlos a funcionar como una laguna de laminación fuera de línea, es decir, conservando los diques ubicados de manera incorrecta (ver Figura 3.22) y conectando al humedal con el río a través de estructuras de control de entrada y salida de agua, las cuales operarán según los niveles del río y permitirán el almacenamiento de volúmenes de excesos de agua durante épocas de creciente.

3.6. OTRAS MEDIDAS

Anteriormente, se enunciaron las obras más apropiadas para ser implementadas en el valle alto del río Cauca, unas ya establecidas y estudiadas como lo es el embalse de Salvajina y las obras complementarias en la planicie (diques, canales y estaciones de bombeo) y otras alternativas que posiblemente pueden ser implementadas en sitios específicos.

A continuación se expondrán otras medidas estructurales que se basan en la intervención y recuperación de la planicie de inundación para la mitigación de inundaciones, la protección de orillas y las intervenciones en el cauce. De éstas últimas, se concluirá que son de sumo cuidado ya que interfieren directamente en el equilibrio natural del sistema fluvial.

Figura 3.22. Humedal como laguna de detención fuera de línea con diques de cierre y estructuras de control de entrada y salida de flujo



3.6.1 Descenso de la llanura de inundación

Consiste en disminuir la cota de la llanura de inundación para aumentar el área total de flujo durante una creciente, disminuyendo, por consiguiente, el nivel de agua del evento de inundación crítico. Uno de los efectos de implementar esta medida combinada con los diques es el incremento en la capacidad de transporte de flujo sin modificar las condiciones del dique y sin afectar su grado de protección. La aplicación de esta medida genera cambios en la morfología del río por cambios en la dinámica de transporte de sedimento, dado que el agua al alcanzar con mayor facilidad la llanura de inundación (desborde de la banca llena) genera procesos de sedimentación y luego genera procesos de erosión cuando ésta retorna gradualmente de la llanura de inundación al cauce principal.

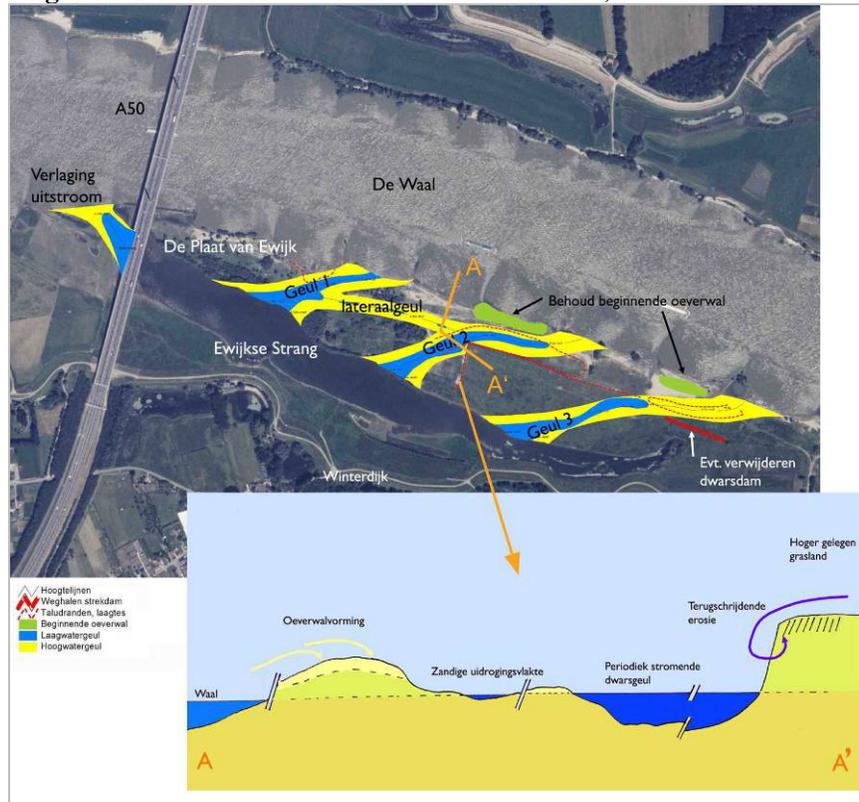
Con los eventos de inundación y por causa de los procesos de sedimentación, la llanura de inundación, progresivamente retornaría a su estado inicial, es decir, que una medida de este tipo tiene un tiempo de aplicación finito acorde con la tasa de depósito de sedimentos sobre la llanura de inundación, motivo por el cual se debe monitorear no solo los niveles de agua para revisar su efecto (reducción del pico) durante las crecientes, sino que también las cotas de la misma llanura de inundación para decidir cuando ésta requiere de mantenimiento o cuando ha finalizado su vida útil. Según la magnitud de la sedimentación ocurrida después de un evento de inundación, se va perdiendo la efectividad de la medida frente al aumento de área de flujo y por consiguiente a la disminución de niveles.

Por ejemplo, bajar la llanura de inundación 0,5 m en un tramo determinado puede disminuir el nivel de agua para un periodo de 100 años en 0,3 m y si la tasa de sedimentación de la llanura es de 10cm/año, año tras año se iría perdiendo el beneficio de la intervención hasta un periodo de 5 años. Por lo anterior, es recomendable combinar esta medida con otras que aumenten la velocidad de flujo en la llanura de inundación (ej. canales secundarios), brindando así sostenibilidad en el tiempo de esta medida.

Caso Río Waal

Un ejemplo de esto es el río Waal en Holanda, en donde la llanura de inundación se agrado después de realizada la excavación como resultado del depósito de arena. En siete años su nivel ha subido entre 30 y 40 cm., la mayoría de ellos sedimentaciones ocurridos en las crecientes del 1993 y 1995 (ver Figura 3.23).

Figura 3.23. Adecuación llanura de inundación, río Waal - Holanda



Fuente: Room for the river

3.6.2 Mantenimiento de vegetación en las llanuras de inundación

El pastoreo influye en el desarrollo de los tipos y estructuras de la vegetación, y condiciona la presencia de especies vegetales y animales. La expectativa radica en que, aparte de los factores abióticos tales como la composición del suelo y la frecuencia de las inundaciones, el pastoreo de grandes herbívoros como vacas, cabras y caballos es uno de los factores más importantes para determinar la estructura de la vegetación, y por lo tanto la resistencia hidráulica de la llanura de inundación.

El uso de grandes herbívoros podría cumplir dos funciones: (i) Ayudar a reducir el nivel de agua de diseño por el control de vegetación y, (ii) generar opciones de aprovechamiento económico para zonas que se libren como espacio para el río. Además de generar condiciones de soberanía sobre predio que de otra manera podrían favorecer invasiones en zonas de alto riesgo.

Con la práctica del pastoreo, la resistencia hidráulica de la llanura de inundación puede ser reducida, debido a que se controla el crecimiento de la vegetación. Dependiendo de la intensidad de pastoreo y el tipo de manejo de éste se puede contrarrestar en cierta medida el desarrollo de arbustos y árboles.

3.6.3. Reconexión de la planicie de inundación

De acuerdo con Tocner and Stanford (2002) las planicies de inundación son estructuras naturales para el control de inundaciones y deberían ser utilizadas como tal. Por otro lado, la conectividad hidrológica y geomorfológica entre el cauce principal y las planicies de inundación resulta crítica en la sostenibilidad de la biodiversidad, la productividad, la laminación de las crecientes, la reducción de la carga de nutrientes, el mejoramiento de la calidad del agua, la sedimentación en la planicie de inundación y las tasas de recarga del agua subterránea.

Como consecuencia de la canalización de los ríos, la reducción de la sinuosidad, la construcción de los diques, la reclamación de tierras para la agricultura y la profundización de los cauces, muchos ríos se encuentran desconectados parcial y totalmente de su llanura de inundación.

La reconexión de la planicie de inundación generalmente se alcanza por la reconexión física y/o por un cambio en el régimen de flujo para inducir inundaciones de la planicie de inundación. La reconexión física puede lograrse a través de la eliminación de diques, el realineamiento del canal, el levantamiento del fondo del canal o la disminución del nivel de la planicie. El cambio en el régimen de flujo se logra mediante la modificación de los horarios de liberación de caudal, los pulsos de flujo o la eliminación de presas.

La reconexión de la planicie de inundación ha sido utilizada en menor proporción que otras técnicas de restauración como consecuencia de las dificultades con los propietarios de las tierras, las implicaciones de las inundaciones y las regulaciones que se requerirían en la extensión de la llanura de inundación. Sin embargo se han implementado proyectos a gran escala en Europa (Petos, 1998), Inglaterra (Colmes, 1998), Estados Unidos y otros países (Buijse et al., 2002).

3.6.4. Intervenciones en el cauce

Las intervenciones en el cauce se enfocan principalmente en aumentar su capacidad de descarga y por ende, en disminuir la altura y duración de la inundación. La capacidad de transporte de la creciente puede ser aumentada, ya sea incrementando el área de la sección transversal o mediante el incremento de la velocidad a lo largo del río (Raghunat, 2006). Las ampliaciones de la sección se intentan únicamente para los canales estrechos y poco profundos con pequeñas cuencas hidrográficas, cuyo límite no debe exceder los 40 m.

- **Dragado**

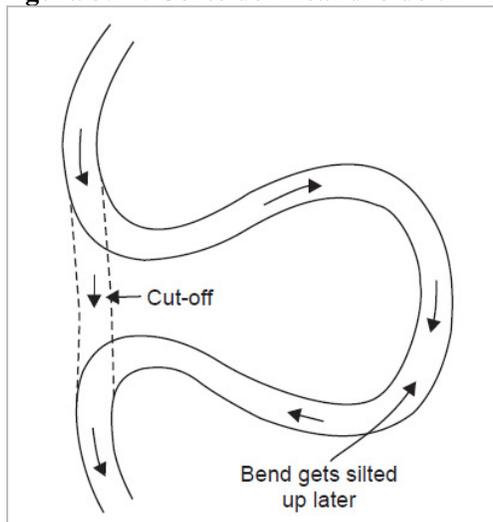
Es un proceso mediante el cual se excava controladamente la capa superficial del lecho de un cauce o cuerpo de agua. La profundización del cauce se prefiere a la ampliación ya que

el radio hidráulico medio aumenta en una mayor proporción con la profundidad (para un mismo incremento en el área de la sección) aumentando así la velocidad (Raghunat, 2006). El dragado se convierte entonces en una de las alternativas más comunes para manejo de sedimentos, enfocada al incremento de la capacidad hidráulica del río. No se debe olvidar que el dragado como manejo de sedimentos se debe respetar la similitud de escalas espaciales y temporales respecto a las escalas del transporte de sedimentos.

- **Rectificación del cauce**

En ocasiones una de las intervenciones empleadas para mejorar la capacidad de transporte del río en su cauce principal, es la rectificación del cauce mediante el corte de meandros (ver Figura 3.24). Esta medida incrementa la pendiente del cauce principal y por ende la velocidad del flujo, además de reducir la distancia a recorrer por el flujo, lo cual disminuye la longitud necesaria de los diques para confinarlo. Esta medida ha sido empleada en el río Mississippi en Estados Unidos (Raghunat, 2006).

Figura 3.24. Corte del meandro de un río



Fuente: Raghunat (2006)

Debido a la alteración de sus condiciones de equilibrio, la inestabilidad de la corriente provoca una erosión en el extremo de aguas arriba de la rectificación (el río trata de suavizar su pendiente) y como consecuencia aumenta el área hidráulica que a su vez aumenta la capacidad hidráulica (Salas, 1999).

Un ejemplo de una medida para mejorar la capacidad de transporte en una zona crítica del río es en el caso del río Sipalay (ver Figura 3.25) en el que se estudió la dinámica del río y se combinó el trazado de un dique con el de una canal profundo para evacuar más rápidamente los flujos de inundación.

Cuadro 3.1. Proyecto río Sipalay

Objetivos	Control de inundación
Descripción	<p>La principal causa de las inundaciones en la ciudad de Sipalay (en la provincia de Negros occidental, Filipinas) era la sedimentación de los últimos kilómetros de río, donde la capacidad de conducción se redujo considerablemente. Durante la temporada invernal los niveles en el río comenzaron a aumentar del lado este de la ciudad, propagando la inundación a las riveras y posteriormente al mar a través de la ciudad.</p> <p>El plan de control de inundaciones constó de tres fases:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elevar y reforzar las bancas del río al este de la ciudad. - Un nuevo canal profundo trazado en unos 500 m antes de la desembocadura al mar. - Continuar el canal como un canal de flujo profundo a través de la bahía hasta el mar.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Situación inicial</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Medidas implementadas</p>  </div> </div>	

4. ESTUDIOS EXISTENTES DE MEDIDAS ESTRUCTURALES DE PROTECCIÓN EN EL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA

4.1. ESTUDIOS DE OBRAS DE CONTROL DE INUNDACIONES

4.1.1. Proyecto Regulación del río Cauca (1975)

El Proyecto de Regulación del Río Cauca 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.

4.1.1.1. Discusión general de alternativas de diseño (1978)

En todos los estudios realizados sobre el control de inundaciones del río Cauca se propone la regulación de su caudal mediante embalses en algunos ríos Tributarios y Salvajina, diques de control de crecientes del río Cauca causadas por los tributarios aguas abajo del sitio de la presa y otras alternativas tales como: (i) Modificación del control natural del río Cauca en la Virginia (ii) Rectificación del cauce y, (iii) Dragado. Adicionalmente a las anteriores alternativas, se ha tratado la posibilidad de desviación de las aguas del río Cauca al Pacífico en estudios desarrollados por OLAP, G&H y TAMS y en el plan nacional de electrificación 1964-1975 elaborado por *Electricité de France* (1962), estudios en los que igualmente se contemplaba la inclusión de los embalses en los ríos Timba y Cauca (CVC, 1978), haciendo la aclaración de que la desviación del río Cauca al Pacífico por sí sola no constituye una alternativa para controlar las inundaciones.

Las anteriores alternativas planteadas fueron consecuencia de una línea de pensamientos desarrollados en diversos estudios cuyos inicios se remontan al año 1943, año en el cual el ingeniero Espíritu Santo Potes elaboró el primer esquema de represa en Salvajina.

4.1.1.2. Embalses en los Ríos tributarios

En diversas oportunidades se han estudiado las posibilidades de embalses en los ríos tributarios del Cauca, aguas abajo de Salvajina, especialmente con fines de provisión de agua para riego.

En el año 1973 se hizo una revisión y ampliación de los estudios en los ríos: Ovejas, Timba, Palo, La Paila (Cauca), Claro, Pance, Nima, Guabas, Amaime, Riofrio, Bugalagrande, La Paila (Valle), La Vieja (CVC, 1978).

Aunque algunos de los ríos mencionados pueden aprovecharse para generar energía en menor escala o para irrigación, en la mayoría de ellos se descarta la posibilidad de construir un embalse para regulación o aprovechamiento múltiple, por alguna de las siguientes razones: (i) Geología difícil para construir una presa, (ii) Capacidad de embalse reducida, (iii) Fuerte pendiente y arrastre considerable de sedimentos reducirían la vida útil del embalse. No obstante, existen los siguientes ríos en los que es posible la ejecución de obras (ver Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Embalses viables en tributarios

Río	Sitio	Volumen (Mm ³)	Altura (m)	Usos
Timba*	Caserío Marilópez	20	30	Regulación de caudales
Ovejas*	Entre el río Mondomo y Pescador	12	44	Regulación de caudales del río Ovejas y derivación de agua hacia Salvajina
Amaime	“La Tigrera”	30	80	Regulación de caudales
Bugalagrande	“El Voladero”	32	30	Regulación de caudales e irrigación
La Vieja	Cerca a la estación del Ferrocarril de Caicedonia	160	32	Regulación de caudales, riego y generación de energía

* Presas que podrían dar regulación inmediata sobre los caudales del río Cauca por la cercanía de entrega de éstas al río Cauca.

La suma de los volúmenes almacenado por estos embalses es de 254 Mm³ comparado al volumen proyectado de almacenamiento para el embalse de Salvajina (773Mm³) representa un 33% de este último.

4.1.1.3. Modificación del control natural del río Cauca en la Virginia

Es sabido que en tal sitio el cauce del río es de sección rocosa y que a partir de allí el río adquiere una fuerte pendiente. Se ha pensado en que rebajando tal control se lograría profundizar el cauce del río hacia aguas arriba logrando mejoras en su capacidad de conducción (CVC, 1976). No obstante, cualquier mejora que se obtuviera no pasaría de tener un alcance local ya que no sería conveniente pensar en una profundización muy grande del cauce so pena de formar un cañón al cual los tributarios arrastrarían las tierras fértiles mediante erosión de sus cauces por cambio en el régimen de los ríos.

4.1.1.4. Rectificación del río

El corte de meandro o curva de un río aumenta la pendiente y en consecuencia la velocidad, deprimiendo la superficie del agua. Sin embargo, al aumentar la velocidad del flujo se incrementa el poder erosivo del río, haciendo que sus aguas empiecen a modificar el cursos del cauce hacia aguas arriba con perjuicio para los riberanos. Al mismo tiempo, como aguas abajo del corte las condiciones no se alteraron, la mayor fuerza erosiva que el río adquirió aguas arriba la pierde al terminarse el corte, y por ende, induce al depósito de sedimentos

aguas abajo de éste, produciendo una elevación del lecho e incrementando la frecuencia de anegamientos en terrenos aledaños al río.

Por las razones anteriores, no es recomendable cortar meandros del río al menos que uno de los parámetros que definen su régimen (ej. El caudal) se haya modificado, además de contemplar una serie de estudios juiciosos y mantenimiento de las obras de estabilización del cauce en caso de implementar obras de rectificación.

4.1.1.5. Dragado del río

El trabajo de toda draga en un río es el de mantener, en esas zonas pandas, un cauce apropiado para la navegación. Pero esa labor de dragado debe realizarse constantemente para que resulte efectiva. Esto, sin considerar las alteraciones en la morfología fluvial del valle, y el descenso apreciable del nivel freático.

En el caso del río Cauca, se trata de un río aún en formación que está actualmente recibiendo una carga considerable de sedimentos desde sus afluentes, aumentada por el deterioro de las cuencas. La operación de dragado en un río en esas condiciones sería por consiguiente mucho más onerosa que la de un río ya estabilizado.

Un cálculo aproximado del volumen de dragado necesario en el río Cauca para evitar inundaciones y tener el nivel de aguas de crecida a la misma cota de barranco del río fue estimado en 222 Mm³. Pero este volumen no sería suficiente ya que las tierras vecinas y paralelas al cauce son más bajas que el nivel de los barrancos por lo que este volumen llegaría a los 343 Mm³. Sumado a lo anterior está el problema de la disposición del material de dragado, la cual se haría entre dos diques a ambos márgenes del río separados lo suficiente para alojarlo. Si se suponen estos diques con secciones de 3,0 m de altura, taludes de 2:1 y 3,0 m de ancho de corona y una longitud de 404 km (desde la Balsa hasta La Virginia), estos tendrían un volumen de 44Mm³ sumados a los volúmenes de sedimentos cuyos costos totales asociados no cubrirían el costo de las 20000 has de terreno que se ocuparían con dichos diques y relleno de sedimentos (CVC, 1976).

Finalmente, suponiendo que en el dragado del río Cauca se emplearan dragas de 600 m³/h de rendimiento, se necesitarían 13 unidades para realizar el trabajo durante 5 años por 24 horas sin interrupción.

Todas las razones anteriores permiten deducir que la opción del dragado es una opción no viable técnica ni económicamente para el control de inundaciones en el valle alto del río Cauca.

4.1.1.6. Alternativas viables para el control de inundaciones del río Cauca

Anteriormente, se indicaron todas las posibles alternativas para el control de inundaciones del río Cauca y se analizaron aquellas que, primordialmente por razones técnicas, no son recomendables. Resultan entonces solamente tres de ellas que se pueden calificar como

viables y son: (i) Regulación mediante presas en el río Cauca, (ii) Diques a ambos márgenes del río Cauca y sus afluentes y, (iii) Combinación de presa y diques.

De las tres alternativas antes mencionadas prevalece la tercera, partiendo de la evidencia, ya demostrada por los registros hidrológicos, de que la situación más crítica para las inundaciones en el valle alto del río Cauca se presenta cuando el río Cauca entra crecido a la zona plana, es decir, pasa crecido por salvajina (CVC, 1976).

Por lo tanto al retenerse los caudales del Cauca mediante un embalse en tal sitio, la creciente en el valle quedará sustancialmente aminorada, sin perjuicio de que la forma alargada de la cuenca y los numerosos ríos que tributan al Cauca aguas abajo del embalse impliquen que la regulación sea sólo parcial, ya que estará restringida a los caudales que aporta la cuenca hasta Salvajina. Además, si la disminución de caudales con el embalse disminuye los niveles y altura de diques en la zona plana en forma apreciable, puede esta alternativa competir favorable con la construcción de sólo diques (CVC, 1976). Esta alternativa además de suplir la falencia de construir sólo diques en la planicie, sus costos se pueden minimizar al optimizar el efecto combinado de la altura de la presa y los diques.

4.1.2. Anillo de Aguablanca (1958)

Las constantes inundaciones sufridas por la zona baja circunvecina de la ciudad de Cali hacia 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).

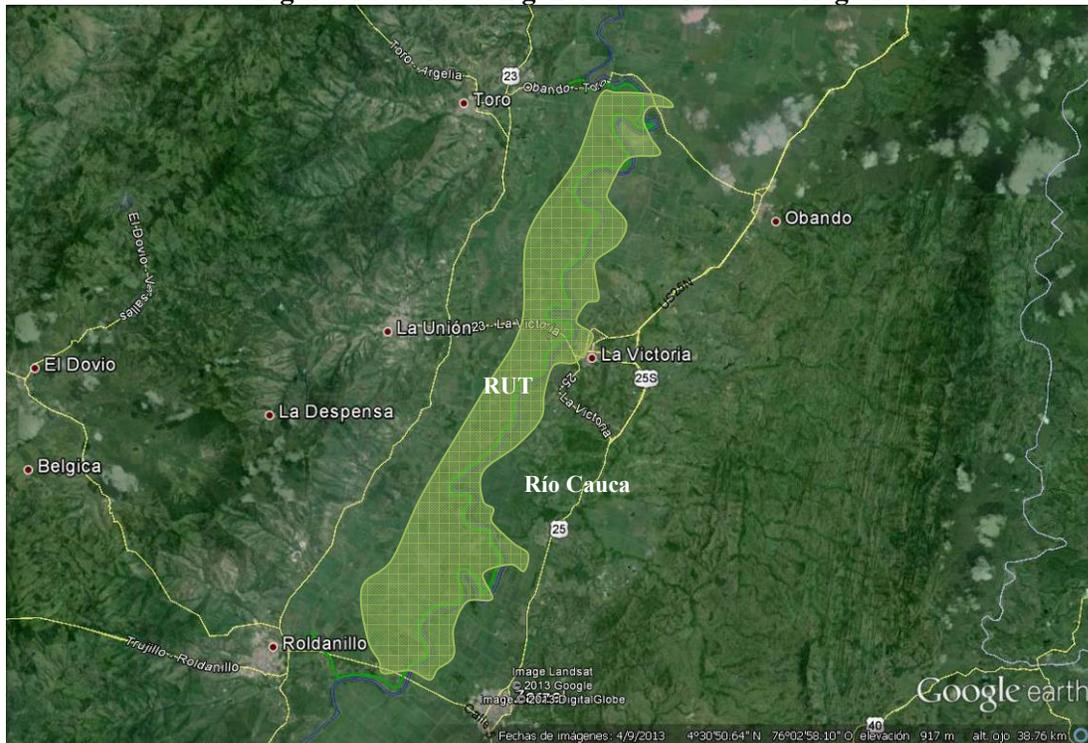
Frente a las obras planteadas, se contemplaba el diseño de lagunas de regulación del drenaje pluvial con 800.000 m³ de capacidad, pero el área fue parcialmente invadida y hoy

sólo disponen de 322.000 m³. 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 m³/s, y la ampliación de la estación de bombas del Paso del Comercio (1996), cuya capacidad actual es de 25 m³/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.

4.1.3. 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 Figura 4.1 Ubicación general del distrito de riego RUT). 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.

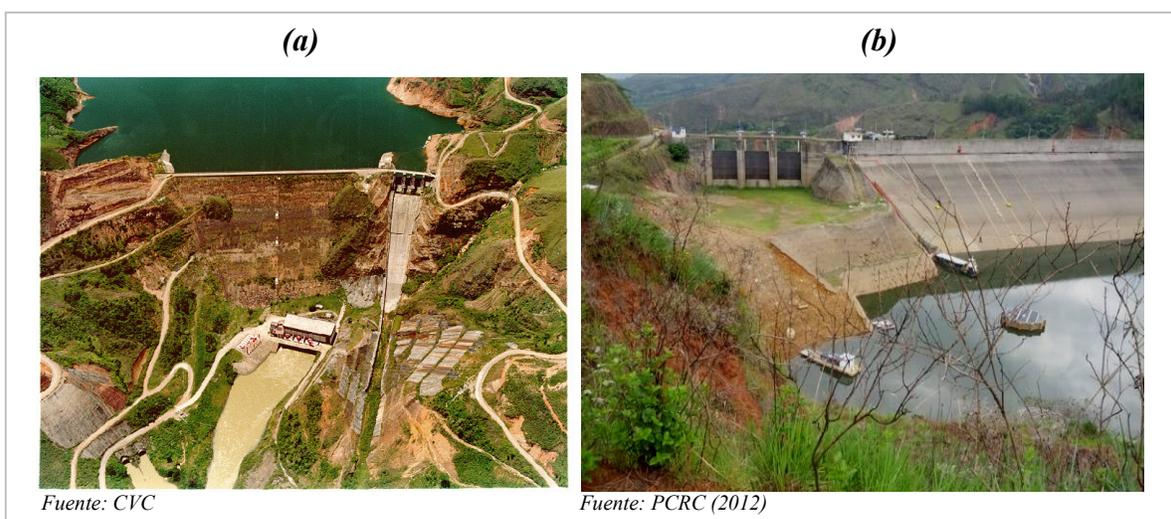
Figura 4.1 Ubicación general del distrito de riego RUT

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).

4.1.4. Embalse de Salvajina (1986)

El embalse de Salvajina, localizado cerca del casco urbano del municipio de Suárez, se construyó en el periodo 1981-1985 y tenía como objetivos los de la regulación de los caudales del Río Cauca en temporadas de estiaje y crecientes, la generación de energía eléctrica y el control de la contaminación. El cuerpo de la presa se construyó en gravas con una cara de concreto de 154 m de altura y una capacidad de embalse de 773 Mm³. 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).

Foto 4.1 Represa de Salvajina. Vista (a) Aguas abajo y (b) Aguas arriba

4.1.5. Anillos de protección (2000)

En el informe de diagnóstico de inundaciones en el valle alto del río Cauca se recopilaban las obras proyectadas para minimizar las inundaciones en los terrenos ubicados dentro de la planicie de inundación del río Cauca.

A partir del año 1999 la CVC consideró conveniente retomar el complemento de las obras del proyecto de Regulación del río Cauca para la mitigación de las inundaciones. En este periodo se diseñaron 14 anillos de protección o mitigación de inundaciones, los cuales hasta ahora ninguno ha sido construido. En el año 2011 a raíz de las inundaciones ocurridas en ese año y en el año anterior se propuso al Fondo de Adaptación arbitrar los recursos para la pronta ejecución (CVC – Valencia & Escobar, 2012).

Estos proyectos retomaron, en gran medida, los tramos inicialmente planteados en el Proyecto de Regulación del río Cauca, abarcando el trayecto del río Cauca de sur a norte en ambos márgenes de éste. Cada alternativa de protección adjudicada a las diferentes firmas consultoras, para los diferentes tramos, comprende estudios topográficos, hidrológicos, hidráulicos, morfológicos, geológicos, geotécnicos, económicos y financieros, ambientales, además de los esquemas de obras y criterios de diseño.

La filosofía principal de estos anillos se fundamentaba en: (i) El complemento de los diques existentes y la construcción de nuevos diques en los tramos no protegidos, conservando las distancias mínimas y respetando los grados de protección (periodos de retorno mínimos) especificados en el acuerdo 23 de 1979 de la CVC, (ii) El trazado de canales interceptores y de drenaje e integración de los cuerpos de agua cercanos a la zona de proyección de obras y, (iii) La instalación de estaciones de bombeo para drenar las aguas de escorrentía en temporadas de invierno. Todas estas obras tenían como objetivo proteger un área total aproximada de 62254,8 ha.

Los anillos de protección planteados sobre la margen izquierda (6 en total) fueron: (i) Zanjón Tinajas – Río Claro, (ii) Río Claro – C. Navarro, (iii) Mediacanoa – Quebrada Chimbilaco, (iv) Río Piedras – Huasanó, (v) Quebrada Huasanó – Pescador y, (vi) Río Pescador – La Peña. Para la margen derecha (8 en total) fueron: (i) Río Desbaratado – Paso del Comercio, (ii) Paso del Comercio – Puerto Isaacs, (iii) Paso de la Torre – Río Zabaletas, (iv) Río Sonso – Río – Río Tuluá, (v) Río Tuluá – Río Morales, (vi) Río Morales – Acequia Quintana, (vii) Quebrada La Honda – Quebrada Los Micos y, (viii) Quebrada Los Micos – Quebrada Aguasprietas.

Posterior al planteamiento de los anillos, y a raíz de la ola invernal 2010 – 2011 se realizó una evaluación de los diques existentes a través de los estudios de diagnósticos de Fundación pacífico Verde – CVC en el año 2011, cuequeando sus características mecánicas e hidráulicas, bajo las cuales se estableció si la corona de éstos debía ser realzada, para suplir con el nivel de protección ante los eventos de inundación históricos; reubicados, al no cumplir con las distancias mínimas al cauce principal o reconstruidos; para los casos en los que no cumplieran con los niveles mínimos de compactación ni calidad de materiales de conformación.

4.1.6. Levantamiento topográfico de ejes de diques marginales y llanura de inundación del río cauca tramo Yumbo – Tuluá (2006)

En el año 2006 se realizó un levantamiento planimétrico y altimétrico de los diques sobre el río Cauca en el tramo Yumbo – Tuluá con 194 km del eje de la corona de los diques marginales en ambos lados (83 km por la margen izquierda y 111 km por la margen derecha), distribuidos en 28 diques independientes; y 83 kilómetros de secciones transversales de la llanura de inundación del río Cauca, distribuidos en 45 secciones sobre la margen izquierda y 66 km sobre la margen derecha. Las longitudes de las secciones transversales medidas en la llanura de inundación variaron entre 250 y 1200 m y los diques marginales levantados a lo largo del Río Cauca tiene una altura promedio de 2.50 m, un ancho de corona medio de 3.0 m y taludes de 1.50 H : 1.00 V en ambas caras (CVC-UNIVALLE, 2006).

Las características de los diques en el tramo de estudio son: (i) La separación media de los puntos de nivelación levantados en campo fue de 50 metros. Este nivel de detalle se considera adecuado para los alcances de los estudios planteados en el marco del Proyecto PMC. Sin embargo, es necesario extender las mediciones topográficas a lo largo de todo el tramo de estudio (Salvajina – La Virginia) y de toda la llanura de inundación con el fin de complementar y actualizar la información disponible, (ii) En un número considerable de secciones transversales se observa que el nivel del agua de banca llena se encuentra por encima del nivel del terreno natural en la intersección con los taludes del dique. Esto sugiere que los diques marginales se encuentran protegiendo extensiones importantes de tierra. (iii) La separación media entre el borde del río Cauca y la pata húmeda de los diques marginales de protección es de 55 metros. Se recomienda comparar esta distancia con los requerimientos establecidos por los Planes de Ordenamiento Territorial de cada municipio. Los resultados de esta comparación asociados con los resultados obtenidos en el estudio de

Franja Forestal Protectora recientemente desarrollado por la CVC, permitirá establecer si los diques existentes se ajustan a los requerimientos de las instituciones de la región.

Como recomendaciones se propone comparar los niveles de la corona de los diques con los niveles de agua del río Cauca para diferentes períodos de retorno, lo cual permitirá: (i) conocer el nivel de protección contra inundaciones que se tiene a lo largo del río Cauca en el sector estudiado y (ii) identificar los sitios en los que es necesario incrementar el nivel de la corona del dique para aumentar la protección de ciertas extensiones de tierra. (Incluir separación de diques).

4.2 MODELACIÓN DE ESCENARIOS DE OBRAS DE PROTECCIÓN

4.2.1 Modelación de proyectos de control de inundaciones (2007)

Como ya se indicó anteriormente, en el año 2000 la CVC contrató 14 proyectos para suplir la necesidad de protección contra inundaciones de varios sectores aledaños al río Cauca, denominados *anillos de protección*. Como la construcción de estos diques y el realce de los existentes, modifica el comportamiento hidrodinámico del Río Cauca y la localización y extensión de las áreas de inundación, se evaluó la magnitud de los cambios que presentaría el río una vez se construyan los diques proyectados en el 2000, para los cuales la CVC dispone de diseños (CVC, 2005).

Como periodo de modelación, se adoptó el de la creciente presentada entre los meses de Febrero y Marzo de 1999, por las siguientes razones: (i) Corresponde a uno de los eventos extremos más significativos (niveles de agua muy altos) para el control de inundaciones ocurrido en el Río Cauca desde el momento en que entró en operación la represa de Salvajina y (ii) Considerando que las obras para el control de inundaciones en el Valle del Cauca no han experimentado mayores variaciones desde ese período hasta la fecha, la inclusión de los diques proyectados en el modelo y la simulación de este nuevo escenario permite obtener una imagen muy aproximada de los cambios que ocurrirían en el comportamiento hidrodinámico del Río y sus llanuras de inundación en caso de presentarse un evento de características similares.

Los resultados obtenidos al modelar esta situación proyectada indican que, con relación a la situación actual, los niveles de agua experimentarían un incremento en todas las estaciones hidrométricas (con un incremento máximo cercano a 1.0 m en la estación Mediacanoa), los caudales no sufrirían cambios importantes y las velocidades experimentarían disminuciones del orden del 20 al 30 % en las estaciones Hormiguero y Juanchito, mientras que en las restantes estaciones las variaciones (incrementos o disminuciones) serían inferiores al 10 % (CVC, 2005).

A partir de los resultados de la modelación y el nuevo Modelo Digital de Elevaciones se generaron mapas de comparación entre los mapas de inundación generados al modelar la situación proyectada y los obtenidos al modelar la situación actual. Estos mapas indican que algunas de las zonas que se inundaron durante la creciente de Febrero – Marzo de 1999

quedarían protegidas para eventos de períodos de retorno iguales o inferiores al presentado en 1999; en otros sectores se disminuiría la extensión de las áreas inundadas y la profundidad de la inundación, mientras que otros sectores que no se inundaron durante la creciente modelada resultarían inundados al implementar la condición proyectada. Esto último es un resultado del mayor confinamiento impuesto al flujo de agua en el río (CVC, 2005).

4.2.2 Análisis de la incidencia de la operación del embalse de salvajina sobre el río Cauca (2007)

Conscientes de la gran dificultad para diferenciar los efectos producidos por la construcción y operación del embalse de Salvajina de aquellos que dependen de otros factores, de carácter natural o antrópico, independientes del embalse, prevalece aún una gran incertidumbre sobre el grado de incidencia que tiene el embalse sobre el río Cauca, este estudio tuvo como objetivo principal evaluar integralmente la incidencia de la operación del embalse de Salvajina sobre el río Cauca considerando aspectos hidrológicos, hidráulicos, sedimentológicos, morfológicos, de calidad del agua y ambientales.

Entre los principales resultados de la evaluación efectuada se tiene que la operación del embalse ha generado los siguientes cambios en el régimen de caudales: (i) durante el verano, incrementando los caudales y los niveles de agua mínimos, lo cual contribuye al mejoramiento de la calidad del agua del Río Cauca, y (ii) durante el invierno, reduciendo los caudales y los niveles del agua, principalmente en las estaciones más próximas al embalse, lo cual se refleja en una disminución de la frecuencia de las crecientes y de las áreas potencialmente inundables (cuando se presentan los desbordamientos del cauce principal). Esta última condición es la que actualmente interesa en materia de control de inundaciones.

A partir de los análisis de caudales y niveles de agua efectuados a los registros disponibles de cada una de las estaciones y los resultados de las simulaciones hidrodinámicas de las condiciones regulada y no regulada del Río Cauca, se determinaron algunas relaciones entre la operación del embalse y las variaciones encontradas entre los periodos Pre-Salvajina y Post-Salvajina.

Este análisis de la influencia relativa del embalse sobre los caudales del Río Cauca mostró que la operación del embalse redujo considerablemente (o evitó en algunos casos) la magnitud de las inundaciones entre Salvajina y Mediacanoa debido al almacenamiento de una fracción del caudal no regulado que habría transitado por el Río Cauca cuando la condición del Río aguas abajo era crítica. Asimismo, cuando los caudales no regulados del Río Cauca (es decir, sin el embalse) sumados a los aportes de tributarios hubieran sido muy bajos, las simulaciones de la condición regulada del Río mostraron que la operación del embalse de Salvajina permitió disponer de un caudal adicional que incrementó significativamente el caudal del Río, y en ocasiones incluso excedió al mismo caudal no regulado. De esta manera se concluye que el embalse de Salvajina fue fundamental para el control de crecientes en invierno y el alivio de la contaminación del Río Cauca durante periodos de verano críticos, en el tramo La Balsa – Mediacanoa.

Complementario a lo anterior, se encontró que: (i) El análisis de las variaciones en los niveles de agua diarios máximos en el Río Cauca entre los periodos Pre -Salvajina y Post -Salvajina muestran un descenso general de los mismos, lo cual se asocia principalmente a la disminución de los caudales máximos por la regulación desde el embalse de Salvajina. Un comportamiento similar se observó para los niveles de agua diarios medios. (ii) Los mapas de inundación de los meses noviembre – diciembre de 1999 en el sector comprendido entre Yumbo (K147+009) y Toro (K407+000) calculados para las condiciones regulada y no regulada del Río Cauca mostraron que si bien el embalse no puede evitar completamente las inundaciones del Río Cauca, sí contribuye eficazmente en la reducción de la magnitud de las inundaciones en las zonas bajas del alto valle del Río Cauca.

4.2.3. Modelación matemática del sistema río Cauca – humedales (2009)

En este estudio se modeló la infraestructura de diques adicionándole, para diferentes alternativas, los efectos del sistema de humedales con que cuenta el río cauca en su recorrido.

Se plantearon 7 escenarios para obtener información que permita establecer criterios encaminados a la determinación del ancho óptimo de la Franja Forestal Protectora del río Cauca en su Valle alto (ver Cuadro 4.2). Para la construcción de estos escenarios se combinaron 5 condiciones de caudales y 3 geometrías diferentes; las condiciones de caudales estudiadas estuvieron conformadas por los caudales registrados durante la creciente del periodo febrero - marzo de 1999 y los caudales correspondientes a los periodos de retorno de 10, 25, 30 y 100 años a lo largo del río Cauca (CVC – UNIVALLE, 2009).

Cuadro 4.2 Escenarios evaluados para establecer criterios para la determinación del ancho óptimo de la franja forestal protectora

Escenario	Ancho de la franja forestal protectora	Caudal
1	Igual al ancho de la berma e los sectores en los que existe dique e igual a 60 m en los sectores en los que no existe dique	Creciente de febrero – marzo de 1999
2	Igual a 60 m	Creciente de febrero – marzo de 1999
3	Igual al ancho del cinturón meándrico	Creciente de febrero – marzo de 1999
4	Igual al ancho de la berma e los sectores en los que existe dique e igual a 60 m en los sectores en los que no existe dique	Creciente con TR de 10 años a lo largo del río Cauca
5	Igual al ancho de la berma e los sectores en los que existe dique e igual a 60 m en los sectores en los que no existe dique	Creciente con TR de 25 años a lo largo del río Cauca
6	Igual al ancho de la berma e los sectores en los que existe dique e igual a 60 m en los sectores en los que no existe dique	Creciente con TR de 30 años a lo largo del río Cauca
7	Igual al ancho de la berma e los sectores en los que existe dique e igual a 60 m en los sectores en los que no existe dique	Creciente con TR de 100 años a lo largo del río Cauca

Fuente: CVC – UNIVALLE (2009)

Los niveles de agua calculados para los escenarios 1 y 2 no presentan variaciones importantes entre sí, con excepción de la estación Guayabal, en la cual, durante el pico de creciente los niveles de agua para el escenario 1 son aproximadamente 40 cm superiores a los niveles calculados en el escenario 2; en las estaciones La Bolsa, Hormiguero y Anacaro los niveles de agua para ambos escenarios son prácticamente iguales.

Los niveles de agua en el escenario 3 son significativamente inferiores a los niveles calculados para los escenarios 1 y 2 para los caudales pico; la mayor reducción de los niveles se presenta en la estación Guayabal, en la cual, de haber existido este escenario durante la creciente del año 1999 no se hubieran presentado desbordamientos, dado que los niveles hubieran sido aproximadamente 2 m inferiores a los ocurridos durante el pico de la creciente. Como era de esperarse, la menor reducción en los niveles de agua se presenta en la estación La Bolsa con valores inferiores a 0.5 m.

En síntesis, al plantearse la localización de los diques en el límite del cinturón meándrico se obtienen niveles más próximos a la condición natural. Al ubicar los diques más próximos al cauce principal se genera un mayor confinamiento, lo cual origina mayores niveles de agua, es decir, se produce un mayor impacto en el comportamiento hidrodinámico del río, lo cual obligaría a construir diques de mayores elevaciones y realzar los diques existentes (CVC – UNIVALLE, 2009).

De manera general, para los escenarios 4 – 7, de acuerdo con los resultados del modelo, en algunos sectores muy localizados se presentarían disminuciones en los niveles de agua al construir los diques proyectados para los periodos de retorno analizados; las disminuciones máximas serían del orden de 0,25 m, además de inducirse un ligero desfase por cuanto las crecientes iniciarían unas horas antes (entre 3 y 6 horas dependiendo del periodo de retorno).

4.1.7. Regulación de caudales en los ríos tributarios

Con el propósito de obtener un mayor beneficio de los ríos, el régimen de caudales de algunos de ellos es modificado con la construcción de embalses de regulación. En varios de los ríos tributarios del Río Cauca se han hecho estudios para la construcción de embalses, obteniendo resultados de viabilidad para muchos de ellos. Se evalúa la simulación de los efectos hidrodinámicos y morfológicos que tendrían sobre el Río Cauca la regulación de caudales de algunos de los principales tributarios al Río Cauca en la zona de estudio (CVC, 2001).

4.2.1.1 Regulación de Caudales en el Río Timba

El embalse de regulación sobre el Río Timba es, de todos los estudios realizados, el de mejores perspectivas como consecuencia de la cantidad de agua que es posible embalsar (240 Mm³) y los objetivos que se alcanzarían con su construcción (generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua potable a la ciudad de Cali, reducción del riesgo de inundación en las márgenes de los ríos Timba y Cauca, entre otras) (CVC, 2001).

Para simular los efectos de este embalse en el cauce principal se realizaron las siguientes suposiciones: (i) Como consecuencia de la retención de sedimentos de material de fondo en el embalse, el aporte de sedimentos que el Río Timba realiza al Río Cauca se hace igual a cero. (ii) El régimen de caudales del Río Timba varía, pero el volumen total de agua aportado al Río Cauca no experimenta cambios. Teniendo en cuenta conservar este volumen constante se generó una serie de tiempo para los caudales del Río Timba en la que trataron de mantenerse como caudales extremos $26 \text{ m}^3/\text{s}$ y $16 \text{ m}^3/\text{s}$, los cuales representan un rango de variación de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ por encima y por debajo del caudal medio. Durante un gran porcentaje del período simulado los caudales liberados en el embalse se mantuvieron en este rango; sólo durante algunos cortos espacios de tiempo los caudales estuvieron fuera de los límites especificados como resultado de períodos de verano o invierno muy intensos.

Los resultados obtenidos al modelar este escenario indujeron a las siguientes observaciones: (i) La regulación de caudales en el Río Timba presentaría una baja influencia en los parámetros hidrodinámicos del Río Cauca, por cuanto el nivel, el caudal y la velocidad presentarían, en términos generales, muy pocos cambios con relación a los valores alcanzados por estos parámetros en las condiciones actuales. (ii) Los efectos que sobre el Río Cauca tendría la regulación de caudales en el Río Timba son muy pequeños, por lo cual la construcción de un embalse sobre esta corriente de agua no tendría mayores repercusiones sobre la corriente principal, aunque cuando se presenten crecientes en el río tributario el efecto regulador del embalse podría llegar a ser más importante. El efecto de los embalses de regulación en los ríos tributarios durante una creciente se estudia en el siguiente escenario.

4.2.1.2 Embalses de Regulación en los Ríos Ovejas y Palo

En este escenario se supone que durante las crecientes presentadas en los meses de Febrero y Marzo de 1999 los caudales de los Ríos Ovejas y Palo se encontraban regulados por intermedio de embalses, liberando durante estos dos meses el respectivo caudal medio. En los demás tributarios y en el Río Cauca se conservaron los caudales presentados en estas fechas. Los restantes parámetros de calibración no fueron modificados (CVC, 2001).

Bajo el objetivo principal de estudiar el efecto que tendría la regulación de caudales de los ríos tributarios en los períodos de invierno sobre los parámetros hidrodinámicos del río Cauca se realizó una comparación entre los parámetros encontrados en la simulación y los presentados en las condiciones actualmente existentes. Del análisis se derivaron las siguientes observaciones:

- En términos generales, como consecuencia de la regulación de los Ríos Ovejas y Palo se presentaría una reducción de los valores de los parámetros hidrodinámicos durante todo el período simulado. Este efecto, tal como es de esperarse, sería mucho más marcado durante las crecientes.
- La regulación de caudales en el Río Ovejas generaría cambios en la hidrodinámica del Río Cauca a lo largo de todo el tramo de estudio, ya que el nivel de agua, el caudal y la

velocidad presentarían valores inferiores a los alcanzados con las condiciones actuales. Este efecto sería más marcado en las estaciones La Balsa, La Bolsa, Hormiguero y Juanchito ya que se encuentran más cerca de la desembocadura del Río Ovejas.

- Al regular los caudales en el río Palo no se presentarían cambios importantes en los parámetros hidrodinámicos en las estaciones La Balsa y La Bolsa, ya que éstas se encuentran ubicadas aguas arriba de la desembocadura del río Palo. Los efectos de la regulación se presentarían en las demás estaciones ubicadas aguas abajo de esta desembocadura. En términos generales, ocurrirían reducciones significativas en los valores de los caudales y los niveles en las estaciones Hormiguero y Juanchito y un poco menores en las restantes estaciones, mientras que la velocidad experimentaría variaciones menores en todas las estaciones.
- La regulación de caudales simultánea en los ríos Ovejas y Palo tendría un mayor efecto en la hidrodinámica del Río Cauca que la presentada por la regulación de cada uno de estos ríos en forma independiente. En las estaciones La Balsa y La Bolsa la respuesta sería similar a la presentada al regular solamente el Río Ovejas, por cuanto estas estaciones se encuentran ubicadas antes de la desembocadura del Río Palo. A partir de este punto y hasta el final del tramo modelado se presentarían reducciones significativas en la magnitud de los parámetros estudiados.

4.1.8. Modelación hidrodinámica del río Cauca en el tramo La Bolsa - Guayabal, para definir la altura y la adecuada localización de diques riberaños (2011)

En este estudio se realizó la modelación hidrodinámica del río Cauca en el tramo comprendido entre las estaciones hidrométricas La Bolsa y Guayabal, para analizar y evaluar la respuesta del río bajo cuatro escenarios de localización de diques de protección y el tránsito de caudales asociados a períodos de retorno de 30, 50, 100 y 500 años, con el propósito de contribuir a la propuesta de actualización del acuerdo CVC No.23 de 1979.

El estudio se desarrolló en dos etapas: (i) Revisión y ajustes al modelo de calibración hidrodinámica del río Cauca para el tramo La Balsa – La Virginia, existente en la CVC. (ii) Modelación de cuatro escenarios propuestos para la determinación de la altura y adecuada localización de diques riberaños en el tramo La Bolsa – Guayabal del río Cauca, realizando el análisis de la información hidrológica, hidráulica, morfológica, de cobertura de suelo y ecosistemas del valle alto del río Cauca, en el tramo de modelación con el fin de determinar los criterios de apoyo para la construcción de los escenarios usados en la modelación cuyos resultados mostraron que:

- En todos los escenarios se observó que la variación de los niveles entre los períodos de retorno es significativa (0,30 – 1,44 m), lo cual está asociado a la diferencia en las magnitudes de caudales ingresados en la frontera aguas arriba y la distancia de ubicación de los diques en cada uno de los escenarios.
- Los niveles de agua más bajos se registraron para el escenario netamente ecológico, debido a que la distancia de localización de los diques respecto al cauce del río Cauca es

mayor. En el escenario actual se presentaron niveles de agua similares en magnitud a los obtenidos bajo el escenario netamente ecológico, debido al efecto que genera la ausencia de diques de protección en algunos tramos sobre ambas márgenes del río Cauca.

- Los mayores niveles de agua se registraron para el escenario propuesto socioeconómico con período de retorno de 500 años, debido al efecto de encauzamiento que se generó al ubicar los diques a distancias menores con relación a los otros escenarios, produciendo la pérdida de área efectiva para el flujo y generando el aumento de las velocidades durante el tránsito de las crecientes.
- En escenarios como el netamente ecológico, la conexión del río con los humedales ejerce una acción directa sobre el comportamiento de los niveles del río durante el tránsito de crecientes, pues los humedales funcionan como vasos reguladores. En el escenario propuesto socioeconómico, aumentaron los niveles de agua en los sitios en los que se desconectó a los humedales del cauce principal en el esquema de modelación.
- De acuerdo con los resultados correspondientes al escenario propuesto ecológico, los diques de protección deben localizarse entre 100 y 150 m respecto del río Cauca, para el tramo La Bolsa – Juanchito, entre 150 y 300 m para el tramo Juanchito – Mediacanoa (respetándose la presencia de la laguna del Sonso donde se ubicaron los diques hasta 900 m) y de 80 a 200 m para el tramo Mediacanoa – Guayabal. En todo el tramo de modelación las distancias en sitios cercanos a centros poblados como la ciudad de Cali serán mínimo de 30 m, en otros sitios esto estará en función de los asentamientos que se registren sobre la ribera del río.
- De acuerdo con los resultados correspondientes al escenario propuesto ecológico, la altura de diques necesaria alcanzaría hasta los 4,50 con un borde libre de 0,50 m, correspondiente a la protección para avenidas con periodo de retorno de hasta 50 años. En tramos como el comprendido entre las abscisas Km 300+000 y 326+000 es necesaria la construcción de diques de hasta 5.50 m de altura! pues en este sector se produjo la mayor cantidad de desbordamientos para el periodo de retorno analizado.

Para la propuesta de actualización del acuerdo 23 de la CVC se escogió el escenario propuesto ecológico como base para la ubicación y altura de diques en el departamento debido a que es el escenario en el que se equilibran los criterios ecológicos y socioeconómicos, manteniéndose el respeto por la dinámica del río pero teniendo en cuenta la importancia de la protección de la vida y la economía de la región

5. PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES PARA EL MANEJO DE LAS INUNDACIONES EN EL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA

Como se indicó en el capítulo anterior, tradicionalmente se han implementado algunos tipos de intervenciones estructurales para reducir la amenaza por inundaciones causadas por el desbordamiento de ríos, zanjones y canales, tales como, la rectificación de cauces, el dragado de cauces y la construcción de diques marginales de protección muy próximos a las bancas u orillas de los cauces. La aplicación de una o más de estas medidas deberá realizarse después de un análisis de los posibles efectos, tanto en la hidrodinámica del sistema fluvial como en los procesos sedimentológicos y morfológicos en el cauce. Las intervenciones directas en los cauces de los ríos originan cambios en la hidrodinámica y en la morfología de tal magnitud y alcance, tanto localmente como aguas abajo y aguas arriba de los sectores intervenidos, que muchas veces terminan generando efectos adversos o trasladando a otros sectores el problema que se intenta resolver.

Una de las prácticas comunes para reducir la amenaza por inundaciones consiste en la rectificación del cauce, especialmente cuando atraviesan centros poblados, mediante la cual se busca aumentar la pendiente y la velocidad del flujo y disminuir las profundidades y los niveles de agua. Sin embargo, estos cambios a su vez originan un proceso erosivo remontante hacia aguas arriba del sector rectificado, proceso que a su vez producirá un proceso de sedimentación hacia aguas abajo del mismo, disminuyendo la profundidad del cauce y, por lo tanto, la capacidad hidráulica del mismo. Para un cauce como el río Cauca esto puede originar graves problemas de agradación del lecho, considerando la magnitud de los caudales y los volúmenes de sedimentos que usualmente transporta, en especial durante las crecientes.

Otra medida estructural aplicada con frecuencia para aumentar la capacidad de los cauces es el dragado de los mismos. Sin embargo, el dragado en un sector del río desencadena un proceso general de erosión, tanto hacia aguas arriba (incluso en los ríos afluentes) como hacia aguas abajo del sector dragado. Todo el material erosionado se sedimentará en otro sector del cauce ubicado más aguas abajo, reduciendo la capacidad hidráulica del cauce, lo cual incrementará la frecuencia de los desbordamientos en dicho sector. En el caso de un posible dragado del cauce del río Cauca induciría a los siguientes problemas: (i) Descenso de los niveles del lecho a lo largo del río, lo cual dejaría fuera de servicio muchas estaciones de bombeo que extraen agua para abastecimiento, (ii) Descenso de los niveles freáticos a nivel de la planicie, lo cual aumentaría ostensiblemente la demanda de agua para riego, (iii) Erosión regresiva del lecho de los cauces de los tributarios que podría causar grandes problemas de inestabilidad de los mismos ríos y del río Cauca, así como de la infraestructura de la zona, (iv) Potenciales efectos adversos asociados con la disposición del material de dragado, incluyendo el incremento en la turbidez del agua, resuspensión de sedimentos contaminados y disminución del oxígeno disuelto en agua y (v) Costos muy altos de los terrenos requeridos para la disposición del material dragado Cauca (CVC, 1976).

Como se mencionó en capítulos anteriores, existen diferentes intervenciones para el manejo de las inundaciones, las cuales se pueden implementar individualmente o en conjunto de acuerdo a los objetivos que se quieran alcanzar.

Para el caso particular del corredor del río Cauca, considerando las características particulares de la planicie aluvial así como las características de las inundaciones (frecuencia, caudales, niveles, volúmenes de agua transitados durante las crecientes, extensión de las áreas inundada), se plantean algunas alternativas que se considera pueden conducir a un manejo más eficiente y eficaz de las inundaciones causadas por el desbordamiento del río Cauca. Las alternativas consideradas en el estudio fueron: (i) Zonas de amortiguamiento multipropósito, (ii) Diques y humedales integrados al sistema fluvial (Acuerdo CVC No. 052 de 2011), (iii) Lagunas de laminación y (v) Embalses de regulación en tributarios. Estas alternativas se describen a continuación.

Teniendo en cuenta las condiciones particulares de la planicie aluvial del río Cauca (relieve del terreno, cauces abandonados, humedales, etc.), así como las características de las crecientes del río Cauca y las inundaciones asociadas (frecuencia, caudales, niveles, volúmenes de agua transitados, extensión de las áreas inundadas), en este capítulo se plantean algunas alternativas que se considera pueden conducir a un manejo más eficiente y eficaz de las inundaciones causadas por el desbordamiento del río Cauca. Las alternativas consideradas en el estudio fueron: (i) Zonas de amortiguamiento multipropósito, (ii) Diques y humedales integrados al sistema fluvial (Acuerdo CVC No. 052 de 2011), (iii) Lagunas de laminación y (v) Embalses de regulación en tributarios. Teniendo como objetivo principal alcanzar una mayor laminación o regulación de las crecientes en el río Cauca, con base en el análisis de la información disponible se seleccionó, en primera instancia, un conjunto de medidas estructurales para los diferentes sectores a lo largo del río Cauca, las cuales se presentan en este capítulo. En otro estudio de este proyecto (Modelación de alternativas estructurales para la gestión de inundaciones en el valle alto del río Cauca) se evalúan, mediante la modelación matemática, las alternativas planteadas y se presentan los resultados obtenidos, identificando las medidas más promisorias.

5.1 ALTERNATIVAS CONSIDERADAS PARA EL MANEJO DE INUNDACIONES EN EL RÍO CAUCA

5.1.1 Zonas de Amortiguamiento Multipropósito

Con base en los resultados obtenidos en el Estudio geomorfológico y morfodinámico del río Cauca en su valle alto, realizados en el marco de este proyecto, así como en estudios anteriores, se presenta una propuesta para el manejo de las crecientes del río Cauca, que involucra retomar las condiciones hidráulicas antes de sus etapas de intervención antrópica indiscriminada y poco técnica desde los puntos de vista morfológico, morfodinámico y biológico, tratando de llevar a que el río, de forma natural, comience a recuperarse, devolviéndole, así sea en forma temporal, los terrenos que él mismo seleccionó para la mitigación y control de sus crecientes. La propuesta incluye la conformación de tres clases de áreas diferentes: Zonas de Amortiguamiento Multipropósito (ZAM), Zonas de Embalse Natural y Recuperación de Humedales (ZEN) y Áreas de Manejo Especial (AME).

Zonas de Amortiguamiento Multipropósito

Corresponden a las áreas que en algún momento de la historia del río fueron intervenidas por éste, ya sea como antiguos cauces, meandros cortados, zonas de antiguas lagunas, zonas pantanosas, las cuales fueron identificadas a partir de registros históricos de fotografías aéreas, en especial las del año 1957, fecha de referencia para la delimitación de estas áreas. Se propone que estas zonas continúen con la actividad agrícola que se desarrolla en la actualidad, pero que en caso de crecientes o desbordes del río sean sobre las cuales el río pueda mitigar su energía y caudales excedentes, reteniendo las aguas hasta que pase la creciente y nuevamente pueda retornar en el muy corto plazo a las actividades agroindustriales cotidianas; estas áreas no tendrán diques exteriores sobre las márgenes del río; únicamente se podrían implantar diques exteriores que delimiten la zona y la restrinjan a las áreas identificadas como pertenecientes en épocas anteriores a la dinámica del río.

La no presencia de diques interiores cerca a las orillas del río no sólo permiten un acceso lento, con poca energía cinética de las aguas de desborde (como eran las condiciones naturales del río), sin desarrollo de procesos erosivos o de empuje severos, sino que en la fase descendente de la creciente del río, las aguas desbordadas regresarán de forma natural y directa al cauce del río sin barreras que impidan o restrinjan el regreso de éstas o que impliquen el empleo de sistemas de bombeo costosos y por largos periodos de tiempo.

Se deben buscar entre las autoridades ambientales y propietarios, los mecanismos de compensación económica y social que permitan desarrollar e implementar esta propuesta, la cual a la luz de los resultados obtenidos del estudio geomorfológico es la más recomendada si en verdad se quiere comenzar a construir un programa de recuperación a largo plazo del río Cauca y su entorno geográfico.

En el estudio geomorfológico y morfodinámico se identificaron 37 áreas potenciales para el desarrollo y conformación de estas ZAM, las cuales deberán estudiarse con más detalle, especialmente desde los puntos de vista morfológico, morfodinámico e hidráulico.

En los Cuadros 5.1 y 5.2 se presentan las áreas y los volúmenes de agua que se podrían almacenar durante las crecientes en las ZAM y las ZEM, respectivamente. Una descripción más detallada de estas alternativas, así como la localización de las distintas zonas de amortiguamiento y zonas de embalses naturales, se consigna en el informe Geomorfología y Morfodinámica del río Cauca en su valle alto, realizado en el marco de este proyecto.

Zonas de Embalse Natural y Recuperación de Humedales (ZEN)

Corresponden a aquellas áreas en donde los registros de sensores remotos recientes, año 2000, aun se observan zonas de antiguos cauces, meandros o zonas de lagunas y humedales, con evidencias de conservar aun sus geoformas de manera definida, así como sus condiciones dinámicas y biológicas y que son susceptibles a ser recuperadas e incorporadas a la dinámica del río como zonas de protección y conservación de vida

silvestre, fauna y flora, así como de un uso como vasos de reserva aislados para la regulación de crecientes durante épocas de altas precipitaciones a lo largo de la cuenca del río Cauca. Estas zonas propuestas como embalses de regulación natural y como de recuperación de los humedales asociados con estas formas lagunares, producto de corte de meandros o de antiguos relictos de cuerpos de aguas, deberán estudiarse en más detalle, especialmente en su aspecto hidráulico y topográfico, junto con las investigaciones de detalle morfológicas y biológicas, que permitan determinar y definir las condiciones de operación normal de estos cuerpos de aguas, así como bajo condiciones de crecientes del río.

La mayoría de los estudios realizados en este tipo de zonas han estado enfocados principalmente hacia el estudio biótico de éstas, olvidando que la base del desarrollo de los ecosistemas es la oferta física y morfológica del medio y que de estas condiciones dependen la relación y el grado de subsistencia, desarrollo y conservación del medio biológico. Los estudios de las variables físicas o abióticas del medio no deben supeditarse a una descripción general de sus condiciones sino a la inter-relación, simbiótica por demás, que existe entre las partes bióticas y abióticas, como generadoras de vida y conservación del medio ambiente específico para este tipo de zonas.

Estas áreas y sus corredores aledaños pertenecen exclusivamente a la dinámica hidráulica y morfológica del río, la cual es la base física para el desarrollo biológico de los ecosistemas que en ellos se desarrollan y, por lo tanto, las autoridades ambientales, a todo nivel, deben ejercer labores de vigilancia y monitoreo que impidan que, como ha ocurrido en el pasado con zonas de similares características, sean intervenidas con procesos antrópicos agroindustriales, de desarrollo urbano, los cuales han sido los encargados de alterar, modificar y degradar el complejo sistema hidráulico-hidroológico-dinámico-morfológico del río Cauca y afluentes.

Son áreas que deben ser declaradas de protección del río Cauca y dedicadas exclusivamente para su conservación biótica-abiótica, teniendo un uso anexo y complementario como pequeños embalses de regulación que en conjunto -de acuerdo con los cálculos iniciales efectuados en el presente estudio- podrían almacenar un volumen de agua total estimado de 20 Mm³, que junto con los volúmenes que generan las áreas denominadas ZAM, podrían mitigar de forma natural gran parte de los problemas generados a partir de las crecientes del río. Es hora de convivir con la naturaleza, no se deben ejercer medidas de fuerza sobre ésta, basadas en un falso concepto de la dominación de la naturaleza por el hombre, pues es éste quien en últimas siempre resultará afectado debido a la torpeza de alguna de sus decisiones.

Áreas de Manejo Especial

Se identificaron, en primera instancia dos áreas de manejo especial, aunque existen más que podrían incluirse dentro de esta categoría. Las dos zonas identificadas corresponden a la Laguna de Sonso y sus áreas anexas, AME-01, y la zona comprendida entre San Pedro y Tucura, en lo que actualmente se denomina el zanjón Burriá, AME -02.

La laguna de Sonso ha sido objeto de innumerables estudios, pero ha prevalecido el conocimiento de las condiciones bióticas, olvidando un poco las condiciones físicas de este cuerpo, básicas para el desarrollo de los ecosistemas presentes en esta zona. Es recomendable que los estudios incorporen una evaluación y conocimiento acerca de las diferentes condiciones litológicas, estructurales, hidráulicas y tectónicas que han contribuido al desarrollo y conformación de este sistema lagunar, esencial para la dinámica del río, de tal forma que se pueda tener de manera integral un programa de manejo que involucre todas las variables, incluyendo las de gobernabilidad y gobernanza, tan indispensables para la receptación de las zonas intervenidas de forma caótica y concentrada por parte del hombre y sus diferentes actividades. No tiene sentido continuar con el desarrollo de estudios técnicos sino se tienen la conciencia y la decisión administrativa y política para la recuperación de zonas alteradas y modificadas por la acción antrópica. El compromiso es de todos, y de continuar con los tipos de intervención a las que ha estado sometida la cuenca del río Cauca en su valle geográfico alto, se llegará a un punto de no retorno, en donde las decisiones que deban tomarse serán de tipo radical y que representarán verdaderas pérdidas, irreparables por demás, a la economía y desarrollo de la región, premisa tan en boga por los que en la actualidad se encargan de la intervención y alteración acelerada y crítica del medio.

Cuadro 5.1 Zonas de Amortiguamiento Multipropósito en el valle alto del río Cauca

Código	Área (m ²)	Prof. (m)	Prof. (m)	Prof. (m)	Volumen (m ³) (h=1.5m)	Volumen (m ³) (h=1.0m)	Volumen (m ³) (h=0.5m)
ZAM1	14,933,388	1.5	1.0	0.5	22,400,082	14,933,388	7,466,694
ZAM2	2,259,034	1.5	1.0	0.5	3,388,551	2,259,034	1,129,517
ZAM3	6,180,275	1.5	1.0	0.5	9,270,413	6,180,275	3,090,138
ZAM4	2,069,477	1.5	1.0	0.5	3,104,216	2,069,477	1,034,739
ZAM5	1,232,948	1.5	1.0	0.5	1,849,422	1,232,948	616,474
ZAM6	1,381,136	1.5	1.0	0.5	2,071,704	1,381,136	690,568
ZAM7	500,144	1.5	1.0	0.5	750,216	500,144	250,072
ZAM8	835,233	1.5	1.0	0.5	1,252,850	835,233	417,617
ZAM9	1,423,972	1.5	1.0	0.5	2,135,958	1,423,972	711,986
ZAM10	2,658,200	1.5	1.0	0.5	3,987,300	2,658,200	1,329,100
ZAM11	4,740,099	1.5	1.0	0.5	7,110,149	4,740,099	2,370,050
ZAM12	153,188	1.5	1.0	0.5	229,782	153,188	76,594
ZAM13	996,257	1.5	1.0	0.5	1,494,386	996,257	498,129
ZAM14	734,989	1.5	1.0	0.5	1,102,484	734,989	367,495
ZAM15	1,626,929	1.5	1.0	0.5	2,440,394	1,626,929	813,465
ZAM15A	398,341	1.5	1.0	0.5	597,512	398,341	199,171
ZAM16	15,627,079	1.5	1.0	0.5	23,440,619	15,627,079	7,813,540
ZAM17	3,388,736	1.5	1.0	0.5	5,083,104	3,388,736	1,694,368
ZAM18	379,617	1.5	1.0	0.5	569,426	379,617	189,809
ZAM19	754,800	1.5	1.0	0.5	1,132,200	754,800	377,400
ZAM20	895,357	1.5	1.0	0.5	1,343,036	895,357	447,679
ZAM21	179,737	1.5	1.0	0.5	269,606	179,737	89,869
ZAM22	1,454,226	1.5	1.0	0.5	2,181,339	1,454,226	727,113
ZAM23	2,403,701	1.5	1.0	0.5	3,605,552	2,403,701	1,201,851
ZAM24	906,878	1.5	1.0	0.5	1,360,317	906,878	453,439
AME01	22,870,088	1.5	1.0	0.5	34,305,132	22,870,088	11,435,044
ZAM25	882,635	1.5	1.0	0.5	1,323,953	882,635	441,318
ZAM26	1,281,221	1.5	1.0	0.5	1,921,832	1,281,221	640,611
ZAM27	5,893,713	1.5	1.0	0.5	8,840,570	5,893,713	2,946,857
ZAM28	1,512,154	1.5	1.0	0.5	2,268,231	1,512,154	756,077
ZAM29	2,451,698	1.5	1.0	0.5	3,677,547	2,451,698	1,225,849
AME02	13,217,275	1.5	1.0	0.5	19,825,913	13,217,275	6,608,638
ZAM30	1,101,404	1.5	1.0	0.5	1,652,106	1,101,404	550,702
ZAM31	1,831,918	1.5	1.0	0.5	2,747,877	1,831,918	915,959
ZAM32	562,101	1.5	1.0	0.5	843,152	562,101	281,051
ZAM33	1,238,250	1.5	1.0	0.5	1,857,375	1,238,250	619,125
ZAM34	208,329	1.5	1.0	0.5	312,494	208,329	104,165
ZAM35	808,894	1.5	1.0	0.5	1,213,341	808,894	404,447
ZAM36	185,227	1.5	1.0	0.5	277,841	185,227	92,614
ZAM37	2,113,502	1.5	1.0	0.5	3,170,253	2,113,502	1,056,751
	VOLUMEN TOTAL (m³)				186,408,225	124,272,150	62,136,075

Cuadro 5.2 Zonas de Embalses Naturales propuestas en el valle alto del río Cauca

Código	Área (m ²)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)
ZEM 1	136,764	2.5	410,292
ZEM 2	163,651	2.5	409,128
ZEM 3	120,201	2.5	300,503
ZEM 4	265,303	2.5	310,835
ZEM 5	124,334	2.5	1,451,305
ZEM 6	580,522	2.5	1,451,305
ZEM 7	207,997	2.5	519,993
ZEM 8	371,716	2.5	929,290
ZEM 9	126,725	2.5	316,813
ZEM 10	33,091	2.5	82,728
ZEM 11	65,204	2.5	163,010
ZEM 12	214,104	2.5	535,260
ZEM 13	628,255	2.5	1,570,638
ZEM 14	141,463	2.5	353,658
ZEM 15	364,390	2.5	910,975
ZEM 16	312,556	2.5	781,390
ZEM 17	186,956	2.5	467,390
ZEM 18	82,757	2.5	206,893
ZEM 19	31,591	2.5	78,978
ZEM 20	140,892	2.5	277,370
ZEM 21	110,948	2.5	591,098
ZEM 22	236,439	2.5	591,098
ZEM 23	119,313	2.5	298,283
ZEM 24	428,372	2.5	1,070,930
ZEM 25	136,346	2.5	340,865
ZEM 26	176,892	2.5	442,230
ZEM 27	182,022	2.5	455,055
ZEM 28	275,698	2.5	689,245
ZEM 29	202,983	2.5	507,458
ZEM 30	265,464	2.5	507,458
ZEM 31	355,827	2.5	663,660
ZEM 32	127,597	2.5	889,568
ZEM 33	260,240	2.5	318,993
ZEM 34	127,372	2.5	650,600
ZEM 35	147,338	2.5	318,430
Área Total	7,451,323	Volumen Total	19,862,717

5.1.2 Diques y humedales integrados al sistema fluvial

Esta alternativa está conformada por los diques marginales al río Cauca y la integración de los humedales al sistema fluvial. Ésta acoge plenamente las directrices del Acuerdo CVC No. 052 de 2011, “*por medio del cual se subroga el Acuerdo 23 de septiembre 12 de 1979 por el cual se dictan normas generales relativas a ubicación de diques riberanos de cauces de aguas de uso público*”. Los lineamientos generales de ubicación de los diques, según los Artículos Segundo, Tercero y Cuarto del Acuerdo CVC No. 052, son los siguientes:

Artículo Segundo: *En la ubicación de diques confinantes de aguas de crecida de cauces en la planicie inundable se deben conciliar los intereses de los distintos sectores, teniendo en cuenta la siguiente prioridad:*

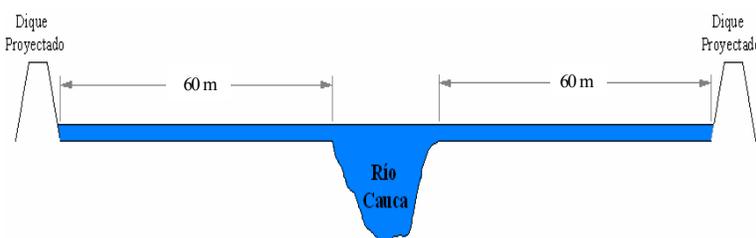
- 1. Protección contra inundaciones de los centros poblados marginales a los cauces para el nivel asociado a un periodo de retorno de 1 en 100 años más un borde libre de un metro o lo que defina el acuerdo con el cual fue adoptado el Plan de Ordenamiento Territorial respectivo.*
- 2. Conservación del equilibrio ecológico manteniendo integrado el río con su sistema de humedales, delimitados según lo establecido en la Resolución 0196 de 2006.*
- 3. Uso sostenible en la planicie inundable, con la incorporación al beneficio agropecuario, mediante diques, del área que fuere posible sin detrimento de la dinámica del cauce. El periodo de retorno, recomendado por la CVC, para el nivel de diseños de protección contra inundaciones en el sector agropecuario es de 1 en 30 años, más el borde libre de un metro.*

Artículo Tercero: *Para definir la ubicación adecuada y garantizar la estabilidad de los diques, se debe tener en cuenta la información geomorfológico-multitemporal que indica la movilidad y la tendencia del río a desplazarse y cumplir con los siguientes criterios técnicos para su alineamiento:*

- 1. Los diques no deben causar alteraciones en el cauce principal, por lo tanto como regla general el eje del dique debe ser paralelo a la corriente de las aguas de desbordamiento.*
- 2. En tramos del río relativamente rectos y de escaso desplazamiento lateral, la berma o espaciamento entre la corona del barranco que define la sección del cauce a banca llena y el pié de la cara mojada del dique será mínimo de 60 metros.*
- 3. En tramos de alta movilidad y sinuosidad del río, meandros consecutivos, el dique no será paralelo al río, sino que tendrá un trazo relativamente recto entre curvas consecutivas de meandros de modo que el dique no presente resistencia al flujo de las aguas que circulan por las bermas.*
- 4. En tramos en que existieren humedales como madres viejas, lagunas o ciénagas que tradicionalmente hubieren constituido una unidad ecológica con el río, el dique deberá localizarse de tal manera que estos humedales queden incorporados al río. En estas condiciones el alineamiento del eje lo determinará la CVC en cada caso particular, de acuerdo con lo establecido en la resolución MAVDT 0196 de 2006.*

Artículo Cuarto: Para el alineamiento de diques riberanos de otros ríos y canales distintos del río Cauca, la berma mínima en ningún caso será menor que el ancho de la franja forestal protectora sin desconocer los artículos precedentes cuando apliquen.

Figura 5.1 Ubicación de diques según artículo 052



5.1.3 Lagunas de Laminación

Esta alternativa está constituida por un conjunto de zonas, localizadas en diferentes sectores a lo largo del corredor del río Cauca, que se propone habilitarlas como lagunas para la regulación o laminación de las crecientes. Con base en algunos de los lineamientos consignados en los estudios referidos en los capítulos anteriores y teniendo en cuenta lo observado en las visitas de campo y en la revisión filmo-fotográfica realizada, se identificaron algunos sectores a lo largo del corredor del río Cauca que debido a la morfodinámica del río, las características topográficas y la frecuencia de las inundaciones en dichas áreas, durante algún tiempo han cumplido con la función de laminar o regular las crecientes.

5.1.4 Embalses de regulación en tributarios

La CVC inició en los años noventa los estudios básicos para la posible implementación de embalses multipropósito en los ríos tributarios del río Cauca. Con este fin se identificaron diferentes posibles sitios para la ubicación de represas y obras de desvío. Las sucesivas etapas o fases de los estudios permitieron ir seleccionando los proyectos con mejores posibilidades y perspectivas, en un proceso de cuatro etapas en las que, por medio de indicadores, se medía la viabilidad de los proyectos. La primera etapa de inventario inicial permitió identificar y seleccionar 111 proyectos, la segunda etapa de catálogo sólo 25 proyectos, la tercera etapa de pre-factibilidad 9 proyectos y la cuarta de factibilidad solamente 4 proyectos.

De los proyectos que alcanzaron las fases de pre-factibilidad y factibilidad para el presente estudio se seleccionaron los siguientes proyectos de embalses en los ríos Timba (a nivel de pre-factibilidad), Bugalagrande (en la cota 1.100 msnm, a nivel de factibilidad) y Riofrío (a nivel de pre-factibilidad) como los proyectos viables para el corredor del río Cauca. Con respecto a los otros proyectos de embalses que alcanzaron estas etapas y no seleccionados en este estudio es necesario realizar las siguientes observaciones:

- Los proyectos fuera de cauce para la regulación de tributarios quedan limitados por la capacidad hidráulica de las estructuras de desviación (tuberías, túneles y

canales) durante el período de una creciente, la cual es muy inferior en relación con los caudales pico del tributario que se quiere regular.

- El proyecto de la Quebrada San Pedro con trasvase del río Tuluá se encuentra a nivel de factibilidad; sin embargo, en el río Tuluá existen en la actualidad tres proyectos de generación de energía que serían un obstáculo muy difícil de sortear para llevar a cabo este proyecto.
- En el proyecto Quebrada Los Micos se trasvasa un caudal máximo de 30 m³/s, provenientes de excedentes del río La Vieja; sin embargo, los altos costos e impactos sociales y ecológicos contrastan con la escasa capacidad de regulación de las crecientes del río Cauca, sumado a la ubicación misma del proyecto de la regulación, casi al final del corredor, perdiendo importancia debido al bajo impacto sobre el manejo de inundaciones en el río Cauca en su valle alto.

En la ficha ejecutiva HE1, que se presenta más adelante en este capítulo, se resumen los proyectos de embalses de regulación estudiados por la CVC, indicando los proyectos que alcanzaron las fases de catálogo, pre-factibilidad y factibilidad. Se incluyen, también, algunos datos de los montos de inversión y los volúmenes útiles de los embalses.

Embalse del Río Timba

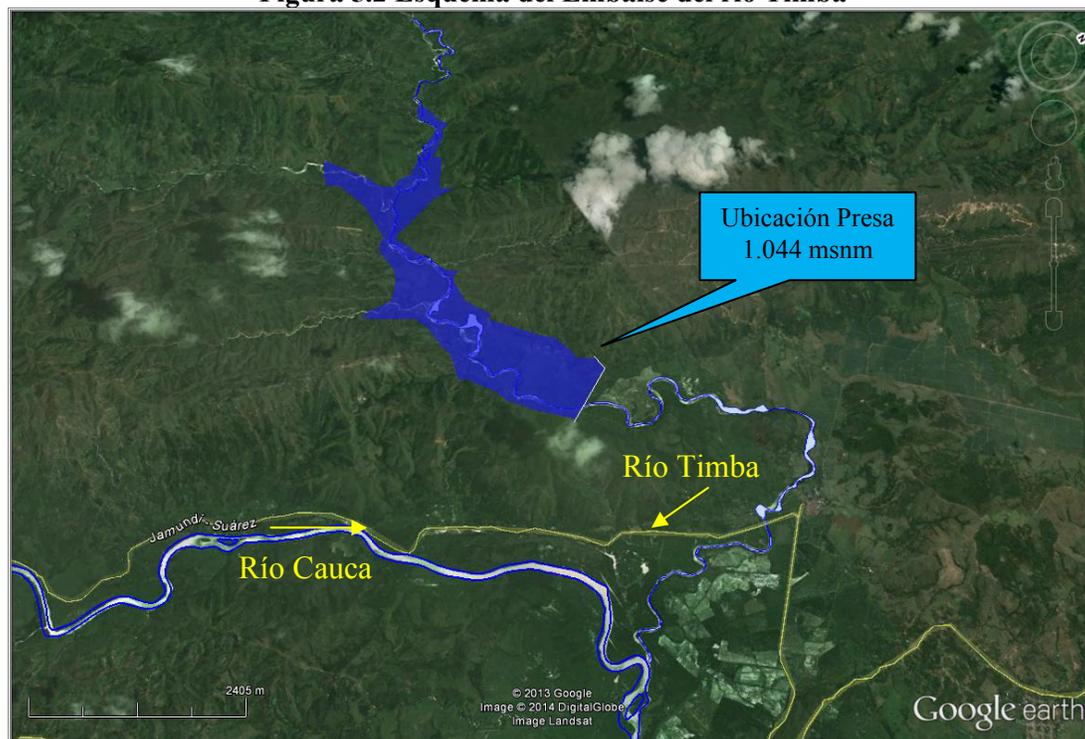
El proyecto de regulación del río Timba se ha identificado desde hace mucho tiempo como uno de los proyectos de mayor potencial para la regulación de crecientes dado el tamaño de la cuenca y el aporte de caudales al río Cauca durante los eventos de inundación; además de la posibilidad multipropósito de su embalse para el abastecimiento de agua potable para municipios como Timba, Jamundí y Cali, al igual que su potencial de generación de energía. Sin embargo, el impacto ambiental del proyecto sobre la zona de influencia es alto debido a la extensión del área que sería afectada. El impacto social es también alto debido al número de familias que resultarían afectadas y desplazadas, la pérdida de infraestructura local y regional y la afectación de las actividades productivas.

También es preciso anotar que la construcción de la represa sobre el río Timba podría reducir notablemente el aporte de sedimentos de este río al río Cauca, ocasionando una gran afectación sobre el balance de los materiales pétreos en el río Cauca, por cuanto el río Timba es uno de los principales aportantes de arenas y gravas al río Cauca. Un importante número de familias asentadas en el tramo Tablanca- Cali (especialmente en el sector de la Bolsa y Hormiguero) viven de la extracción de estos materiales del río Cauca debido a que estos materiales constituyen una de las materias primas más importantes para el sector de la construcción de la ciudad de Cali y municipios vecinos. Por lo anterior, es necesario realizar estudios más detallados sobre este aspecto con el fin de que la posible construcción de la represa en Timba ocasione las menores afectaciones sobre el natural aporte de sedimentos del río Timba al río Cauca, lo cual también está relacionado con la vida útil del embalse.

Las comunidades de la zona se han opuesto radicalmente al proyecto desde los años en que se realizaban los estudios de pre-factibilidad a finales del siglo pasado, época en la que se diagnosticó el problema social y se recomendó trabajar en el ordenamiento de la cuenca y en las necesidades de las comunidades, entre las cuales se encuentran comunidades

afrodescendientes e indígenas; también se sabe de la presencia en la zona de grupos armados al margen de la ley. Aunque en la actualidad los impactos negativos y las situaciones sociales se mantienen, se recomienda retomar este proyecto, teniendo en cuenta todas las recomendaciones y planteando en el proyecto planes de manejo para cada una de ellas.

Figura 5.2 Esquema del Embalse del río Timba



El estudio de pre-factibilidad plantea tres alternativas de diferentes alturas de la represa: (i) 91 m, (ii) 81 m y (iii) 61 m. Se seleccionó una presa con núcleo central impermeable con talud de grava 1.8 H : 1 V en ambas caras y un ancho de cresta de 8 m. Para la desviación del río Timba se requiere un túnel en sección herradura con un diámetro de 4.0 m y revestido en concreto convencional. El túnel de la descarga de fondo se ubica en el estribo derecho de la presa, consta de dos tramos el primer tramo tiene 289.35 m de longitud con una sección herradura de diámetro 4.0 y el segundo converge en el túnel de desviación y continúa hasta el portal de salida. Para el manejo de los caudales de excesos se construiría un rebosadero en canal abierto ubicado en el estribo izquierdo de la presa; el canal de descarga tiene sección variable y con salida mediante salto de esquí hacia un cuenco dissipador de energía. Los costos totales del proyecto a 1998, que incluyen la construcción de la presa, las obras anexas, las obras de generación hidroeléctrica y el plan de manejo ambiental, para las tres alternativas son de 155.35, 134.83 y 106.12 millones de dólares, respectivamente.

Embalse de Río Bugalagrande

El proyecto de la regulación del río Bugalagrande BG-1100 se encuentra localizado en el río del mismo nombre, en jurisdicción de los municipios Bugalagrande y Andalucía. El embalse creado por una presa de 100 m de altura cubrirá un área de 1.87 km² y alcanzará

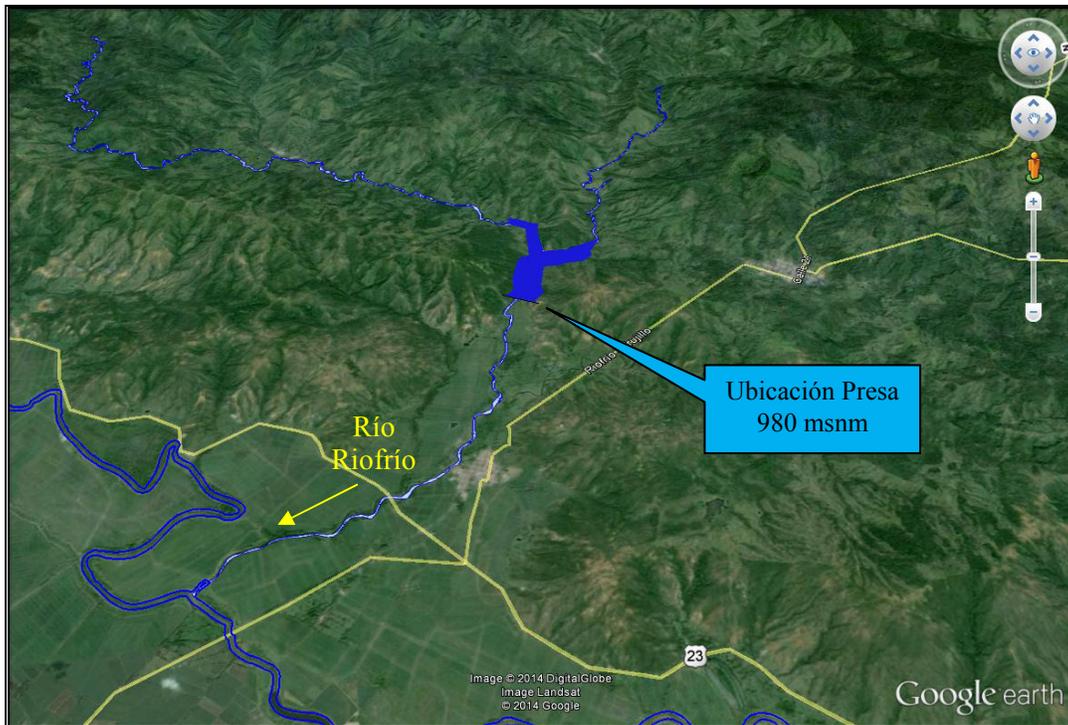
un volumen a la cota de máxima operación de 60.8 hm^3 ; el volumen muerto para la acumulación de sedimentos para una vida útil de 50 años es de 23.1 hm^3 . El proyecto brinda, como oportunidad, el aprovechamiento del recurso energético del río Bugalagrande que tiene un caudal medio de $16 \text{ m}^3/\text{s}$. La central tendrá una capacidad de 11.2 Mw. que permitirá generar 67.1 millones Kw-h/ año. Los costos totales del proyecto a precios de 1998 que incluyen la infraestructura, la presa, obras anexas y las obras de generación es de 99.35 millones US\$. Por su connotación multipropósito es una opción interesante de desarrollo en la región.

Figura 5.3 Esquema del Embalse del río Bugalagrande



Embalse del río Riofrío

En 1997 la CVC contrató a la firma Ingeniería y Recursos Hídricos, IRH Ltda., los estudios de pre-factibilidad del proyecto cuyo sitio estratégico para la ubicación de la presa es la cota 980 msnm. En el estudio se consideran tres alternativas de alturas de presa de: (i) 79 m, (ii) 70 m y (iii) 60 m. El río Riofrío tiene un caudal medio de $16.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y teniendo en cuenta las demandas de agua, el caudal ecológico y almacenamientos, es necesario disponer de un volumen máximo de embalse de 40 hm^3 a un nivel máximo de aguas normales de 1050 msnm. El impacto ambiental del proyecto sobre la zona de influencia es alto en las tres alternativas debido a la extensión del área afectada. El impacto social es también alto debido al número de familias afectadas y desplazadas, pérdida de infraestructura local y regional y la afectación de las actividades productivas. Los costos totales a 1998 de la presa, obras anexas y el plan de manejo para las tres alternativas son de: 95.87, 84.87 y 82.17 Millones de dólares, respectivamente.

Figura 5.4 Esquema del embalse del río Riofrío

5.2 SELECCIÓN DE MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LOS DIFERENTES SECTORES A LO LARGO DEL RÍO CAUCA

Debido a la variabilidad de las diferentes condiciones geomorfológicas, topográficas, hidráulicas, ambientales y socioeconómicas a lo largo del corredor río Cauca, no es posible identificar y aplicar una medida estructural única para lograr un manejo más eficaz y eficiente de las inundaciones en el valle alto. Por el contrario, dependiendo de las condiciones y características prevalecientes en cada sector es posible identificar una o más medidas estructurales como las más convenientes en cada uno de ellos.

Estas medidas estructurales se evalúan desde el punto de vista hidráulico, principalmente en cuanto a su capacidad para reducir los niveles de agua y los caudales durante las crecientes en el río Cauca. La evaluación se presenta en otro estudio de este proyecto, denominado “Modelación de alternativas estructurales para la gestión de inundaciones en el valle alto del río Cauca”, en el cual, mediante la modelación matemática hidrodinámica, aplicando el modelo MIKE 11, se simulan numéricamente las diferentes alternativas seleccionadas y se realizan los análisis comparativos de los efectos sobre los niveles de agua en el río y se presentan las recomendaciones correspondientes.

5.2.1 Consideraciones generales en la formulación de las intervenciones

Partiendo de los cuatro tipos de alternativas que se establecieron, en primera instancia, como adecuadas para evaluar e implementar en el valle alto del río Cauca, se establecieron una serie de criterios y consideraciones, los cuales se constituyen en los lineamientos para plantear los tipos de intervenciones en cada tramo del corredor. Estos criterios y consideraciones se listan a continuación:

- La capacidad de movilidad del río Cauca como una potencial amenaza a la estabilidad de los diques.
- Importancia de la inclusión de los cuerpos de agua desconectados actualmente del sistema fluvial.
- Consideración de planes de adaptación o reubicación de las poblaciones en el sector a intervenir.
- Conceptualización de los mecanismos de ingreso y descarga de flujo en las lagunas de laminación.
- Estimación del área y capacidad de almacenamiento de las lagunas de laminación, teniendo como base de la topografía de la zona, las frecuencias de inundación en el área planteada, la ocupación del territorio y el estudio geomorfológico.
- Revisión de diferentes fuentes de información para la definición de las alternativas.
- Importancia de las visitas de campo en el proceso de construcción de las propuestas de intervención.

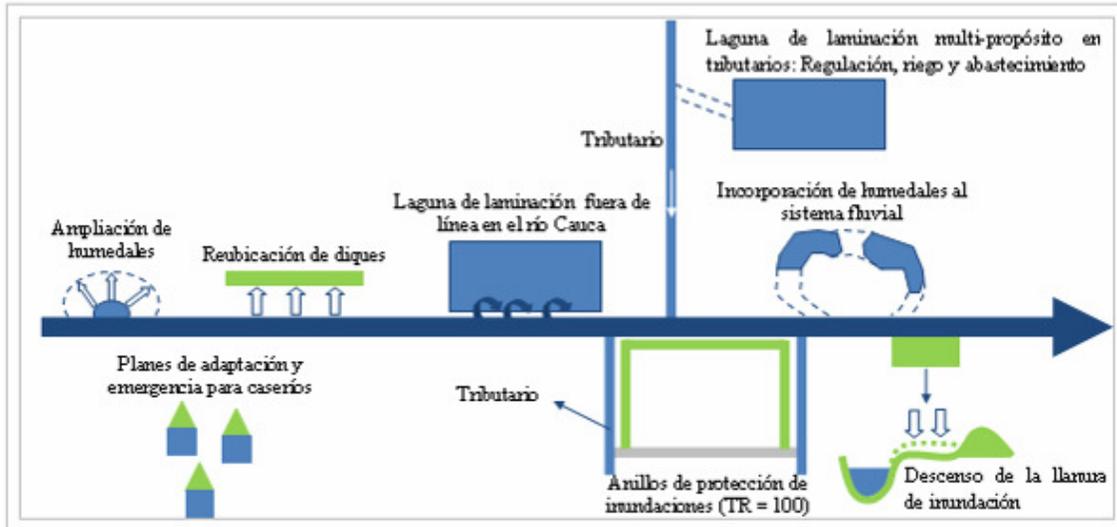
Con base en estas consideraciones y criterios se identificaron una serie de características comunes para todas las intervenciones que se plantean a lo largo del río Cauca en su valle alto, como son:

- Integración al sistema fluvial de todos los cuerpos de agua desconectados actualmente del río.
- Construcción de diques sobre los ríos tributarios, de tal manera que se eviten los desbordamientos ocasionados por los remansos generados por los niveles altos del río Cauca.
- La desembocadura de los ríos tributarios en el río Cauca debe ser lo más natural posible; por esta razón se debe garantizar que el alineamiento de los diques en este sector permitan la conformación del delta natural del tributario (ver).
- Los diques sobre el río Cauca se plantean, en principio, a tres distancias diferentes: 60 m, 90 m, y 120 m. Estas distancias se evaluarán en función de la reducción que generan en los niveles de agua del río durante las crecientes, para así presentar las recomendaciones correspondientes.
- La altura de los diques en la zona agrícola debe ser suficiente para garantizar una protección para crecientes en el río Cauca con un período de retorno de 30 años, mientras que en las zonas urbanas e industriales deben garantizar una protección para crecientes de periodos de recurrencia de 100 años.
- Cuando los meandros en el río Cauca son muy cerrados o agudos, el dique debe ir por fuera del meandro, y no paralelo al cauce.

Figura 5.5 Esquema de diques conformando un delta en la desembocadura de tributarios



Figura 5.6 Esquema de medidas estructurales planteadas en el valle alto del río Cauca



5.2.2 Medidas estructurales planteadas a lo largo del valle alto del río Cauca

Teniendo en cuenta los diferentes criterios y consideraciones señaladas previamente, se plantearon los siguientes cuatro tipos de medidas estructurales: (i) Diques (26), (ii) Lagunas de laminación (15), (iii) Anillos Urbanos (2) y (iv) Embalses de regulación en ríos tributarios (3). Los diferentes tipos de medidas propuestas para todo el corredor río Cauca

se presentan a continuación, en formato de fichas ejecutivas, en las cuales se incluye una breve descripción de sus componentes, los costos totales estimados e ilustraciones y esquemas de la medida estructural propuesta.

En otro informe de este proyecto se presentan las fichas detalladas de todas las medidas estructurales propuestas, precisando su localización y los diferentes aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos (municipios de La Victoria y La Virginia).

Finalmente es necesario indicar que el periodo que puede transcurrir desde esta primera etapa de conceptualización, análisis preliminares, evaluaciones y diseños definitivos, la construcción de las obras y la entrada en operación de las obras propuestas para lograr una gestión más eficiente y eficaz de las inundaciones puede ser de muchos años, debido a diferentes circunstancias, tales como, la complejidad de las mismas, el proceso de concertación entre los diferentes actores, la consecución de los recursos necesarios y definición de los mecanismos de financiación, así como las dificultades en la gestión y decisión política por parte de las diferentes autoridades, instituciones y diferentes actores involucrados.

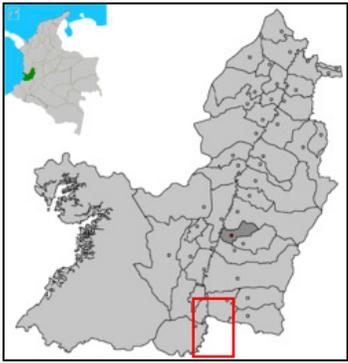
Es claro, entonces, que con esta propuesta de medidas estructurales se inicia un proceso de un plan de manejo integrado de inundaciones en el valle alto del río Cauca, en el cual se requerirá del compromiso y la participación real y decidida de autoridades, instituciones y los distintos sectores y actores implicados, que permitirá transformarla posteriormente en una realidad sostenible en el tiempo. Teniendo clara esta visión, cabe anotar que este estudio se encuentra ubicado en el primer nivel del proceso, en el cual se plantea un conjunto de alternativas estructurales, las cuales se evalúan de acuerdo con la disponibilidad de información, y servirán de base para las etapas subsiguientes del mismo.

FICHAS EJECUTIVAS DE DIQUES

ZONA 1

FICHA PRELIMINAR RÍO OVEJAS – RÍO DESBARATADO

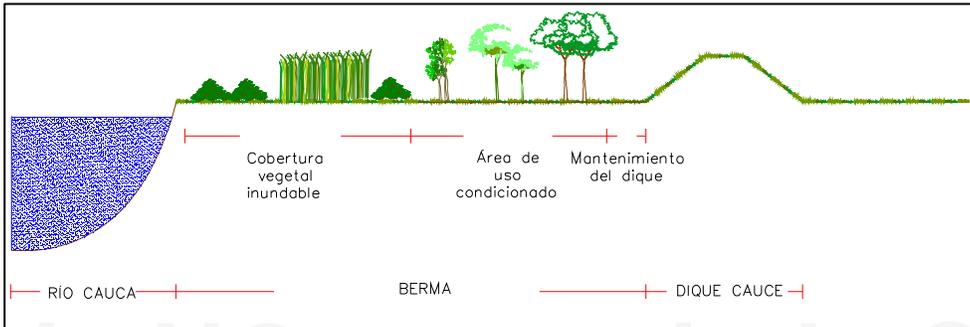
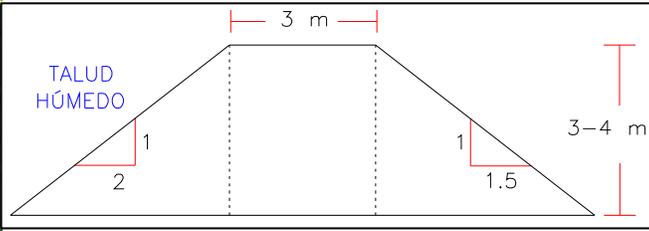
HD1



El área de influencia de la ficha se encuentra en la zona 1 del proyecto corredor río Cauca, en el sector comprendido entre el río Ovejas y el río Desbaratado, se encuentra sobre la margen derecha del río Cauca y pertenece al departamento del Cauca (único sector del corredor estudiado que pertenece a este departamento).

Conservar la condición actual (no realizar intervención alguna), de agua al cauce del río Cauca.

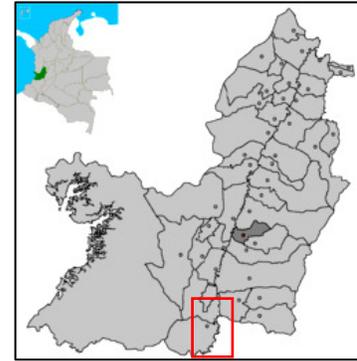
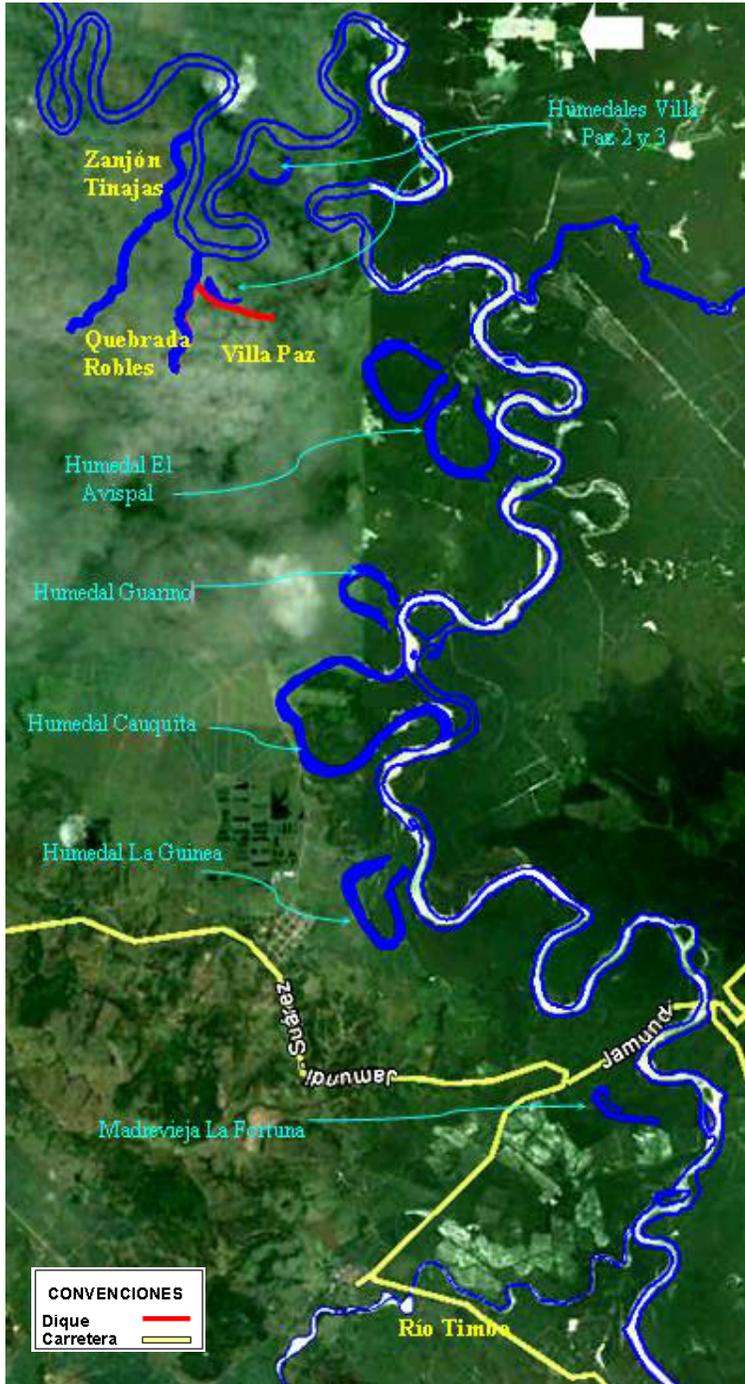
Disminución nivel: ++
Costo de la medida: N/A



ZONA 2

FICHA PRELIMINAR RÍO TIMBA – ZANJÓN TINAJAS

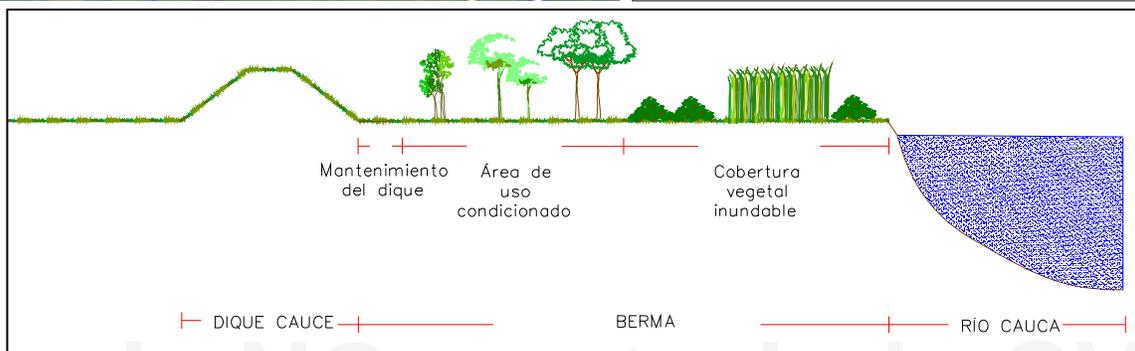
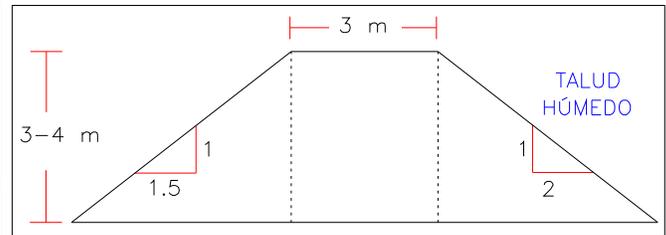
HD2



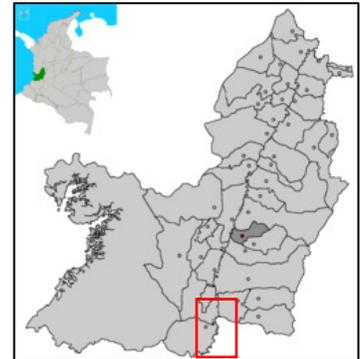
El área de influencia de la ficha se encuentra en la zona 2 a del proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 33 km sobre su margen izquierda, entre el río Timba y el zanjón Tinajas. Entre los cuales se identificaron una serie de humedales como lo son La Fortuna, La Guinea, Guarino, El Avispal, Villa Paz 2 y 3. También se encuentra la quebrada Robles, cuya desembocadura se encuentra a la altura del humedal Villa Paz, sector en el cual se localiza el corregimiento de Villa Paz.

- 2 km de dique sobre el río Cauca para protección del corregimiento de Villa Paz sobre la margen izquierda del río Cauca.
- Integración de 7 humedales

Disminución nivel: +
Protección Centro Poblado +
Costo de la medida \$3.400 M



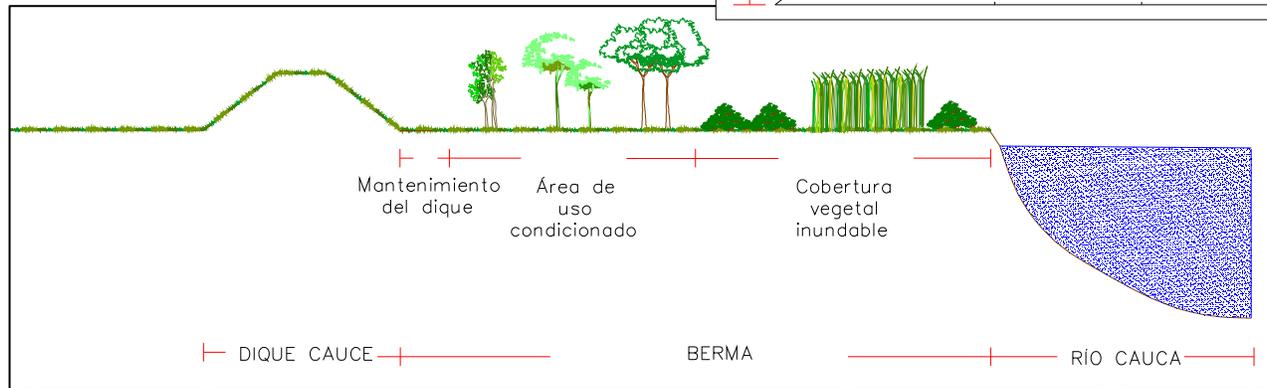
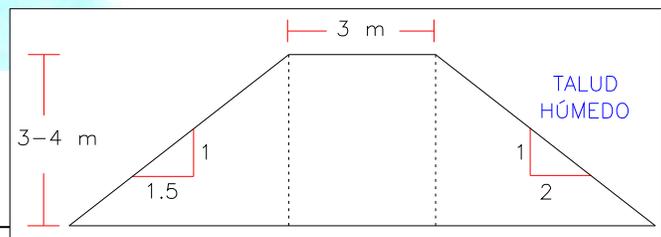
FICHA PRELIMINAR ZANJÓN TINAJAS – RÍO CLARO



El área de influencia de la ficha se encuentra en la Zona 2 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 22 km sobre su margen izquierda del río Cauca, entre el zanjón Tinajas (al sur) y el río Claro (al norte). A lo largo del tramo se pueden identificar una serie de Madreviejas tales como la Laguna Tijeros, La Ventura, Cauca Haya. Existe un pequeño asentamiento en predios de la madreveja La Ventura.

Integración de 3 humedales.

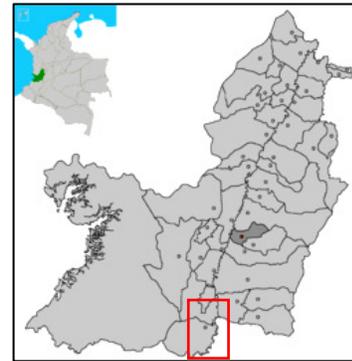
Disminución nivel N/A
 Humedales Integrados ++
 Costo de la medida \$1.000 M



ZONA 2

HD4

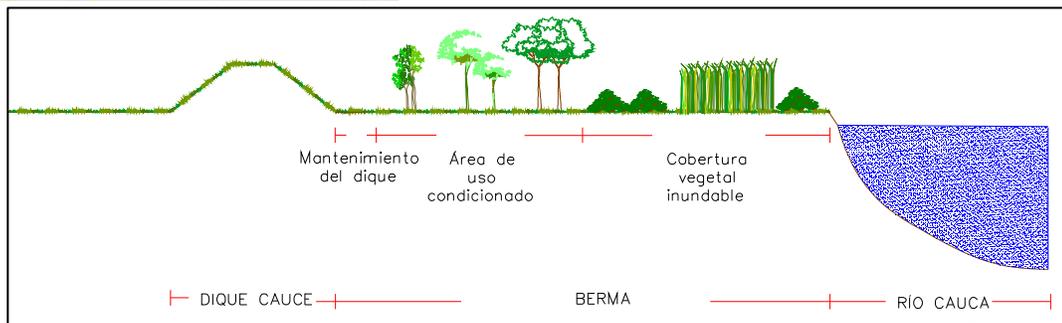
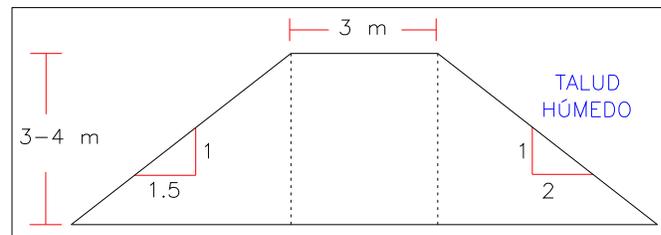
**FICHA PRELIMINAR
RÍO CLARO – CANAL NAVARRO**



El área de influencia de la ficha, que se encuentra en la Zona 2 del Proyecto Corredor río Cauca, en jurisdicción de los municipios de Jamundí y Cali, comprende una extensión de 51 km sobre su margen izquierda, entre el río Claro (al sur) y el canal Navarro (al norte). A lo largo del tramo se pueden identificar el sector conocido como el Parque de los Humedales donde se encuentran los humedales El Cabezón, Bocas del Palo y Colindres. Los corregimientos de Paso de la Bolsa y el Hormiguero, y los caseríos de la Pailita, Morgan y el Estero, son los centros poblados que se encuentran asentados en el tramo evaluado. También en este tramo se ha planteado la laguna de laminación de Cauca Seco que se detalla en la ficha HLL1

Integración de 4 humedales.

Disminución nivel N/A
Costo de la medida \$1.400 M



ZONA 3

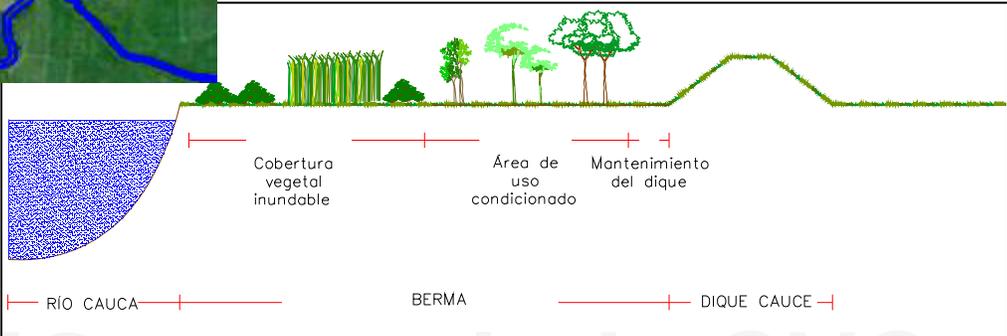
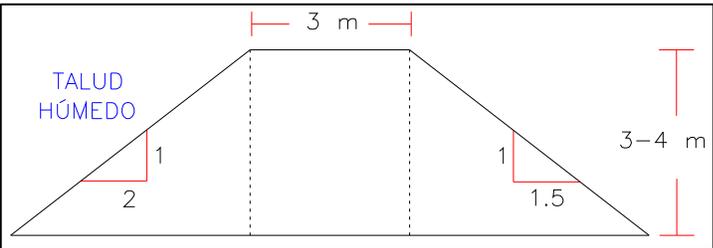
FICHA PRELIMINAR RÍO DESBARATADO – ZANJÓN TORTUGAS

HD5



El área de influencia de la ficha se encuentra en la Zona 3 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión 23 km sobre su margen derecha, entre el río desbaratado al sur y el zanjón Tortugas al norte, justo en frente de la ciudad de Cali.
En este sector se encuentran los centros poblados de Poblado Campestre, Domingo Largo y ciudad del Campo; y el corregimiento de Juanchito perteneciente al municipio de Candelaria.

Disminución nivel +
Costo de la medida \$7.400 M



ZONA 3

HD6

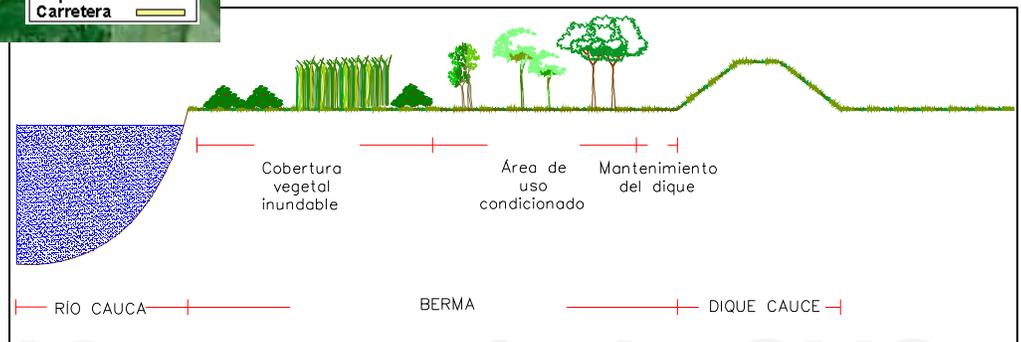
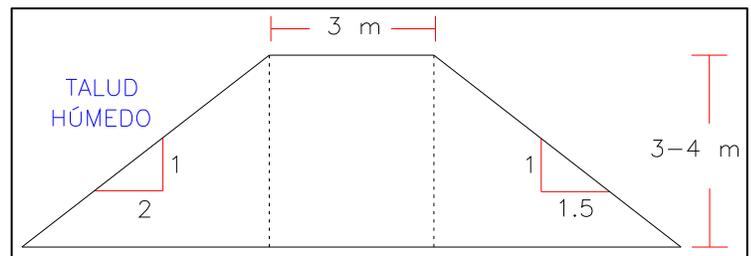
FICHA PRELIMINAR ZANJÓN TORTUGAS - ZANJÓN ROZO



El área de influencia de la ficha se encuentra en la Zona 3 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 22 km sobre su margen derecha, entre el zanjón Tortugas al sur y el zanjón Rozo al norte. En el área de influencia se encuentran los centros urbanos de La Dolores y la Vereda Piles. También en este tramo, se localizan las lagunas de laminación La Dolores y Guachal que se detallan en las fichas HLL2 y HLL3 respectivamente.

22 km de dique sobre la margen derecha del río Cauca.

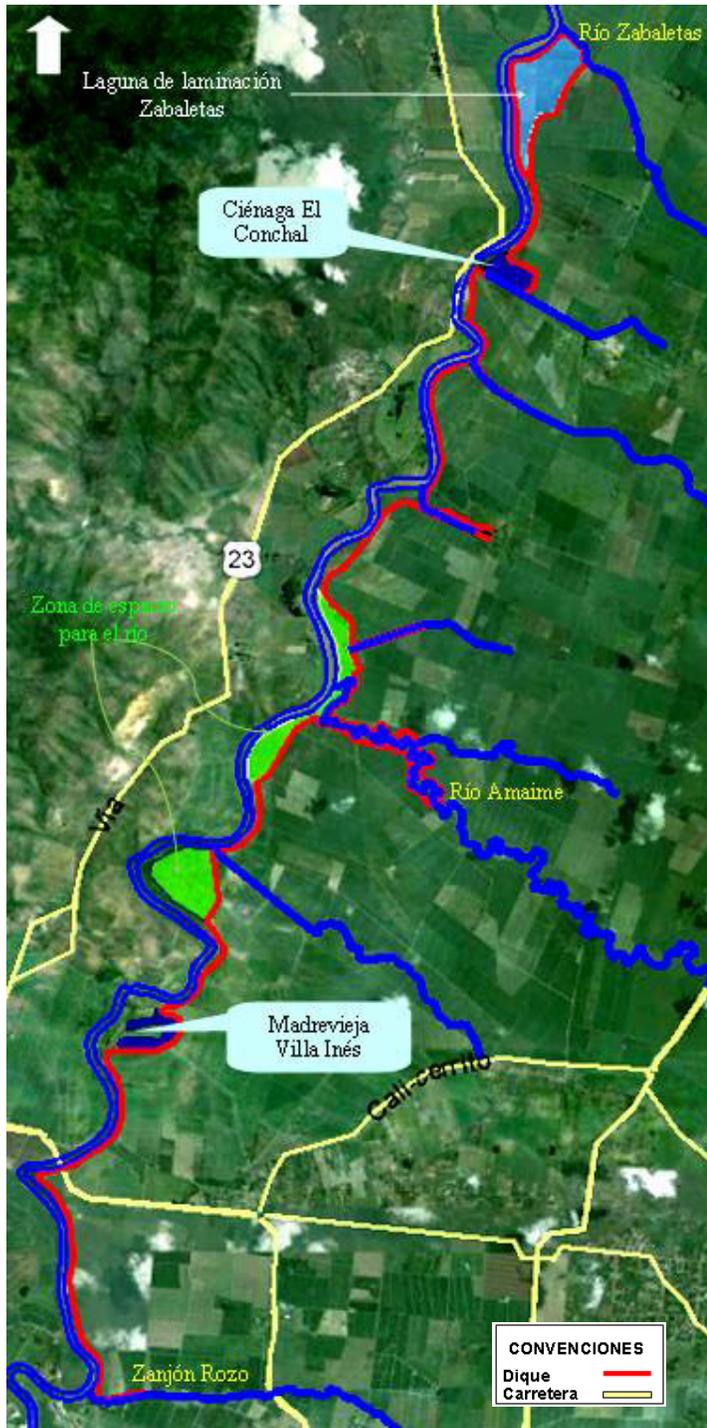
Disminución nivel ++
 Costo de la medida \$11.000 M



ZONA 3

FICHA PRELIMINAR ZANJÓN ROZO – RÍO ZABALETAS

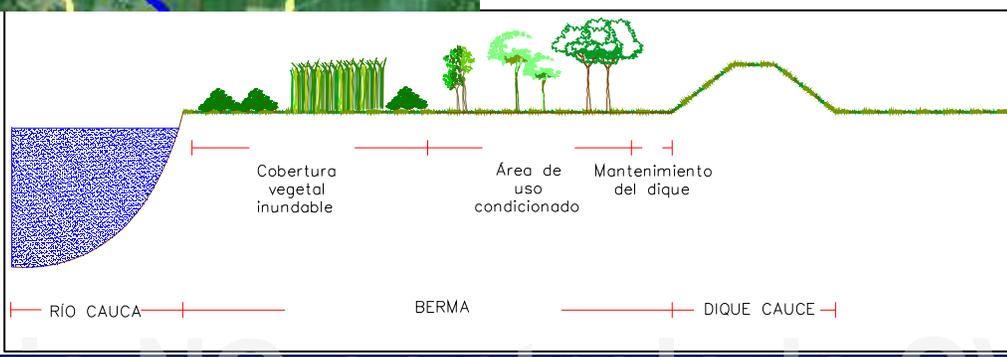
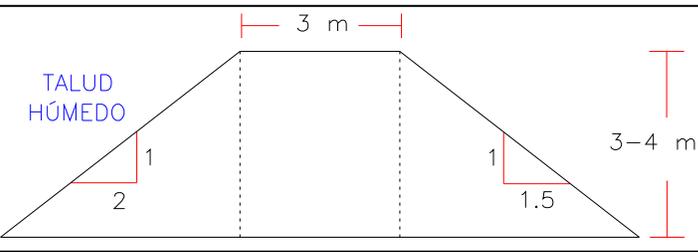
HD7



El área de influencia de la ficha se encuentra en la Zona 3 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión 25 km sobre su margen derecha, entre el zanjón Rozo al sur y el río Zabaletas al norte. En el área de influencia se encuentran la madre viejas Villas Inés, la Ciénaga El Conchal y la desembocadura del río Amaime. También en este sector, se localiza la laguna de laminación Zabaletas que se detalla en la ficha HLL7.

- 25 km de dique sobre la margen derecha del río Cauca.
- Interceración de 2 humedales.

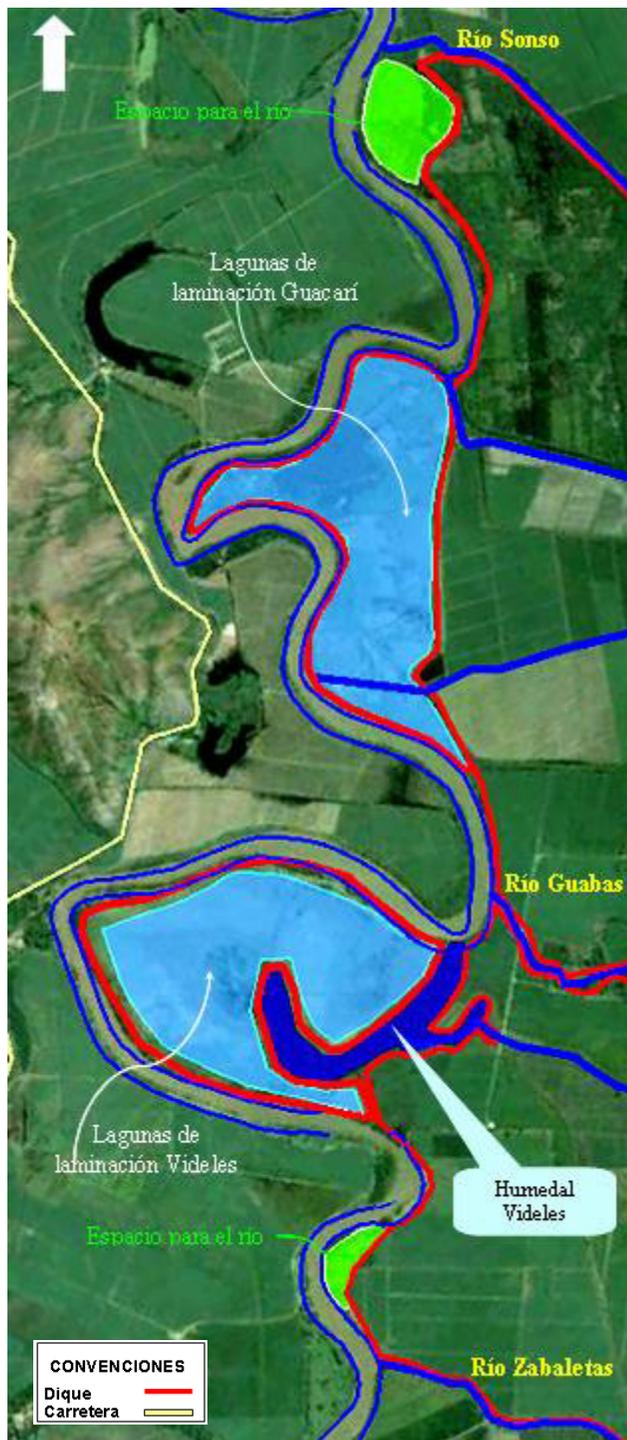
Disminución nivel ++
Costo de la medida \$13.000 M



ZONA 3

FICHA PRELIMINAR RÍO ZABALETAS – RÍO SONSO

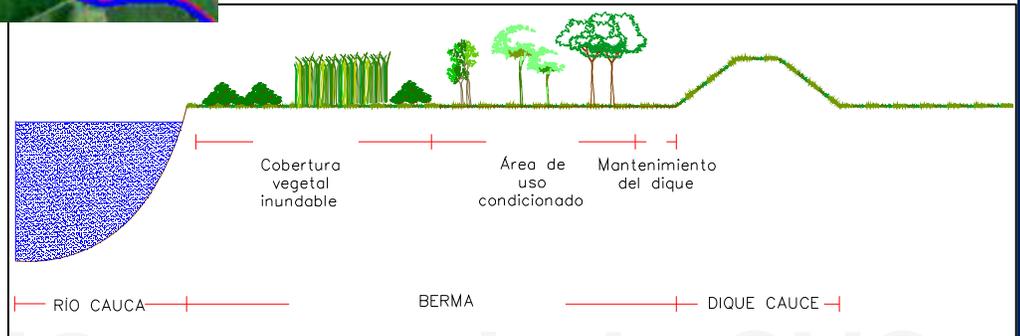
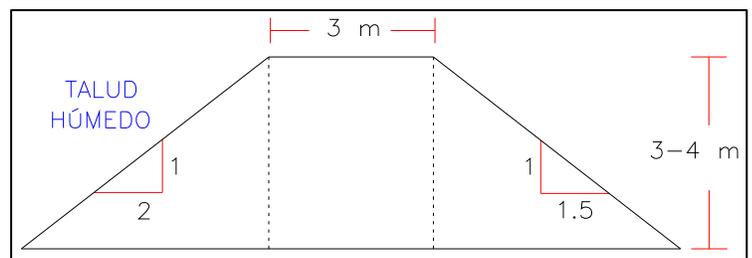
HD8



El área de influencia de la ficha se encuentra en la Zona 3 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión aproximada 12 km sobre su margen derecha, entre el río Zabaletas al sur y el río Sonso al norte. En el área de influencia se encuentran el río Guabas y el humedal Videles. También en este sector, se localizan las lagunas de laminación Videles y Guacarí que se detallan en la ficha HLL7.

- 12 km de dique sobre la margen derecha del río Cauca.

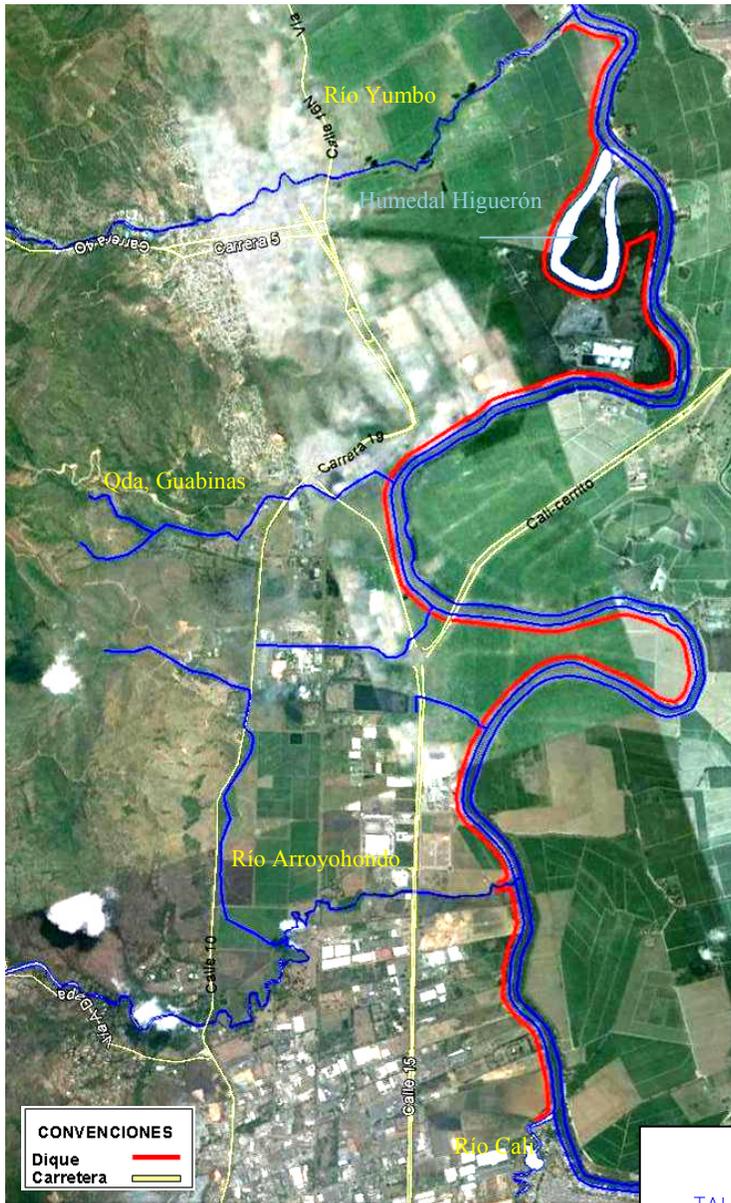
Disminución nivel ++
Costo de la medida \$6.400 M



ZONA 3

HD9

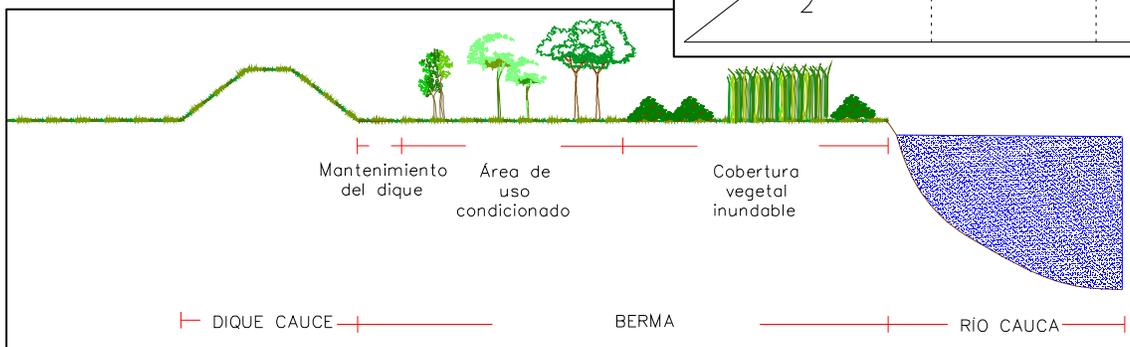
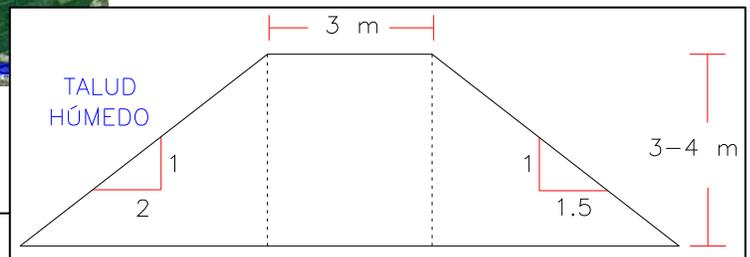
FICHA PRELIMINAR RÍO CALI – RÍO YUMBO (ACOPI)



- 20 Km de dique marginal.
- Integración de un humedal

Disminución nivel:
Costo de la medida: \$11.500 M

El área de influencia de la ficha corresponde a la Zona 3 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 17 km sobre su margen izquierda, entre la desembocadura del río Cali al sur y el río Yumbo al norte. En el área de influencia se encuentra varios tributarios como Qda. Arroyohondo y Qda. Guabinas. Se identifica el humedal Higuieron. La zona de influencia la conforma un complejo industrial de ACOPI, la cual requiere de un plan estructurado de control de inundaciones.



ZONA 3

HD10

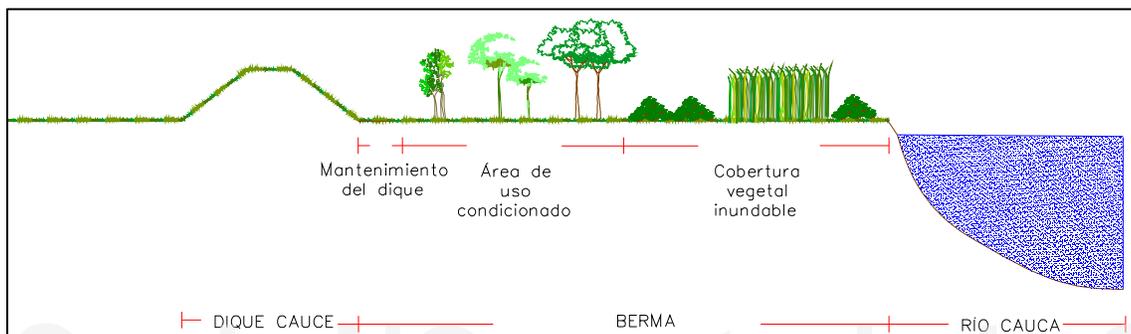
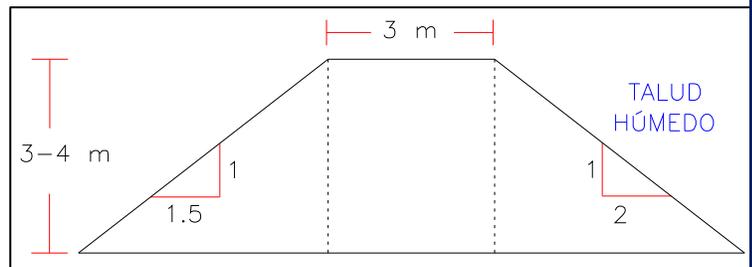
FICHA PRELIMINAR RÍO YUMBO – QUEBRADA ESPINAL



El área de influencia de la ficha se encuentra en las Zonas 3 y 5 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 27 km sobre su margen izquierda, entre el río Yumbo al sur y la quebrada Espinal al norte. En el área de influencia se encuentran las ciénagas La Ladrillera, Pelongo y Vidal y La madreveija La Carambola. Además en este sector, se localizan las lagunas de laminación Yumbo y Vidal que se detallan en las fichas HLL4 y HLL5 respectivamente.

- 29 km de dique sobre la margen derecha del río Cauca.
- Integración de 3 humedales.

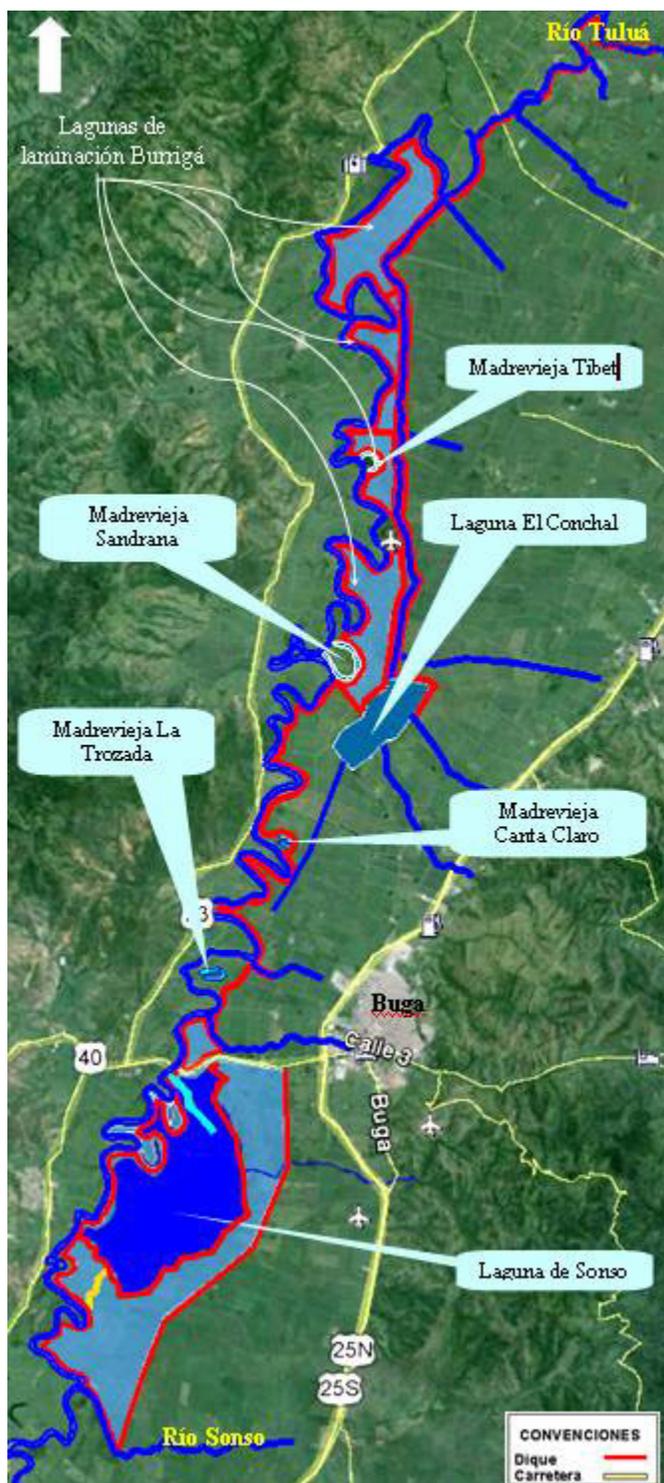
Disminución nivel ++
Costo de la medida \$16.000 M



ZONA 4

HD11

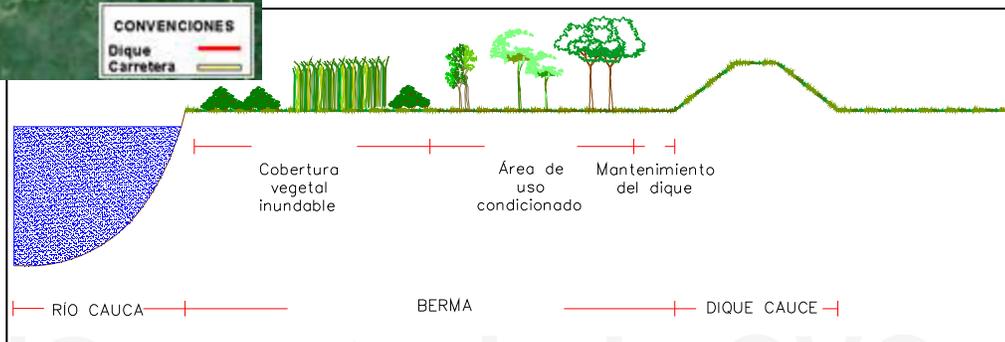
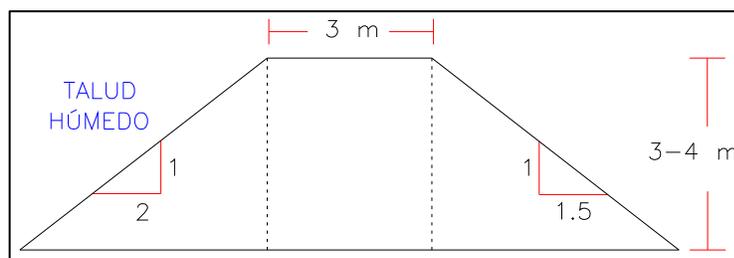
FICHA PRELIMINAR RÍO SONSO – RÍO TULUÁ



El área de influencia de la ficha se encuentra en la Zona 4 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión aproximadamente 26 km sobre su margen derecha, entre río Sonso al sur y el río Tuluá norte. En el área de influencia se encuentran los humedales Canta Claro y la Trozada. Además en este sector, se localizan la Laguna de Sonso y la laguna de laminación Burrigá que se detallan en las fichas HLL9 y HLL10 respectivamente.

- 84 km de dique para implementar toda la intervención.
- Integración de 6 humedales.

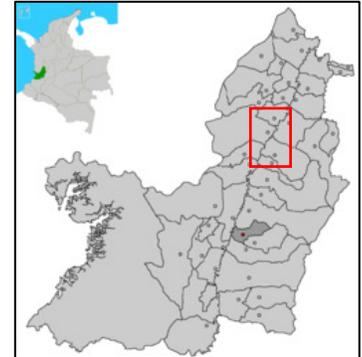
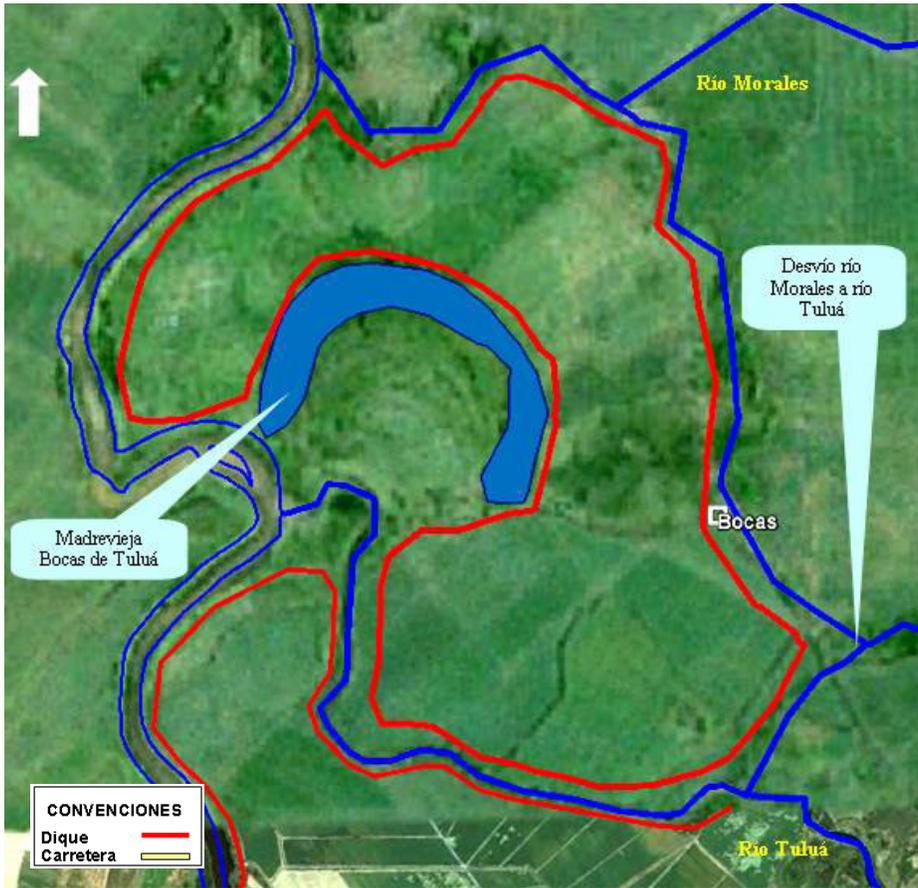
Disminución nivel ++
Costo de la medida \$35.000 M



ZONA 4

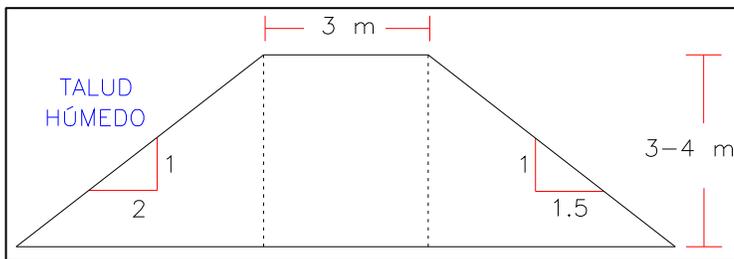
HD12

FICHA PRELIMINAR RÍO TULÚA - RÍO MORALES

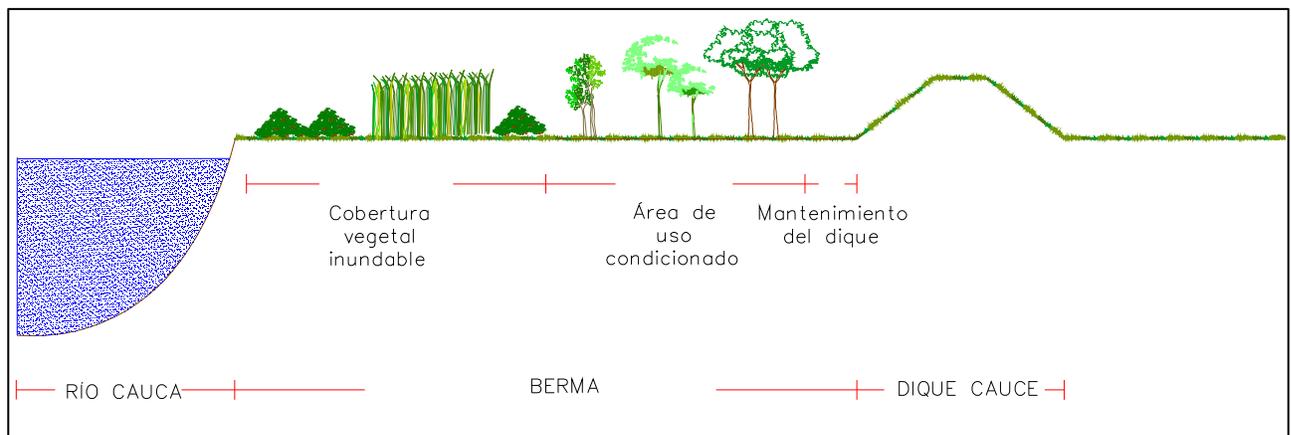


- 5 km de dique sobre la margen derecha del río Cauca.
- Integración de 1 humedal.

Disminución nivel: ++
Costo de la medida: \$6.000 M



El área de influencia de la ficha se encuentra en la Zona 4 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión aproximadamente 3 km sobre su margen derecha, entre río Tulúa al sur y el río Morales norte. En el área de influencia se encuentra la madreveja Bocas de Tulúa y el caserío que lleva el mismo nombre.



ZONA 4

FICHA PRELIMINAR RÍO MORALES - ACEQUIA QUINTANA

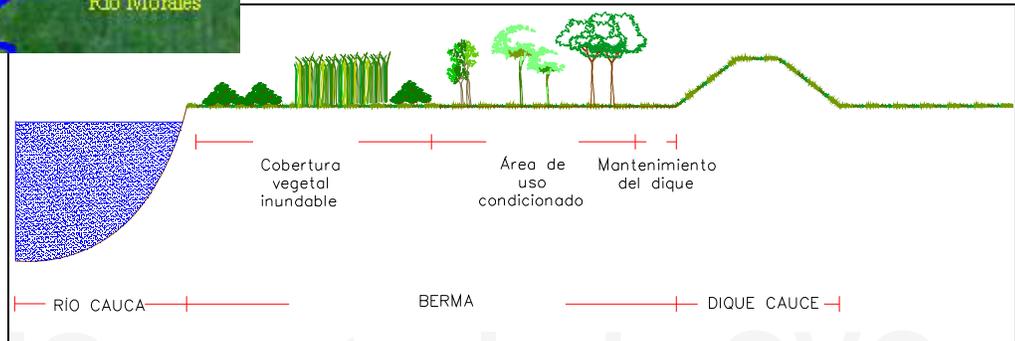
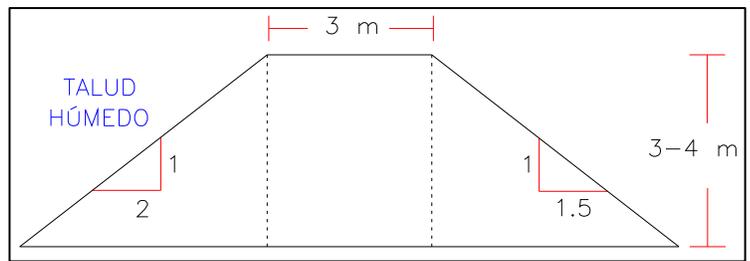
HD13



El área de influencia de la ficha corresponde a la Zona 4 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 9 km sobre su margen derecha, entre río el río Morales al sur y la Acequia Quintana al norte. En el área de influencia se encuentran el caserío de El Salto y 4 humedales que son: La Elvira, Charco de Oro, La Bolsa y El Pital. La laguna de laminación de Charco de Oro se detalla en la ficha HLL11.

- 15 km de dique sobre la margen derecha del río Cauca.
- Zonas de espacio para el río.
- Integración de 4 humedales.

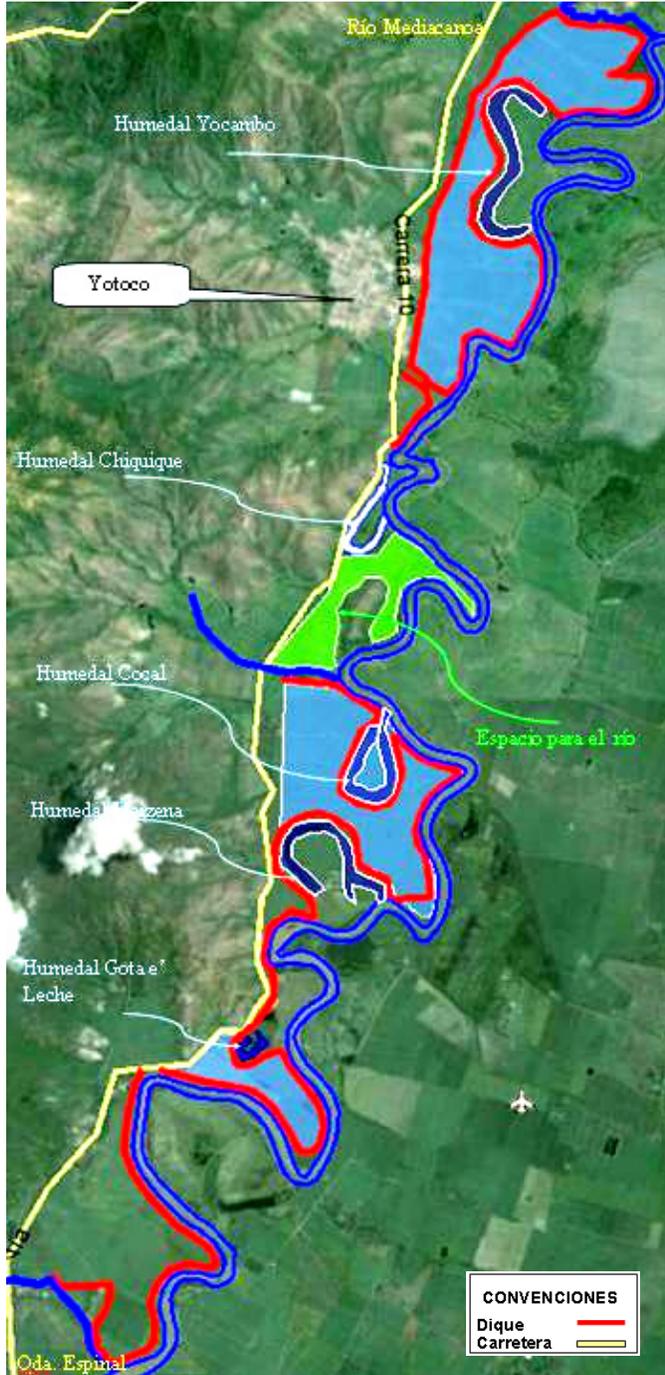
Disminución nivel ++
Costo de la medida \$9.000 M



ZONA 5

FICHA PRELIMINAR
QUEBRADA ESPINAL - RÍO MEDIACANOA

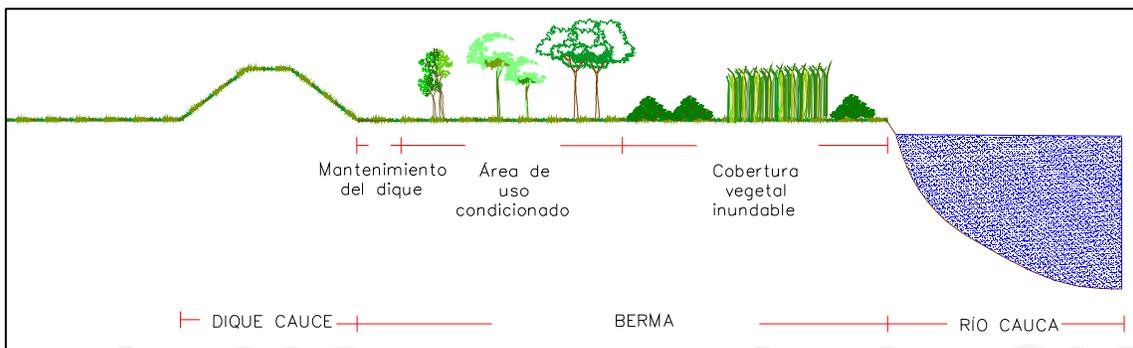
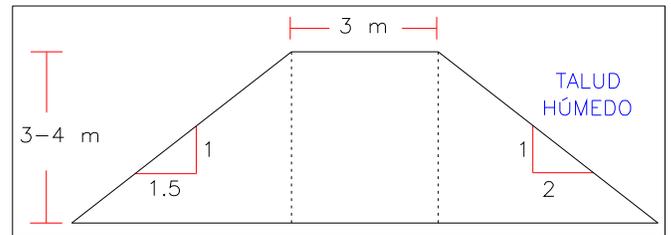
HD14



El área de influencia de la ficha se encuentra en la Zona 5 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 28 km sobre su margen izquierda, entre la quebrada Espinal al sur y el río Mediacanoa al norte. En este tramo se encuentra el río Yotoco y se identifican cinco humedales: Gota e' Leche, Maizena, Cocal, Chiquique y Yocambó. Los detalles de las lagunas de laminación se presentan en las fichas HLL7 y HLL8.

- 26 km de dique sobre la margen izquierda del río Cauca.
- Integración de 5 humedales.

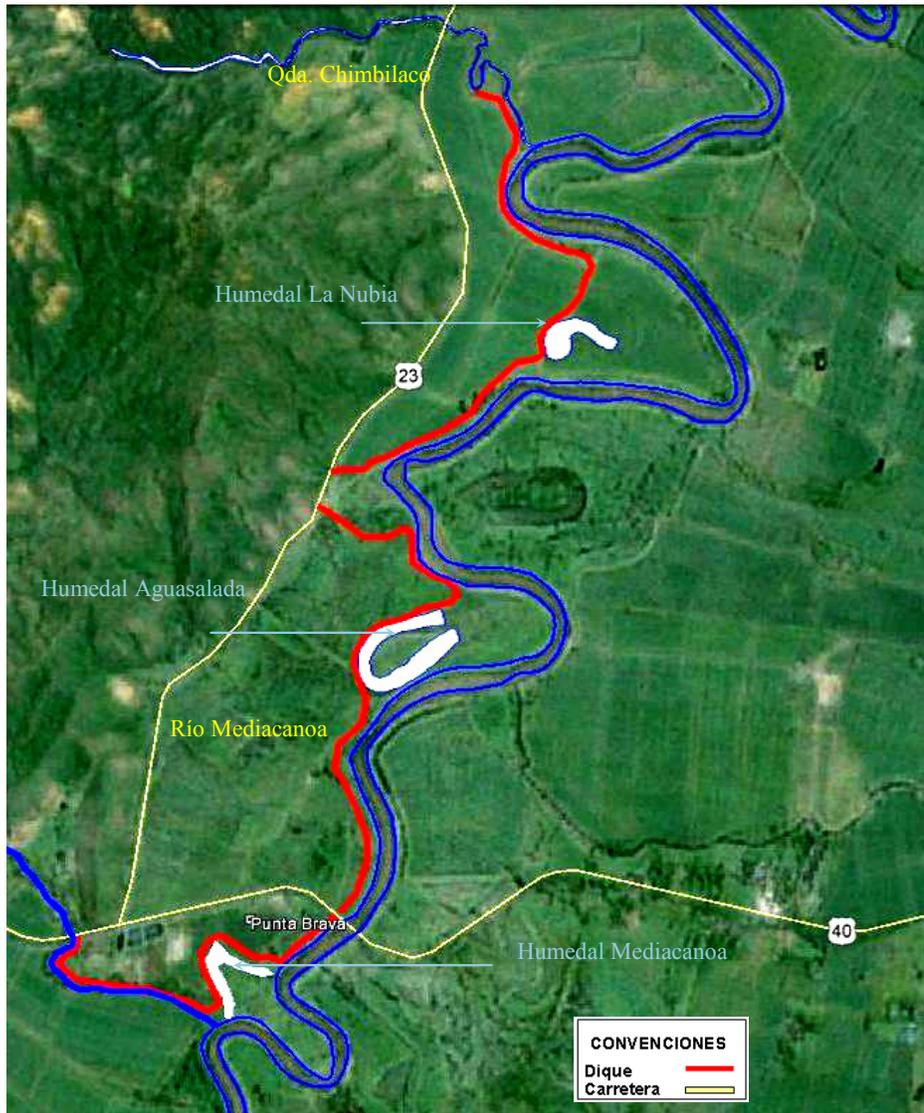
Disminución nivel ++
Costo de la medida \$15.000 M



ZONA 5

FICHA PRELIMINAR
RÍO MEDIACANOA – QUEBRADA CHIMBILACO

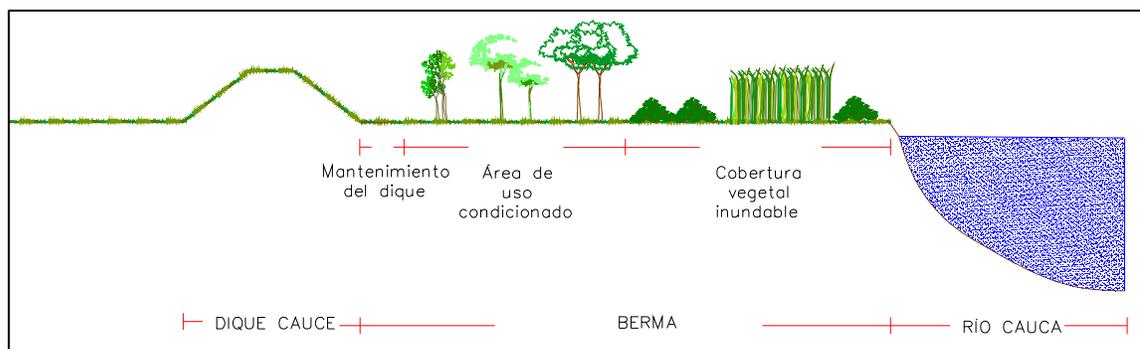
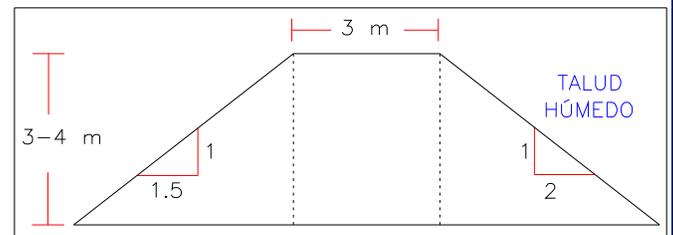
HD15



El área de influencia de la ficha se encuentra en la zona 5 del proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 10 km entre el río Mediacanoa al sur y la quebrada Chimbilaco al norte. En el área de influencia se encuentra la vereda Punta Brava entre la vía Buga – Mediacanoa y la margen izquierda del río Mediacanoa y se identifican tres humedales: Mediacanoa, Aguasalada y La Nubia.

Disminución nivel ++
Costo de la medida \$6.000 M

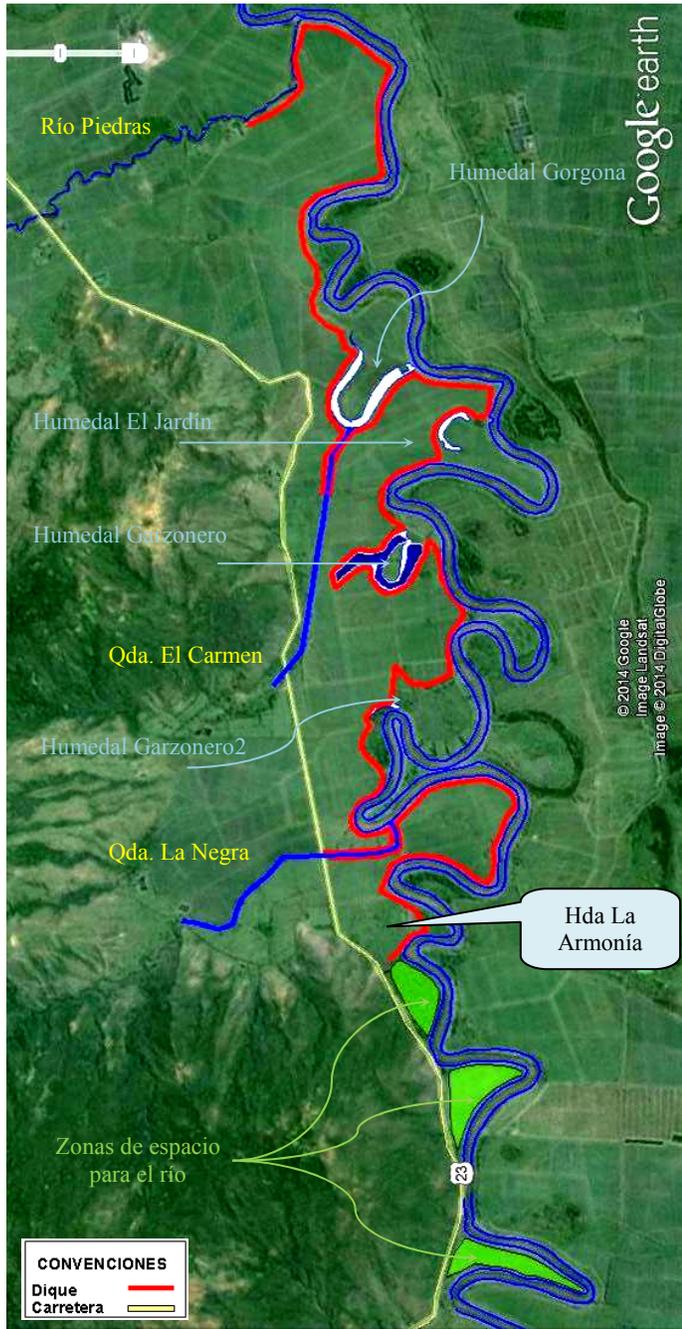
- 10 km de dique sobre la margen izquierda del río Cauca.
- Integración de 3 humedales.



ZONA 5

FICHA PRELIMINAR
HACIENDA LA ARMONÍA – RÍO PIEDRAS

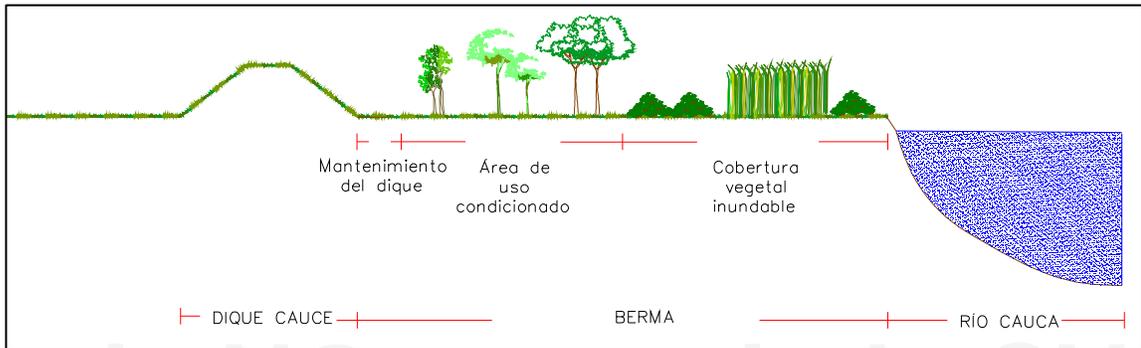
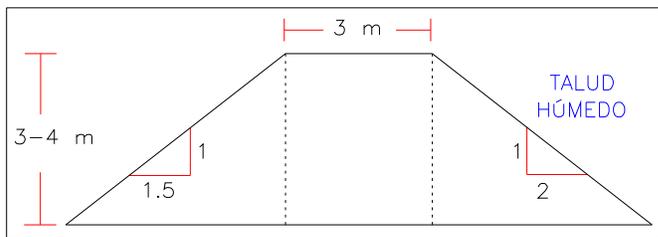
HD16



El área de influencia de la ficha se encuentra en la Zona 5 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 26 km. sobre su margen izquierda, entre la Hacienda La Armonía al sur y el río Piedras al norte. En este tramo se encuentra varios tributarios como Qda. El Carmen, Qda. La Negra y río Piedras. También se identifica una serie de humedales como lo son los humedales Garzonero 1 y 2, El Jardín y Gorgona.

- 30 km de dique sobre la margen izquierda del río Cauca.
- Espacio para el río.
- Integración de 4 humedales.

Disminución nivel ++
Costo de la medida \$16.000 M



ZONA 5

FICHA PRELIMINAR
RÍO PIEDRAS – QUEBRADA HUASANO

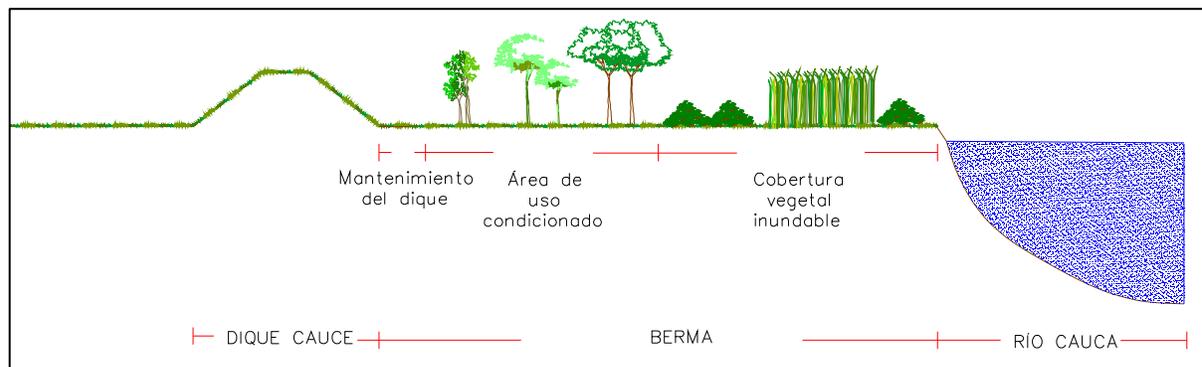
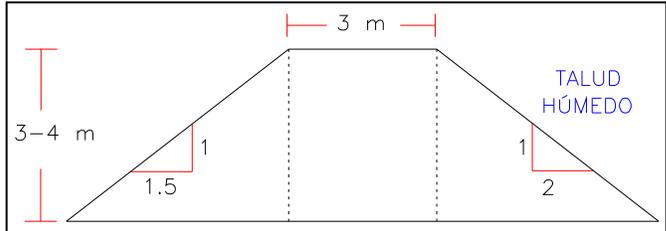
HD17



El área de influencia de la ficha corresponde a la Zona 5 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 42 km sobre su margen izquierda, entre el río Piedras al sur y la quebrada Huazano al norte. En el área se encuentra una laguna de laminación que se detalla en la ficha HLL10.

- 33 km de dique sobre la margen izquierda del río Cauca.
- Integración de 1 humedal.

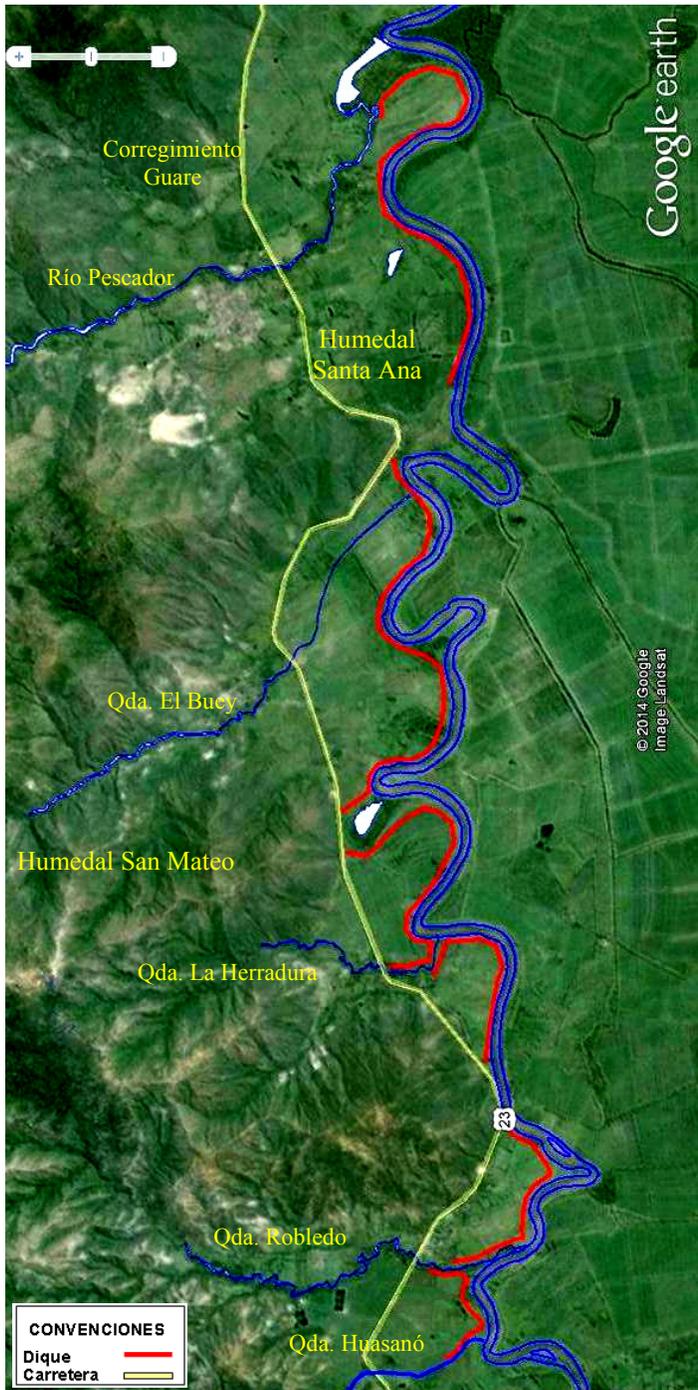
Disminución nivel ++
Costo de la medida \$17.000 M



ZONA 5

FICHA PRELIMINAR
QUEBRADA HUASANÓ – RÍO PESCADOR

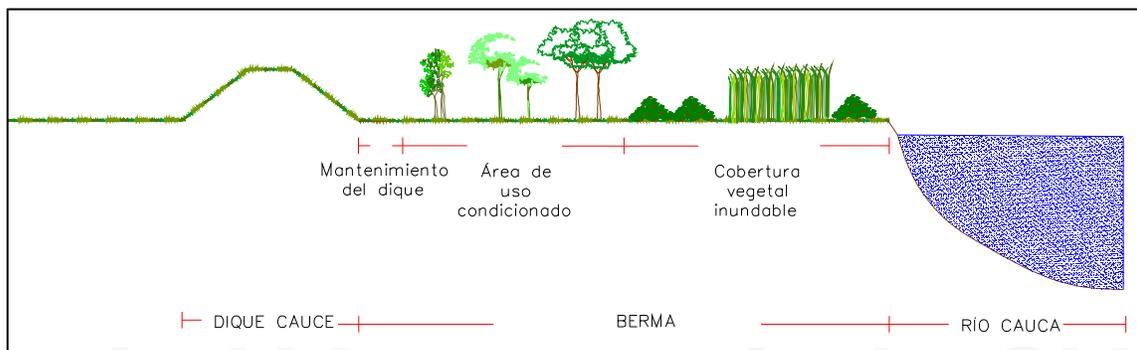
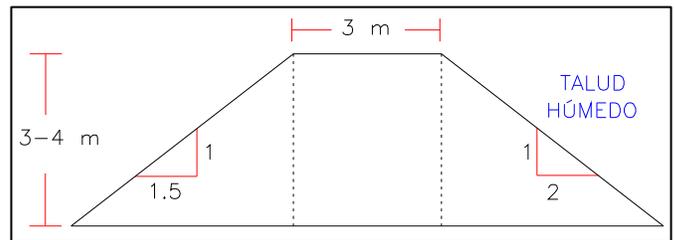
HD18



El área de influencia de la ficha corresponde a la Zona 5 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 24 km sobre su margen izquierda, entre la quebrada Huasanó al sur y el río Pescador al norte.

- 26 km de dique sobre la margen izquierda del río Cauca.
- Integración de 2 humedales

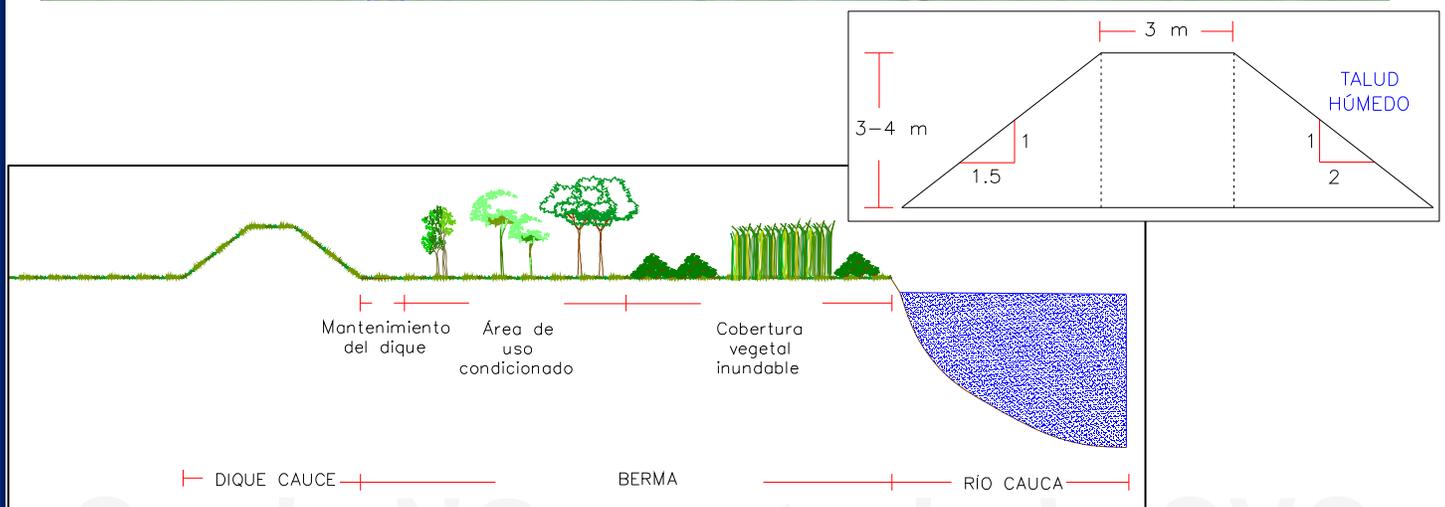
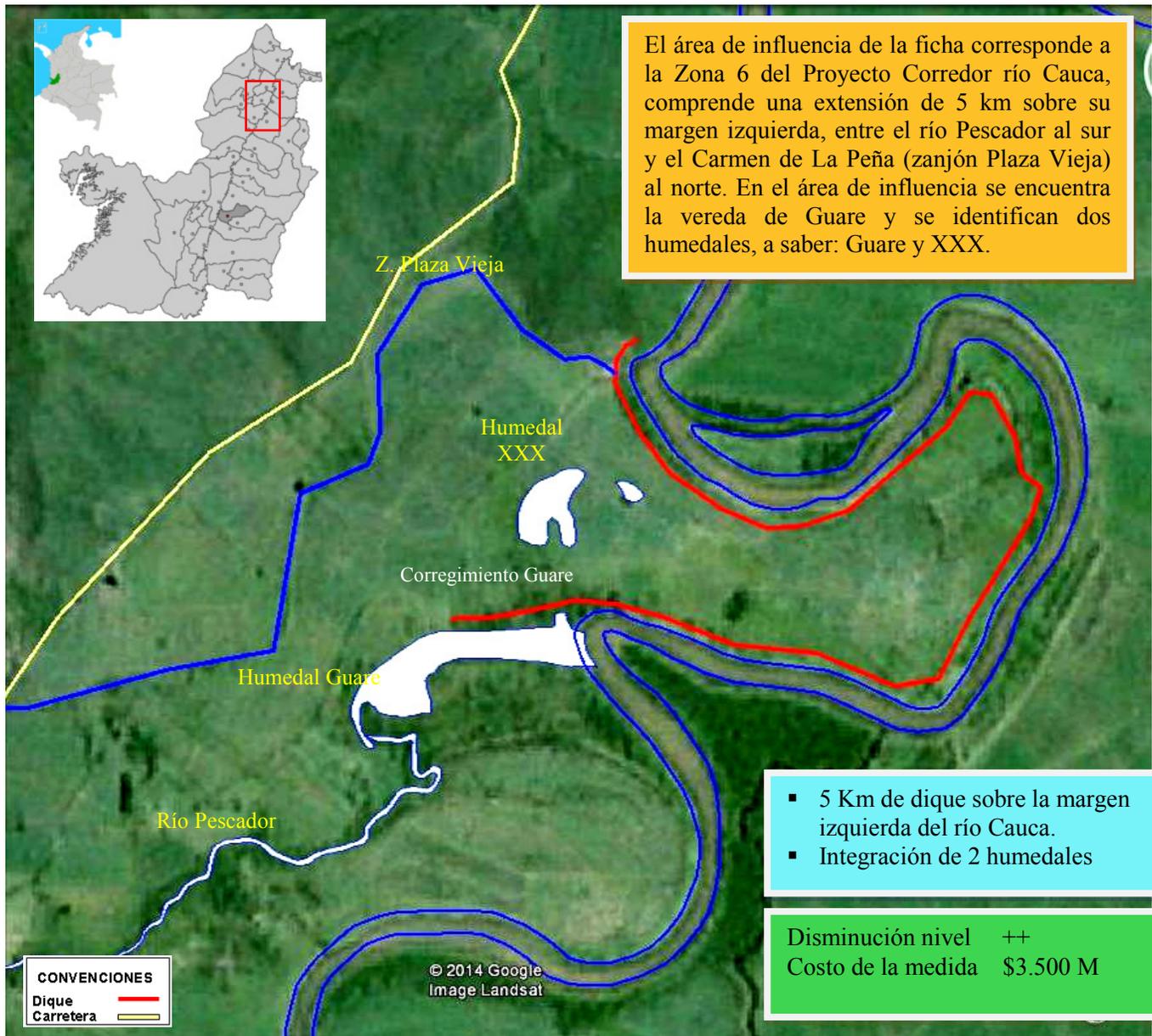
Disminución nivel ++
Costo de la medida \$14.000 M



ZONA 6

FICHA PRELIMINAR RÍO PESCADOR – LA PEÑA

HD19



ZONA 6

FICHA PRELIMINAR DISTRITO DE RIEGO RUT

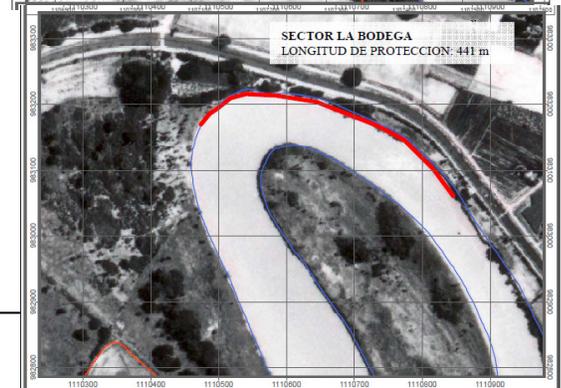
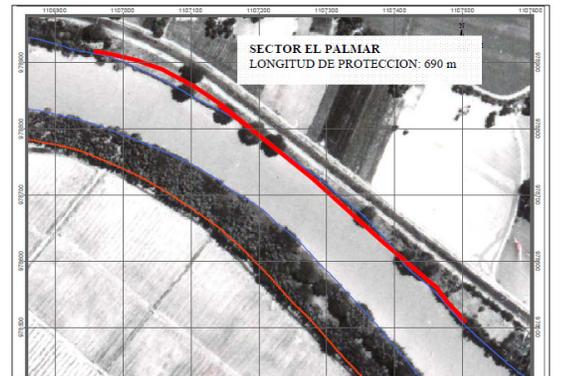
HD20

- Zonas de espacio para el río.
- Integración de 2 humedales.
- Re-alineamiento del dique en 3 curvas, (El Palmar, La Bodega y la Pepa).

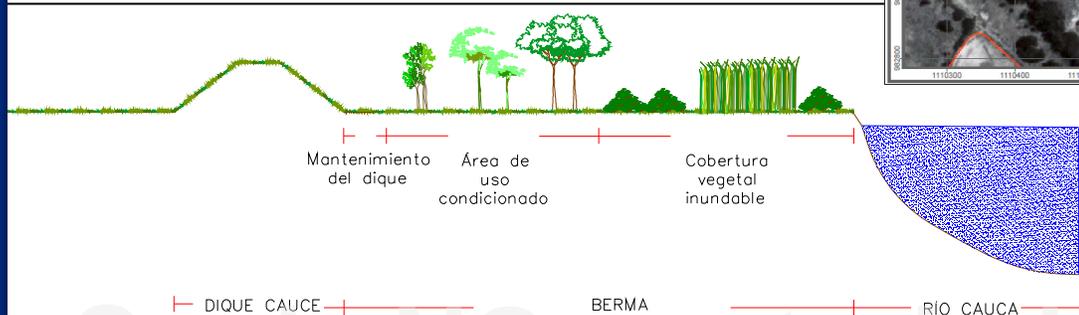
Disminución nivel ++
Costo de la medida \$9.500 M



El área de influencia de la ficha corresponde a la Zona 7 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende un área total de 10.214 ha sobre su margen izquierda, del distrito de riego RUT, entre la estación de bombeo Tierra Blanca en el municipio de Roldanillo al sur y el canal de drenaje del distrito de riego RUT en el municipio de Toro al norte. En este tramo se encuentran localizadas los humedales La Pepa y Remolinos.



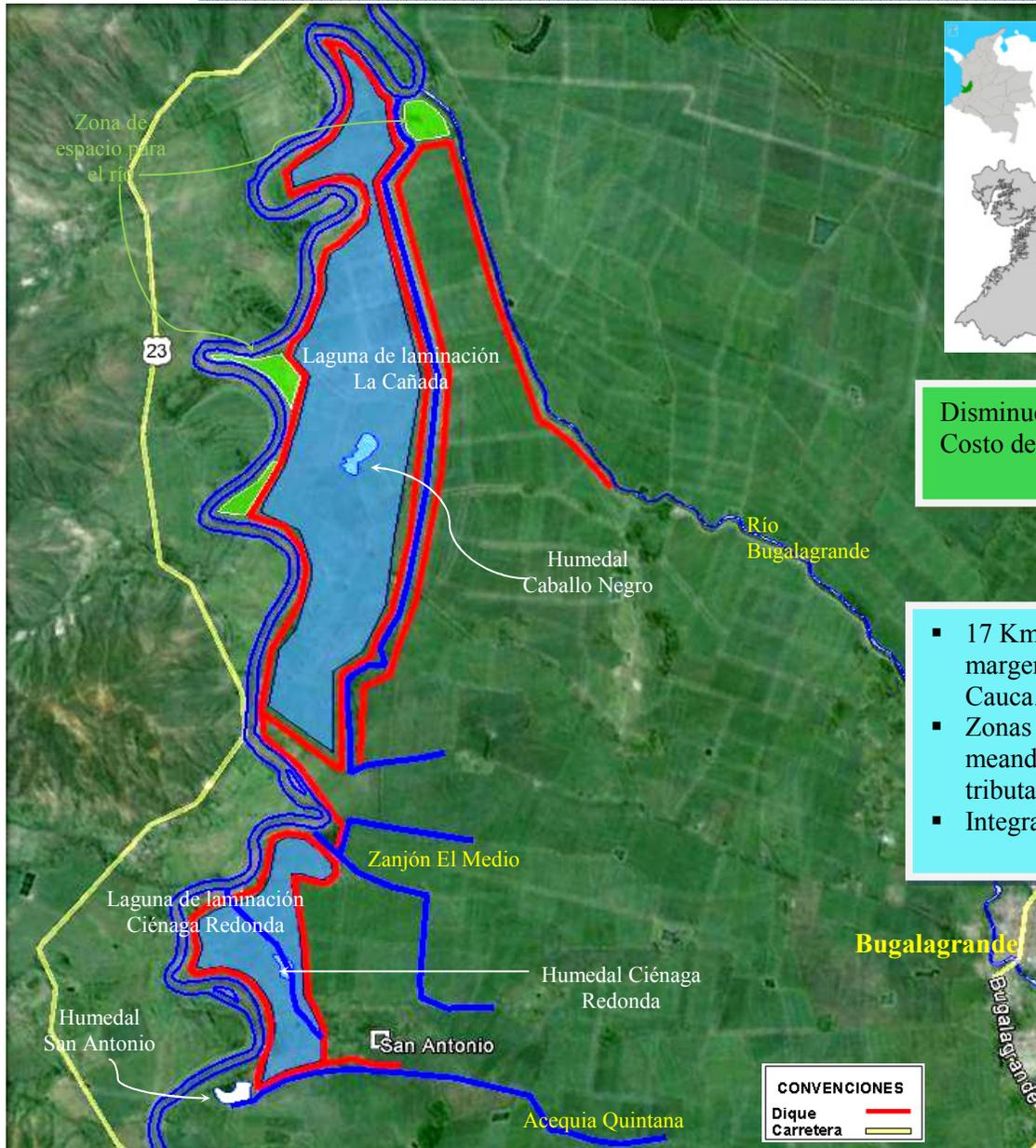
CONVENCIONES
Dique ————
Carretera ————



ZONA 6

FICHA PRELIMINAR
ACQ. QUINTANA - RÍO BUGALAGRANDE

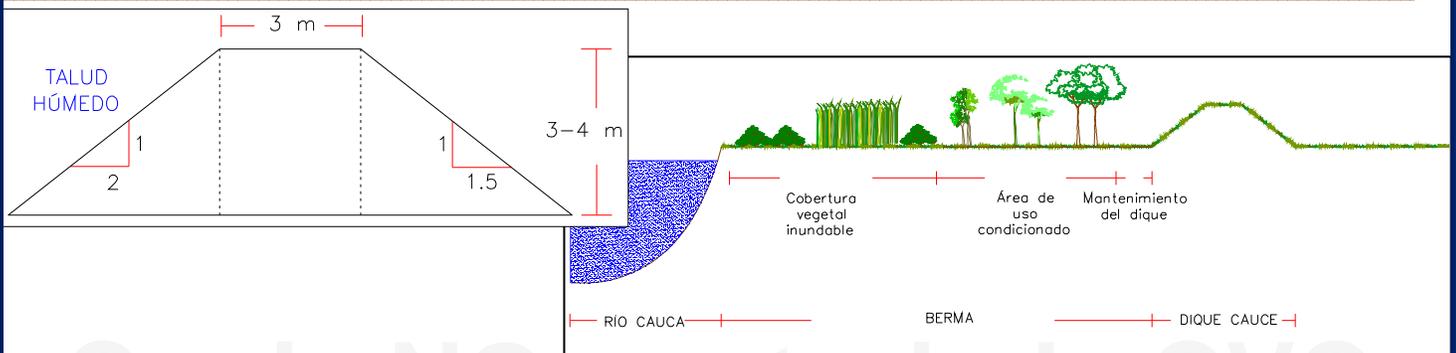
HD21



Disminución nivel ++
Costo de la medida \$9.500 M

- 17 Km de dique sobre la margen derecha del río Cauca.
- Zonas de espacio para el río meandro y desembocadura de tributarios
- Integración de 3 humedales.

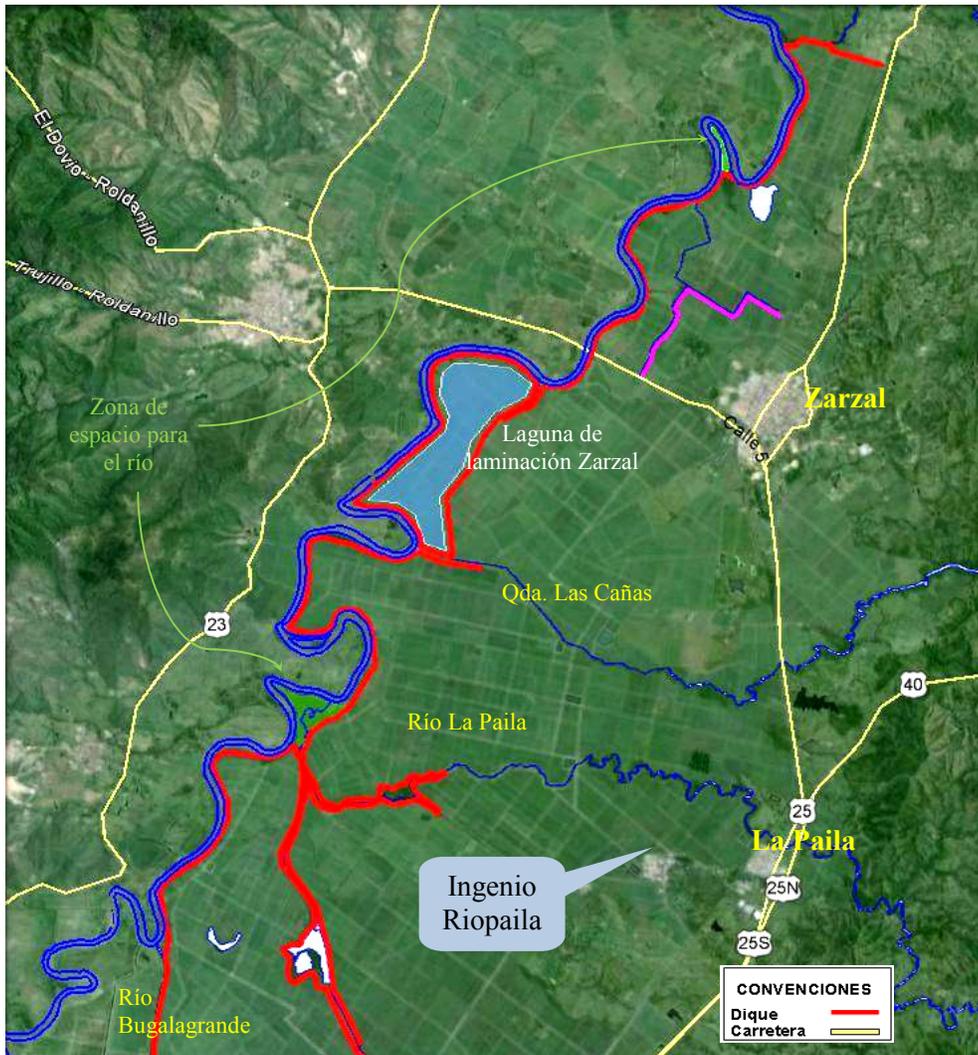
El área de influencia de la ficha corresponde a la Zona 6 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 20 km sobre su margen derecha, entre río Bugalagrande al norte y la Acequia Quintana al sur. En el área de influencia se encuentra el caserío de San Antonio. Las lagunas de laminación de La Cañada y Ciénaga se detallan en las Fichas HLL32 y HLL31, respectivamente.



ZONA 6

FICHA PRELIMINAR
RÍO BUGALAGRADE - QUEDRADA LA HONDA

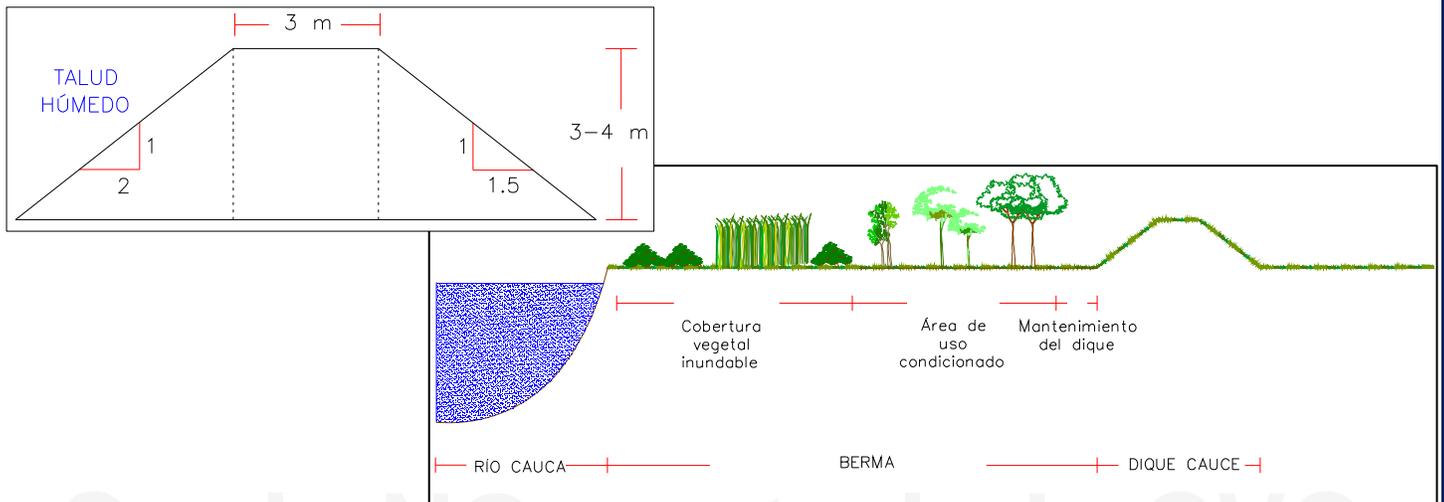
HD22



- 24 Km de dique sobre la margen derecha del río Cauca.
- Zonas de espacio para el río meandro y desembocadura de tributarios.

Disminución nivel ++
Costo de la medida \$12.000 M

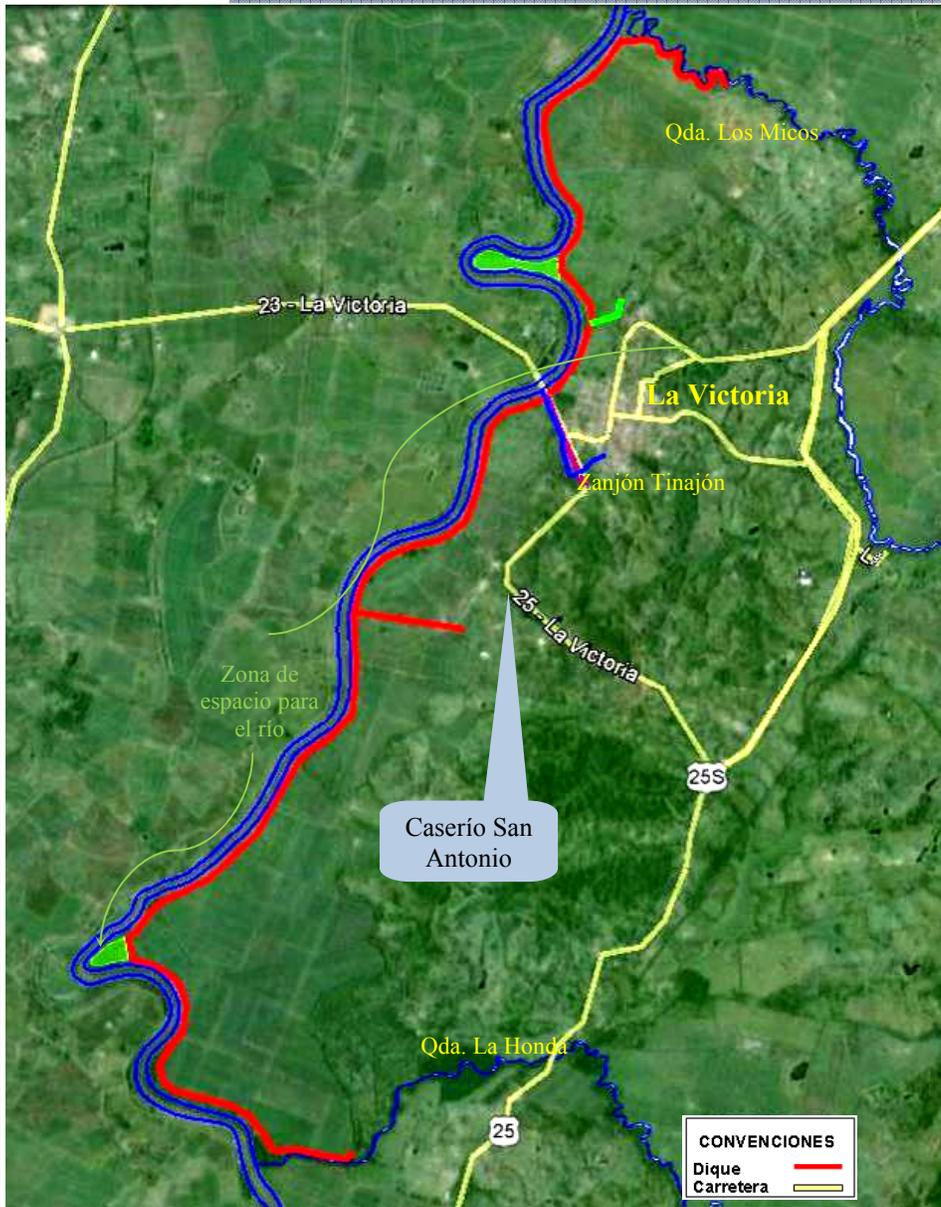
El área de influencia de la ficha corresponde a la Zona 6 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 35 km sobre su margen derecha, entre río Bugalagrande al sur y la quebrada La Honda al norte. En el área de influencia se encuentra la cabecera municipal de Zarzal y el corregimiento de La Paila. La laguna de laminación de Zarzal se detalla en la Ficha HLL30.



ZONA 6

FICHA PRELIMINAR
QUEBRADA LA HONDA– QUEBRADA LOS MICOS

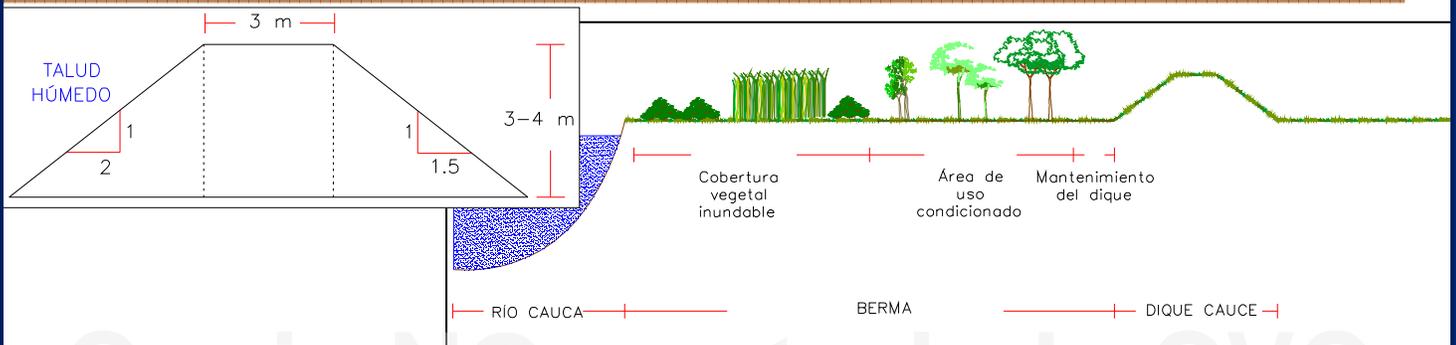
HD23



- 14 Km de dique sobre la margen derecha del río Cauca.
- Zonas de espacio para el río

Disminución nivel ++
Costo de la medida \$7.000 M

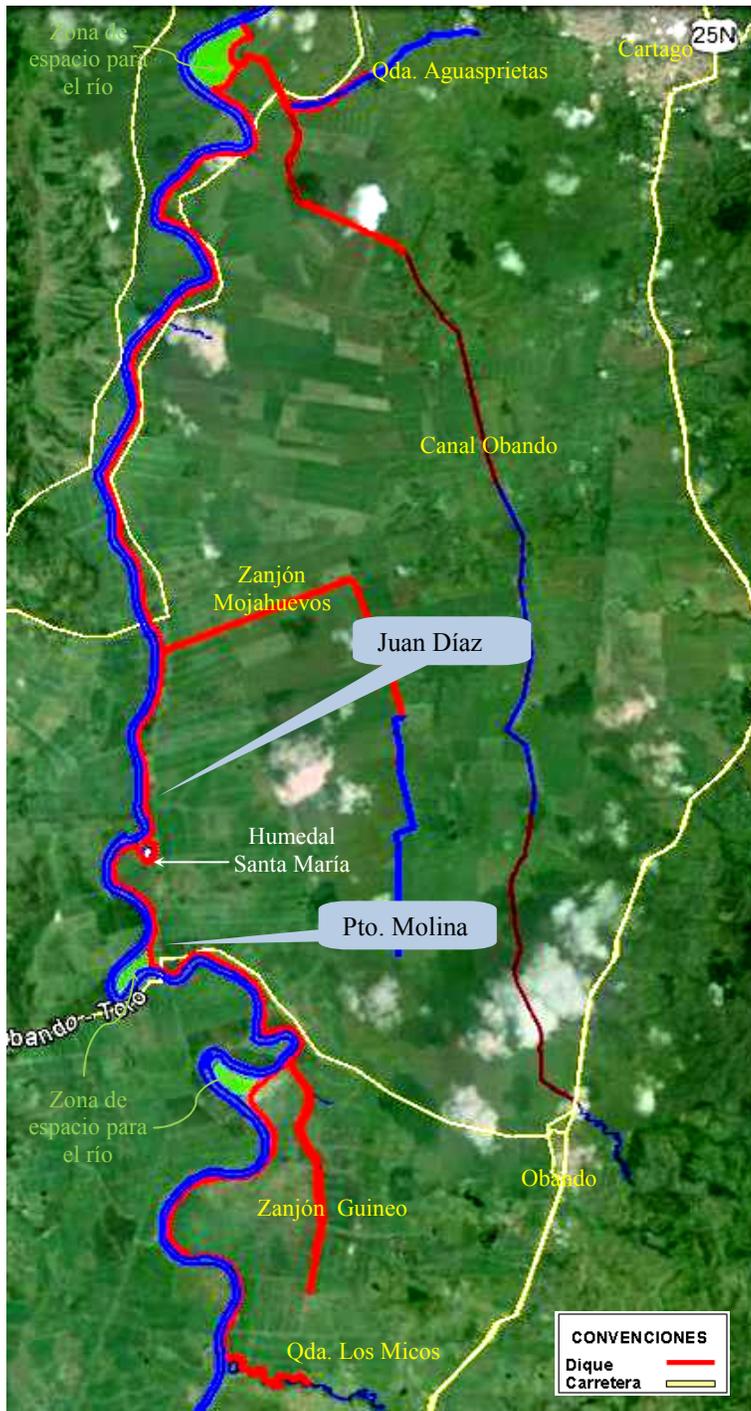
El área de influencia de la ficha corresponde a la Zona 6 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 20 km sobre su margen derecha, entre la quebrada La Honda al sur y la quebrada Los Micos al norte. En el área de influencia se encuentra la cabecera municipal de La Victoria y el área rural dedicada a la agricultura, en cual se encuentra el caserío de San Antonio. Las obras relacionadas con el anillo de protección del casco urbano de La Victoria se encuentran detalladas en la Ficha HA37.



ZONA 6

FICHA PRELIMINAR
 OUEBRADA LOS MICOS – OUEBRADA AGUASPRIETAS

HD24



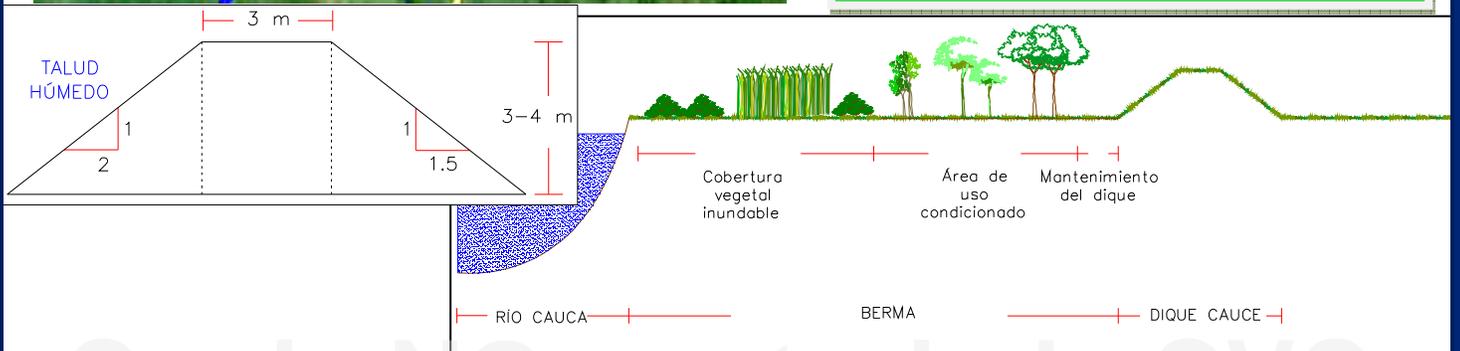
El área de influencia de la ficha corresponde a la Zona 6 y 7 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 37 km sobre su margen derecha, entre la quebrada Los Micos al sur y la quebrada Aguasprietas al norte.

En el área de influencia se encuentra varios tributarios como quebrada Los Micos, zanjón Guineo, zanjón Mojahuevos, Canal Obando y no se identifican humedales. Los propietarios del sector se encuentran agrupados en una asociación llamada ASONORTE.

Se identifican los caseríos de Pto. Molina y Juan Díaz que se encuentran en zonas aledañas al río Cauca y que deben ser estudiados para definir su alternativa de protección.

- 8 Km de dique sobre la margen derecha del río Cauca (Qda. Micos - z. Guineo).
- 21 Km de dique-vía comunicando Obando con Cartago y protegiendo de inundaciones la margen derecha del río Cauca.
- Zonas de espacio para el río

Disminución nivel ++
 Costo de la medida \$20.000 M



ZONA 7

**FICHA PRELIMINAR
ZANJÓN EL MEDIO - LA VIRGINIA**

HD25

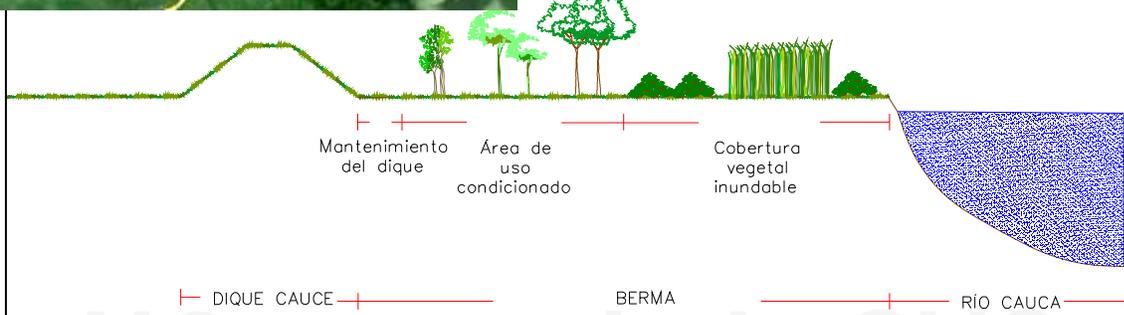
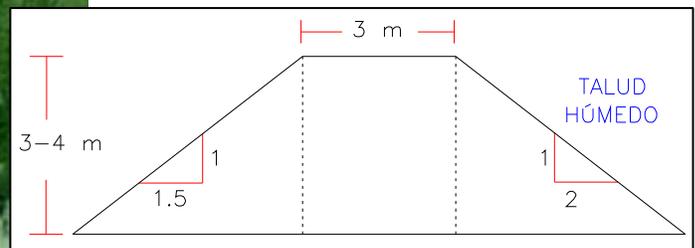


El área de influencia de la ficha corresponde a la Zona 7 del Proyecto Corredor río Cauca; se localiza sobre la margen izquierda del río entre la desembocadura del zanjón el Medio y el municipio de La Virginia en el departamento de Risaralda.

En este sector se propone la laguna de laminación de Ansermanuevo. (Ver ficha Laguna de laminación HLL38)

- 43 Km de dique sobre la margen izquierda del río Cauca.
- Integración de un humedal

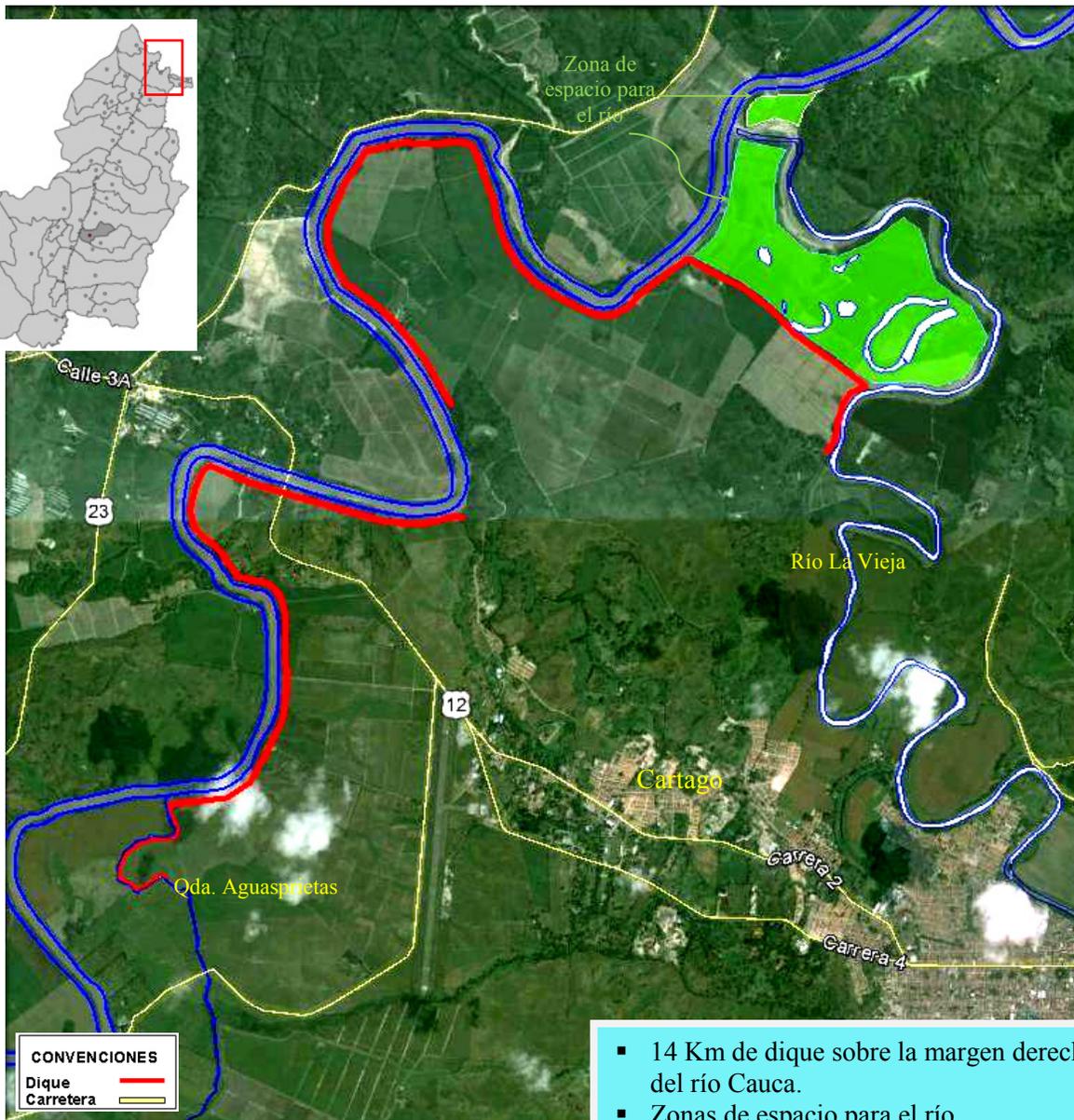
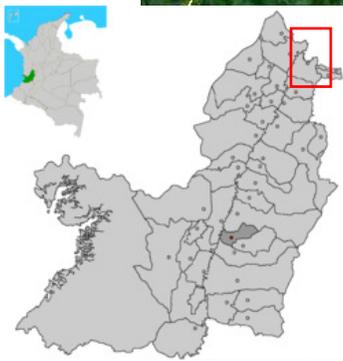
Disminución nivel ++
Costo de la medida \$22.000 M



ZONA 7

FICHA PRELIMINAR
QUEBRADA AGUASPRIETAS – RÍO LA VIEJA

HD26

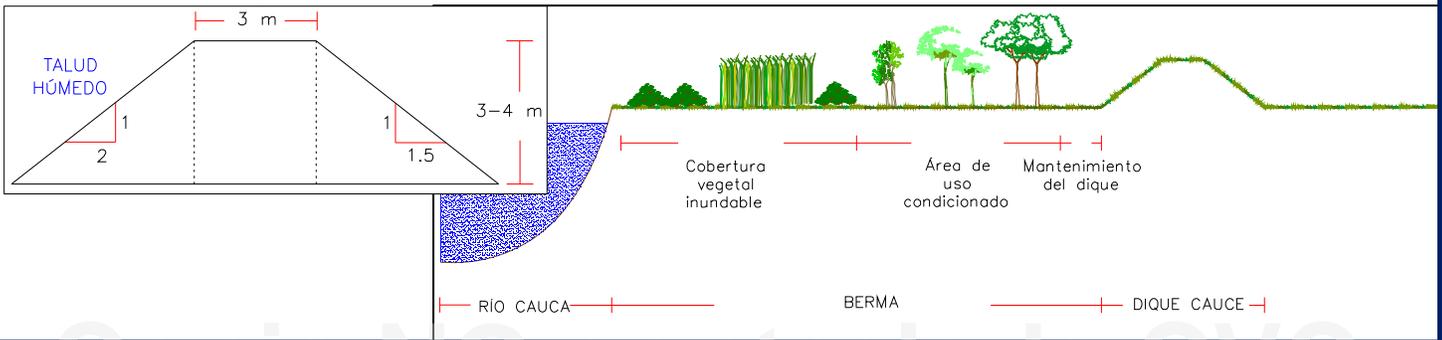


CONVENCIONES
 Dique ————
 Carretera ————

- 14 Km de dique sobre la margen derecha del río Cauca.
- Zonas de espacio para el río
- Integración de humedales

El área de influencia de la ficha corresponde a la Zona 7 del Proyecto Corredor río Cauca, comprende una extensión de 14 km sobre su margen derecha, entre la quebrada Aguaspietas (canal Obando) al sur y el río La Vieja al norte.

Disminución nivel ++
 Costo de la medida \$8.000 M

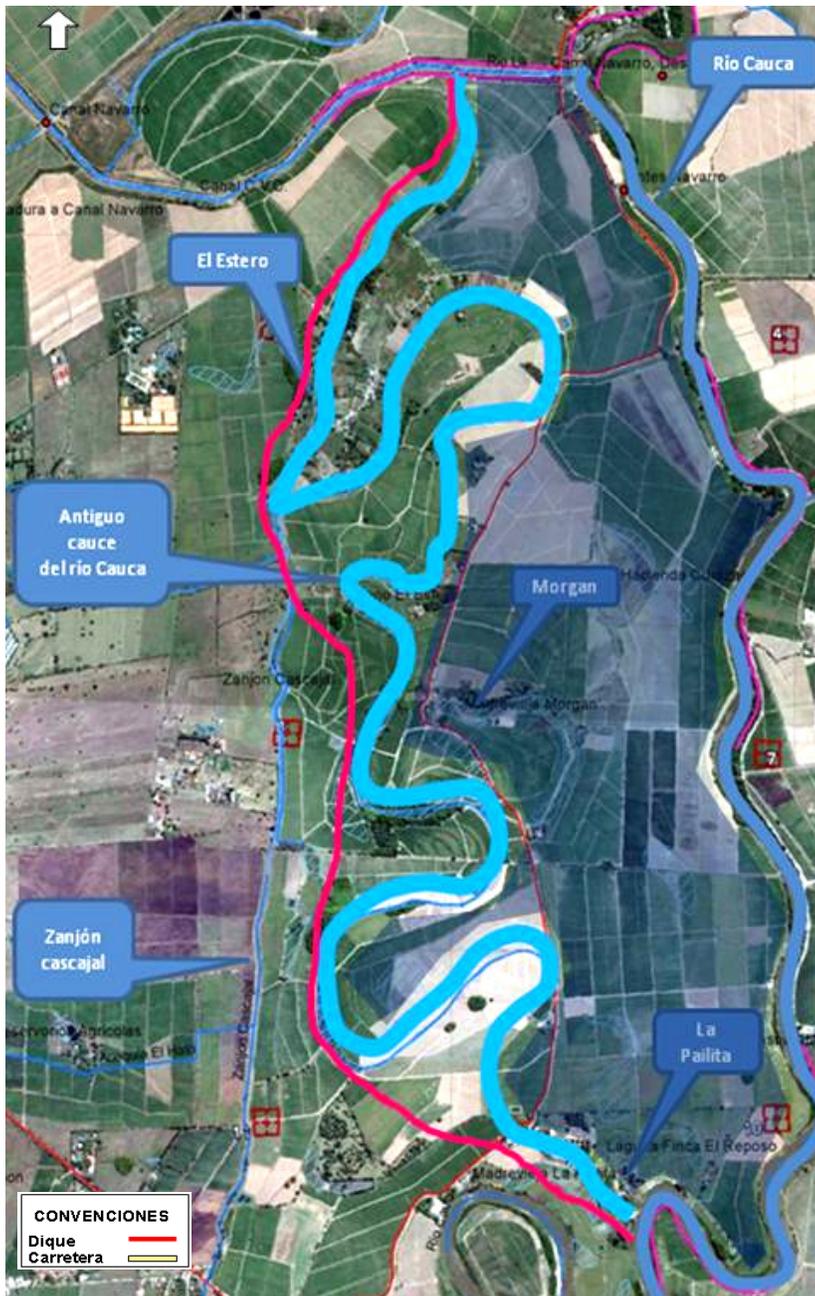


FICHAS EJECUTIVAS DE LAGUNAS

ZONA 2

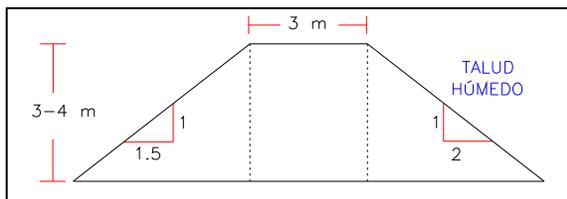
FICHA PRELIMINAR LAGUNA DE LAMINACIÓN DE CAUCASECO

HLL1

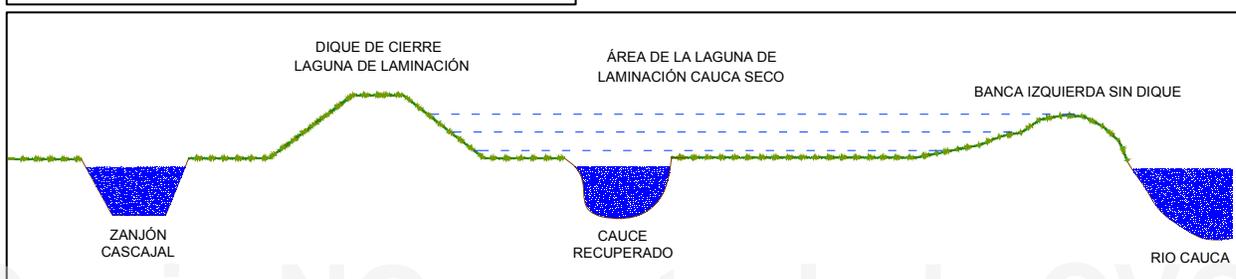


El área de influencia de la ficha se encuentra en la zona 2 del proyecto Corredor río Cauca, localizada en la vereda El Hormiguero, del corregimiento El Hormiguero, en el extremo sureste del municipio de Cali, sobre la margen izquierda del río Cauca. Se halla delimitada por el canal Interceptor Sur al norte, por el río Cauca al este y sur, y por el zanjón Cascajal al oeste. En esta área predomina el cultivo de la caña de azúcar y además se encuentran tres asentamientos importantes: La Pailita, Morgan y El Estero (llevan el mismo nombre de los humedales adyacentes).

- 1176 ha. de adecuación de tierras para drenaje.
- Recuperación de cauce antiguo, 12 km.
- Dique de cierre de laguna de laminación, 17 km.
- Estructura de entrega del cauce antiguo al Canal Interceptor Sur.
- Estructura de entrega del zanjón Cascajal al cauce recuperado.



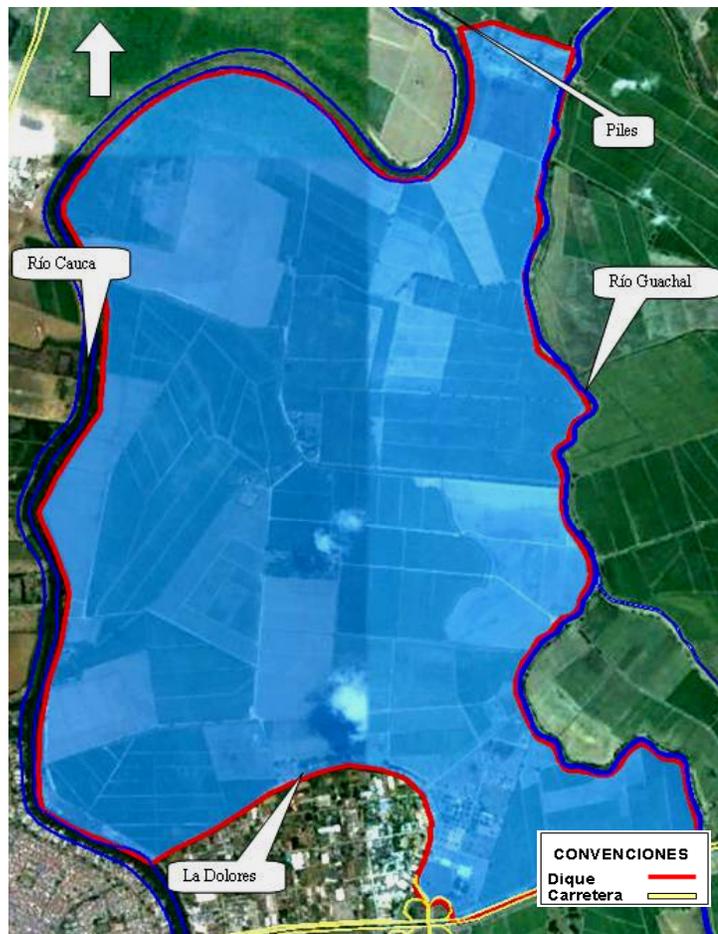
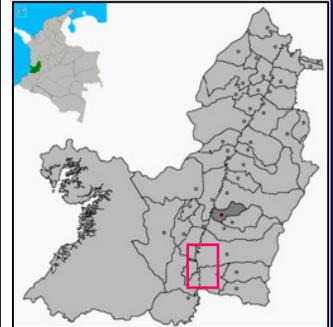
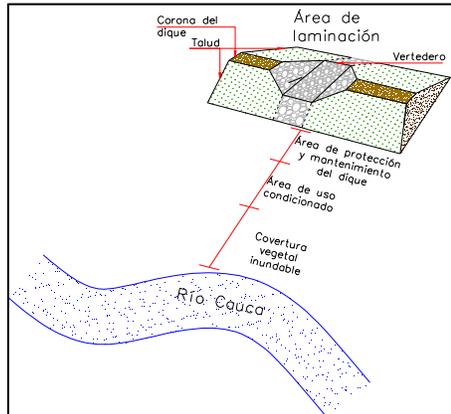
Disminución nivel: ++
 Volumen almacenado: 35 Mm³.
 Costo de la medida: \$17.000 M



ZONA 3

FICHA PRELIMINAR LAGUNA DE LAMINACIÓN LA DOLORES

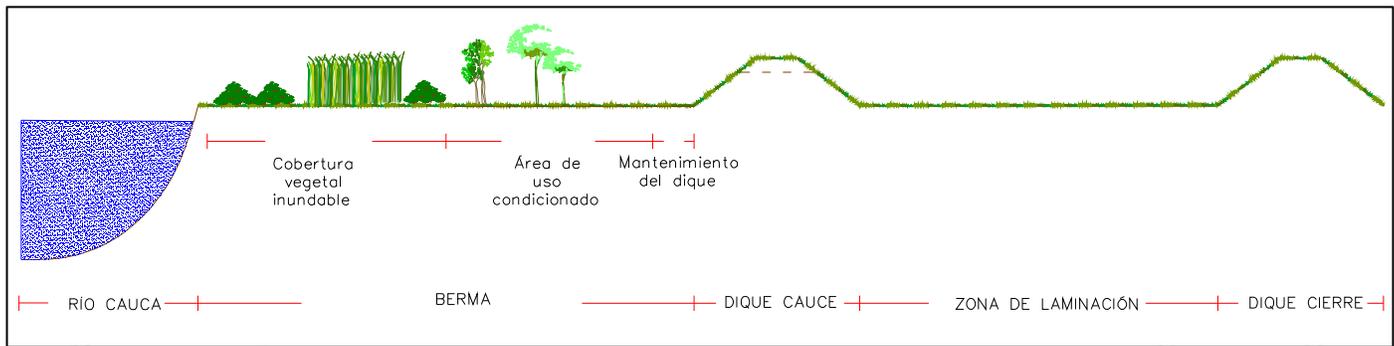
HLL2



El área de influencia de la ficha se encuentra en la zona 3 del Proyecto Corredor río Cauca, localizada en el extremo occidental de la zona rural del municipio de Palmira. Se halla delimitada por el corregimiento de la Dolores y la recta Cali – Palmira al sur, al este por el río Fraile – Guachal, al oeste por el río Cauca y el norte por la vereda Piles. En esta área predominan cultivos de caña, y se caracteriza por ser una zona topográficamente baja, lo que facilita su configuración como zona de laminación.

- 1290 ha de adecuación de tierras para drenaje.
- Dique de cierre de laguna de laminación, 17 km.
- Dique sobre el río Guachal: 6 km.
- Dique de cierre de laguna de laminación: 5 km.
- Estructura de entrada (dique fusible): 1
- Estructura de descarga con control de flujo: 1
- El dique sobre el río Cauca se presupuestó en la ficha HD6

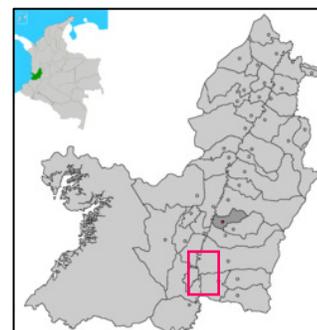
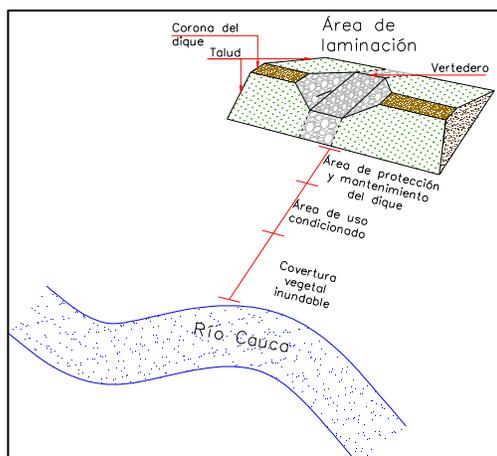
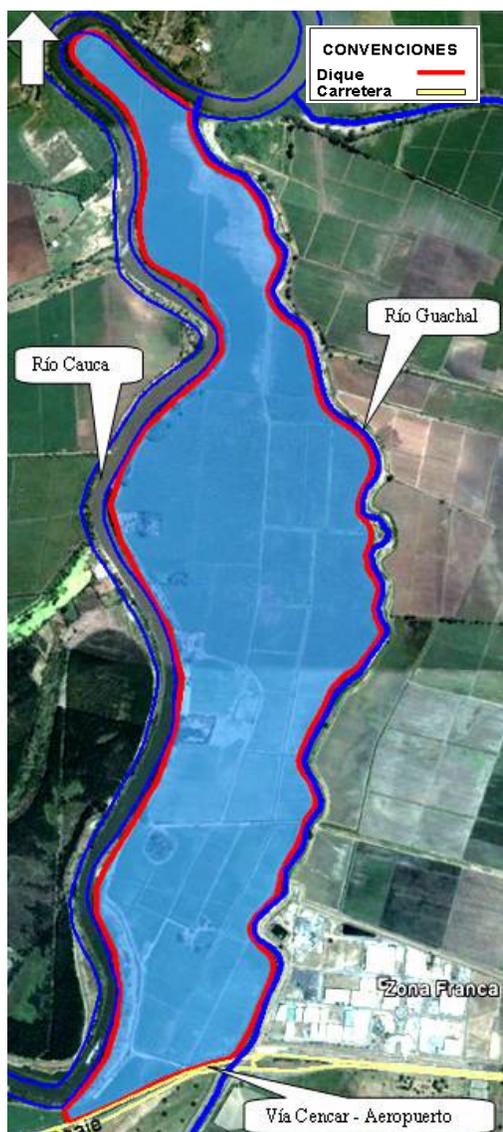
Disminución nivel: ++
 Volumen almacenado: 39 Mm³.
 Costo de la medida: \$8.000 M



ZONA 3

HLL3

FICHA PRELIMINAR LAGUNA DE LAMINACIÓN GUACHAL

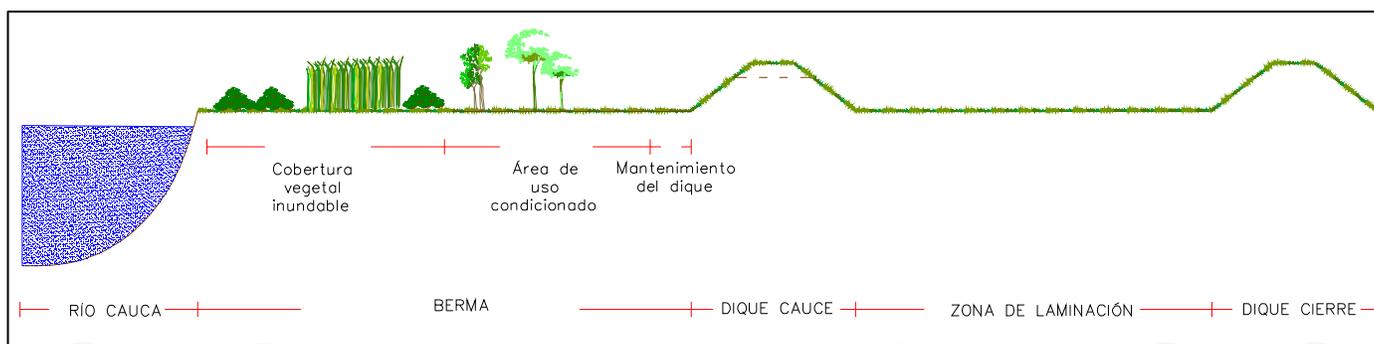


El área de influencia de la ficha se encuentra en la zona 3 del proyecto Corredor río Cauca, localizada el extremo occidental de la zona rural del municipio de Palmira, sobre la margen derecha del río Cauca. Se halla delimitada al sur por la carretera que lleva de la glorieta de Cencar al Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón, al norte y el oeste por el río Cauca y por el este, se encuentra el río Guachal y los predios de la Zona Franca del Pacífico.

- 258 ha de adecuación de tierras para drenaje.
- Dique de cierre de laguna de laminación: 17 km.
- Dique sobre el río Guachal: 5 km.
- Dique de cierre de laguna de laminación: 1 km.
- Estructura de entrada (dique fusible): 1
- Estructura de descarga con control de flujo: 1
- El dique sobre el río cauca se presupuestó en la ficha HD6



Disminución nivel: ++
Volumen almacenado: 9 Mm³
Costo de la medida: \$4.000 M

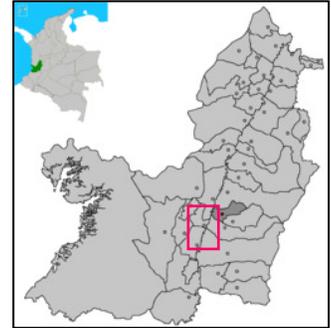


ZONA 3

FICHA PRELIMINAR LAGUNA DE LAMINACIÓN YUMBO

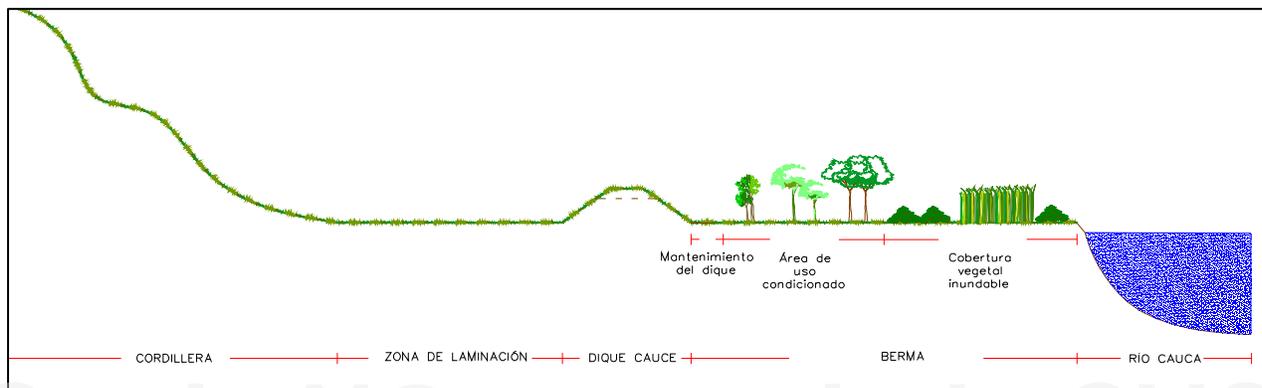
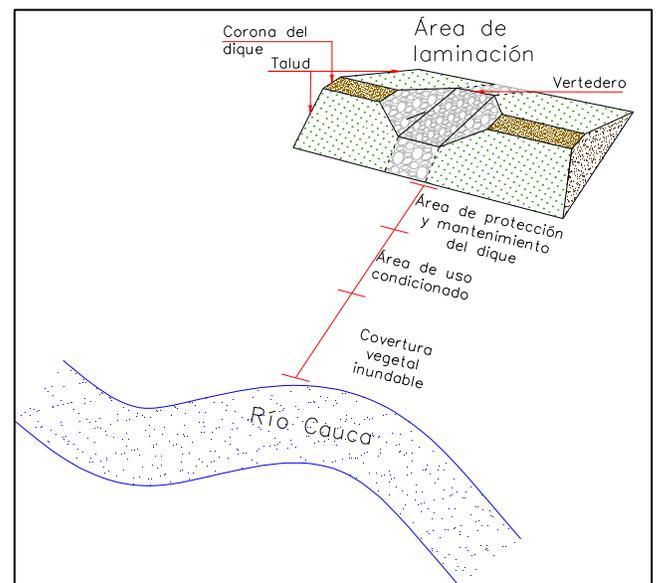
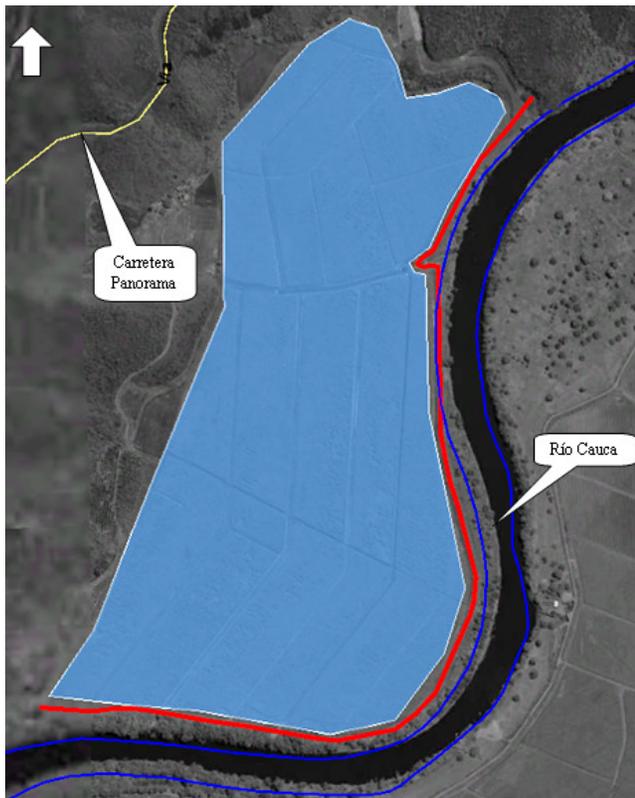
HLL4

El área de influencia de la ficha se encuentra en la zona 3 del proyecto Corredor río Cauca, localizada sobre la margen izquierda del río Cauca a una distancia intermedia entre el corregimiento de Mulalo y el municipio de Vijes, sobre pequeña planicie en el pie de monte de la cordillera occidental, donde se encuentran suelos de uso principalmente agrícolas y no se evidencia la presencia de asentamientos humanos



Disminución nivel: ++
Volumen almacenado: 2.9 Mm³.
Costo de la medida: \$700 M

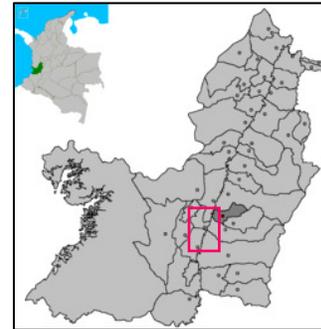
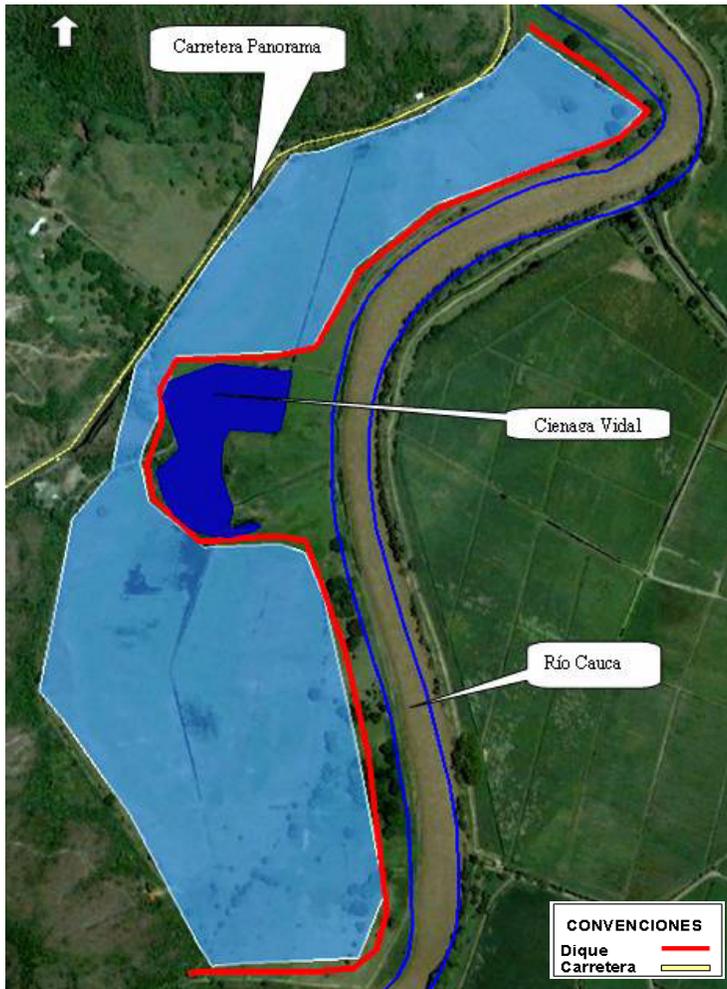
- 95 ha de adecuación de tierras para drenaje.
- Estructura de entrada (dique fusible): 1
- Estructura de descarga con control de flujo: 1
- El dique sobre el río Cauca se presupuestó en la ficha HD10



ZONA 3

HLL5

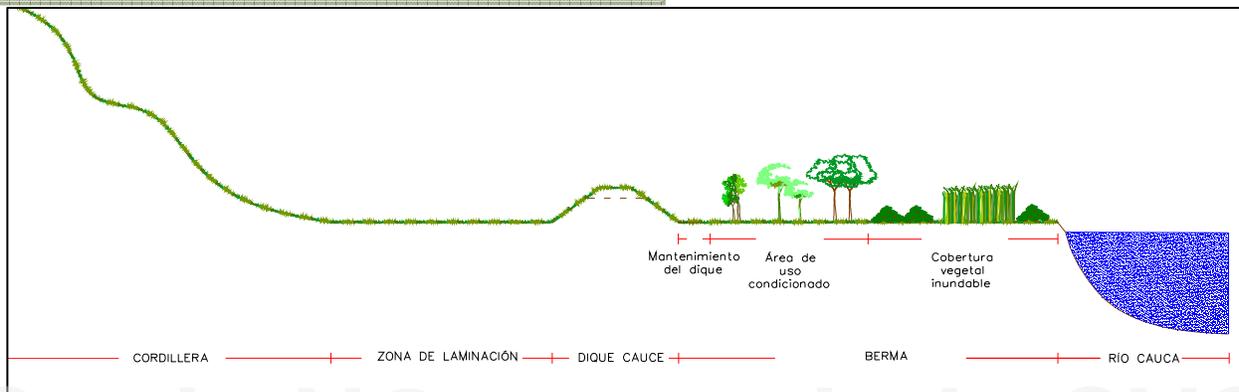
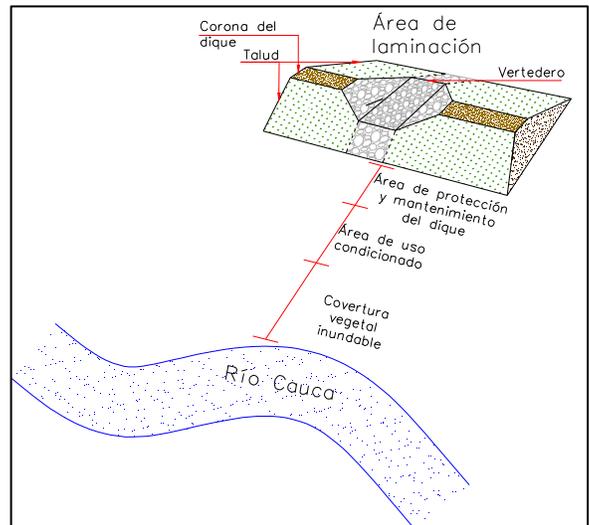
FICHA PRELIMINAR LAGUNA DE LAMINACIÓN VIDAL



El área de influencia de la ficha se encuentra en la zona 3 del proyecto Corredor río Cauca, localizada en zona rural del municipio de Vijes, cerca al centro poblado El Vidal, sobre la margen izquierda del río Cauca. Limita al occidente por la vía Panorama y la cordillera Occidental y al oriente por el río Cauca. Dentro del área planteada, se encuentra la Ciénaga Vidal.

- 87 ha de adecuación de tierras para drenaje.
- Estructura de entrada (dique fusible): 1
- Estructura de descarga con control de flujo: 1
- El dique sobre el río cauca se presupuestó en la ficha HD10

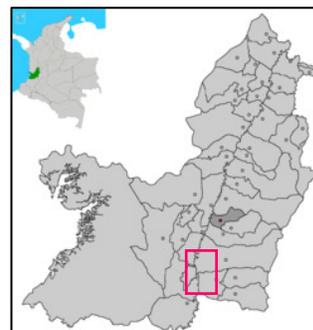
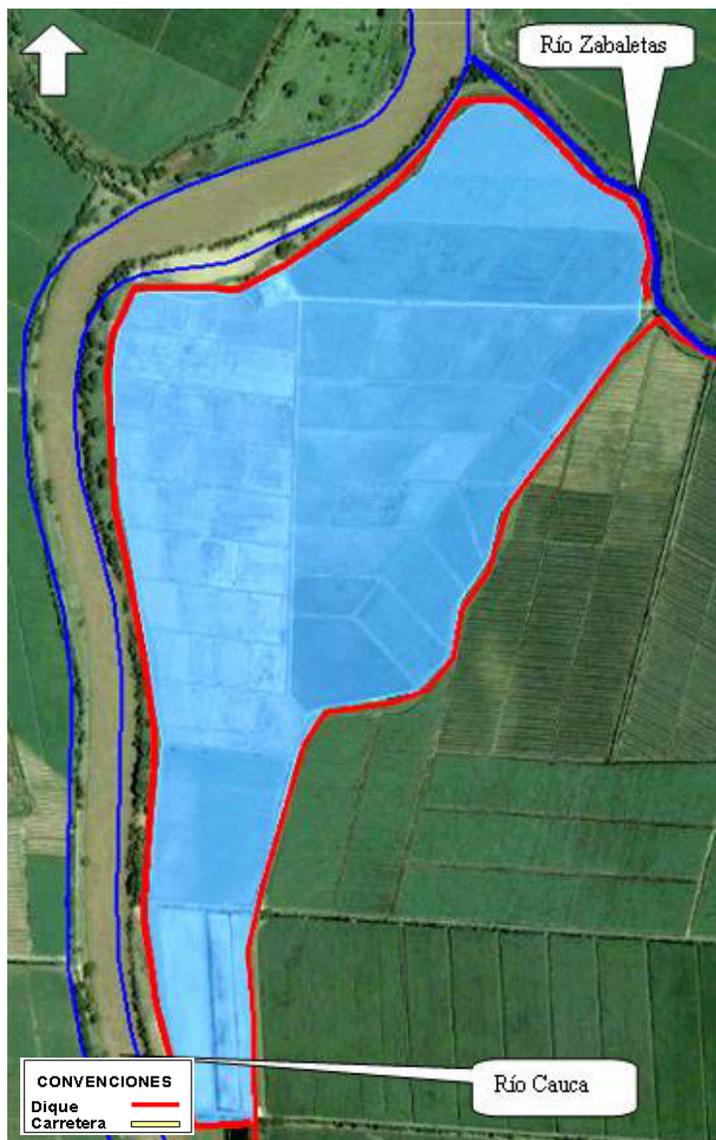
Disminución nivel: ++
 Volumen almacenado: 2.6 Mm³.
 Costo de la medida: \$700 M



ZONA 3

FICHA PRELIMINAR
LAGUNA DE LAMINACIÓN ZABALETAS

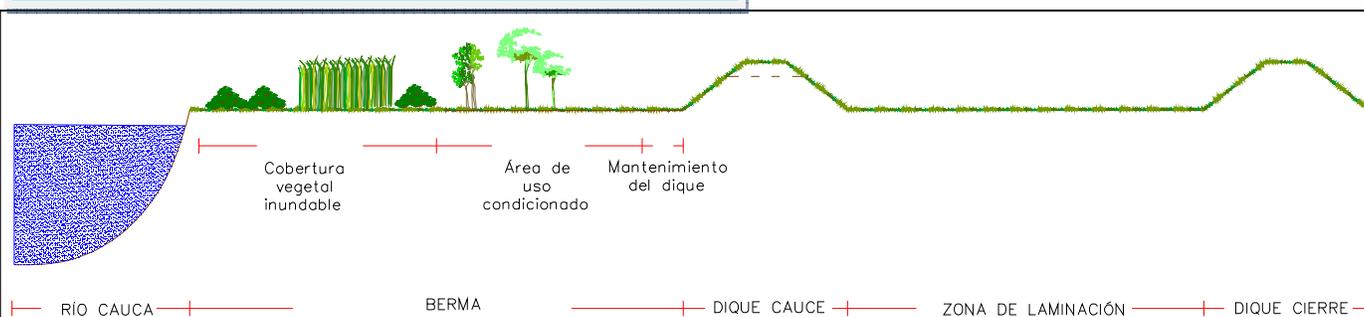
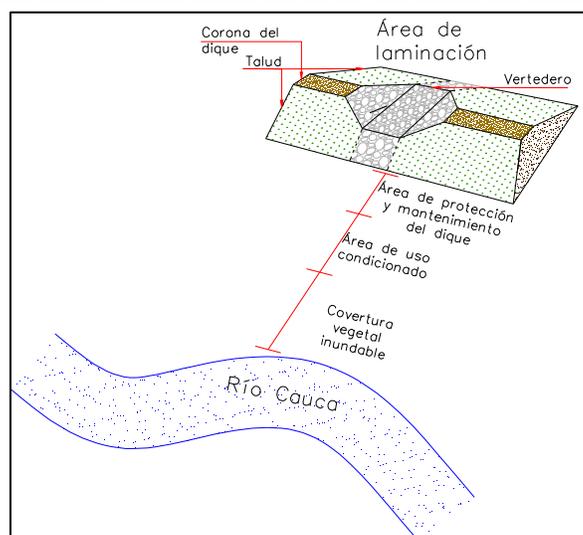
HLL6



El área de influencia de la ficha se encuentra en la zona 3 del proyecto Corredor río Cauca, localizada en la zona rural del municipio de El Cerrito, sobre la margen derecha del río Cauca limitando al occidente con este mismo, al oriente principalmente con zonas de cultivo y al nororienté con el río Sabaletas. Es un área donde predomina el cultivo de caña de azúcar.

Disminución nivel: ++
Volumen almacenado: 2.6 Mm³.
Costo de la medida: \$1.800 M

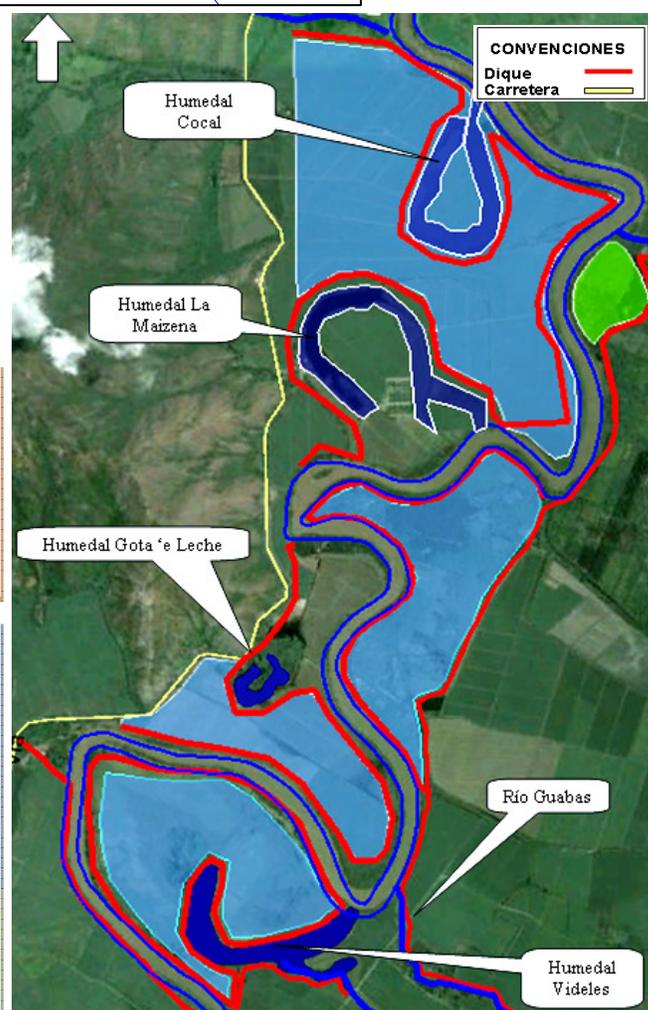
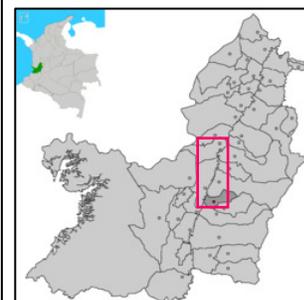
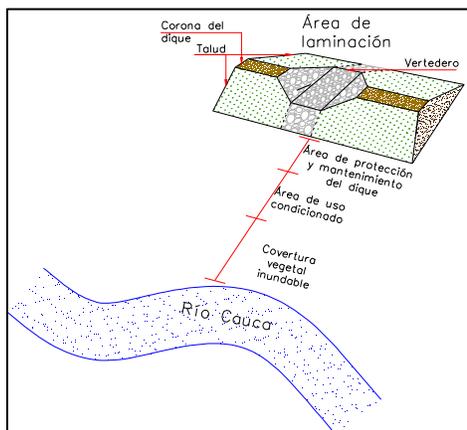
- 88 ha de adecuación de tierras para drenaje.
- Dique de cierre de laguna de laminación: 2 km.
- Dique sobre el río Zabaletas: 0.6 km.
- Estructura de entrada (dique fusible): 1
- Estructura de descarga con control de flujo: 1
- El dique sobre el río cauca se presupuestó en la ficha HD10



ZONAS 3-5

FICHA PRELIMINAR
LAGUNA DE LAMINACIÓN VIDELES - COCAL

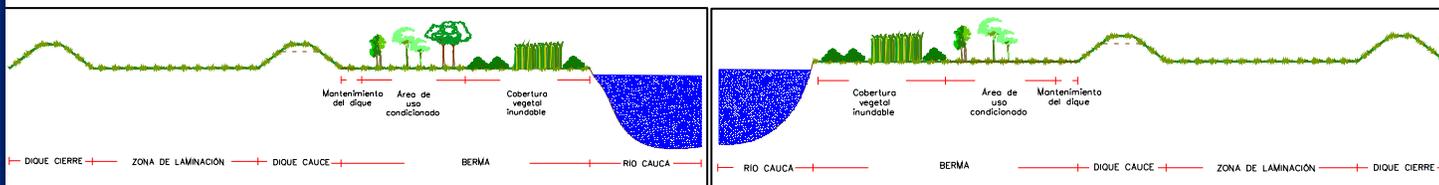
HLL7



El área de influencia de la ficha se encuentra en las Zonas 3 y 5 del Proyecto Corredor río Cauca, localizada en un sector de gran sinuosidad hacia el centro del departamento del Valle, en jurisdicción de los municipios de Guacarí, Riofrío y Yotoco, dentro del cual se encuentran una serie de humedales como son Videles, Gota 'e Leche, entre otros.

- 540 ha de adecuación de tierras para drenaje
- Dique de cierre de laguna de laminación: 10 km.
- Estructura de descarga con control de flujo: 4
- Estructura de entrada (dique fusible): 4
- Integración de Humedales: 4
- El dique sobre el río cauca se presupuestó en las fichas HD8, HD11 y HD14.

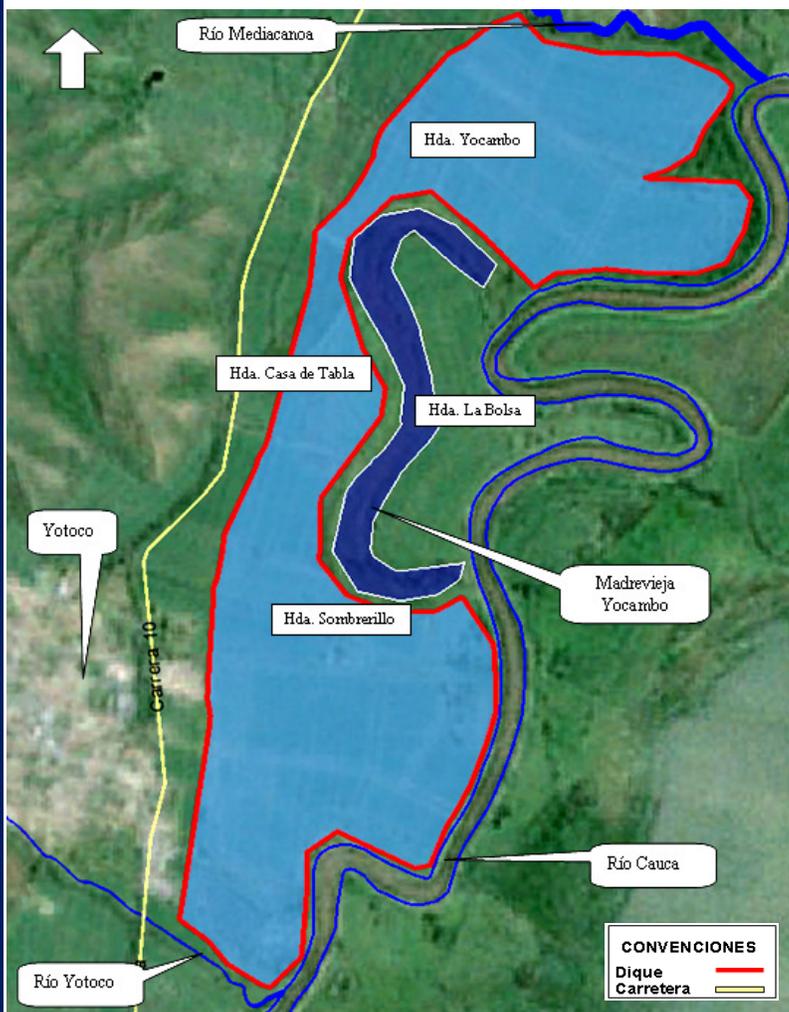
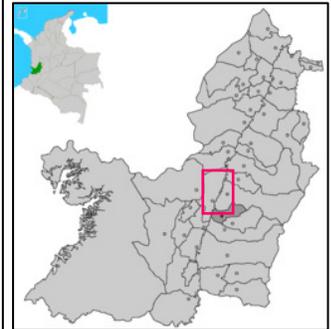
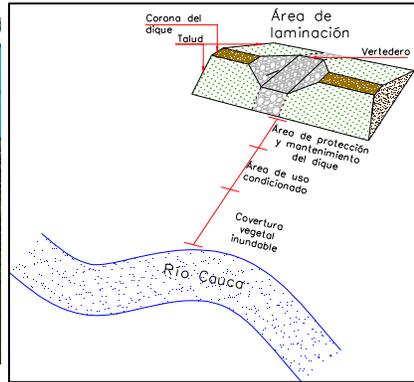
- Disminución nivel: ++
- Volumen almacenado: 16 Mm³.
- Costo de la medida: \$7.500 M.



ZONA 5

HLL8

FICHA PRELIMINAR
LAGUNA DE LAMINACIÓN YOCAMBO

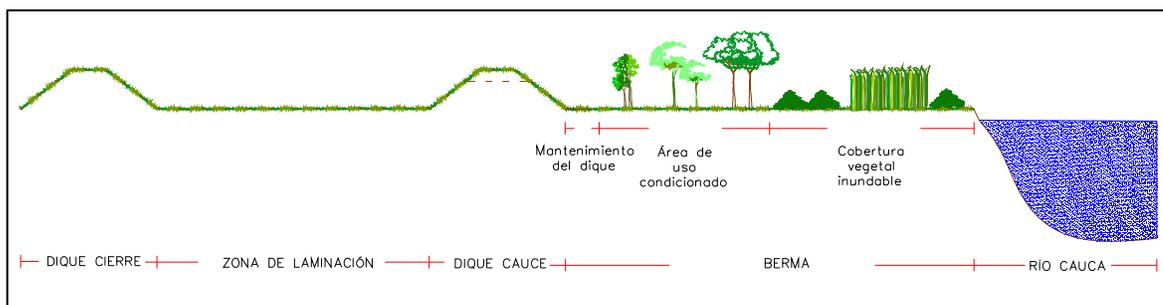


El área de influencia de la ficha se encuentra en la Zona 5 del Proyecto Corredor río Cauca, sobre la margen izquierda del río Cauca, justo enfrente de la laguna de Sonso.

La laguna de laminación Yocambo se encuentra localizada, al este del municipio de Yotoco, entre los ríos Yotoco y Mediacanoa, en el área circundante del humedal Yocambo. Limita al occidente con la vía Panorama y el pie de monte de la cordillera Occidental, al oriente con el río Cauca, al sur con el río Yotoco y al norte con el río Mediacanoa.

- 422 ha de adecuación de tierras para drenaje.
- Dique de cierre de laguna de laminación: 5 km.
- Estructura de entrada (dique fusible): 1
- Estructura de descarga con control de flujo: 1
- El dique sobre el río cauca se presupuestó en la ficha HD14

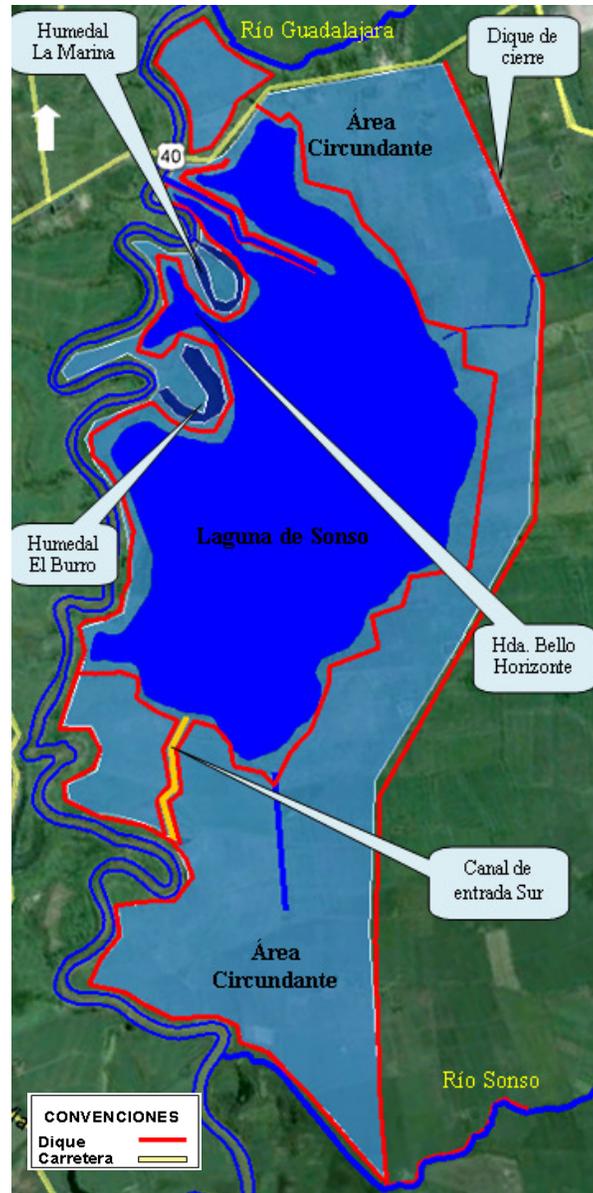
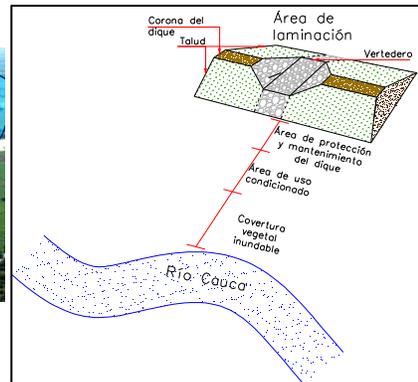
Disminución nivel: ++
Volumen almacenado: 13 Mm³.
Costo de la medida: \$4.000 M



ZONA 4

FICHA PRELIMINAR LAGUNA DE LAMINACIÓN SONSO

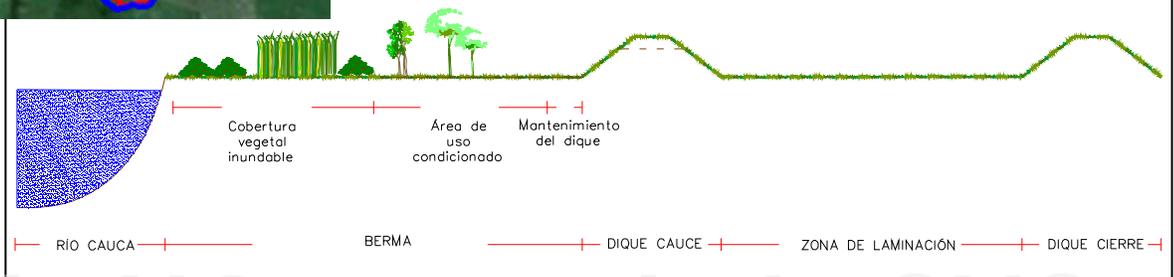
HLL9



La laguna de Sonso o del Chircal que se encuentra en la zona 4 del proyecto Corredor río Cauca, se ubica en la zona central del departamento del Valle del Cauca, entre los municipios de Buga y Guacarí, sobre la margen derecha del río Cauca. Está limitada al sur por el río Sonso, al norte por el río Guadaluja, al occidente por el río Cauca y al oriente por zonas de cultivos y las faldas de la cordillera Central. En este sector se encuentran identificados 3 caseríos (Pto. Bertin, La Palomera y Porvenir) que deben tenerse en cuenta dentro de las intervenciones para reducir el impacto ocasionado por las inundaciones.

- 2150 ha de adecuación de tierras para drenaje.
- Recuperación de pases bajo la vía Buga – Mediacanoa (Antiguo caño Carlina).
- Estructura de entrada (dique fusible).
- Canal de entrada al sur de Laguna de Sonso (no incluye servidumbre): 1.5 km.
- Estructura de control de flujo de entrada a Laguna de Sonso (los costos no incluyen los desarenadores).
- Dique de cierre de laguna de laminación: 14 km.
- Diques Laguna de Sonso: 12 km.
- Integración de Humedales: 2 (El Burro y La Marina)
- Dragado de la Laguna de Sonso: 5 Hm³
- El dique sobre el río cauca se presupuestó en la ficha HD11

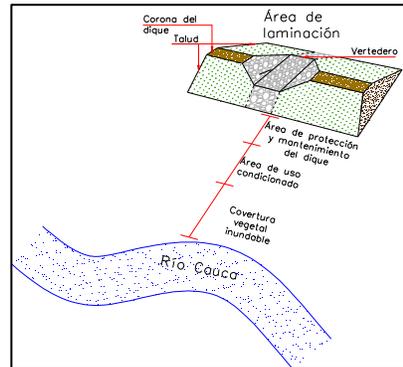
Disminución nivel: ++++
 Volumen almacenado: 104 Mm³.
 Costo de la medida: \$74.000 M



ZONAS 4-5

HLL10

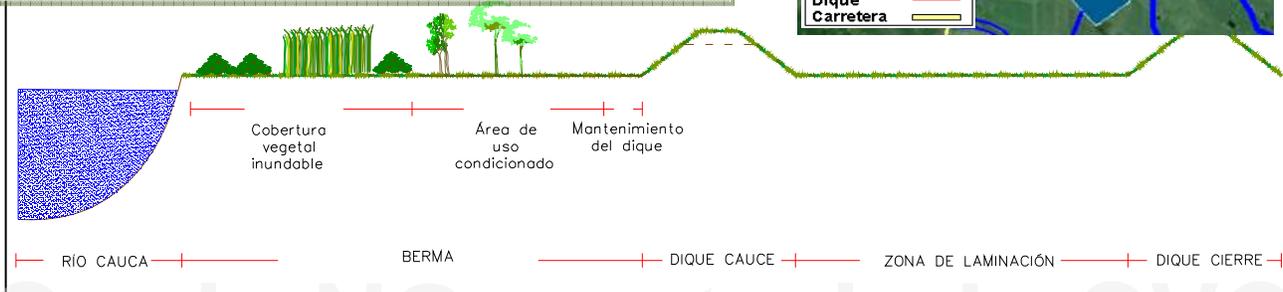
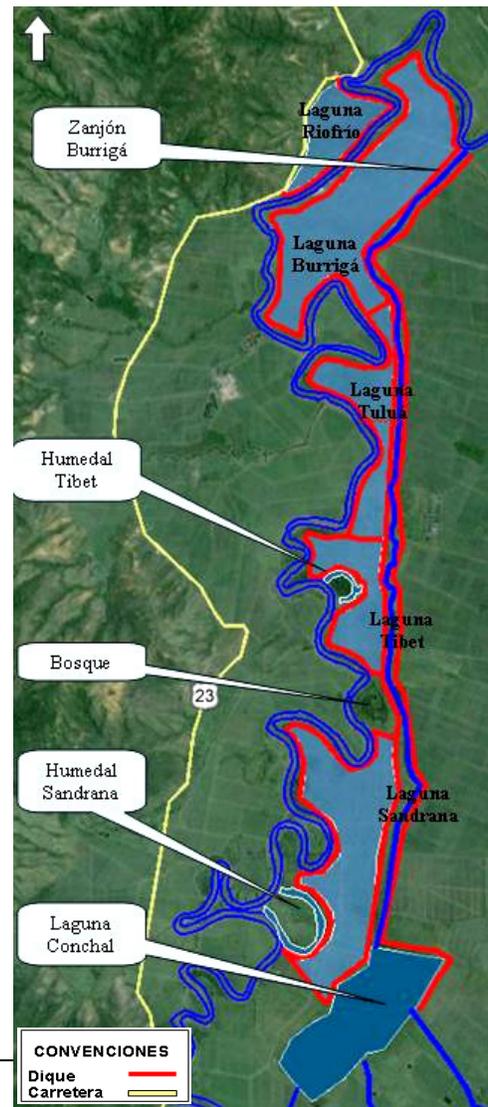
FICHA PRELIMINAR LAGUNA DE LAMINACIÓN BURRIGÁ



El área de influencia de la ficha se encuentra en las Zonas 4 y 5 del Proyecto Corredor río Cauca, entre la margen derecha del río Cauca y la margen izquierda del zanjón Burrigá, comprendiendo los municipios de Buga, San Pedro y Tuluá

- 1645 ha de adecuación de tierras para drenaje
- Dique sobre la margen izquierda del zanjón Burrigá: 13 km.
- Dique de cierre de laguna de laminación: 3 km.
- Estructura de descarga con control de flujo: 4
- Estructura de entrada (dique fusible): 4
- Integración de Humedales: 2
- El dique sobre el río Cauca se presupuestó en las fichas HD11 y HD17.

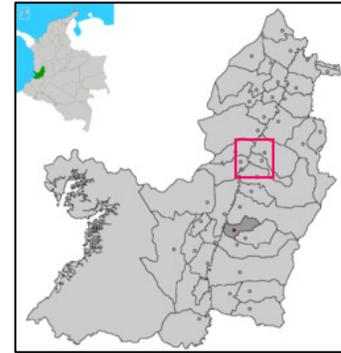
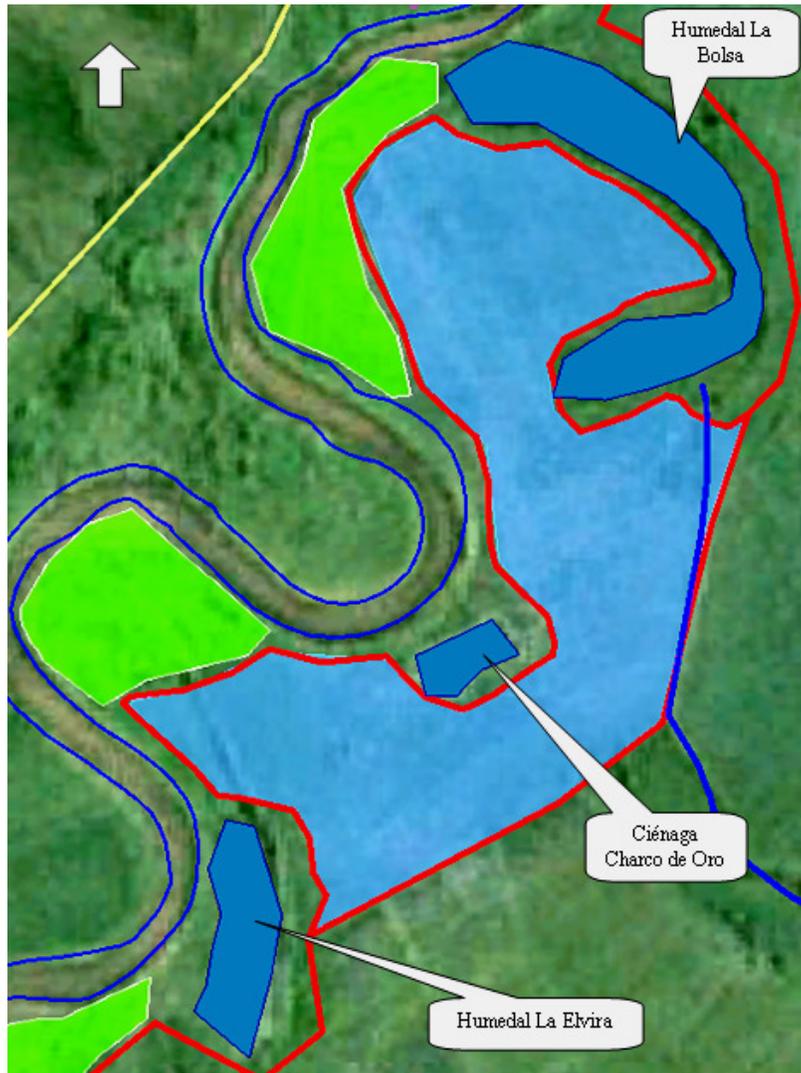
- Disminución nivel: ++
- Volumen almacenado: 50 Mm³.
- Costo de la medida: \$13.000 M



ZONA 4

HLL11

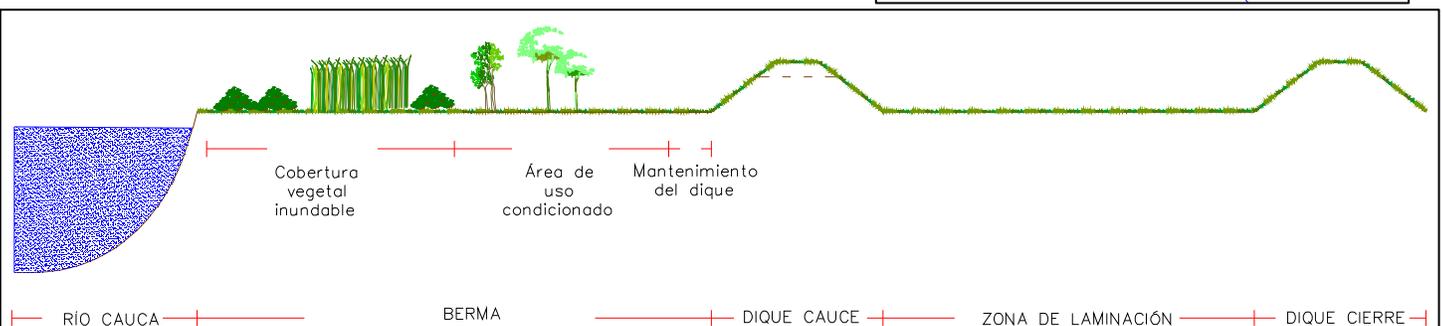
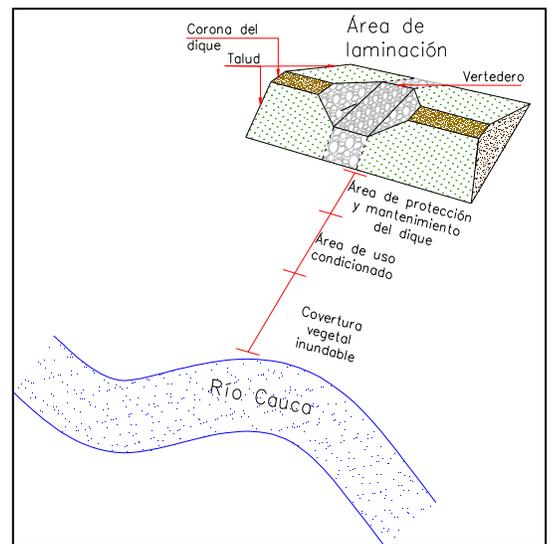
FICHA PRELIMINAR LAGUNA DE LAMINACIÓN CHARCO DE ORO



El área de influencia de la ficha se encuentra en la zona 4 del Proyecto Corredor río Cauca, en la zona rural del municipio de Andalucía; esta laguna de laminación se localiza sobre la margen derecha del río Cauca a la altura de los humedales la Elvira y la Bolsa y la ciénaga Charco de Oro.

Disminución nivel: ++
Volumen almacenado: 5.5 Mm³.
Costo de la medida: \$2.000M

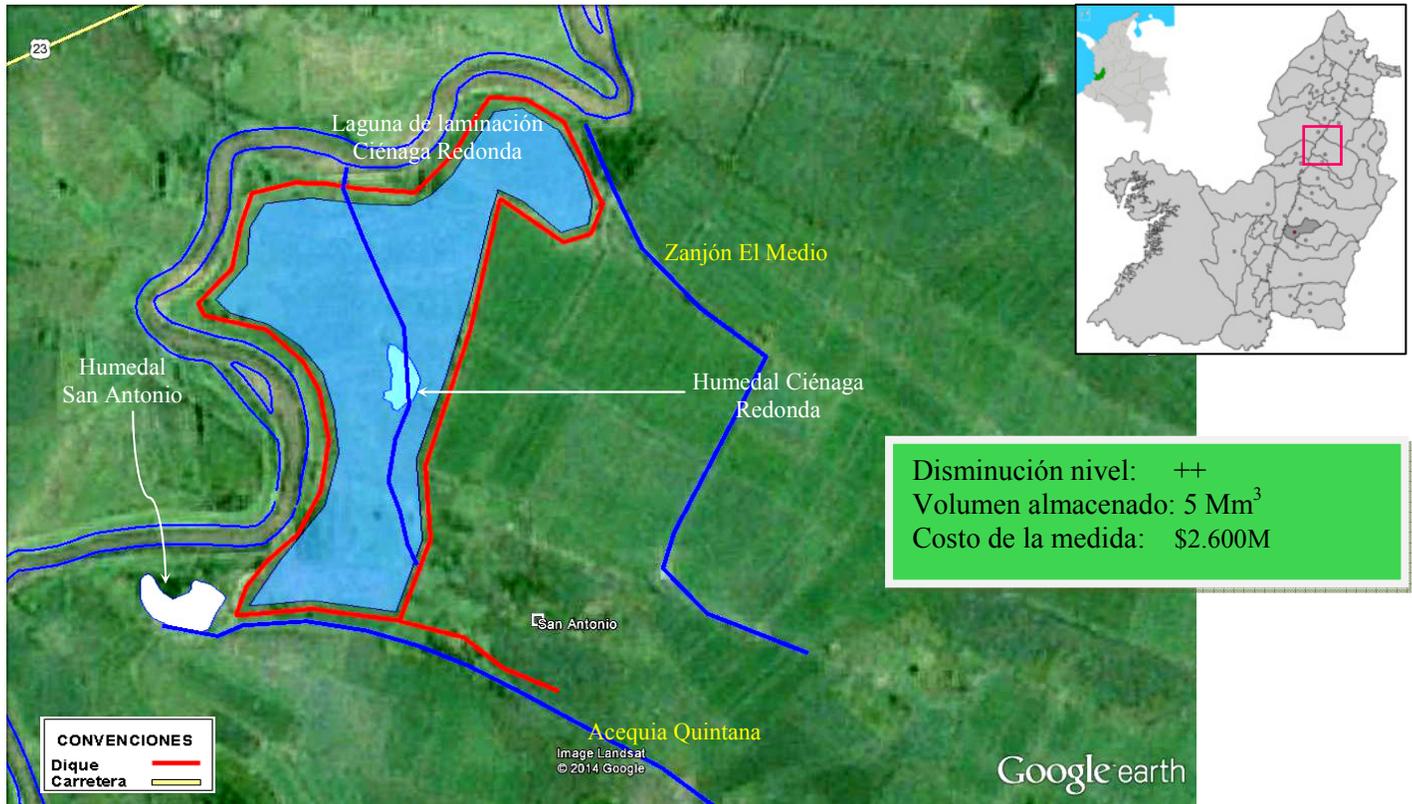
- 182 ha de adecuación de tierras para drenaje.
- Estructura de entrada (dique fusible): 1
- Estructura de descarga con control de flujo de: 1
- Dique sobre la margen derecha de la acequia Chorro: 1 km.
- Dique de cierre de laguna de laminación: 1.5 km.
- El dique sobre el río Cauca se presupuestó en la ficha HD13.



ZONA 6

FICHA PRELIMINAR LAGUNA DE LAMINACIÓN SAN ANTONIO

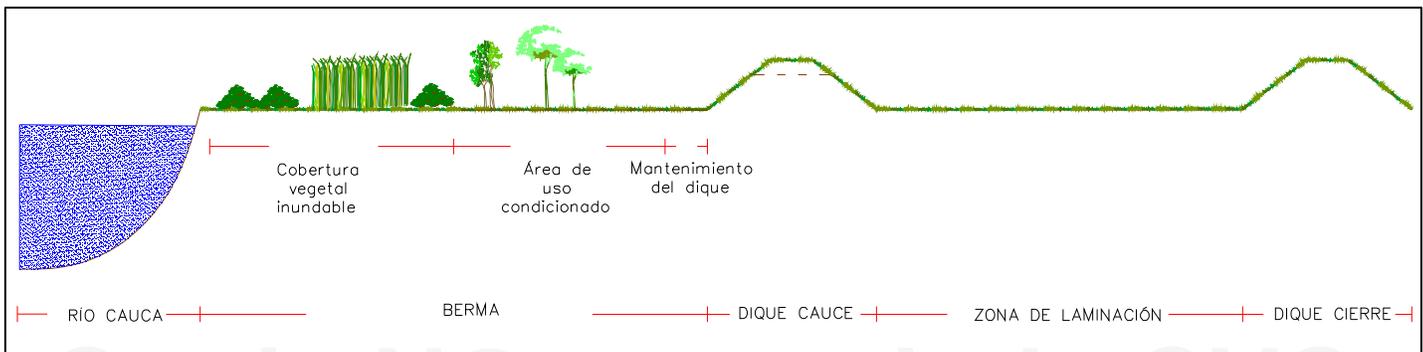
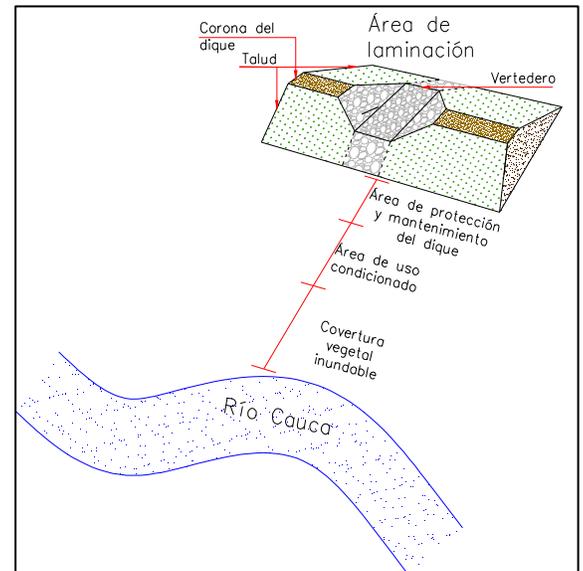
HLL12



Disminución nivel: ++
Volumen almacenado: 5 Mm³
Costo de la medida: \$2.600M

El área que se va a intervenir se ubica sobre la zona 6 del proyecto, en la zona rural del municipio de Bugalagrande; esta laguna de laminación se localiza sobre la margen derecha del río Cauca a la altura del humedal San Antonio y la Madre Vieja Ciénaga Redonda.

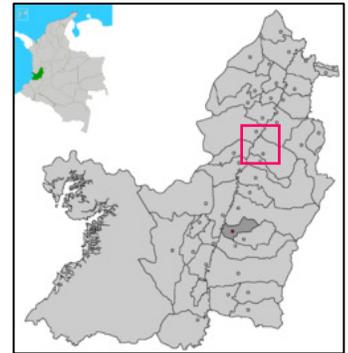
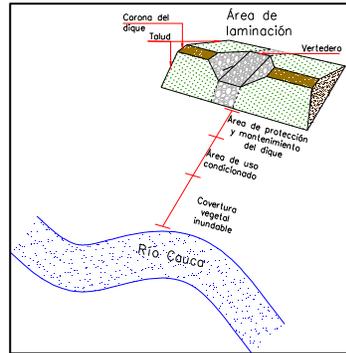
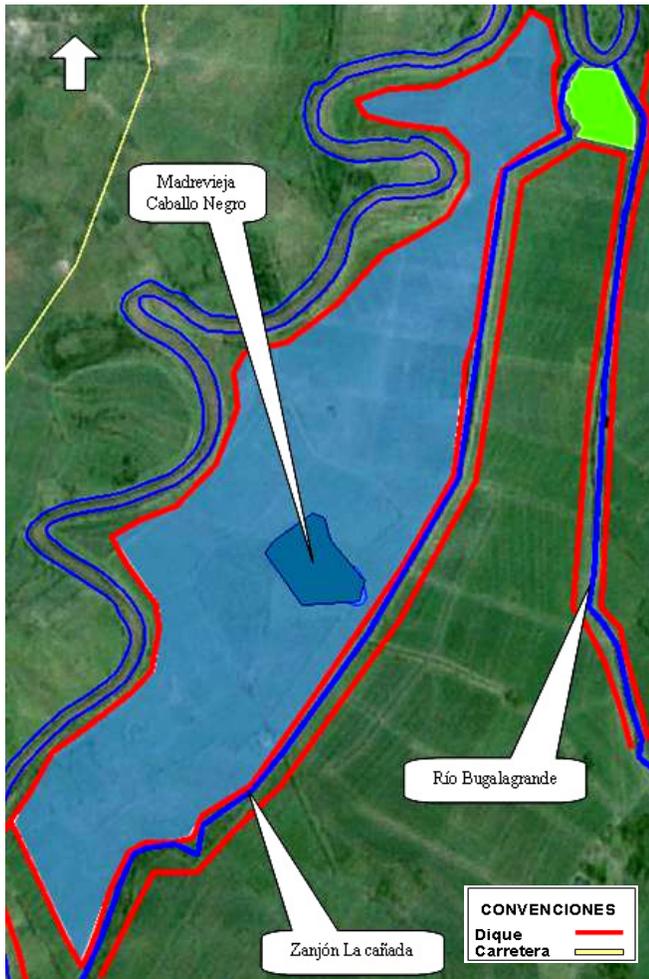
- 170 ha. de adecuación de tierras para drenaje.
- Estructura de entrada (dique fusible): 1
- Estructura de descarga con control de flujo de: 1
- Dique sobre la margen derecha de la acequia Quintana: 1 km.
- Dique de cierre de laguna de laminación: 3 km.
- El dique sobre el río Cauca se presupuestó en la ficha HD21.



ZONA 6

HLL13

FICHA PRELIMINAR LAGUNA DE LAMINACIÓN LA CAÑADA

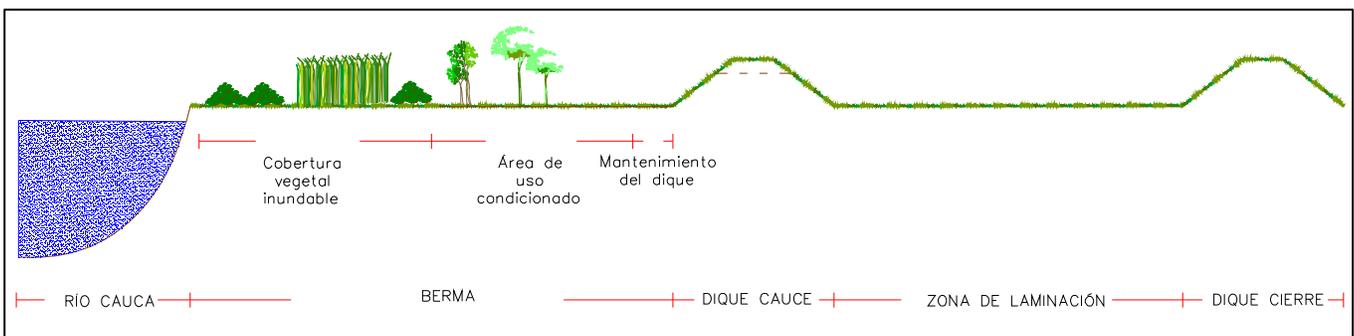


El área que se va a intervenir se ubica sobre la zona 6 del proyecto, en la zona rural del municipio de Bugalagrande; esta laguna de laminación se localiza entre la margen derecha del río Cauca y el zanjón La Cañada.

- 682 ha. de adecuación de tierras para drenaje.
- Estructura de entrada (dique fusible): 1
- Estructura de descarga con control de flujo de: 1
- Dique sobre la margen derecha de la acequia Quintana: 6 km.
- Dique de cierre de laguna de laminación: 1 km.
- El dique sobre el río Cauca se presupuestó en la ficha HD21.



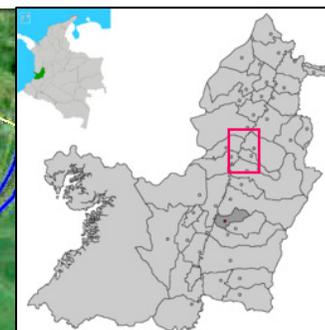
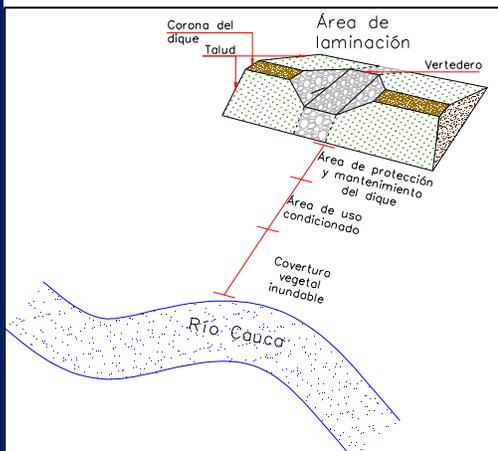
Disminución nivel: ++
Volumen almacenado: 20 Mm³
Costo de la medida: \$5.000 M



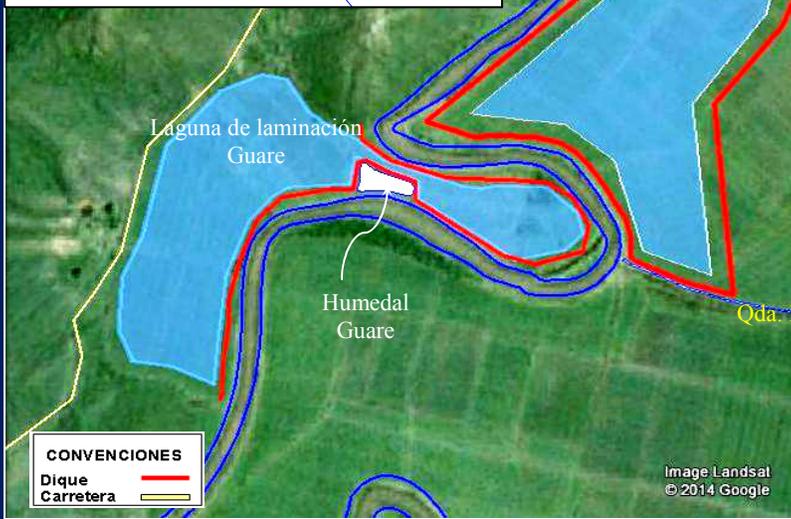
ZONA 6

FICHA PRELIMINAR LAGUNA DE LAMINACIÓN GUARE - ZARZAL

HLL14



Esta intervención se compone de dos lagunas de laminación contiguas, una sobre cada margen del río Cauca. La laguna de laminación denominada Guare se plantea en terrenos de la ciénaga Guare, sobre la margen izquierda del río Cauca. Por otra parte, sobre la margen derecha del río Cauca, entre y la Qda. Las Cañas y el zanjón de la hda. Corozal, paralelo al río Cauca, se plantea la otra laguna de laminación.

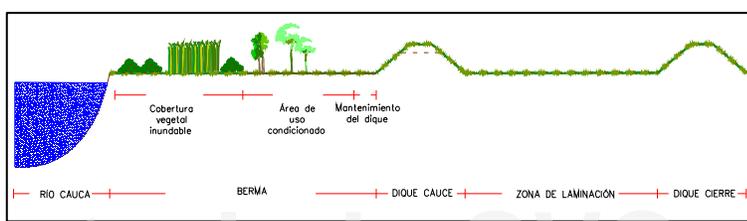
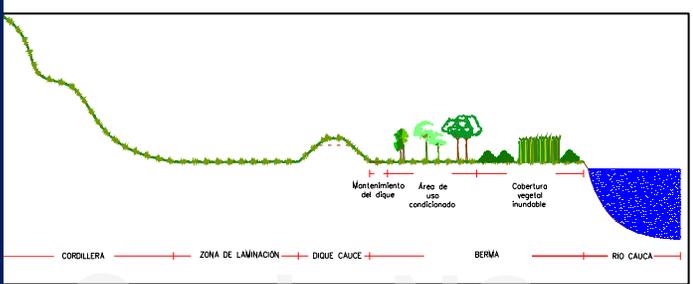


CONVENCIONES
Dique ————
Carretera ————

Image Landsat © 2014 Google

- 610 ha. de adecuación de tierras para drenaje.
- Dique sobre tributario (Qda. Las cañas): 1km.
- Dique de cierre de laguna de laminación: 7 km.
- Estructura de entrada (dique fusible): 1
- Estructura de descarga con control de flujo: 1
- El dique sobre el río cauca se presupuestó en la ficha HD22.

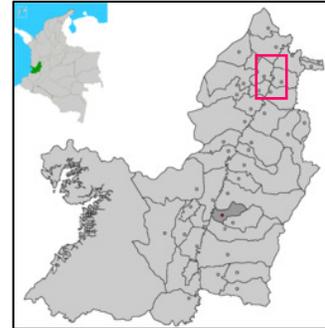
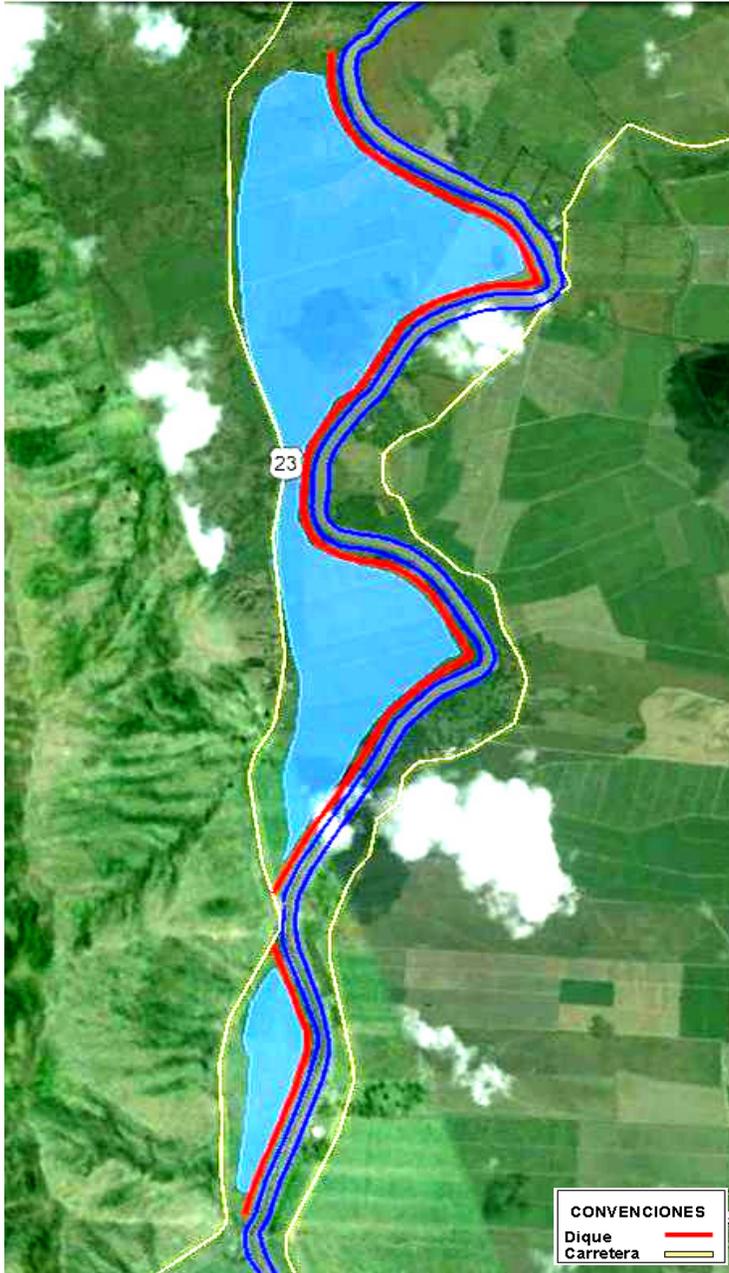
Disminución nivel: ++
Volumen almacenado: 18Mm³.
Costo de la medida: \$6.000 M



ZONA 7

HLL15

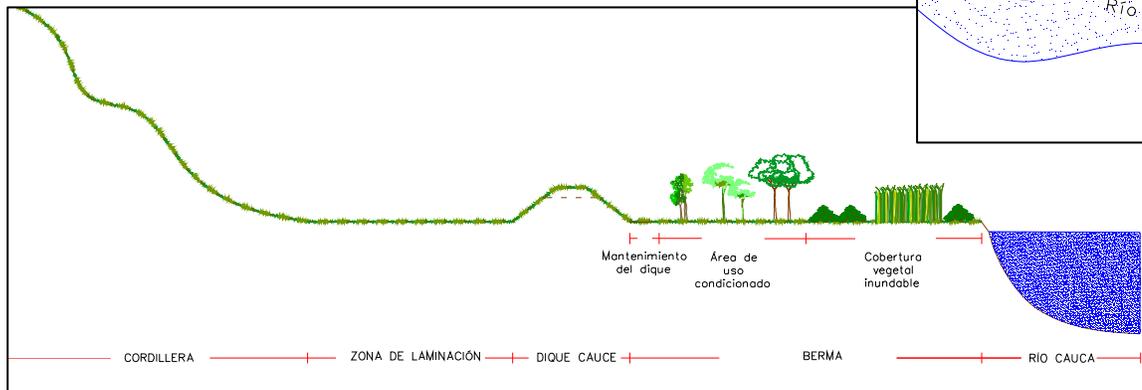
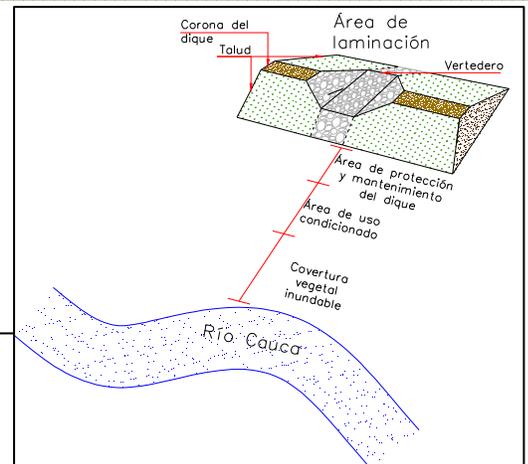
FICHA PRELIMINAR LAGUNA DE LAMINACIÓN ANSERMANUEVO



Esta laguna de laminación, se encuentra localizada sobre la margen izquierda del río Cauca a una distancia sobre pequeña planicie en el pie de monte de la cordillera occidental, donde se encuentran suelos de uso principalmente agrícolas y no se evidencia la presencia de asentamientos humanos

- 386 ha. de adecuación de tierras para drenaje.
- Estructura de entrada (dique fusible): 1
- Estructura de descarga con control de flujo: 1
- El dique sobre el río cauca se presupuestó en la ficha HD22.

Disminución nivel: ++
 Volumen almacenado: 12 Mm³.
 Costo de la medida: \$1.000 M



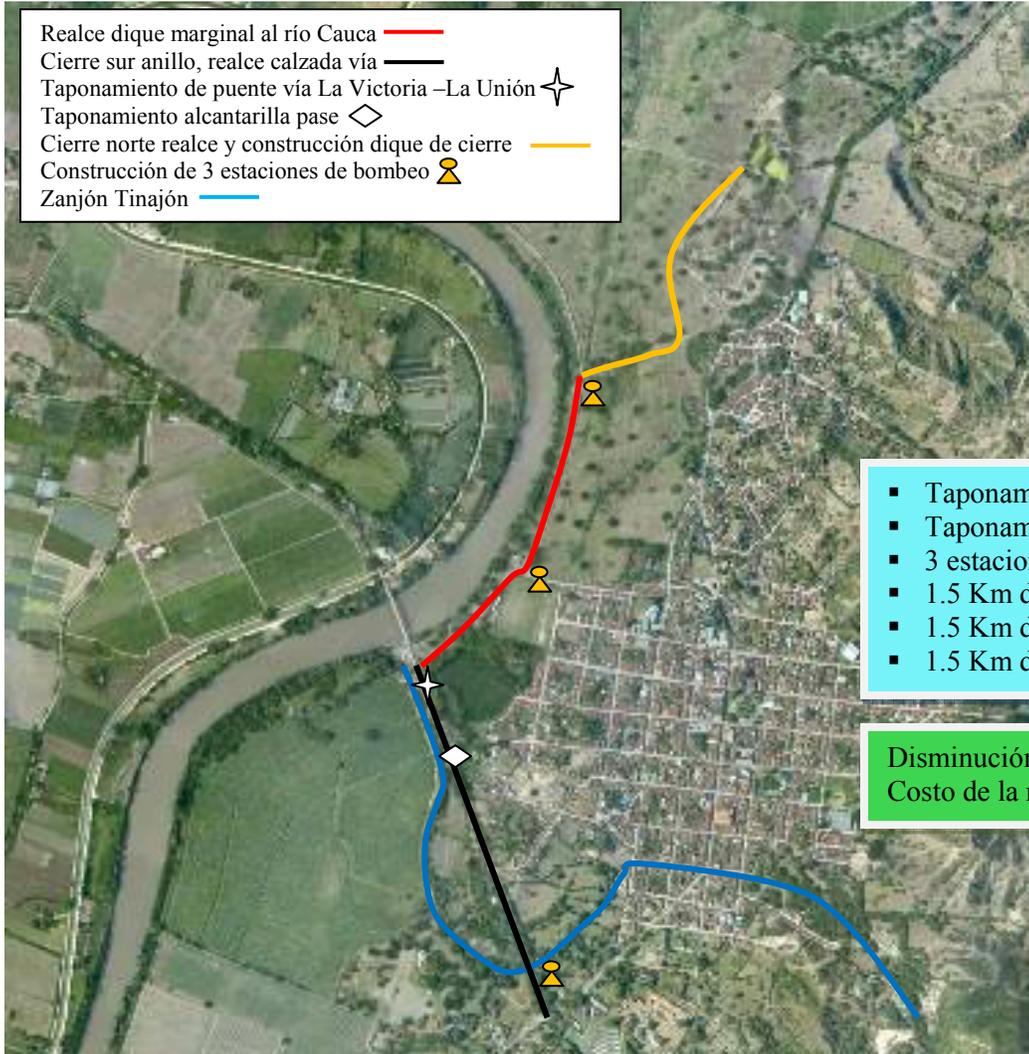
FICHAS EJECUTIVAS DE ANILLOS URBANOS

ZONA 6

HA1

FICHA PRELIMINAR ANILLO LA VICTORIA

- Realce dique marginal al río Cauca —
- Cierre sur anillo, realce calzada vía —
- Taponamiento de puente vía La Victoria –La Unión ✦
- Taponamiento alcantarilla pase ◇
- Cierre norte realce y construcción dique de cierre —
- Construcción de 3 estaciones de bombeo ⚡
- Zanjón Tinajón —



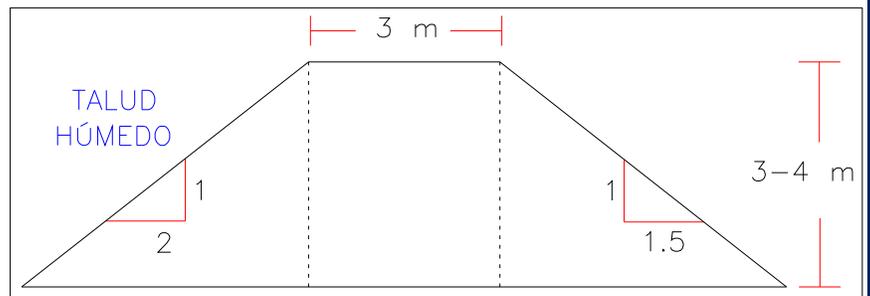
- Taponamiento alcantarilla
- Taponamiento puente
- 3 estaciones de bombeo
- 1.5 Km de dique marginal río Cauca
- 1.5 Km de dique cierre norte
- 1.5 Km de dique cierre sur

Disminución nivel:
Costo de la medida: \$3.000 M

El área de la ficha corresponde al casco urbano del municipio de La Victoria, delimitada al oriente por el río Cauca y su dique de protección marginal, al sur por el zanjón Tinajón y la vía que conduce desde La Victoria a La Unión, al occidente por área montañosa y al norte por una canal de drenaje perpendicular al río Cauca, ubicado en la Hda. La Margarita y un dique contiguo sobre la margen derecha del canal que busca su cierre sobre la montaña cerca de unos reservorios de la misma hacienda, definiendo un área de expansión urbana conforme a lo dispuesto por el POT del municipio. Hace parte de la zona 6 del Proyecto Corredor del Río Cauca.



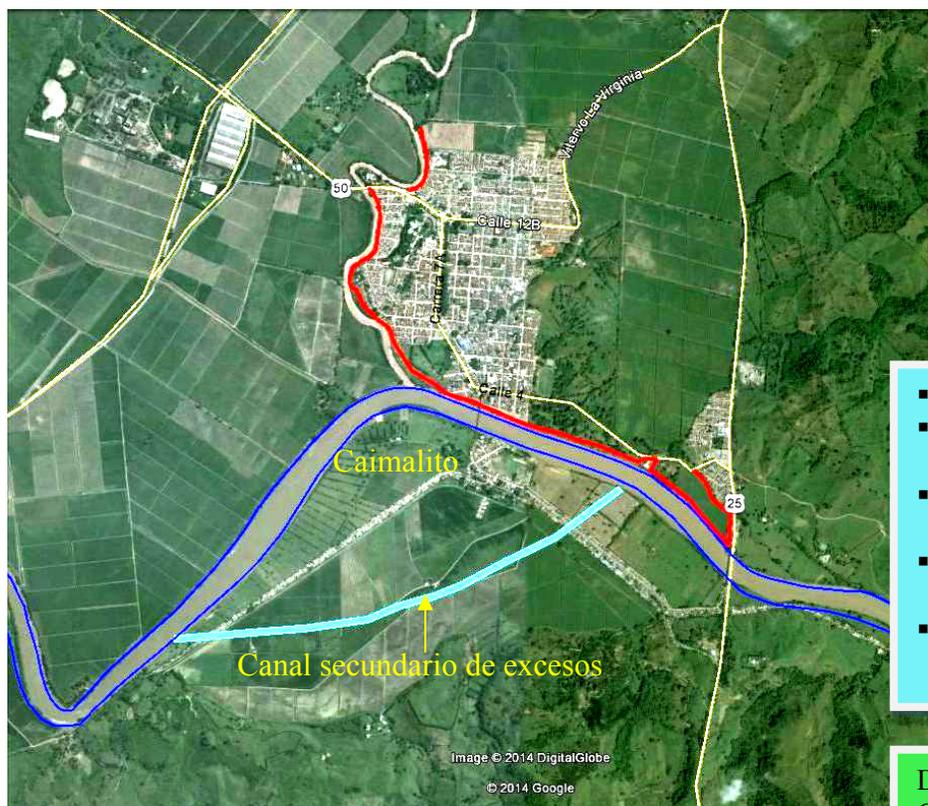
Sección de puente a taponar ✦



ZONA 7

HA2-A

FICHA PRELIMINAR ANILLO LA VIRGINIA



- 3 Km Canal secundario de excesos
- Estructuras de control de flujo entrada y salida
- Reubicación de viviendas
- Corregimiento Caimalito
- 2 Estructuras de paso de la vía férrea
- 1 Estructuras de paso sobre la vía vehicular

Disminución nivel:
Costo de la medida: \$10.000 M

El área de la ficha corresponde al casco urbano del municipio de La Virginia, el cual fue realizado por la CARDER y el Fondo de Adaptación. Sin embargo, se puede mejorar el grado de protección con medidas complementarias como un canal secundario de excesos del río Cauca, sobre la margen derecha directamente en frente de La Virginia.

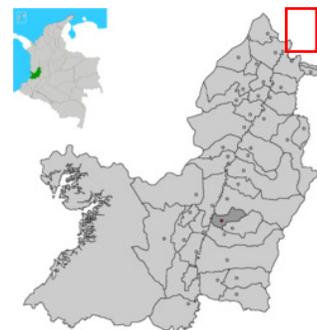
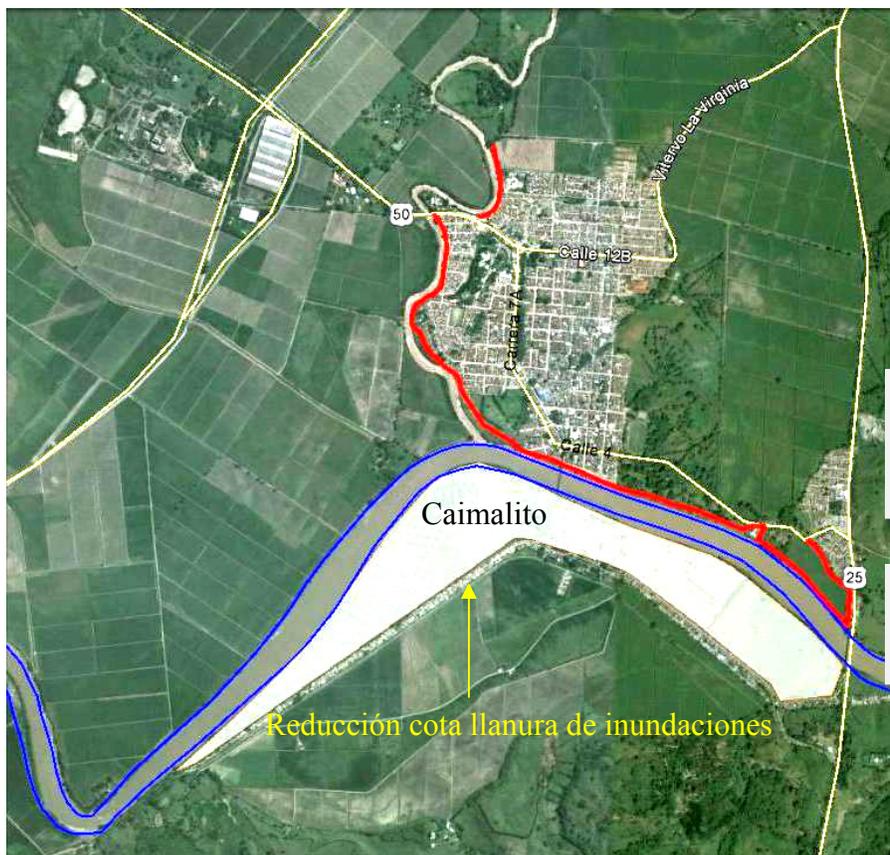
El canal de aproximadamente 3 Km estaría ubicado en el corregimiento de Caimalito – Pereira y requeriría de estructuras de control de flujo y de paso para la vía férrea y vehicular.



ZONA 7

HA2-B

FICHA PRELIMINAR ANILLO LA VIRGINIA



- Reubicación de viviendas
- Corregimiento Caimalito
- Readecuación de puente río Cauca

Disminución nivel:
Costo de la medida: \$17.700 M

El área de la ficha corresponde al casco urbano del municipio de La Virginia, el cual fue realizado por la CARDER y el Fondo de Adaptación. Sin embargo, se puede mejorar el grado de protección con medidas complementarias reducción de la cota de llanura de inundación, sobre la margen derecha directamente en frente de La Virginia.

La franja entre el río Cauca y la vía férrea se disminuye la cota de terreno natural con el propósito de aumento de la sección de flujo.



FICHAS EJECUTIVAS DE EMBALSES EN TRIBUTARIOS

TODAS

FICHA

Proyectos de Embalses de Regulación CVC

HE1

OBJETO DE LOS ESTUDIOS: Analizar, a través de diferentes fases de estudio, la viabilidad de regular fuentes de agua superficial mediante la construcción de embalses en cuatro sectores del departamento del Valle del Cauca, con el propósito de suplir sus requerimientos hídricos actuales y futuros.

DESCRIPCIÓN DE LOS SECTORES

Municipio	CUENCAS	EXTENSION (Ha) de la cuenca en el municipio
MUNICIPIOS SECTOR 01		
Candelaria	Desbaratado-Guachal	29.7
Florida	Guachal	40.3
Palmira	Amaime-Guachal	102
Pradera	Amaime-Guachal	36.1
Total		208.1
MUNICIPIOS SECTOR 02		
Andalucía	Bugalagrande-Morales	18.9
Buga	Guadalajara-Q. Chambimbal	17
San Pedro	San Pedro -Chambimbal	12.552
Bugalagrande	Bugalagrande-La Paila	37.4
Tuluá	B/grande-Tuluá-Morales	71.7
Total		158.252
MUNICIPIOS SECTOR 03		
Cartago	Qda. Obando-La Vieja	24.9
La Victoria	Qda. Los Micos-La Vieja	26.6
Obando	Qda. Obando-Qda. Los Micos	17.9
Zarzal	Qda. Los Micos-B/grande-La Paila	18.7
Total		88.1
MUNICIPIOS SECTOR 04		
Jamundí	Claro-Jamundí-Timba	57.7
Riofrío	Riofrío-Piedras-Qda. Robledo	27.8
Vijes	Daqua-Vijes	11.5
Yotoco	Mediacanoa-Piedras-Vijes-Yotoco	22.1
Total		119.1

Nivel de estudios

EMBALSE	Volumen hm3	Beneficios Generales	Costos miles de US\$ (1998)
Nivel: Factibilidad básica			
Los Micos 939	135	Riego + Abastecimiento de agua potable ++ atractivo turístico+ Ambiental - control de inundaciones +	84,000
Bugalagrande 1100	60	Riego+ generación de energía+ abastecimiento de agua potable+ mejoramiento de condiciones ambientales del cauce+	100,000
La Honda 1135	20	Riego+ generación de energía+ abastecimiento de agua potable+ mejoramiento de condiciones ambientales del cauce+	50,000
San Pedro 1070	18	Riego, abastecimiento de agua, mejoramiento condiciones ambientales del cauce y atractivo turístico	120,000
Río Frío 980	50	Riego, abastecimiento de agua, generación de energía y mejoramiento de condiciones ambientales	95,000
Nivel :Pre-factibilidad			
El Buey 950	80	Riego, abastecimiento de agua potable, uso industrial y control de inundaciones	125,000
La Leona 1085	50	Riego, abastecimiento de agua potable, mejoramiento condiciones ambientales del cauce y uso ind.	60,000
Piedras 988	25	Riego, uso industrial, mejoramiento condiciones ambientales y uso doméstico en la zona	65,000
Timba 1044	220	Identificado hace mas de 50 años, como opción de regulación, generación hidroeléctrica, y fuente de agua para acueducto. El acceso al sitio del proyecto es por la vía Jamundí – Suarez con una desviación de unos 8.5 km hasta Timba-Cauca por la vereda Mary Lopez.	105,000
Nivel: Catálogo			
Jamundí 1194	30	Control de inundaciones, abastecimiento de agua potable para Cali y Jamundí, mejoramiento ambiental del cauce y atractivo turístico	80,000
Claro 1200	65	Control de inundaciones, abastecimiento de agua potable para Cali y Jamundí, mejoramiento ambiental del cauce y atractivo turístico	81,000
Claro 1115	85	Control de inundaciones, abastecimiento de agua potable para Cali y Jamundí, mejoramiento ambiental del cauce y atractivo turístico	190,000

Consultor	Proyecto/ Fuente	
Ingetec-S4	Timba 1030	
	Chupadero 1400	
	Teteral 1256	
	Guachinte 1057	
	Guachinte 1086	
	Claro 1200	
	Claro 1115	
	Jamundí 1194	
	Vijes 996	
	Carbonero 1016	
	Mediacanoas 1140	
	Piedras 988	
	IRH-S1	Desbaratado 1220
		Desbaratado 1290
Desbaratado 1320		
Desbaratado 3380		
Desbaratado 3410		
La Sonora 3625		
Las Cañas 1200		
Las Cañas 1300		
Las Monjas 3560		
Frayle 1305		
Frayle 3060		
Frayle 3650		
Santa Bárbara 1825		
Santa Bárbara 1850		
Santa Bárbara 3375		
Santa Bárbara 3420		
Bolo 1515		
Vilela-La Leona 1085		
Nima 1670		
Fraile 1325		
Fraile 2985		
Fraile 3410		
Fraile 3450		
Fraile 3360		
Fraile 2450		
Amaime 1340		
Amaime 1430		
IRH-S2		Río Tuluá
		Río Tuluá-Trasvase
		Q.San Pedro
		Q.Chambimbal
		Río Tuluá 2255
		Río Amaime 1430
		Río Bolo
	Q. Vilela	
	Q. Leona	
	Río Bolo 1530	
	Fraile 2450	
	Río Nima 1670	
	El Ahorcado 1105	
	Chambimbal 1022	
Chambimbal 1035		
Guadalajara 1110		
SEDIC- Silva Carreño S2	La Honda 1026	
	Chambimbal 1055	
	Bugalagrande 1100	
	Bugalagrande 1255	
	Bugalagrande 1835	
	Bugalagrande 2010	
Consul.Col-Hidroccidente S3	Tamboral 922b	
	Micos 939	
	Buey 950	

La primera es una etapa de inventario inicial, en la cual se recopila información y se realizan visitas, con esto se propone un esquema del proyecto. Una vez detallado el inventario selecciona el grupo de los mejores esquemas para realizar en segundo término el catálogo. La tercera etapa, corresponde a los estudios de prefactibilidad en la cual la información técnica es más precisa, se pueden plantear esquemas y costos mas detallados, y se define la conveniencia de continuar a factibilidad, etapa en la cual se llevan a cabo perforaciones, sondeos y dimensionamiento de las obras que componen el esquema.

6. PRIORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS

Para llevar a cabo el proceso de priorización de la ejecución de las diferentes medidas estructurales propuestas anteriormente, se definió el esquema de priorización que se describe a continuación, el cual está enfocado principalmente desde el punto de vista técnico, evitando de manera incorporar factores ambientales, sociales y políticos.

Primero se identifican los 3 tipos de medidas que se han planteado:

- Diques con integración de humedales.
- Lagunas de laminación.
- Embalses en tributarios.

Partiendo de la base que es prioritario el cumplimiento del Acuerdo 052 de 2011 y teniendo en cuenta que cada uno de estos tipos de medidas tiene características diferentes, se observa que la medida “Diques con integración de humedales” se identifica plenamente con el cumplimiento del Acuerdo 052, por lo cual esta medida representa una prioridad de ejecución inmediata. Respecto a las otras dos medidas, se considera y propone que las Lagunas de laminación se ejecuten a mediano plazo, por representar sitios de inundación controlada en la planicie, lo cual requiere de un proceso de negociación y concertación con los diferentes actores; y, los Embalses en tributarios se considera una alternativa de ejecución a largo plazo, debido principalmente a los impactos y los altos costos asociados a este tipo de proyectos, lo cual demanda tiempos importantes debido a los largos procesos de concertación y consecución de recursos para su financiación, al igual que para el desarrollo de los estudios detallados.

Cuadro 6.1 Plazo de ejecución de cada tipo de medida

TIPO DE MEDIDA	PLAZO DE EJECUCIÓN
Diques con integración de humedales	Inmediato
Lagunas de laminación	Medio
Embalses en tributarios	Largo

Una vez definida la prioridad de ejecución de los tipos de medidas, se debe realizar un proceso similar para definir el orden de ejecución de las intervenciones de acuerdo al tipo de medida. Para esto se seleccionaron una serie de criterios, los cuales se definieron en orden de importancia implementando la “Matriz de Comparación por Pares”, la cual fue definida por Thomas Saaty en 1980, dentro del método de evaluación multicriterio denominado “Proceso de Análisis Jerárquico” (AHP, por sus siglas en inglés). A continuación se describen las bases de la creación de la Matriz de comparación por pares.

6.1 CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

6.1.1 Matriz de comparación por pares

La Matriz de comparación por pares se utiliza para definir el orden de importancia entre una serie de criterios o alternativas, por medio de una comparación directa entre cada una

de ellas, estableciendo un valor de importancia relativa con base en la escala de calificación de Saaty.

Cuadro 6.2 Escala de calificación de Saaty

Valor de Importancia	Escala verbal	Explicación
1	Igualmente preferida	Dos actividades contribuyen de igual modo al objetivo.
3	Moderadamente preferida	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
5	Fuertemente preferida	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra.
7	Muy fuertemente preferida	Una actividad es mucho más favorecida que la otra, su predominancia se demostró en la práctica.
9	Extremadamente preferida	Las pruebas que favorecen a una actividad más que a otra son del nivel de aceptación más alto posible.

Fuente: (Roche & Vejo, 2005; Zanazzi, 2003)

Como se aprecia en el cuadro anterior, la calificación se asigna como números impares entre 1 y 9. En caso de que no sea muy clara la valoración, se pueden utilizar los valores intermedios (2, 4, 6, 8). En caso de que la segunda alternativa sea preferida sobre la primera se utilizan los valores recíprocos (1/3, 1/5, 1/7, 1/9). Para el caso de comparación una alternativa consigo misma, se asigna el valor de uno (1).

Suponiendo que se tienen 4 criterios: C1, C2, C3 y C4, se crea una matriz de pares como se presenta en el Cuadro 6.3:

Cuadro 6.3 Ejemplo de matriz de comparación por pares

	C1	C2	C3	C4
C1	1			
C2		1		
C3			1	
C4				1

En la diagonal se compara cada criterio con el mismo, lo que indica que “es igualmente preferida”, por esta razón se escribe uno (1).

Una vez definidos los valores de la diagonal, se debe llenar la matriz diagonal superior, y los valores de la matriz diagonal inferior corresponden al recíproco de esta.

La matriz se lee del criterio de cada fila hacia el criterio de cada columna. Por ejemplo, la casilla de la Fila 1 – Columna 2, se debe leer “¿Qué tan importante es el criterio C1 sobre el criterio C2?” En caso que la importancia relativa de C1 hacia C2 sea 5, en esa casilla se escribe “5”; pero en el caso que sea más importante C2 que C1 se debe escribir “1/5”.

De esta manera se debe llenar toda la diagonal superior y posteriormente la diagonal inferior se calcula como el recíproco de la diagonal superior.

Una vez definida la matriz de comparación por pares, procede a determinar el vector de prioridad de criterios y se debe evaluar su consistencia de la matriz, es decir se verifica si los juicios subjetivos adoptados son coherentes. Para esto se deben seguir los siguientes pasos:

- **Generar la Matriz Normalizada:** Se obtiene dividiendo el valor de cada celda de la matriz por la suma de los valores de las celdas de la columna en que se encuentra dicha celda.
- **Generar el Vector de Prioridad:** Se obtiene calculando el promedio de cada fila de la matriz normalizada. El resultado debe ser un valor por cada fila (un valor por cada criterio) y la sumatoria de estos valores debe ser igual a uno (1) o 100 %.
- **Verificar la Consistencia de la Matriz:** Se determina con el fin de identificar inconsistencias en los juicios subjetivos adoptados. La consistencia de la matriz de comparación por pares puede ser determinada a través del cociente de consistencia (CR). Si $CR < 0.10$ se considera que el grado de consistencia de la matriz es aceptable. En caso que $CR > 0.10$ se considera que la matriz presenta inconsistencias por lo tanto se deben reconsiderar los juicios adoptados.

Determinación del cociente de consistencia (CR):

1. Determinar la suma ponderada para cada línea de la matriz de comparación por pares con base a la suma del producto de cada celda por la prioridad de cada alternativa correspondiente.
2. Dividir su suma ponderada de cada línea por la prioridad de su alternativa correspondiente.
3. $\lambda_{\text{máx}}$ corresponde al promedio de los resultados calculados en el paso anterior.
4. Calcular el índice de consistencia para cada alternativa $CI = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n - 1)$, donde “n” corresponde al número de criterios comparados.
5. Determinar el índice de consistencia aleatorio RI con base en los valores de la Tabla X.4.
6. Determinar el cociente de consistencia (CR): $CR = CI/RI$

Cuadro 6.4 Índice de consistencia aleatorio

N	Índice de consistencia aleatorio
3	0.52
4	0.89
5	1.11
6	1.25
7	1.35
8	1.40
9	1.45
10	1.49

Fuente: (Moreno, 2011)

Cuando se realiza la calificación de criterios por diferentes expertos, se debe calcular un consolidado de calificación calculando la media geométrica a cada uno de los resultados de la matriz de comparación por pares.

Descrito el método de priorización, se presenta la implementación de éste para cada tipo de medida.

6.1.2 Diques con integración de humedales

Como ya se presentó en capítulos anteriores, se generaron 27 fichas diferentes de este tipo de medida, donde cada una corresponde a un tramo sobre una margen del río Cauca en su Valle Alto.

A continuación se presentan los criterios seleccionados para llevar a cabo la priorización y el objetivo para cada uno de ellos (maximizarlo o minimizarlo).

Frecuencia de inundación del tramo:

Corresponde a la frecuencia de inundación registrada en el tramo a evaluar.

Área inundada durante la ola invernal 2010 – 2011 en el tramo:

Corresponde al área aferente al tramo evaluado, que se inundó durante la ola invernal de los años 2010 – 2011.

Número de Humedales a Incorporar en el tramo:

Corresponde al número de humedales que deben ser incorporados a lo largo del tramo evaluado.

Costo/Área máxima protegida en el tramo:

Corresponde a la relación entre el costo de las medidas a implementar en el tramo y el área máxima que se protege con estas obras. Esta área máxima se estima de acuerdo a la envolvente del registro de inundaciones post-Salvajina.

Cuadro 6.5 Criterios para priorización de la Medida Diques

CRITERIO	OBJETIVO
Frecuencia de inundación del tramo	Máx.
Área inundada en la Ola invernal 2010-2011	Máx.
Humedales a Incorporar en el tramo	Máx.
Costo/Área máxima Protegida en el tramo [Relación a la envolvente Post-Salvajina]	Min.

Con el objetivo de reducir la subjetividad en la evaluación de criterios, se solicitó la opinión de cuatro (4) expertos del grupo de trabajo para que, con base en su experticia, diligenciaran la matriz de comparación por pares. Las opiniones de estos expertos se presentan en los Cuadros 6.6 a 6.9.

Cuadro 6.6 Calificación criterios para Diques - Experto 1

	Frecuencia de inundación del tramo	Área inundada en la Ola invernal 2010-2011	Humedales a Incorporar en el tramo	Costo/Área máxima Protegida en el tramo [Relación a la envolvente Post. Salvajina]
Frecuencia de inundación del tramo	1	1/7	1/9	1/7
Área inundada en la Ola invernal 2010-2011	7/1	1	2/1	3/1
Humedales a Incorporar en el tramo	9/1	1/2	1	1/1
Costo/Área máxima Protegida en el tramo [Relación a la envolvente Post. Salvajina]	7/1	1/3	1/1	1

Cuadro 6.7 Calificación criterios para Diques - Experto 2

	Frecuencia de inundación del tramo	Área inundada en la Ola invernal 2010-2011	Humedales a Incorporar en el tramo	Costo/Área máxima Protegida en el tramo [Relación a la envolvente Post. Salvajina]
Frecuencia de inundación del tramo	1	1/5	1/9	1/6
Área inundada en la Ola invernal 2010-2011	5/1	1	1/5	1/1
Humedales a Incorporar en el tramo	9/1	5/1	1	4/1
Costo/Área máxima Protegida en el tramo [Relación a la envolvente Post.Salvajina]	6/1	1/1	1/4	1

Cuadro 6.8 Calificación criterios para Diques - Experto 3

	Frecuencia de inundación del tramo	Área inundada en la Ola invernal 2010-2011	Humedales a Incorporar en el tramo	Costo/Área máxima Protegida en el tramo [Relación ala envolvente Post.Salvajina])
Frecuencia de inundación del tramo	1	1/9	1/3	1/5
Área inundada en la Ola invernal 2010-2011	9/1	1	5/1	4/1
Humedales a Incorporar en el tramo	3/1	1/5	1	1/5
Costo/Área máxima Protegida en el tramo [Relación ala envolvente Post.Salvajina])	5/1	1/4	5/1	1

Cuadro 6.9 Calificación criterios para Diques - Experto 4

	Frecuencia de inundación del tramo	Área inundada en la Ola invernal 2010-2011	Humedales a Incorporar en el tramo	Costo/Área máxima Protegida en el tramo [Relación ala envolvente Post.Salvajina])
Frecuencia de inundación del tramo	1	1/3	1/5	1/6
Área inundada en la Ola invernal 2010-2011	3/1	1	1/2	1/2
Humedales a Incorporar en el tramo	5/1	2/1	1	1/2
Costo/Área máxima Protegida en el tramo [Relación ala envolvente Post.Salvajina])	6/1	2/1	2/1	1

Una vez se tienen las calificaciones asignadas por los cuatro expertos se procede a calcular un valor global para cada criterio con base en esta calificación. Este procedimiento se realiza calculando la media geométrica para cada una de las calificaciones asignadas (ver Cuadro 6.10).

Cuadro 6.10 Calificación global con base en el criterio de los 4 expertos

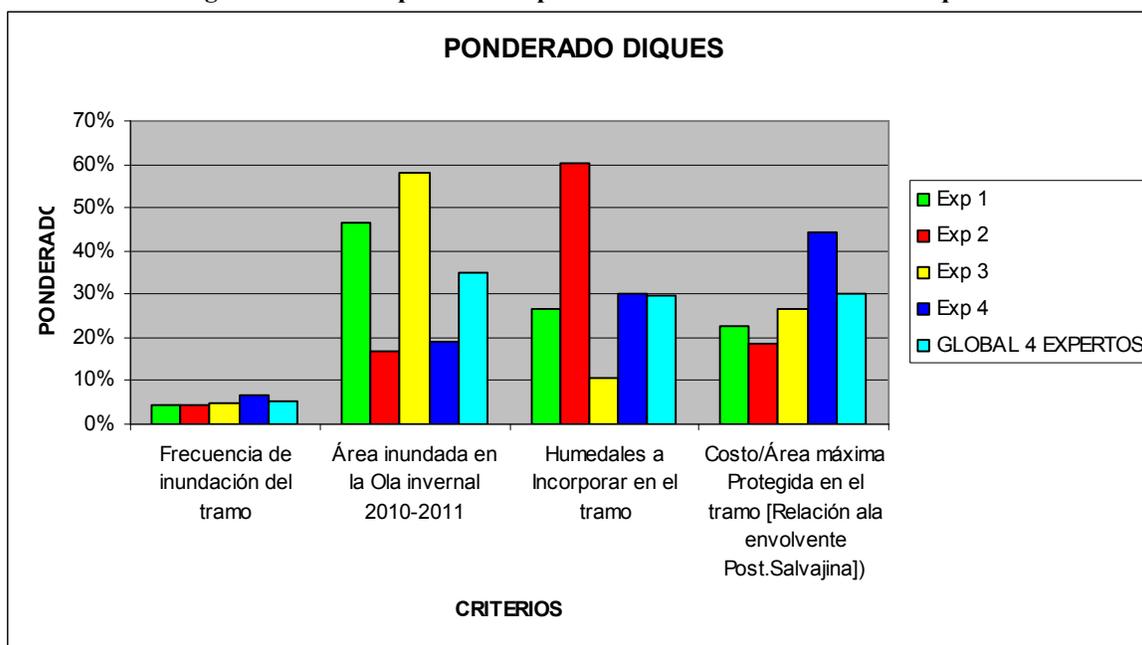
	Frecuencia de inundación del tramo	Área inundada en la Ola invernal 2010-2011	Humedales a Incorporar en el tramo	Costo/Área máxima Protegida en el tramo [Relación ala envolvente Post.Salvajina]
Frecuencia de inundación del tramo	1,00	0,18	0,17	0,17
Área inundada en la Ola invernal 2010-2011	5,54	1,00	1,00	1,57
Humedales a Incorporar en el tramo	5,90	1,00	1,00	0,80
Costo/Área máxima Protegida en el tramo [Relación ala envolvente Post.Salvajina]	5,96	0,64	1,26	1,00

Definidas las calificaciones de los expertos, se realiza el procedimiento de cálculo de los valores ponderados de cada criterio. Los ponderados obtenidos se presentan en el Cuadro 6.11. De acuerdo con el método, se verificó la consistencia de las matrices resultando una razón de consistencia (CR) inferior a 10%, por lo que se verifica la consistencia de la matriz calificada por cada experto y la matriz de calificaciones globales.

Cuadro 6.5 Valores ponderados para cada criterio de la medida Diques

CRITERIO	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	GLOBAL DE 4 EXPERTOS
Frecuencia de inundación del tramo	4%	4%	5%	7%	5%
Área inundada en la Ola invernal 2010-2011	47%	17%	58%	19%	35%
Humedales a Incorporar en el tramo	27%	60%	11%	30%	30%
Costo/Área máxima Protegida en el tramo [Relación ala envolvente Post.Salvajina]	22%	19%	27%	44%	30%

Figura 6.1 Valores ponderados para cada criterio de la medidas Diques



6.1.2 Lagunas de laminación

Como ya se presentó en capítulos anteriores, se elaboraron 15 fichas de la medida Lagunas de Laminación, donde cada una corresponde a un tramo sobre una margen del río Cauca en su Valle Alto.

La metodología y el procedimiento seguido para efectuar la priorización de la medida estructural de Diques con Integración de Humedales, se aplicó para la medida denominada Lagunas de laminación. A continuación se presentan los criterios adoptados para llevar a cabo la priorización y el objetivo para cada uno de ellos (maximizarlo o minimizarlo) (ver Cuadro 6.12).

Volumen almacenado en la laguna de laminación:

Corresponde al máximo volumen que se puede almacenar en la laguna de laminación.

Área de cultivo afectada por la laguna de laminación:

Corresponde al área de cultivo que se verá afectada al momento en que entre en operación la laguna de laminación.

Frecuencia de inundación en el área de la laguna de laminación:

Corresponde a la frecuencia de inundación asociada al terreno en que se encuentra planteada la laguna de laminación.

Cantidad de viviendas a adaptar y/o re-ubicar en el área de la laguna de laminación:

Corresponde a la cantidad de viviendas que se deberán re-ubicar y/o adaptar, por encontrarse en los predios donde se plantea la laguna de laminación.

Cuadro 6.6 Criterios para priorización de la Medida Lagunas de laminación

CRITERIO	OBJETIVO
Volumen Almacenado en la laguna de laminación	Máx.
Área de cultivo afectada por la laguna de laminación	Min.
Frecuencia de inundación en el área de laminación	Máx.
Cantidad de Viviendas afectadas y/o a re-ubicar en el área de la laguna de laminación	Min.

Con el objetivo de reducir la subjetividad en la evaluación de criterios, se solicitó la opinión de cuatro (4) expertos del grupo de trabajo para que, con base en su experticia, diligenciaran la matriz de comparación por pares. Las opiniones de estos expertos se presentan en los Cuadros 6.13 a 6.16.

Cuadro 6.7 Calificación de criterios para las Lagunas de Laminación - Experto 1

	Volumen Almacenado en la laguna de laminación	Área de cultivo afectada por la laguna de laminación	Frecuencia de inundación en el área de laminación	Cantidad de Viviendas afectadas y/o a re-ubicar en el área de la laguna de laminación
Volumen Almacenado en la laguna de laminación	1	6/1	4/1	3/1
Área de cultivo afectada por la laguna de laminación	1/6	1	1/3	1/5
Frecuencia de inundación en el área de laminación	1/4	3/1	1	1/2
Cantidad de Viviendas afectadas y/o a re-ubicar en el área de la laguna de laminación	1/3	5/1	2/1	1

Cuadro 6.8 Calificación de criterios para las Lagunas de Laminación - Experto 2

	Volumen Almacenado en la laguna de laminación	Área de cultivo afectada por la laguna de laminación	Frecuencia de inundación en el área de laminación	Cantidad de Viviendas afectadas y/o a re-ubicar en el área de la laguna de laminación
Volumen Almacenado en la laguna de laminación	1	2/1	5/1	1/3
Área de cultivo afectada por la laguna de laminación	1/2	1	4/1	1/8
Frecuencia de inundación en el área de laminación	1/5	1/4	1	1/9
Cantidad de Viviendas afectadas y/o a re-ubicar en el área de la laguna de laminación	3/1	8/1	9/1	1

Cuadro 6.9 Calificación de criterios para las Lagunas de Laminación - Experto 3

	Volumen Almacenado en la laguna de laminación	Área de cultivo afectada por la laguna de laminación	Frecuencia de inundación en el área de laminación	Cantidad de Viviendas afectadas y/o a re-ubicar en el área de la laguna de laminación
Volumen Almacenado en la laguna de laminación	1	2/1	6/1	1/2
Área de cultivo afectada por la laguna de laminación	1/2	1	4/1	1/2
Frecuencia de inundación en el área de laminación	1/6	1/4	1	1/6
Cantidad de Viviendas afectadas y/o a re-ubicar en el área de la laguna de laminación	2/1	2/1	6/1	1

Cuadro 6.10 Calificación criterios para Diques – Experto 4

	Volumen Almacenado en la laguna de laminación	Área de cultivo afectada por la laguna de laminación	Frecuencia de inundación en el área de laminación	Cantidad de Viviendas afectadas y/o a re-ubicar en el área de la laguna de laminación
Volumen Almacenado en la laguna de laminación	1	4/1	2/1	1/1
Área de cultivo afectada por la laguna de laminación	1/4	1	1/1	1/1
Frecuencia de inundación en el área de laminación	1/2	1/1	1	1/1
Cantidad de Viviendas afectadas y/o a re-ubicar en el área de la laguna de laminación	1/1	1/1	1/1	1

Una vez se tienen las calificaciones asignadas por los cuatro expertos se procede a calcular un valor global para cada criterio con base en esta calificación. Este procedimiento se realiza calculando la media geométrica para cada una de las calificaciones asignadas (ver Cuadro 6.17).

Cuadro 6.11 Calificación global con base en el criterio de los 4 expertos

	Volumen Almacenado en la laguna de laminación	Área de cultivo afectada por la laguna de laminación	Frecuencia de inundación en el área de laminación	Cantidad de Viviendas afectadas y/o a re-ubicar en el área de la laguna de laminación
Volumen Almacenado en la laguna de laminación	1,00	3,13	3,94	0,84
Área de cultivo afectada por la laguna de laminación	0,32	1,00	1,52	0,33
Frecuencia de inundación en el área de laminación	0,25	0,66	1,00	0,31
Cantidad de Viviendas afectadas y/o a re-ubicar en el área de la laguna de laminación	1,19	2,99	3,22	1,00

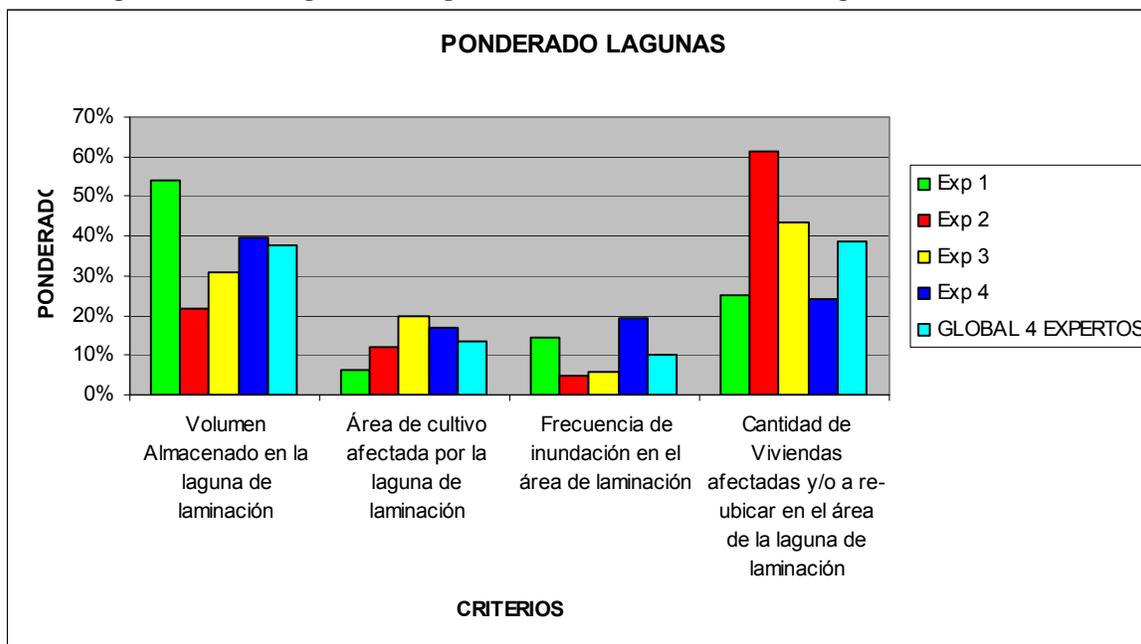
Definidas las calificaciones de los expertos, se realiza el procedimiento de cálculo de los valores ponderados de cada criterio. Los ponderados obtenidos se presentan en el Cuadro 6.18.

De acuerdo con el método, se verificó la consistencia de las matrices resultando una razón de consistencia (CR) inferior a 10%, por lo que se verifica la consistencia de la matriz calificada por cada experto y la matriz de calificaciones globales.

Cuadro 6.12 Valores ponderados para cada criterio de la medida Lagunas de Laminación

CRITERIO	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	GLOBAL DE 4 EXPERTOS
Volumen Almacenado en la laguna de laminación	54%	22%	31%	40%	38%
Área de cultivo afectada por la laguna de laminación	6%	12%	20%	17%	13%
Frecuencia de inundación en el área de laminación	15%	5%	6%	19%	10%
Cantidad de Viviendas afectadas y/o a re-ubicar en el área de la laguna de laminación	25%	62%	44%	24%	39%

Figura 6.2 Valores ponderados para cada criterio de la medida Lagunas de Laminación



6.1.3 Embalses en tributarios

Al igual que se realizó para los Diques y las Lagunas de Laminación, los Embalses de Regulación en Tributarios también fueron priorizados según la metodología adoptada en el estudio.

A continuación se presentan los criterios seleccionados para llevar a cabo la priorización y el objetivo para cada uno de ellos (maximizarlo o minimizarlo) (ver Cuadro 6.19).

Impacto del embalse sobre caudales del río Cauca:

Corresponde al impacto que genera la entrada en operación del embalse en un tributario, sobre los caudales del río Cauca; es decir que tanto se reducen estos caudales.

Costo del embalse/Volumen de almacenamiento del embalse:

Corresponde a la relación entre el costo del embalse y el volumen máximo que puede ser almacenado en él.

Volumen de almacenamiento del embalse:

Corresponde al máximo volumen que se puede almacenar en la laguna de laminación.

Impacto socio-ambiental del embalse:

Corresponde al impacto socio-ambiental de la construcción de un embalse en un tributario en el entorno.

Cuadro 6.13 Criterios para priorización del Embalse en tributarios

CRITERIO	OBJETIVO
Impacto del embalse sobre caudales río Cauca	Máx.
Costo del embalse/Volumen almacenado en el embalse	Min.
Volumen de almacenamiento del embalse	Máx.
Impacto socio-ambiental del embalse	Min.

Con el objetivo de reducir la subjetividad en la evaluación de criterios, se solicitó la opinión de cuatro (4) expertos del grupo de trabajo para que, con base en su experticia, diligenciaran la matriz de comparación por pares. Las opiniones de estos expertos se presentan en los Cuadros 6.20 a 6.23.

Cuadro 6.14 Calificación de criterios para Embalses en tributarios - Experto 1

	Impacto del embalse sobre caudales río Cauca	Costo del embalse/Volumen almacenado en el embalse	Volumen de almacenamiento del embalse	Impacto socio-ambiental del embalse
Impacto del embalse sobre caudales río Cauca	1	4/1	3/1	1/3
Costo del embalse/Volumen almacenado en el embalse	1/4	1	1/2	1/5
Volumen de almacenamiento del embalse	1/3	2/1	1	1/5
Impacto socio-ambiental del embalse	3/1	5/1	5/1	1

Cuadro 6.15 Calificación de criterios para Embalses en tributarios - Experto 2

	Impacto del embalse sobre caudales río Cauca	Costo del embalse/Volumen almacenado en el embalse	Volumen de almacenamiento del embalse	Impacto socio-ambiental del embalse
Impacto del embalse sobre caudales río Cauca	1	2/1	3/1	1/2
Costo del embalse/Volumen almacenado en el embalse	1/2	1	1/2	1/3
Volumen de almacenamiento del embalse	1/3	2/1	1	1/3
Impacto socio-ambiental del embalse	2/1	3/1	3/1	1

Cuadro 6.16 Calificación de criterios para Embalses en tributarios - Experto 3

	Impacto del embalse sobre caudales río Cauca	Costo del embalse/Volumen almacenado en el embalse	Volumen de almacenamiento del embalse	Impacto socio-ambiental del embalse
Impacto del embalse sobre caudales río Cauca	1	9/1	3/1	2/1
Costo del embalse/Volumen almacenado en el embalse	1/9	1	1/3	1/3
Volumen de almacenamiento del embalse	1/3	3/1	1	2/1
Impacto socio-ambiental del embalse	1/2	3/1	1/2	1

Cuadro 6.17 Calificación de criterios para Embalses en tributarios - Experto 4

	Impacto del embalse sobre caudales río Cauca	Costo del embalse/Volumen almacenado en el embalse	Volumen de almacenamiento del embalse	Impacto socio-ambiental del embalse
Impacto del embalse sobre caudales río Cauca	1	2/1	2/1	1/2
Costo del embalse/Volumen almacenado en el embalse	1/2	1	1/2	1/2
Volumen de almacenamiento del embalse	1/2	2/1	1	1/2
Impacto socio-ambiental del embalse	2/1	2/1	2/1	1

Una vez se tienen las calificaciones asignadas por los cuatro expertos se procede a calcular un valor global para cada criterio con base en esta calificación. Este procedimiento se

realiza calculando la media geométrica para cada una de las calificaciones asignadas (ver Cuadro 6.24).

Cuadro 6.18 Calificación global con base en el criterio de los 4 expertos

	Impacto del embalse sobre caudales río Cauca	Costo del embalse/Volumen almacenado en el embalse	Volumen de almacenamiento del embalse	Impacto socio-ambiental del embalse
Impacto del embalse sobre caudales río Cauca	1,00	3,46	2,71	0,64
Costo del embalse/Volumen almacenado en el embalse	0,29	1,00	0,45	0,32
Volumen de almacenamiento del embalse	0,37	2,21	1,00	0,51
Impacto socio-ambiental del embalse	1,57	3,08	1,97	1,00

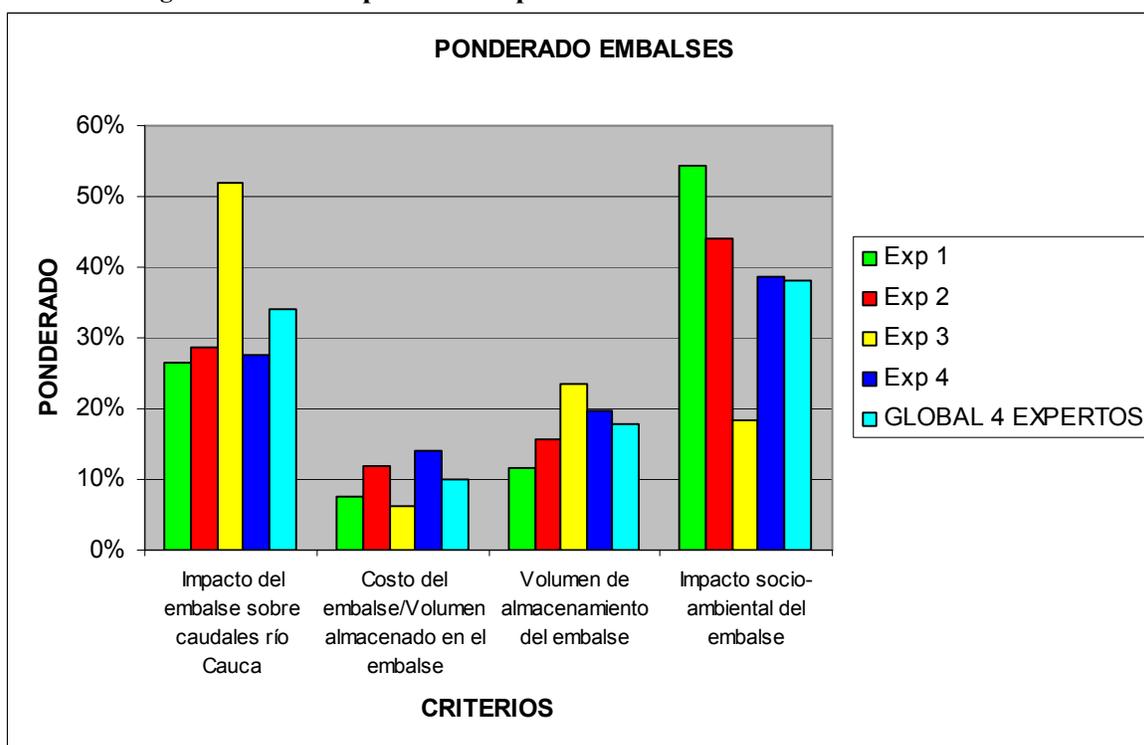
Definidas las calificaciones de los expertos, se realiza el procedimiento de cálculo de los valores ponderados de cada criterio. Los ponderados obtenidos se presentan en el Cuadro 6.25.

De acuerdo con el método, se verificó la consistencia de las matrices resultando una razón de consistencia (CR) inferior a 10%, por lo que se verifica la consistencia de la matriz calificada por cada experto y la matriz de calificaciones globales.

Cuadro 6.19 Valores ponderados para cada criterio de la medida Embalses

CRITERIO	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	GLOBAL DE 4 EXPERTOS
Impacto del embalse sobre caudales río Cauca	26%	29%	52%	27%	34%
Costo del embalse/Volumen almacenado en el embalse	8%	12%	6%	14%	10%
Volumen de almacenamiento del embalse	12%	16%	24%	20%	18%
Impacto socio-ambiental del embalse	54%	44%	18%	39%	38%

Figura 6.3 Valores ponderados para cada criterio de la medida Embalses



6.2 CALIFICACIÓN DE CADA UNA DE LAS INTERVENCIONES

Se identificaron una serie de intervenciones, que debido a su importancia se catalogan como “Prioridad Inmediata” sin necesidad de efectuar el proceso de calificación planteado. Estas intervenciones se presentan a continuación:

Anillo Urbano de La Victoria:

Esta intervención se considera de alta importancia y prioridad inmediata debido a la protección que debe ofrecer a la población del municipio de La Victoria, el cual actualmente cuenta con un esquema deficiente de protección contra inundaciones, viéndose fuertemente afectado durante la pasada ola invernal 2010 – 2011. Con el objetivo de evitar nuevas afectaciones al municipio, es necesario implementar esta intervención de manera inmediata.

Anillo Urbano de La Virginia:

A pesar de que en el municipio de La Virginia se han implementado medidas de control de inundaciones, sobre la margen derecha del río Cauca aun se encuentra una cantidad considerable de viviendas en una afectación latente ante un evento de creciente en el río Cauca. Por esta razón es fundamental implementar inmediatamente esta intervención, con el propósito de proteger estas viviendas.

Laguna de Sonso:

La Laguna de Sonso, como el cuerpo de agua más importante del departamento, por todo lo que representa, se considera de prioridad inmediata su intervención, de tal manera que se garantice la adecuada comunicación entre ésta y el río Cauca, y se recupere parte del espejo de agua que en algún momento existió.

Laguna de laminación de Caucaseco:

Simplemente por representar una protección hidráulica para la ciudad de Cali, esta laguna de laminación cobra una importancia muy alta que la convierte en una intervención de prioridad alta.

Dique río Cali – río Yumbo:

Teniendo en cuenta el objetivo de alto valor que esta intervención protege, que corresponde la Zona Industrial de Yumbo, este tramo se convierte en un tramo de prioridad alta de intervención.

Descritas las anteriores medidas de prioridad inmediata, se procede a calificar cada una de las demás intervenciones planteadas de acuerdo con el tipo de medida.

6.2.1 Rangos de calificación

Para calificar cada uno de los criterios se definió una regresión lineal que tiene en cuenta los límites de calificación (máximo y mínimo), los valores extremos (máximos y mínimos) de cada criterio y el objetivo de cada criterio (maximizar o minimizar).

La calificación mínima será uno (1) y la calificación máxima será cinco (5), como se indica en el Cuadro 6.26.

Cuadro 6.20 Valores de calificación de criterios

CALIFICACIÓN	
1	Bajo
2	Medio - Bajo
3	Medio
4	Medio - Alto
5	Alto

Cuando el objetivo se quiere maximizar, la priorización se rige por la ecuación 6.1:

$$\left[(X - Min) * \frac{[(CalificaciónMáxima) - (CalificaciónMínima)]}{[(ValorMáximo) - (ValorMínimo)]} \right] + CalificaciónMínima \quad (\text{Ec. 6.1})$$

Como la calificación máxima y mínima se definieron como 1 y 5, esta ecuación se simplifica así:

$$\left[(X - Min) * \frac{[4]}{[(ValorMáximo) - (ValorMínimo)]} \right] + CalificaciónMínima \quad (Ec. 6.2)$$

Cuando el objetivo se quiere minimizar, la priorización se rige por la ecuación 6.3:

$$\left[(X - Min) * (-1) \frac{[(CalificaciónMáxima) - (CalificaciónMínima)]}{[(ValorMáximo) - (ValorMínimo)]} \right] + CalificaciónMáxima \quad (Ec. 6.3)$$

Como la calificación máxima y mínima se definieron como 1 y 5, se simplifica la ecuación anterior, como se presenta en la ecuación 6.4.

$$\left[(X - Min) * (-1) \frac{[4]}{[(ValorMáximo) - (ValorMínimo)]} \right] + CalificaciónMáxima \quad (Ec. 6.4)$$

6.2.2 Clasificación de intervenciones según el tipo de medida

Definidos los ponderados de cada criterio y los rangos de clasificación, se procedió a calificar las intervenciones por tipo de medida, obteniendo como resultado los listados de prioridad de intervención que se presentan a continuación (ver Cuadros 6.27 a 6.32 y Figuras 6.1 a 6.3):

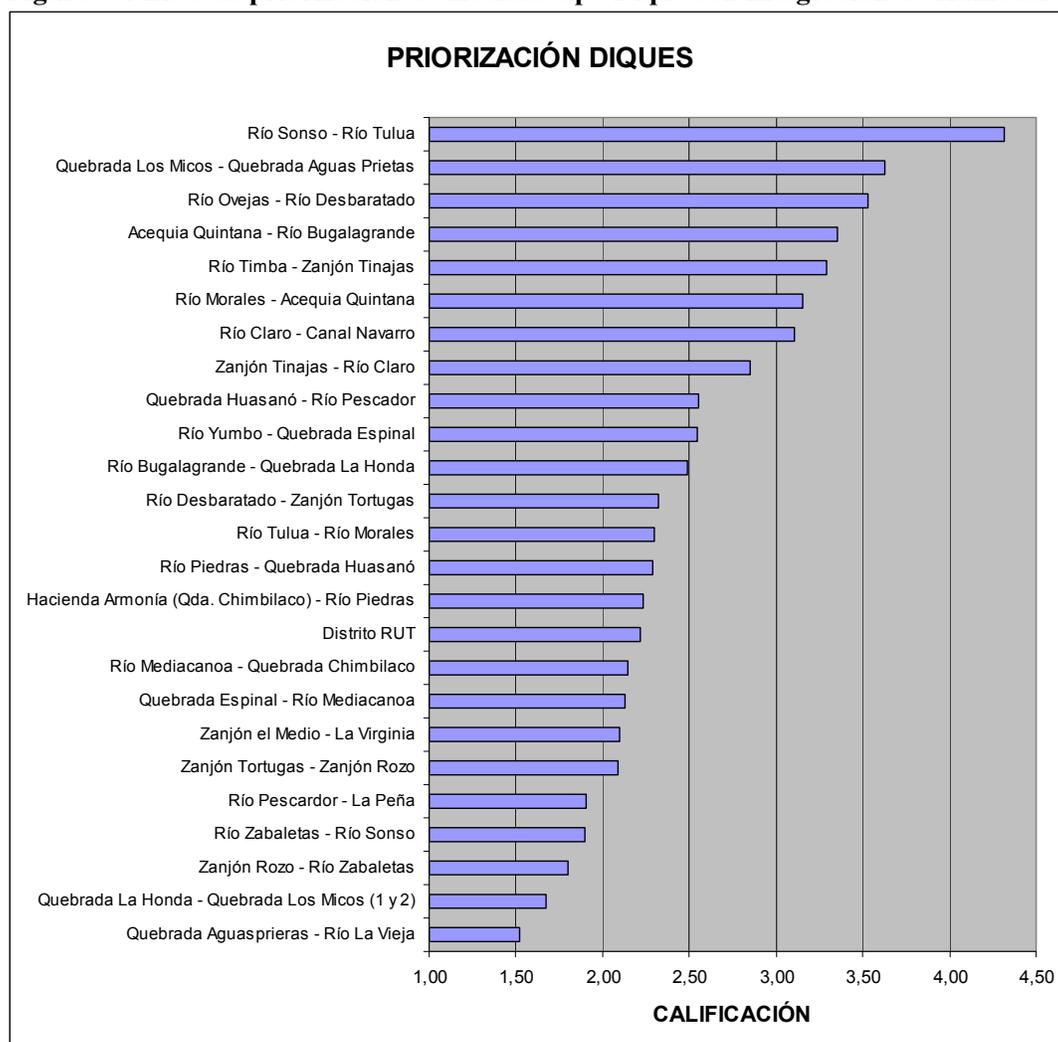
DIQUES

Cuadro 6.21 Lista de priorización de la medida tipo Diques con Integración de Humedales

Código	Nombre	CALIFICACIÓN TOTAL PONDERADA
HD11	Río Sonso - Río Tuluá	4,32
HD24	Quebrada Los Micos - Quebrada Aguas Prietas	3,63
HD1	Río Ovejas - Río Desbaratado	3,53
HD21	Acequia Quintana - Río Bugalagrande	3,36
HD2	Río Timba - Zanjón Tinajas	3,29
HD13	Río Morales - Acequia Quintana	3,15
HD4	Río Claro - Canal Navarro	3,11
HD3	Zanjón Tinajas - Río Claro	2,85
HD18	Quebrada Huasanó - Río Pescador	2,55
HD10	Río Yumbo - Quebrada Espinal	2,54
HD22	Río Bugalagrande - Quebrada La Honda	2,49
HD5	Río Desbaratado - Zanjón Tortugas	2,32
HD12	Río Tuluá - Río Morales	2,30
HD17	Río Piedras - Quebrada Huasanó	2,29

Código	Nombre	CALIFICACIÓN TOTAL PONDERADA
HD16	Hacienda Armonía (Qda. Chimbilaco) - Río Piedras	2,23
HD20	Distrito RUT	2,22
HD15	Río Mediacanoa - Quebrada Chimbilaco	2,15
HD14	Quebrada Espinal - Río Mediacanoa	2,13
HD25	Zanjón el Medio - La Virginia	2,10
HD6	Zanjón Tortugas - Zanjón Rozo	2,09
HD19	Río Pescador - La Peña	1,90
HD8	Río Zabaletas - Río Sonso	1,90
HD7	Zanjón Rozo - Río Zabaletas	1,80
HD23	Quebrada La Honda - Quebrada Los Micos (1 y 2)	1,68
HD26	Quebrada Aguaspietas - Río La Vieja	1,52

Figura 6.4 Lista de priorización de medidas tipo Dique con Integración de Humedales

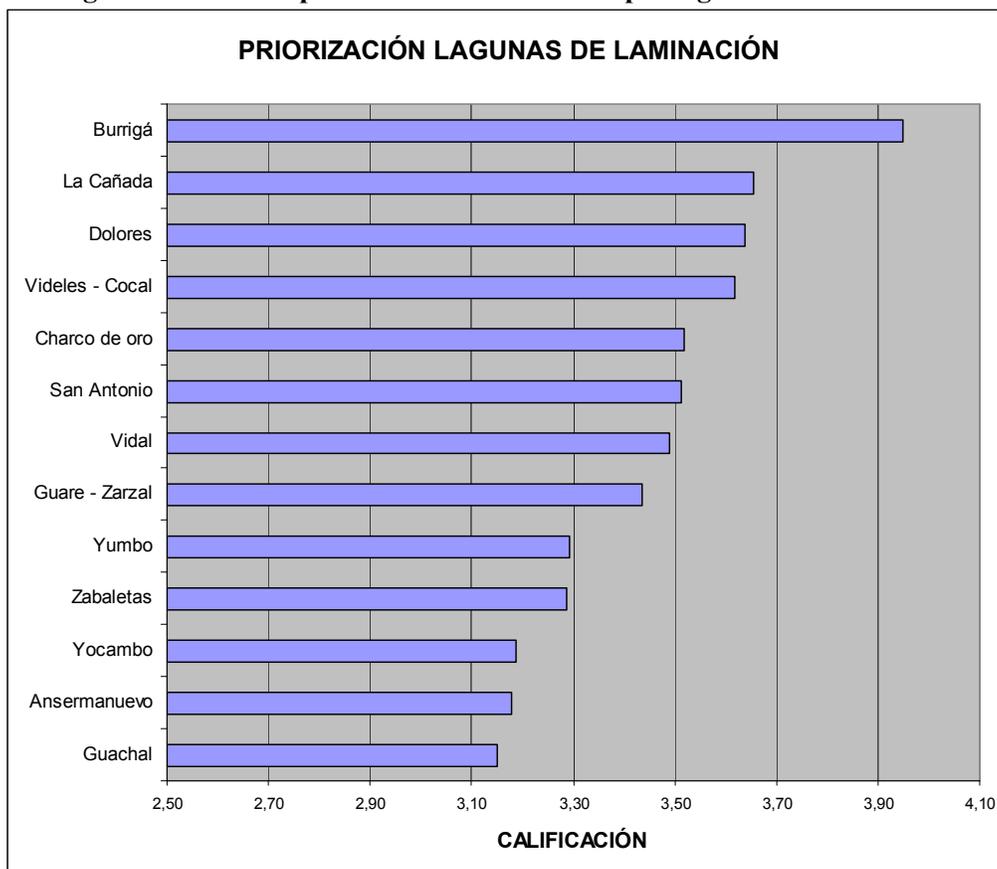


Cuadro 6.22 Valores por criterio para cada una de las medidas tipo Diques con Integración de Humedales

Código	Nombre	Frecuencia de inundación del tramo	Área inundada en la Ola invernal 2010-2011	Humedales a Incorporar en el tramo	Costo	Área máxima protegida	Costo/Área máxima Protegida en el tramo [Relación a la envolvente Post.Salvajina]
		[]	[Ha.]	[#]	[M-COP]	[Ha.]	[COP/Ha]
HD1	Río Ovejas - Río Desbaratado	3	978	7	\$ 2.384	1125,1	2,09
HD2	Río Timba - Zanjón Tinajas	3	511	7	\$ 3.405	587,3	5,72
HD3	Zanjón Tinajas - Río Claro	3	712	3	\$ 1.022	819,2	1,23
HD4	Río Claro - Canal Navarro	3	1202	4	\$ 1.362	1382,3	0,97
HD5	Río Desbaratado - Zanjón Tortugas	3	1532	0	\$ 7.491	1761,2	1,08
HD6	Zanjón Tortugas - Zanjón Rozo	3	1206	0	\$ 11.237	1386,4	8,00
HD7	Zanjón Rozo - Río Zabaletas	5	519	2	\$ 13.450	597,1	22,23
HD8	Río Zabaletas - Río Sonso	5	346	1	\$ 6.470	397,9	16,04
HD9	Río Cali - Río Yumbo	3	611	1	\$ 11.691	703,2	1,42
HD10	Río Yumbo - Quebrada Espinal	5	926	4	\$ 16.174	1064,5	14,99
HD11	Río Sonso - Río Tuluá	5	7404	6	\$ 44.946	8515,0	5,21
HD12	Río Tuluá - Río Morales	5	328	1	\$ 2.894	376,8	7,58
HD13	Río Morales - Acequia Quintana	5	1699	4	\$ 9.023	1953,9	4,56
HD14	Quebrada Espinal - Río Mediacanoa	5	493	5	\$ 14.982	567,2	26,06
HD15	Río Mediacanoa - Quebrada Chimbilaco	5	284	3	\$ 5.874	326,5	17,75
HD16	Hacienda Armonía (Qda. Chimbilaco) - Río Piedras	5	689	4	\$ 16.685	792,0	20,79
HD17	Río Piedras - Quebrada Huasanó	5	1342	1	\$ 16.940	1543,1	10,83
HD18	Quebrada Huasanó - Río Pescador	5	1350	2	\$ 14.114	1552,7	8,97
HD19	Río Pescador - La Peña	3	182	2	\$ 3.388	209,0	19,14
HD20	Distrito RUT	4	658	2	\$ 9.489	757,1	13,21
HD21	Acequia Quintana - Río Bugalagrande	5	3493	3	\$ 9.449	4016,9	2,49
HD22	Río Bugalagrande - Quebrada La Honda	5	2006	0	\$ 12.156	2306,3	5,20
HD23	Quebrada La Honda - Quebrada Los Micos (1 y 2)	4	387	0	\$ 7.099	444,9	15,73
HD24	Quebrada Los Micos - Quebrada Aguas Prietas	3	9504	0	\$ 19.550	10929,4	1,83
HD25	Zanjón el Medio - La Virginia	3	1519	1	\$ 22.047	1746,8	12,59
HD26	Quebrada Aguas prietas - Río La Vieja	2	260	3	\$ 7.968	298,7	26,79

LAGUNAS DE LAMINACIÓN**Cuadro 6.23 Lista de priorización de medidas tipo Lagunas de Laminación**

Código	Nombre	CALIFICACIÓN TOTAL PONDERADA
HLL10	Burrigá	3,95
HLL13	La Cañada	3,65
HLL2	Dolores	3,64
HLL7	Videles - Cocal	3,62
HLL11	Charco de oro	3,52
HLL12	San Antonio	3,51
HLL5	Vidal	3,49
HLL14	Guare - Zarzal	3,43
HLL4	Yumbo	3,29
HLL6	Zabaletas	3,29
HLL8	Yocambo	3,19
HLL15	Ansermanuevo	3,18
HLL3	Guachal	3,15

Figura 6.5 Lista de priorización de medidas tipo Lagunas de Laminación

Cuadro 6.24 Valores por criterio para cada una de las medidas tipo Lagunas de Laminación

Código	Nombre	Volumen Almacenado en la laguna de laminación	Área de cultivo afectada por la laguna de laminación	Frecuencia de inundación en el área de laminación	Cantidad de Viviendas afectadas y/o a reubicar en el área de la laguna de laminación*
		[Mm3]	[Ha]	[]	[#]
HLL1	Caucaseco	35,00	1176,00	5	2
HLL2	Dolores	39,00	1290,42	4	1
HLL3	Guachal	9,00	285,27	3	1
HLL4	Yumbo	2,90	95,00	4	1
HLL5	Vidal	2,60	87,36	5	1
HLL6	Zabaletas	2,60	87,59	4	1
HLL7	Videles - Cocal	16,00	539,28	5	1
HLL8	Yocambo	13,00	422,20	3	1
HLL9	Sonso	104,00	3450,00	5	3
HLL10	Burrigá	50,00	1644,15	5	1
HLL11	Charco de oro	5,50	182,19	5	1
HLL12	San Antonio	5,00	170,00	5	1
HLL13	La Cañada	20,00	682,00	5	1
HLL14	Guare - Zarzal	18,00	609,76	4	1
HLL15	Ansermanuevo	12,00	386,00	3	1

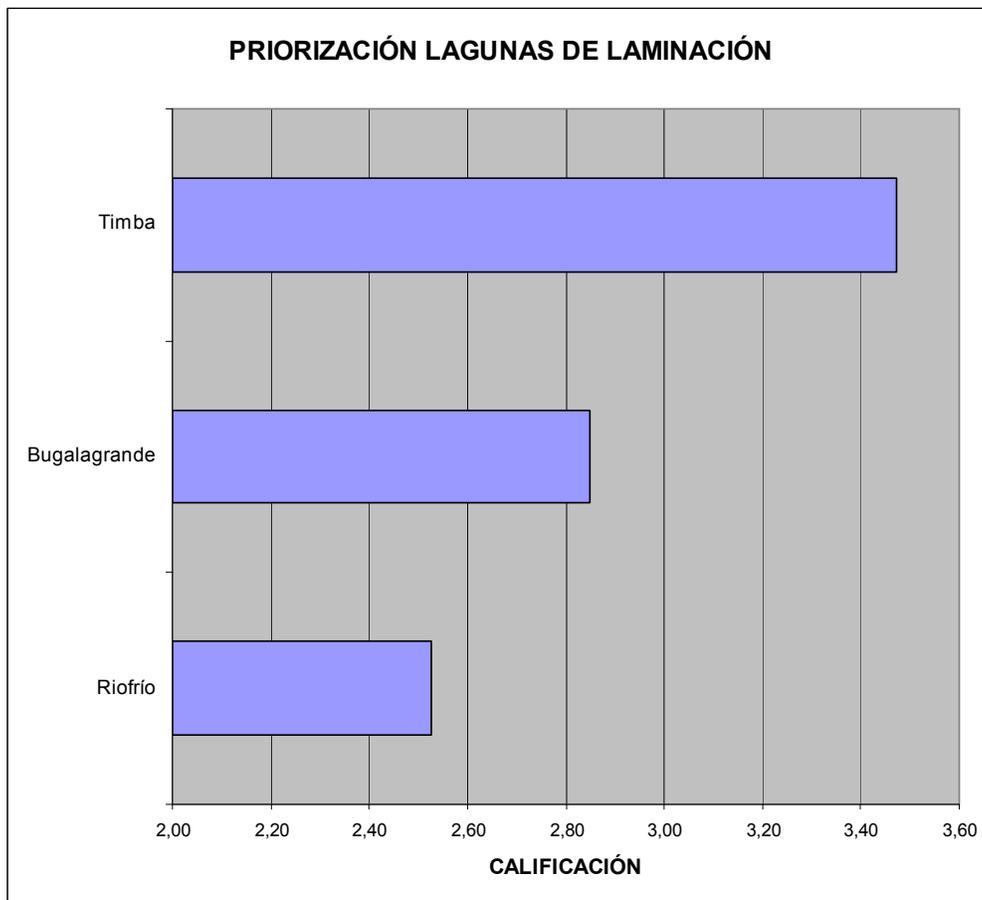
* **Nota:** Debido a que no se cuenta con un censo detallado de la cantidad de viviendas en los terrenos que se proponen las lagunas de laminación, se definió calificar esta variable de uno (1) a tres (3), donde uno (1) indica que las viviendas afectadas son pocas, mientras una calificación de tres (3) indica que la cantidad de viviendas afectadas es alta.

EMBALSES EN TRIBUTARIOS

Cuadro 6.25 Lista de priorización de medidas tipo Embalses en Tributarios

Código	Nombre	CALIFICACIÓN TOTAL PONDERADA
HLL1	Timba	3,47
HLL2	Bugalagrande	2,85
HLL4	Riofrío	2,53

Figura 6.6 Lista de priorización de medidas tipo Embalses en tributarios



Cuadro 6.26 Valores por criterio para cada una de las medidas tipo Embalses en tributarios

Código	Nombre	Impacto del embalse sobre caudales río Cauca	Costo del embalse	Volumen de almacenamiento del embalse	Costo del embalse/Volumen almacenado en el embalse	Impacto socio-ambiental del embalse
		[]	[MILL US 1998]	[Mm3]	[(MILL US 1998)/Mm3]	[]
HLL1	Timba	5	\$ 111	227	0,49	3
HLL2	Bugalagrande	4	\$ 116	60	1,93	2
HLL4	Riofrío	2	\$ 96	40	2,40	1

6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como ya se mencionó, existen una serie de intervenciones, que debido a sus características como localización y la protección que brindan a objetivos de alto valor, tales como ciudades y/o zonas industriales, que se definen como prioridad inmediata; por tal razón no se tuvieron en cuenta al implementar la metodología de priorización de alternativas o medidas estructurales. Con base en esta premisa, se entiende que independientemente del tipo de medida al que correspondan y de los resultados obtenidos de priorización, estas medidas definidas como prioritarias se deben implementar primero que las demás intervenciones planteadas

Al aplicar la metodología de priorización adoptada para cada uno de los tipos de medidas, se obtiene el listado de prioridad de intervención, donde la calificación más alta corresponde a la prioridad más alta dentro del tipo de medidas.

Es importante recordar, que de acuerdo a como se implementó la metodología, donde la medida “Diques con integración de humedales” es prioritaria sobre la medida “lagunas de laminación” y ésta a su vez sobre la medida “Embalses en tributarios”, la priorización obtenida para los tipos de medidas analizadas no son comparables entre sí. Por ejemplo, una intervención tipo “Laguna de laminación” con calificación “3.29” no es prioritaria con respecto a una intervención tipo “Dique con integración de humedales” con calificación “2.30”, pero sí lo es con respecto a una intervención tipo “Laguna de laminación” con calificación “3.15”.

Cuando se observan los resultados de priorización de las medidas tipo “Diques con integración de humedales”, que corresponden en el global a medidas de implementación en corto plazo, la intervención prioritaria corresponde al tramo río Sonso – río Tuluá, pues obtuvo una calificación ponderada de “4.32”, mientras que la intervención de menor prioridad corresponde al tramo entre la quebrada Aguasprietas y el río La Vieja, con una calificación de “1.52”.

A diferencia de la medida tipo “Diques con integración de humedales”, las medidas tipo “Laguna de laminación”, que corresponden en el panorama global a medidas de implementación a mediano plazo, obtuvieron un margen de calificación más ajustado, ya que la laguna de laminación de más alta prioridad de intervención o implementación fue la laguna de Burrigá con una calificación de “3.95”, mientras que la laguna de laminación con prioridad más baja corresponde a la laguna de Guachal con una calificación de “3.15”.

Finalmente, los resultados de los embalses de regulación en tributarios, que corresponden en el global a medidas de implementación de largo plazo, son muy concretos, donde la prioridad de intervención es la siguiente: Timba, Bugalagrande y Riofrío.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de identificar los tipos de intervenciones que se están implementando alrededor del mundo Los nuevos enfoques apuntan a considerar toda la cuenca como unidad básica para la gestión del riesgo por inundaciones

Para la implementación de una alternativa efectiva para la gestión de inundaciones en el corredor del río Cauca, requiere del concurso de una serie de medidas de varios tipos aplicadas a lo largo de todo el río. No es cierto que con la aplicación de una sola medida o de unas pocas será posible alcanzar el objetivo. El objetivo es encontrar la mejor configuración de todo el universo de medidas en la que los costos y pérdidas sean superados por los beneficios en un horizonte de largo plazo.

Las medidas planteadas en el presente informe son el resultado de análisis y experiencia del grupo de profesionales, sin embargo nos encontramos en una etapa inicial del proyecto Plan Director de Gestión de Inundaciones del Rio Cauca, por lo tanto se requiere de ir detallando la información, los análisis, realizar visitas técnicas, reuniones con los actores y demás procesos necesario para alcanzar los diseños definitivos y poder ejecutarlo en campo.

HUMEDALES

La integración de humedales a la dinámica del sistema río Cauca cumple una función de regulación durante las crecientes, los resultados de la modelación matemática para las condiciones establecidas (hidrógrafas de caudales, topografía, numero y área de humedales) y teniendo en cuenta las limitantes de información muestra que en promedio puede disminuir en promedio 10 cm el pico una creciente cuando se integran los humedales y en la parte norte del corredor puede alcanzarse cerca de 20 cm.

El listado de humedales que hacen parte de la integración en el modelo matemático es de 36 cuerpos de agua, los cuales suman un área aproximada de xxxx ha, sin embargo en etapas posteriores se puede ampliar esta medida en función de integrar mas cuerpos de agua al sistema y de ampliar el área defina como humedal actualmente, lo anterior como fruto de los estudios de identificación, delimitación y planes de manejo de humedales que la CVC realiza en su trabajo misional y que puede aportar más detalle para conocer su impacto.

Los humedales son una entidad territorial reconocida y respetada en nuestro territorio y al encontrarse resultados positivos de reducción de nivel en los análisis hidráulicos, puede plantearse como una alternativa que vale la pena estudiar en etapas posteriores del proyecto, el aumento de las áreas de humedales en función de los criterios de biodiversidad que generarían más espacio para la implementación de HMP, pero que derivaría en una reducción en los niveles de agua, es decir si hoy un humedal cuenta con 10 ha, duplicar su área puede multiplicar el impacto de esta medida para la reducción de niveles.

DIQUES

Los diques son, han sido y seguirán siendo la medida principal para la gestión de inundaciones en el corredor del río Cauca, por ello se presentan dentro del universo de medidas como las que se requieren implementar en el corto a mediano plazo.

Se requiere de una reglamentación especial para su manejo de los diques que supla los vacíos que en la práctica se presentan como por ejemplo: Quiénes deben incurrir en los costos de inversión y manteniendo; Cuando se hace obligatorio acometer una obra o mantenimiento; Como se hace la distribución misma de los gastos de inversión en infraestructura y mantenimiento. Entre muchos otros inconvenientes que se presentan en el campo y que algunos de ellos fueron motivo de grandes problemas durante la pasada ola invernal.

Los mapas de inundación y las visitas de campo evidencian que en términos generales la zona sur del corredor del río Cauca no ha sido necesaria la construcción de diques marginales al río Cauca, en parte gracias a la influencia directa del embalse de la Salvajina. Por lo anterior, entre las Fichas HD1 - HD4 no se plantean la construcción de diques para la protección agrícola, lo cual deberá ser ratificado en etapas posteriores con información detallada.

La distancia entre el río y en dique, conocida como berma, se encuentra actualmente reglamentada en el Acuerdo 052 de 2011 en 60 m, aunque en el proyecto se analizaron para diferentes anchos de berma (60, 90 y 120m) el impacto sobre los niveles máximos durante una creciente, las alternativas se analizaron tomando como base la normatividad, es decir para 60 m. En etapas posteriores deberá analizarse la viabilidad de aumentar el ancho de la berma (superior a 60m) para disminuir niveles de creciente en el río Cauca.

Según la normatividad vigente el trazado de los diques genera zonas o espacios para el río (entre el río y el dique) que se convierten en espacios para la implementación de HMP y para alojar volúmenes de agua durante las crecientes.

LAGUNAS DE LAMINACION

Las lagunas de laminación son una medida mundialmente reconocida y aplicada para la gestión de inundaciones, en nuestro medio también se aplican como por ejemplo la laguna de laminación del río Cañaveralejo en la ciudad de Cali. Sin embargo para las condiciones del corredor del río Cauca sería prioritario implementar las medidas de los diques y avanzar en los estudios (técnicos, socio-económicos y ambientales) antes de implementar una laguna de laminación.

Las lagunas de laminación fueron planteadas identificando en el corredor del río Cauca zonas bajas, frecuentemente inundadas, ubicadas entre cauces paralelos al río Cauca y buscando áreas sin asentamientos humanos. En el presente informe se realiza una primera identificación de posibles sitios a lo largo del río Cauca con base en los criterios antes descritos, pero vale la pena destacar el nivel en que se encuentra el proyecto y las limitantes

de información detallada de cada uno de los lugares propuestos. Será fruto de profundización en los análisis, información detallada y visitas técnicas a cada uno de los sitios propuestos que se evaluara su viabilidad.

La laguna de laminación de Caucaseco, se encuentra por fuera de la metodología de priorización, ya que fue considerada una medida de carácter inmediato. Esta medida convierte la zona en un área estratégica para la protección hidráulica de Cali, mostrándose como una oportunidad histórica para que se convierta en la seguridad hidráulica de la ciudad de Cali, en especial para la protección del distrito de Aguablanca, el cual está ubicado inmediatamente aguas abajo de la posible laguna de laminación.

ANILLOS URBANOS

La Victoria se inundo en la pasada ola invernal 2010 -2011, por lo anterior se marca como una prioridad inmediata la implementación de la medida HA2.

El anillo urbano de La Victoria debe garantizar una protección contra inundaciones superior a la protección del área agrícola que lo rodea, especialmente la cota de la corona de sus diques debe ser superior a la cota del dique del RUT (margen derecha) en por lo menos 60 cm, para que las rebordas de costales de tierra que se colocan durante una emergencia no igualen el grado de protección de La Victoria.

El anillo urbano de La Virginia fue construido por la CARDER después de la ola invernal de 2010-2011, sin embargo se presentan algunas ideas de medidas complementarias que puede mejorar la seguridad hidráulica de la ciudad.

EMBALSES DE REGULACION

Los embalses de regulación de tributarios son medidas que pueden tener un impacto sobre los niveles de las crecientes del río Cauca, sin embargo son medidas muy costosas y de alto impacto social y ambiental, requieren además de involucrar múltiples propósitos con el objetivo de distribuir las grandes inversiones.

La implementación de este tipo de medidas requiere de salvar múltiples obstáculos de diferente índole, pero quizás el aspecto social es uno de los más complejos de solventar, ya que implica largos procesos de trabajo social con comunidades afectadas antes de iniciar implementar.

De los estudios realizados por CVC se identificaron tres embalses de regulación con potencial para la gestión de inundaciones en el corredor del río Cauca (Timba, Río frio y Bugalagrande), los cuales aportar un caudal considerable en las crecientes y además cuentan una capacidad de embalses importante frente a sus hidrógrafas de creciente.

8. BIBLIOGRAFÍA

ARISTIZABAL J.C. (2011). Modelación hidrodinámica del río Cauca en el tramo La Bolsa-Guayabal para definir la altura y adecuada localización de diques riberaños. Proyecto de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Santiago de Cali. Colombia.

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 (1978). Proyecto de Regulación del Río Cauca: Discusión general de alternativas de diseño. Informe técnico. Santiago de Cali, Colombia.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – UNIVERSIDAD DEL VALLE (2001). Modelación matemática del río Cauca Tramo Salvajina La Virginia. Proyecto de Modelación del Río Cauca - Fase I, Volumen VIII. 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 (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 (2011). Ajuste al plan de manejo ambiental de la madre vieja El Estero – corregimiento de Navarro – zona rural del municipio de Cali, valle del Cauca. Informe técnico. Santiago de Cali, Colombia.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE (2011). Diagnóstico del estado actual de los de los diques del distrito de Aguablanca. Informe de Diagnóstico. 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 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.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. (2003) Programa de Desarrollo Sostenible de la región de la Mojana.

FATTORELLI S. Y FERNÁNDEZ P.C. (2011). Diseño Hidrológico. 2^{da} edición. Edición digital publicada en la biblioteca virtual de la Water Assessment & Advisory Global Network.

JICA (2002). Flood Control. Project for the enhancement of capabilities in flood control and Sabo engineering of the DPWH. Department of public works and highways.

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

RAGHUNATH H.M. (2006). Hydrology: Principles - Analysis - Design. Revised Second Edition. Manipal, Karnataka

RODRÍGUEZ D.M. Y JOJOA J.I. (2011). Estudio y evaluación de alternativas para la restauración de la hidrodinámica de la laguna de Sonso. Trabajo de Grado. Universidad del Valle.

SALAS M.A. (1999). Obras de Protección Contra Inundaciones. Cuadernos de Investigación No 49. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México.

SAAD M.B.A (). Nile River Flood Control: Egyptian Experiences. Hydraulics Research Institute. El Shorouk City. Egypt.

FOWG (2001). Guidelines of the FOWG. Berne.

DUTCH WATER PROGRAM ROOM FOR THE RIVER

Wang Z. (2005). Flood Control in the Yangtze River Basin. Changjiang (Yangtze) Water Resources Commission (CWRC) Ministry of Water Resources, China.