



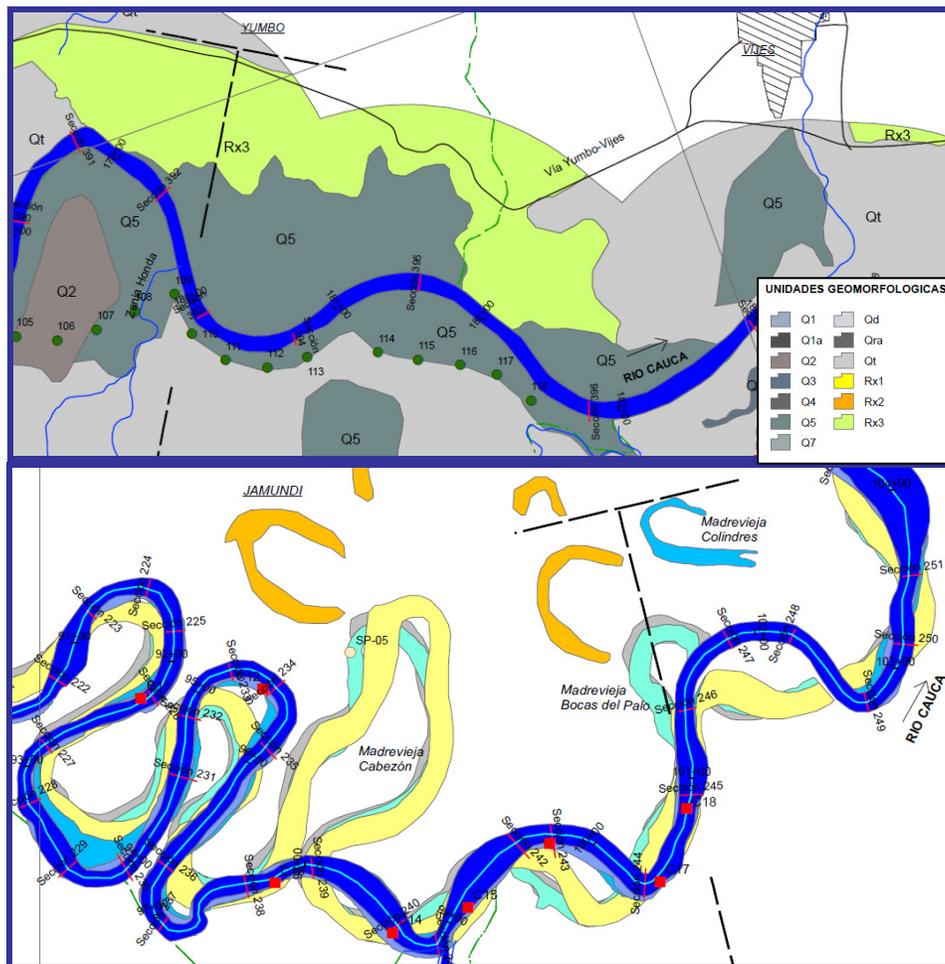
Convenio de Asociación No.001 de 2013  
**ASOCARS – UNIVERSIDAD DEL VALLE**



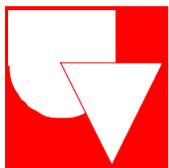
Corporación Autónoma  
Regional del Valle del Cauca  
*Comprometidos con la vida*

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

# GEOMORFOLOGÍA Y MORFODINÁMICA DEL RÍO CAUCA EN SU VALLE ALTO



## VOLUMEN II



Universidad  
del Valle

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



Hidráulica Fluvial  
y Marítima

Santiago de Cali, Enero de 2014

Copia NO controlada CVC



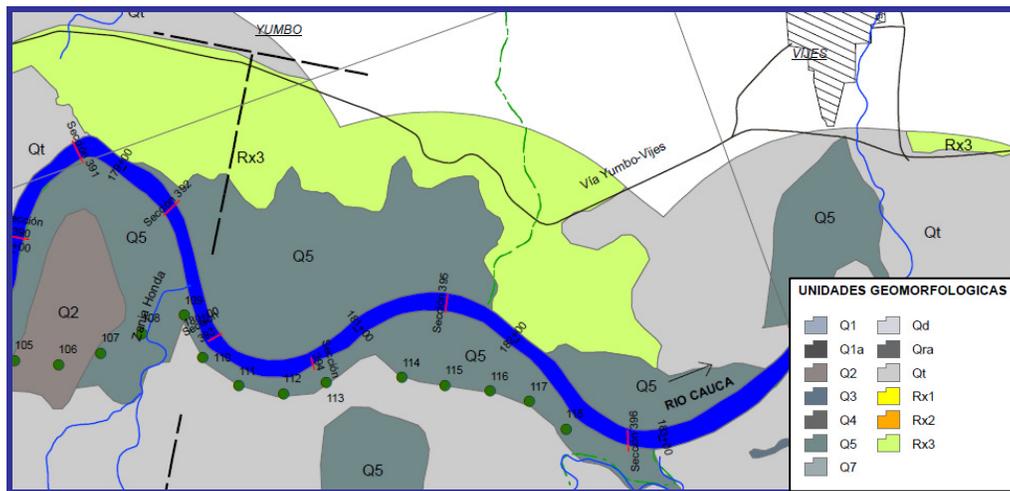
Convenio de Asociación No.001 de 2013  
**ASOCARS – UNIVERSIDAD DEL VALLE**

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



Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca  
Comprometidos con la vida

# GEOMORFOLOGÍA Y MORFODINÁMICA DEL RÍO CAUCA EN SU VALLE ALTO



## VOLUMEN IV

**ANEXO 2: GRUPO DE PLANOS A  
UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**

**ANEXO 3: GRUPO DE PLANOS B  
CARACTERÍSTICAS MORFODINÁMICAS DEL RÍO CAUCA**

**ANEXO 4: GRUPO DE PLANOS C  
LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO MULTIPROPÓSITO, ZONAS DE EMBALSES NATURALES Y ÁREAS DE MANEJO ESPECIAL**



Universidad del Valle

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



Hidráulica Fluvial y Marítima

Santiago de Cali, Enero de 2014

Copia NO controlada CVC



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

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



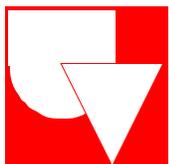
Corporación Autónoma  
Regional del Valle del Cauca  
*Comprometidos con la vida*

# **GEOMORFOLOGÍA Y MORFODINÁMICA DEL RÍO CAUCA EN SU VALLE ALTO**



**VOLUMEN III**

**ANEXO 1: INFORME GEOTÉCNICO**



**Universidad  
del Valle**

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



**Hidromar**  
Hidráulica Fluvial  
y Marítima

*Santiago de Cali, Enero de 2014*

Copia NO controlada CVC

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. Samuel Almeida Aceros	Ingeniero Geólogo
Ing. Kevin Mauricio Orozco Alzate	Geólogo
Ing. Freide Guzmán Gasca	Ingeniero Civil
Ing. Edgar Reyes Golondrino	Ingeniero Agrícola

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

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1.1</b>
1.1	OBJETIVOS .....	1.5
1.2	ALCANCES .....	1.5
1.3	LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	1.8
<b>2</b>	<b>SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO .....</b>	<b>2.1</b>
2.1	SELECCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA.....	2.2
2.2	DIGITALIZACIÓN .....	2.4
2.3	IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL.....	2.4
2.4	PROCESOS DE GEO-REFERENCIACIÓN .....	2.7
2.5	COMPOSICIÓN DE FOTO-MOSAICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	2.10
2.6	DIGITALIZACIÓN DE INFORMACIÓN .....	2.12
2.7	HOMOLOGACIÓN DE INFORMACIÓN .....	2.14
<b>3</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>3.1</b>
3.1	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	3.3
3.1.1	Barras Centrales Recientes y Activas (Q0).....	3.4
3.1.2	Barras y Playas Aluviales en proceso de consolidación (Q1).....	3.6
3.1.3	Barras laterales consolidadas. Complejo de orillares (Q1A) .....	3.6
3.1.4	Depósitos de pantanos y zonas pantanosas permanentes (Q2) .....	3.7
3.1.5	Cauces abandonados y tapones arcillosos (Q3).....	3.9
3.1.6	Albardones naturales o Levees (Q4).....	3.10
3.1.7	Zonas desecadas o rellenos de cauces.....	3.11
3.1.8	Terrazas Aluviales (Qt) .....	3.30
3.1.9	Depósito coluvial (Qd) .....	3.30
3.1.10	Unidad Antrópica. (Qra) .....	3.31
3.2	CONTROLES LITOLÓGICOS.....	3.32
3.2.1	Control Litológico Rx1.....	3.33
3.2.2	Control Litológico Rx2.....	3.34
3.2.3	Control Litológico Rx3.....	3.35
3.2.4	Caliches .....	3.36
3.3	MORFO-ESTRUCTURAS.....	3.43
<b>4</b>	<b>EVALUACIÓN GEOTÉCNICA.....</b>	<b>4.1</b>
<b>5</b>	<b>MORFODINÁMICA DEL RÍO .....</b>	<b>5.1</b>
5.1	PENDIENTE DEL RÍO .....	5.1
5.2	SINUOSIDAD .....	5.5
5.3	PENDIENTE DEL VALLE-PENDIENTE DEL CAUCE .....	5.7
5.4	MOVILIDAD LATERAL .....	5.11

5.5	MOVILIDAD VERTICAL.....	5.27
5.6	SECCIÓN A BANCA LLENA.....	5.32
5.7	RELACIÓN ANCHO-PROFUNDIDAD .....	5.32
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>6.1</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>7.1</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>8.1</b>
a.	Anexo 1: Informe geotécnico.....	8.1
b.	Anexo 2: Grupo de planos A: Unidades Geomorfológicas.....	8.2
c.	Anexo 3: Grupo de planos B: Características Morfodinámicas del río Cauca.....	8.3
d.	Anexo 4: Grupo de planos C: Localización de zonas de amortiguamiento multipropósito, zonas de embalses naturales y áreas de manejo especial.....	8.4

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. El Valle Alto del río Cauca dentro del contexto regional de los Departamentos de Cauca, Valle del Cauca y Risaralda .....	1.9
Ilustración 2 Presa de Salvajina, casa de máquinas en la parte baja; canales de fuga con retorno de agua al cauce del río Cauca.....	1.10
Ilustración 3 Presa y embalse de Salvajina.....	1.10
Ilustración 4 Cañón del río Cauca inmediatamente después de la presa de Salvajina.....	1.11
Ilustración 5 Antiguo puente vehicular sobre el río Cauca, sector La Virginia.....	1.11
Ilustración 6 Encañonamiento profundo del río Cauca, después de su paso por La Virginia.....	1.12
Ilustración 7 Flujograma de actividades del sistema SIG.....	2.2
Ilustración 8 Localización puntos de referencia .....	2.9
Ilustración 9 Foto-mosaico sector Puente La Balsa-Cali.....	2.10
Ilustración 10 Secuencia de foto-mosaicos de la zona norte, año 2004.....	2.11
Ilustración 11 Secuencia de foto-mosaicos de la zona sur, año 2007.....	2.12
Ilustración 12 Barras recientes sobre el cauce del río Cauca; zona sur, sector La Balsa.....	3.5
Ilustración 13 Barras y Playas ubicadas desarrolladas sobre curvas internas del río Cauca.....	3.6
Ilustración 14 Características de los complejos de orillares o barras consolidadas.....	3.7
Ilustración 15 Áreas de pantanos, afectadas por fuertes presiones.....	3.8
Ilustración 16 Relicto de antiguas unidades morfo-biológicas asociadas con antiguos cauces.....	3.9
Ilustración 17 Albardones o levees dentro de la morfología fluvial de un.....	3.10
Ilustración 18 Faja de albardones sobre la margen derecha del río Cauca .....	3.11
Ilustración 19 Extensas áreas desecadas e incorporadas a labores agrícolas de la región .....	3.12
Ilustración 20 Morfología y estado actual de las terrazas aluviales que conforman.....	3.30
Ilustración 21 Deposito coluvial formado sobre la parte baja de una zona con control litológico y suprayaciendo terrazas aluviales más antiguas.....	3.30
Ilustración 22 Relleno antrópico localizado sobre margen derecha del río Cauca .....	3.32
Ilustración 23 Control litológico a partir de presencia de rocas sedimentarias bien cementadas de la Formación Zarzal. Margen derecha del río Cauca, entre Obando y Cartago.....	3.33
Ilustración 24 Vista aérea del control litológico Rx1, sector Cartago, Formación Zarzal.....	3.34
Ilustración 25. Control litológico, (Rx2), relacionado con presencia de rocas sedimentarias tipo conglomerados y lodolitas; margen derecha del río Cauca, aguas abajo del puente Hormiguero.....	3.35
Ilustración 26 Control estructural tipo Rx3, pillow lavas sobre la margen izquierda del río Cauca en el sector Vije-Yotoco .....	3.36
Ilustración 27 Vista aérea de control estructural sobre la margen izquierda del río Cauca en el sector Vije-Yotoco .....	3.36
Ilustración 28 Condiciones lito-estructurales de la zona comprendida entre Salvajina y el.....	3.46
Ilustración 29 Ausencia de drenajes naturales sobre la margen izquierda del río Cauca.....	3.49
Ilustración 30 Condiciones lito-estructurales en la zona río Timba-Villa Paz.....	3.49
Ilustración 31 Condiciones lito-estructurales en la zona Villa Paz-Cali.....	3.52
Ilustración 32 Controles de tipo estructural en el cauce y las márgenes del río Cauca en el.....	3.54
Ilustración 33 Condiciones estructurales zona Cali-Buga .....	3.54
Ilustración 34 Condiciones lito-estructurales en la zona Buga-La Virginia .....	3.56
Ilustración 35 Ubicación sondeos realizados sobre fondo del río Cauca.....	4.2
Ilustración 36 Ubicación de sondeos ejecutados durante el desarrollo del presente estudio .....	4.9
Ilustración 37 Ubicación del sondeo SP-01.....	4.11
Ilustración 38 Ubicación del sondeo SP-02.....	4.12
Ilustración 39 Ubicación del Sondeo SP-03 .....	4.12
Ilustración 40 Ubicación del sondeo SP-04.....	4.13
Ilustración 41 Ubicación del sondeo SP-05.....	4.14
Ilustración 42 Ubicación del sondeo SP-06.....	4.14
Ilustración 43 Ubicación del sondeo SP-07.....	4.15
Ilustración 44 Ubicación del sondeo SP-08.....	4.16
Ilustración 45 Ubicación del sondeo SP-09.....	4.16
Ilustración 46 Ubicación del sondeo SP-10.....	4.17

Ilustración 47	Ubicación del sondeo SP-11	4.17
Ilustración 48	Ubicación del sondeo SP-12	4.18
Ilustración 49	Ubicación del sondeo SP-13	4.19
Ilustración 50	Ubicación del sondeo SP-13 A	4.19
Ilustración 51	Ubicación del sondeo SP-14	4.20
Ilustración 52	Ubicación del sondeo SP-15	4.21
Ilustración 53	Ubicación del sondeo SP-16	4.21
Ilustración 54	Ubicación del sondeo SP-17	4.22
Ilustración 55	Ubicación del sondeo SP-18	4.23
Ilustración 56	Ubicación del sondeo SP-19	4.24
Ilustración 57	Ubicación del sondeo SP-20	4.25
Ilustración 58	Ubicación del sondeo SP-21	4.26
Ilustración 59	Ubicación del sondeo SP-22	4.27
Ilustración 60	Expresiones polinómicas de la pendiente del río Cauca	5.2
Ilustración 61	Graficas de pendiente del cauce del río vs pendiente del valle geográfico	5.8
Ilustración 62	Curvas de movilidad lateral margen derecha e izquierda; en la parte alta, curva de sinuosidad.	5.12
Ilustración 63	Polinómicas del perfil del río Cauca para los años 2000 y 2012	5.28
Ilustración 64	Variación del perfil del fondo del río a lo largo de la zona de estudio	5.28
Ilustración 65	Relación ancho-profundidad con la sinuosidad del río Cauca, zona de estudio	5.34

**LISTADO DE TABLAS**

Tabla 1 Relación de información cartográfica empleada para la elaboración de la base digital en sistema SIG .....	2.3
Tabla 2 Relación de imágenes de satélite empleadas para elaboración de foto-mosaico .....	2.3
Tabla 3 Relación de fotos aéreas empleadas para elaboración de foto-mosaicos .....	2.4
Tabla 4 Listado de puntos de referencia .....	2.5
Tabla 5 Correlación de información obtenida, vs año consolidado .....	2.13
Tabla 6 Relación de sectores con inconsistencias identificadas para el perfil del 2012 .....	2.16
Tabla 7. Relación de información empleada para trabajos de fotointerpretación .....	3.3
Tabla 8 Relación y nomencladores de unidades morfológicas identificadas en el corredor .....	3.4
Tabla 9 Listado de cuerpos de aguas existentes sobre ambas márgenes del río Cauca .....	3.14
Tabla 10 Relación y distribución de controles litológicos a lo largo del río Cauca .....	3.37
Tabla 11 Resumen de sondeos efectuados sobre el lecho del río Cauca .....	4.3
Tabla 12 Relación de sondeos a lo largo del corredor río Cauca .....	4.8
Tabla 13 Resumen de los sondeos realizados en el presente estudio .....	4.10
Tabla 14 Pendiente media del río Cauca a lo largo de la zona de estudio .....	5.2
Tabla 15: Sinuosidad por tramos homogéneos .....	5.6
Tabla 16: Tramos del río Cauca y el valor de las pendientes del cauce y del valle geográfico .....	5.7
Tabla 17: Relación sinuosidad-Pv/Pc .....	5.10
Tabla 18: Resultados estadísticos movilidad margen derecha río Cauca .....	5.12
Tabla 19: Resultados estadísticos movilidad margen izquierda río Cauca .....	5.12

## 1 INTRODUCCIÓN

El aumento poblacional constante y exponencial que ha caracterizado el desarrollo de los países, especialmente en vías de desarrollo como el nuestro, ha traído como consecuencia un aumento desenfrenado en la demanda de productos, bienes y servicios, situación que ha generado una alta intervención y afectación sobre el medio ambiente, especialmente sobre el entorno cercano a los principales ríos y afluentes, zona en donde se desarrollan las principales actividades de tipo agrícola que son la base de la cadena alimenticia de la sociedad.

Nuestra región, el valle del río Cauca y afluentes, no ha sido ajena a esta situación, observándose con preocupación el continuo deterioro que muestran estas áreas debido a la alta intervención antrópica y la degradación natural no controlada, típica de regiones en donde las condiciones morfológicas y geológicas son, en general, adversas, desarrollando y modelando paisajes con susceptibilidad alta a ser afectados por cambios mínimos en sus condiciones naturales.

Es preocupante observar cómo las cuencas que conforman los principales afluentes del río Cauca presentan avanzados estados de degradación, con pérdida de gran parte de la cobertura vegetal natural, primaria, con alta intervención humana para el desarrollo de actividades agrícolas, algunas ilícitas, que ha conllevado de manera directa e indirecta al desarrollo de procesos dinámicos de alta significación y severidad en áreas en donde las condiciones morfológicas y geológicas son de por sí adversas debido a la presencia de rasgos estructurales mayores con actividad reciente y macizos rocosos de pobres condiciones geomecánicas.

Esta situación ha generado desequilibrios sobre el entorno natural de las cuencas, observándose procesos de socavación lateral y de fondo, avanzados y críticos, los cuales como resultado han producido un aumento importante en la producción de sedimentos, así como alteraciones significativas en las condiciones hidráulicas de cada uno de éstos. La pérdida de la cobertura forestal de los corredores cercanos a los cuerpos de agua ha ocasionado desprotección de márgenes y orillas, haciendo aún más sensibles estos terrenos al desarrollo de procesos erosivos y de remoción en masa que contribuyen grandemente con el deterioro de las cuencas. Asimismo, la presión de la frontera agrícola en áreas de laderas ha tenido como resultado la pérdida de parte de la cobertura vegetal natural así como de la parte superior del perfil del suelo que aumenta el grado de aporte de sedimentos hacia las partes más bajas de la región.

Tanto el desarrollo agrícola legal como el ilegal, a su vez, han generado un alto aporte de sustancias peligrosas, en el último caso hasta tóxicas, que han contribuido no sólo con el deterioro de las fuentes de agua de la parte alta, sino con las receptoras ubicadas en la parte baja del valle geográfico del río Cauca, de las que nos abastecemos de agua para el consumo humano en la zona plana. No ha sido fácil medir el daño que estas actividades han ocasionado tanto sobre los afluentes como en el propio río receptor y cuál ha sido su grado de aporte o su contribución con el lamentable estado que presenta en la actualidad el río Cauca. Las complejas condiciones sociales, económicas y demográficas de estas áreas,

como son las parte altas de las cordilleras, han hecho aún más difícil evaluar el grado de aporte que han generado en la alteración de las condiciones naturales del río, constituyéndose, a su vez, en barreras que no han permitido la recuperación de estas áreas, presentándose más bien como agentes degradadores del medio ambiente, sin el desarrollo de un uso racional que permita, no sólo la conservación del medio en estas áreas, sino también la recuperación de las partes bajas, medios receptores, que se han visto afectados de manera directa por esta situación.

Pero no sólo podemos señalar como directamente responsables del estado que presenta el río Cauca a las comunidades y a las actividades sociales, económicas y demográficas que se desarrollan en estas zonas; con preocupación hemos visto cómo bajo la premisa de un desarrollo agro-industrial como fuente de mejoras en la calidad de vida y bajo la bandera de generación de empleo, se ha desarrollado una serie de actividades que han ocasionado un alto deterioro sobre el valle geográfico del río Cauca, causando cambios en las condiciones morfológicas e hidráulicas de éste, alterando sustancialmente el sistema bio-geosférico y contribuyendo con la degradación de la calidad de los suelos debido a la interrupción en el ciclo de “fertilidad” de éste, a partir de la proliferación de sistemas de “contención” distribuidos, en la mayoría de los casos sin las evaluaciones o consideraciones técnicas, biológicas y agrologicas, no sólo de un sector específico sino de todo el entorno, el cual en últimas es el que resulta afectado.

Es preocupante ver el estado de “vasificación” que presenta en algunos sectores el valle geográfico del río Cauca, donde se llegaron a identificar varios indicadores de procesos de pérdida de fertilidad debido a la interrupción del ciclo natural propio de ríos de este tipo que ha traído consigo la construcción de barreras de contención de manera indiscriminada, conformando barreras para el adecuado manejo, tanto de las aguas lluvias y de escorrentía como de los flujos y reflujos propios de estas zonas, en donde su paragénesis corresponde a una planicie aluvial asociada con desbordes del río Cauca en sus diferentes periodos de retorno.

La alteración de las condiciones morfológicas e hidráulicas del valle del río Cauca no sólo ha sido el resultado del desarrollo indiscriminado de sistemas de contención; vemos con preocupación cómo a lo largo del periodo histórico evaluado, 1943-2012, la actividad antrópica y el desarrollo agro-industrial han generado alteraciones sobre cuerpos de agua que durante mucho tiempo fueron los retenedores, controladores y mitigadores de las crecientes del río Cauca, evitando el desborde en zonas más bajas, que desafortunadamente con el correr del tiempo evolucionaron como poblaciones, que son las que en la actualidad presentan alto grado de afectación como consecuencia de las crecientes del río. Tal como se verá en un capítulo posterior, sobre la planicie aluvial del río Cauca era recurrente la presencia de ciénagas, lagunas y “madreviejas” de diverso tamaño y condición, que en su momento y de forma natural el mismo río fue conformando tanto morfológica como hidráulicamente para que fungieran como vasos receptores temporales que mitigaran y controlaran los desbordes que presentaba y presenta el río Cauca, como resultado de la variedad hidro-climatológica de su cuenca así como de su diversidad morfológica, litológica y estructural, sin desconocer la actividad sísmica que caracteriza al sur-occidente colombiano y que como se verá posteriormente, ha tenido una influencia directa en la

modelación del paisaje y en la formación de estos sistemas lagunares desaparecidos en un alto porcentaje como consecuencia de la acción antrópica directa no controlada.

Otro de los aspectos que ha generado alteración en las condiciones morfológicas del valle ha correspondido con el manejo y uso de las fuentes de agua utilizadas para riego agrícola, en donde ha predominado la demanda agrícola sobre la oferta de estos cuerpos de agua, no refiriéndonos al manejo del caudal sino a las mismas condiciones morfológicas e hidráulicas de estos y su relación con su nivel base, el río Cauca. El estudio efectuado permitió determinar la alteración que se ha producido sobre varios cursos de ríos y quebradas, rectificándolos, variando la pendiente natural de éstos, cambiando la entrega a su río base y, en general, modificando las condiciones morfológicas no sólo de los canales activos de éstos, sino de su entorno morfológico, el cual corresponde al marco referencial geosférico que determina y controla los cursos de los drenajes naturales; la morfología fluvial determina que los cursos de los ríos, su tipología, su sinuosidad, pendiente hidráulica y en general sus características morfo-fluviales obedecen a la interacción de variables morfológicas, litológicas, estructurales dinámicas, endógenas y exógenas, y que cualquier alteración de estos patrones se verá reflejado en el comportamiento, no sólo local sino regional, de una cuenca en particular.

Bajo esta perspectiva, el valle geográfico del río Cauca en su parte alta presenta un panorama que a la luz de los resultados obtenidos en desarrollo del presente estudio no son halagadores para el futuro cercano, identificándose procesos avanzados de degradación de orillas y fondo de río, ocupación de antiguas áreas de reservas naturales para la mitigación de crecientes, la alteración y rectificación de cauces de drenajes naturales, la implementación de barreras o pantallas que restringen de manera severa el perfil hidráulico o sección del río Cauca y afluentes, disminuyendo, a su vez, el aporte de abonos y fertilizantes naturales a los suelos sujetos a degradación continua, a partir de actividades que involucran el paso de grandes maquinarias y equipos que compactan el suelo. Como consecuencia de la integración de varias de estas variables, las condiciones que muestra el valle geográfico del río Cauca en su parte alta deben considerarse como críticas y en un punto en donde se hace necesaria la toma de decisiones que involucre un cambio en la mentalidad de aprovechamiento de la oferta que nos presenta esta región, pero siendo conscientes del alto grado de responsabilidad que tiene el hombre, tanto en su recuperación como en su conservación para generaciones futuras.

No se pretende desconocer la importancia económica y social que han tenido para la región las diferentes actividades agro-industriales, las cuales se han constituido en el motor de desarrollo al menos de la parte baja del valle geográfico del río Cauca, pero sí consideramos que es hora de tomar los correctivos del caso, en donde las decisiones se tomen de manera concertada, pero teniendo como brújula o norte la recuperación de las zonas más afectadas hasta un punto de equilibrio sustentado en consideraciones históricas y registros técnicos de los últimos años. No se puede seguir desconociendo la gravedad de la situación acerca del estado del río Cauca y sus afluentes, teniendo como base para la búsqueda de las alternativas de solución y recuperación la oferta morfo-hidráulica del río, muchas veces por encima de consideraciones de tipo económico y social; de la vida o recuperación del río y sus afluentes dependerá en gran parte el desarrollo socioeconómico de la región, intrínsecamente relacionados entre sí; si hay vida en el valle geográfico del río

Cauca y afluentes habrá desarrollo económico de la región; por el contrario, si continúa el grado de deterioro, las actividades agro-industriales verán reducida su productividad como consecuencia de la pérdida sistemática y continua de la capacidad biológica del área como producto de los diferentes factores adversos ya anotados y que han ido reduciendo la capacidad de producción y adaptación del medio. No sabemos si es que en realidad necesitamos más tierras para cultivar o si, por el contrario, debemos aumentar la porción de áreas sembradas como consecuencia de una importante disminución en la capacidad o fertilidad de éstas.

No debemos dejar a un lado la importancia que para la recuperación tanto del río Cauca como de su valle geográfico representan los programas de recuperación de todos sus afluentes. Mientras no se tenga una política integral de manejo de la cuenca del valle alto del río Cauca, las condiciones morfológicas y geológicas adversas de estas cuencas, junto con el inadecuado manejo antrópico que se les ha dado y la falta de programas educativos de prácticas y medidas de control conforme a las circunstancias, todos los problemas de éstas se seguirán viendo reflejados a lo largo del corredor del río Cauca; y, mientras no se desarrollen programas de mitigación, recuperación y control hacia las partes altas de las vertientes, cualquier inversión que se realice en la zona baja será poca para la recuperación de este sector.

Bajo las anteriores perspectivas, la CVC en convenio con ASOCARS contrató con la Universidad del Valle, Grupo EIDENAR, la elaboración de los estudios de actualización y complementación morfológica, así como de la dinámica del río Cauca en su último decenio, con el fin de efectuar un análisis cuantitativo de la variación en las condiciones de éste, especialmente después de una temporada invernal que marcó registros históricos tanto en precipitaciones como en caudales. El área objeto de estudio corresponde al Valle Alto del río Cauca, que va desde la represa de Salvajina hasta el municipio de La Virginia en el departamento de Risaralda; la longitud del cauce del río Cauca en este tramo es de 445 km, siendo la longitud del valle de 240 km, aproximadamente.

Este documento presenta los resultados de la valoración efectuada, teniendo como referente la evolución geomorfológica que ha tenido la zona aledaña al cauce del río Cauca durante los últimos 12 años, reconociendo la formación de nuevas unidades morfológicas de tipo natural o antrópico como resultado de la dinámica del río y sus afluentes y las actividades agro-industriales desarrolladas en su entorno. Asimismo, se realizó el ejercicio de identificar y valorar los principales parámetros morfológicos e hidráulicos del río Cauca, efectuando un análisis particular e integral, a fin de poder tener una visión más clara acerca de los factores que más han contribuido al estado de alteración que presenta el río, pudiendo de esta forma identificar y priorizar los programas más adecuados para el inicio de un proyecto de recuperación, mitigación o control a corto, mediano y muy largo plazo.

Como resultado del estudio, se presentan las ofertas morfológicas y en gran parte hidráulicas que brinda el medio, de tal forma que él mismo pueda auto-regularse, sin la proliferación de obras que alteren las condiciones naturales del río, que en gran medida han sido las causantes de los daños relacionados con desbordes e inundaciones; los daños y pérdidas sobre bienes y servicios pueden ser calculadas fácilmente y pueden ser objetos de mitigación o compensación mediata; los daños que sufre el entorno natural como

consecuencia de inadecuados manejos por parte del hombre y su afán de producir no son calculables y en la mayoría de los casos se requerirán de varias generaciones para su retorno a unas condiciones mínimas de estabilidad natural.

## **1.1 OBJETIVOS**

Cuatro fueron los objetivos básicos inicialmente propuestos para el desarrollo del proyecto:

- Actualizar la evolución de las condiciones morfológicas del río Cauca y su corredor aledaño en una faja de 1 km a lado y lado de sus márgenes, identificando la presencia de nuevas unidades así como la interacción con las condiciones litológicas y estructurales al interior de la zona definida para el estudio.
- Actualizar los estudios sobre la dinámica del río Cauca, teniendo como base los estudios anteriores, en especial el realizado por CVC-UNIVALLE en los años 1999-2001 (CVC-UNIVALLE, 2001).
- Evaluar las características del denominado «caliche», de tal forma se pudiera determinar su origen y relación espacial con la dinámica del río Cauca en los sectores en donde aflora.
- Efectuar una caracterización geotécnica preliminar mediante sondeos a percusión, complementada con evaluación de información existente de pozos profundos y sondeos para obras civiles, con el propósito de determinar patrones de comportamiento y su relación con la dinámica y morfología del río Cauca.

Como resultado de esta evaluaciones se pretende identificar, proponer y recomendar programas, actividades y obras, que permitan iniciar un programa de recuperación del valle geográfico del río Cauca, teniendo como base la oferta geomorfológica de la zona en estudio, sus variaciones y alteraciones de origen natural y antrópico y las variables que controlan las condiciones hidráulicas de este cuerpo de agua.

## **1.2 ALCANCES**

La elaboración de los estudios de complementación, actualización y ajustes de las condiciones geo-morfológicas del cauce del río Cauca en el sector comprendido entre el embalse de Salvajina, en el departamento del Cauca, y la estación hidrométrica de La Virginia en el departamento de Risaralda, el valle del Alto Cauca como se le denomina, se basó en el análisis de fotointerpretación del corredor seleccionado. El corredor evaluado fue de 1 km a cada lado de las orillas del río Cauca, con algunas excepciones en donde se observaron elementos, unidades o información que se clasificó como de suma importancia para el desarrollo del proyecto. Se prestó especial relevancia a las geoformas determinantes que confinan el cauce del valle del río Cauca en el sector de estudio, con el fin de obtener información que permitiera identificar la potencial relación existente entre las geoformas regionales y locales, con la dinámica del río Cauca y, en especial, con sus sectores más sensibles o que se identificaron con mayor grado de divagación lateral. Asimismo, a partir de los trabajos de fotointerpretación sobre las fotografías aéreas correspondientes a los años 2004-2007 se reconocieron las diferentes unidades morfológicas, definiendo a una escala mayor sus contactos y características, su evolución en el tiempo, procediendo a elaborar la cartografía de éstas a escala 1:25000, la cual fue la definida por la CVC para este estudio.

A partir del foto-análisis también fue posible identificar nuevas unidades que se han desarrollado como consecuencia de la dinámica del río y su entorno, así como de otras que tienen un origen netamente antrópico pero que han generado cambios significativos en la morfología de la superficie del terreno.

El trabajo de evaluación de las unidades geomorfológicas fue complementado con una revisión general de las condiciones y los rasgos estructurales mayores dentro del valle geográfico del río Cauca, haciendo énfasis en su ubicación, características y, sobre todo, en su relación con la morfología fluvial del río, cambios regionales y locales, alteraciones en su curso, presencia de controles litológicos y estructurales y, principalmente, su relación con la movilidad del río Cauca en el área de estudio.

Complementario a la anterior actividad, se evaluó mediante análisis multi-temporal la dinámica del cauce del río Cauca, haciendo énfasis en la identificación y evaluación de los sectores más críticos, de tal forma que se pudieran determinar los procesos intrínsecos y externos que han contribuido a la alteración del comportamiento del cauce. Esta información se tomó a partir de la superposición de mosaicos debidamente geo-referenciados de cada época en que existen registros históricos e instrumentales, como son las fotos aéreas, llevándola a planos a escala 1:25000, a partir de los cuales se midieron los rangos de desplazamiento de sus orillas, determinando a su vez la tasa de desplazamiento anual; con base en esta información histórica se determinaron los vectores de movimientos del desplazamiento del cauce del río, identificando a su vez las zonas o sectores que más han sido afectados por procesos de desplazamiento lateral y de fondo, en los cuales se concentró la investigación morfológica, dinámica y antrópica de los procesos identificados.

Teniendo como base el levantamiento batimétrico realizados por la CVC durante el año 2012 se elaboró el modelo del perfil del río Cauca para todas las secciones, a partir del cual se pudo efectuar una comparación o análisis de la evolución de éste, la cual tuvo como punto de referencia el perfil que se obtuvo en el año 2000 en desarrollo del Proyecto de Modelación del Río Cauca (CVC -Universidad del Valle, 2001). En este punto se tuvo alguna dificultad, especialmente en la ubicación de las secciones en cada época, ya que en la mayoría de los casos no se tenía la misma geo-referenciación (algunas sin ubicación planimétrica de éstas), haciendo necesario llevar a un mismo patrón los diferentes levantamientos. La baja densidad de la información disponible sólo permitió llevar a cabo una evaluación comparativa regional, mostrando e identificando tendencias por tramos del río cauca, más que análisis puntuales o locales.

Un parámetro que se consideró determinante para correlacionar con la información geomorfológica de la región y la dinámica del río correspondió a la identificación y clasificación del cauce de acuerdo con su sinuosidad, la cual es muy variable, observándose tramos muy rectos con fuerte control estructural de tipo distensivo y litológico y tramos con sinuosidades altas, en donde se combinan controles estructurales regionales de tipo compresivos con suelos de materiales de pobres condiciones geomecánicas.

Se tuvo en cuenta, también, la relación entre el ancho del cauce y su profundidad, muy importante al momento de efectuar un análisis de tipo regional y local, como variable

determinante para zonas en donde las actividades de tipo antrópico, tipo minería de extracción, son significativas, tal como ocurre en varios tramos del río Cauca.

Asimismo, se tuvieron en cuenta los registros de los sondeos efectuados tanto en el fondo del río Cauca como en sus márgenes, a partir de los cuales se logró una caracterización preliminar de las condiciones y propiedades físicas y mecánicas de los materiales que conforman el canal del río Cauca en la zona estudiada. Durante el desarrollo del proyecto se efectuaron 22 sondeos adicionales, los cuales tuvieron como propósito obtener información acerca del estado que presentan en la actualidad zonas que antes correspondían a lagunas, “madreviejas”, zonas de amortiguación natural de crecientes, etc.

Se realizó una caracterización más detallada de la presencia de los afloramientos que comúnmente se han denominado “caliche”, evaluando sus características mineralógicas y composicionales a nivel mesoscópico, su relación con las condiciones litológicas y estructurales de la regional, de tal forma que se obtuviera una definición más realista, determinando la paragénesis de dichas formaciones.

Toda la información obtenida desde el punto de vista geológico, geomorfológico y geotécnico fue complementada con la información de tipo hidráulico disponible, variables que se combinaron para obtener un análisis integral regional acerca de las condiciones que presenta el río Cauca en la actualidad, permitiendo generar una primera aproximación del grado de susceptibilidad morfo-hidráulica, su relación con las diversas actividades antrópicas que se desarrollan en su cauce y orillas principalmente y las perspectivas de desarrollo y aprovechamiento, no sólo de los recursos hídricos sino de las áreas contiguas a éste, las cuales conforman la planicie aluvial del río Cauca.

Finalmente, en este análisis se incluyeron las extracciones de materiales de arrastre, actividad en su mayoría ilegal y sin un control bien definido, que influyen notoriamente en la alteración de la morfodinámica del río, así como en la estabilidad de las obras que se proyecten o se hayan implantado en el cauce y las márgenes del río Cauca.

A partir de los análisis efectuados así como de los reconocimientos de campo realizados se identificaron las áreas que ofrecen las mejores condiciones para iniciar un programa de recuperación del ambiente biogeográfico del valle del río Cauca y que a su vez pueden contribuir con la mitigación y reducción de los daños que se generan a partir de las crecientes y desbordes del río Cauca en sus épocas de altas precipitaciones al interior de su cuenca. Estas zonas deberán ser objeto de una evaluación detallada posterior a este estudio, de tal forma que de manera local y puntual se determinen las variables físicas y biológicas de cada entorno, a partir de las cuales se determinará la viabilidad y el punto de equilibrio para su conformación como zonas de mitigación de inundaciones. Vale la pena recalcar que las áreas propuestas están dentro de los antiguos cauces del río Cauca o dentro de las zonas lacustres naturales que conformaban los embalses de mitigación y control de inundaciones hace más de 80 años, por lo que son zonas que dentro del registro geológico e histórico siempre han pertenecido a la planicie aluvial del río y por supuesto a la dinámica fluvial activa del río.

### **1.3 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

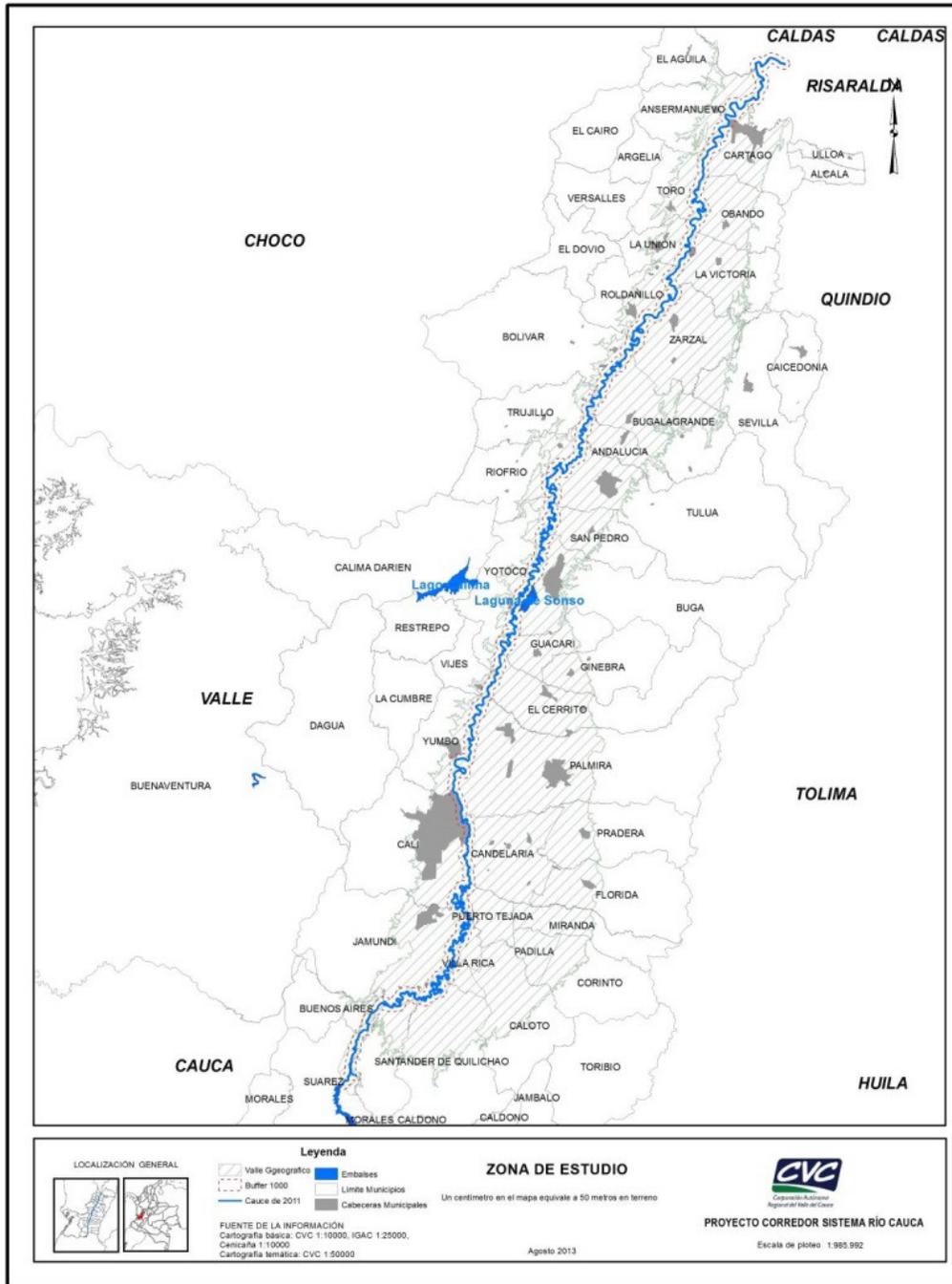
La zona de estudio abarca la jurisdicción de tres departamentos: al sur, el departamento del Cauca, con zonas de influencia en los municipios de Suárez, Santander de Quilichao, Villa Rica y Puerto Tejada; la zona centro y la de mayor cobertura se ubica en el departamento del Valle de Cauca, en el cual el río Cauca lo recorre en sentido predominante sur-norte y con jurisdicción en los municipios de Jamundí, Cali, Yumbo, Vijes, Yotoco, Riofrío, Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro y Ansermanuevo, ubicados sobre la margen izquierda del río Cauca y los municipios de Candelaria, Palmira, Cerrito, Guacarí, Buga, San Pedro, Tuluá, Bugalagrande, Andalucía, Zarzal, La Victoria, Obando y Cartago, ubicados sobre la margen derecha del río Cauca; y al norte, el departamento de Risaralda, con jurisdicción únicamente en el municipio de La Virginia, ubicado al sur del departamento.

El Valle Alto del Río Cauca se localiza hacia el sur-occidente de Colombia, correspondiendo a una geoforma de origen netamente aluvial-lacustre, sobre la cual se han desarrollado procesos denudativos y acumulativos secundarios, controlados por la presencia de una litología diversa así como de sistemas estructurales regionales, entre los que se encuentran los sistemas de fallas que cruzan la totalidad del territorio nacional en sentido norte-sur. Más recientemente se han desarrollado procesos de origen antrópico que han modelado y alterado el paisaje natural, asociados principalmente con la alta intervención antrópica, tanto de origen agro-industrial como de asentamientos poblacionales y, por consiguiente, de obras de infraestructura que satisfagan la necesidad de la creciente población.

La zona de estudio está comprendida entre la represa de Salvajina, punto de geo-referencia al cual se le ha asignado la abscisa k0+000 y la estación hidroclimatológica de La Virginia, localizada en la abscisa k446+000; por su parte, la elevación de estos dos puntos oscila entre las cotas 1.047 msnm para el sector de Salvajina y 887 msnm para el área de La Virginia.

El valle alto geográfico del río Cauca tiene una longitud de 225 km, un ancho promedio de 12 km y un ancho mínimo de 5.5 km a la altura de la denominada saliente de Buga, medidos en sentido predominante EW en la zona norte del casco urbano de esta población. Se encuentra delimitado, tanto al norte como al sur de la zona de estudio, por importantes valles profundos, de laderas muy largas, en general escarpadas y controladas por sistemas estructurales regionales que forman valles muy rectos y de vertientes empinadas. Al sur de la represa de Salvajina se observa el desarrollo de un cauce juvenil, que transcurre desde este sector hasta sus nacimientos en la parte alta de la cordillera Central, en límites de los departamentos de Cauca y Huila; esta morfología sólo se ve interrumpida a la altura del municipio de Popayán debido a la presencia de fallamientos que cambian el curso del río Cauca hacia el occidente, desarrollando a su vez una morfología ligeramente ondulada asociada con la presencia de depósitos de origen fluvio-volcánicos de edad más reciente. Hacia el norte de la zona de estudio, a partir del municipio de La Virginia, el cauce se torna nuevamente encañonado, formando valles profundos y escarpados, controlados por el sistema de fallas Cauca-Romeral, que han conformado el alineamiento muy rectilíneo sobre el cual se desplaza el río en una longitud promedio de 300 km hasta encontrar las llanuras bajas de la zona norte de Colombia.

**Ilustración 1. El Valle Alto del río Cauca dentro del contexto regional de los Departamentos de Cauca, Valle del Cauca y Risaralda.**



Las coordenadas geográficas de la zona de la represa de Salvajina corresponden a los 2° 56' 31'' latitud norte y 76° 42' 24'' longitud oeste. Para el caso del sector de La Virginia, las coordenadas geográficas corresponden a 4° 53' 02'' latitud norte y 75° 52' 12'' longitud oeste, punto referido al puente sobre el río Cauca.

Los estudios fueron restringidos a un corredor de ancho máximo de 1 km a lado y lado de cada margen del río Cauca, sobre el cual se realizaron las actualizaciones geomorfológicas

y morfodinámicas así como la evaluación integral de las diferentes variables morfo-hidráulicas, a partir de las cuales se determinó, a nivel preliminar, las zonas con más alta susceptibilidad a ser afectadas por alteraciones tanto naturales como de origen antrópico.

La Ilustración 1 muestra la ubicación de la zona de estudio dentro del marco regional que abarca los tres departamentos directamente relacionados.

**Ilustración 2 Presa de Salvajina, casa de máquinas en la parte baja; canales de fuga con retorno de agua al cauce del río Cauca**



**Ilustración 3 Presa y embalse de Salvajina**



**Ilustración 4 Cañón del río Cauca inmediatamente después de la presa de Salvajina**



**Ilustración 5 Antiguo puente vehicular sobre el río Cauca, sector La Virginia**



**Ilustración 6 Encañonamiento profundo del río Cauca, después de su paso por La Virginia**



## **2 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO**

Un Sistema de Información Geográfico, SIG, es un conjunto de programas de computación que tiene la capacidad de almacenar, organizar, analizar y presentar datos espaciales. Aquellos datos que tengan referencias geográficas, como por ejemplo mapas geomorfológicos, litológicos, estructurales (datos asociados a una unidad de área), tipos de suelo, de vegetación, caminos, datos climáticos, pueden ser incorporados a un SIG para luego ser utilizados en la confección de mapas o coberturas temáticas que permitan la visualización y análisis de forma integrada de los datos. Los dos tipos de datos que constituyen toda característica geográfica (espacial y descriptiva) son combinados en los SIG permitiendo analizar su interacción dentro de un mapa o entre varios mapas y obtener uno nuevo con características propias.

El Sistema de Información Geográfica es una herramienta que es utilizada en diferentes tipos de estudios, como es el caso de los estudios ambientales y sociales. Para nuestro caso, teniendo en cuenta el volumen de información obtenida, la magnitud de la zona del trabajo y la complejidad de las variables utilizadas (asociadas cada una con información específica en tamaños significativos), hizo necesario hacer uso de esta herramienta, teniendo en cuenta, a su vez, las exigencias y requisitos de la CVC en cuanto a la entrega de la información obtenida, tanto en forma directa como indirecta, bajo los formatos de las bases de datos que esta entidad maneja. La siguiente fue la propuesta técnica para brindar apoyo al proyecto Corredor del Río Cauca en su componente SIG. Toda la información primaria y secundaria obtenida durante el desarrollo del estudio fue clasificada y almacenada utilizando el sistema SIG, de tal forma que su manejo, ya sea de forma integral o individual, resultase de fácil acceso, consulta y análisis posterior. Este sistema usó como herramienta principal y base de información la geo-referenciación de imágenes (aerofotografías<sup>1</sup>) de la zona de estudio mediante software y rutinas metodológicas propias de los SIG, como son:

- Captura de Datos: Datos Gráficos (Digitalizar o escanear)
- Almacenamiento de datos (imágenes)
- Manipulación y procesamiento de datos (imágenes)
- Análisis comparativos de imágenes
- Análisis espacial de datos gráficos (imágenes)
- Resultados:
  - Despliegue en pantalla de los datos gráficos (imágenes)
  - Copias duras (planos y mapas) usando impresora
  - Reportes

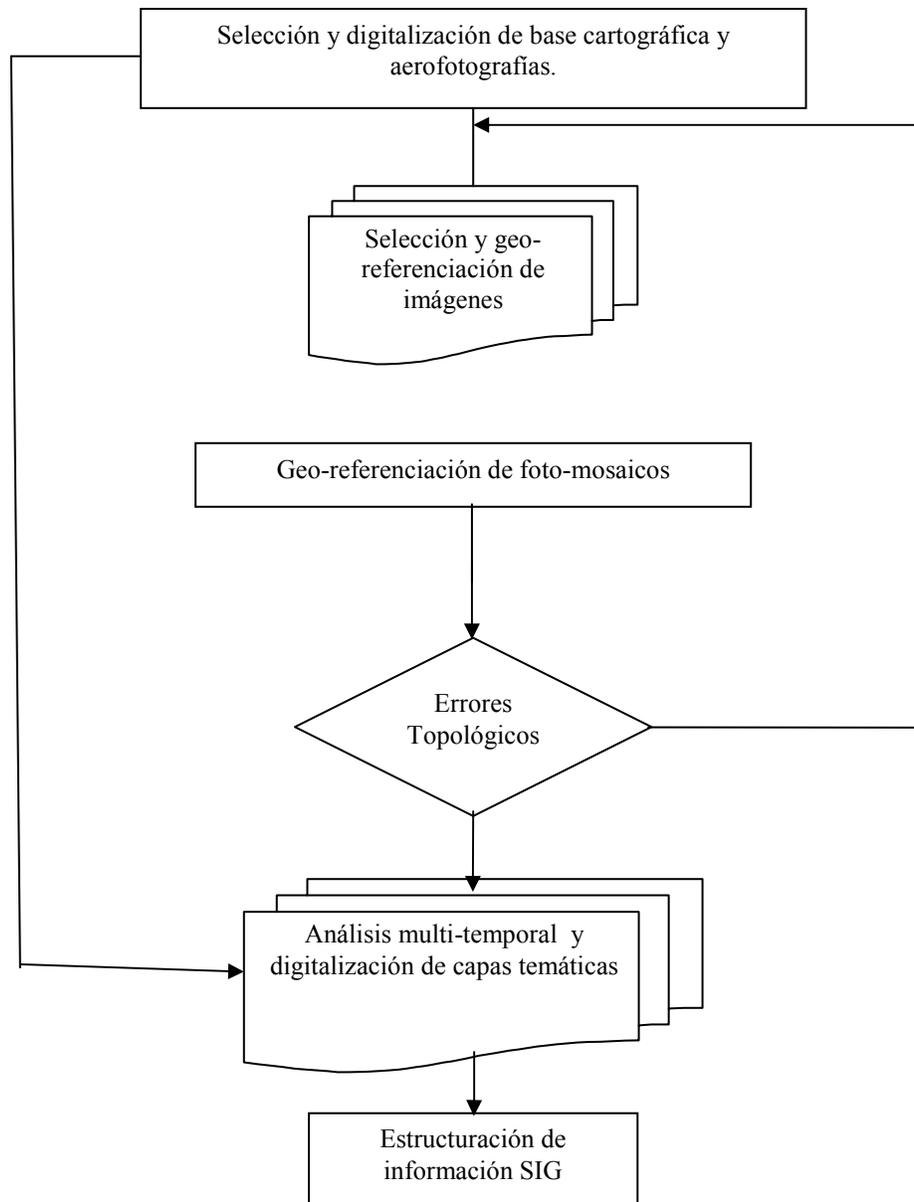
El trabajo estuvo orientado a la aplicación de la tecnología SIG en un área específica como es la variación en el tiempo de la dinámica del río Cauca, la evolución de las diferentes geoformas que conforman el paisaje al interior de la zona de estudio, la inclusión de información de suelos, atributos con información litológica, estructural, dinámica, de

---

<sup>1</sup> Las fotografías aéreas constituyen una buena herramienta cartográfica georreferenciada, aunque trabajar con foto-mapas o fotomosaicos sea dispendioso por el volumen de fotografías a utilizar, por las deformaciones de la naturaleza de los lentes que ellas presentan y la diversidad de fotografías con diferentes fechas de toma y escalas que cubren la zona de interés.

suelos, etc., permitiendo relacionar la información espacial y temporal con el estado y la condición actual. La Ilustración 7 muestra el flujograma de las actividades que conforman el desarrollo del sistema SIG empleado para el desarrollo del estudio.

**Ilustración 7** Flujograma de actividades del sistema SIG



## 2.1 SELECCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

Como base cartográfica y de sensores remotos para la comparación y contraste de las imágenes se utilizó la información temática oficial de la CVC y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, existente a escala 1:10.000, complementada con otra información

a diferente escala. La relación de la información empleada se presenta en las Tablas 1 (información cartográfica), 2 (imágenes de satélite) y 3 (fotografías aéreas).

**Tabla 1 Relación de información cartográfica empleada para la elaboración de la base digital en sistema SIG**

Cartografía Base	Cartografía Base	Cartografía Temática	Cartografía Base
Plancha IGAC	Plancha CVC	Carta de Suelos IGAC	Planchas FAL
Escala. 1:25.000	Escala. 1:50.000	Escala. 1:50.000	Escala. 1:10.000
Año: 1966	Año: 1969	Año: 1980	Año: 1998
223 – IV – B, D 224 – I – A, B, C, D 224 – III – A 242 – II – D 242 – III – B 242 – IV – A, B, C 261 – I – D 261 – II – C 261 – III – A, B, D 280 – I – B, C, D 280 – III – A, B, C, D 300 – I – A, C 300 – III – A, C 320 – II – D 320 – IV – C 321 – I – A	211 – A - 1 211 – A - 2 211 – A - 3 211 – A - 4 211 – A - 5 211 – A - 6	223 – IV 224 – II 224 – III 242 – II 242 – IV 243 – I 261 – I 261 – II 261 – III 261 – IV 280 – I 280 – II 280 – III 280 – IV 299 – II 299 – IV 300 – I 300 – II 300 – III 300 – IV 320 – II 321 – I	224 - I - A4 224 - I - C1,C2, C3, C4 223 - IV - B2, B4 224 - III - A1, A3 223 - IV - D2, D4 242 - III - B2, B4 242 - III - D1, D2, D3 242 - IV - A2, A4 242 - IV - B1 242 - IV - C1, C2, C3 261 - III - A1, C3 261 - I - D2, D4 261 - II - C1 261 - III - B2, B4 261 - III - D1, D2, D3 280 - I - B1, B3 280 - I - C2, C4 280 - I - D1 280 - III - A2, A3, A4 280 - III - C2, C3, C4 300 - I - A1, A3, A4 300 - I - C1, C4 300 - III - A1, A2, A3, A4 300 - III - C1, C3 320 - II – B2, B3, B4 321 - I - A1

Fuente: CVC

**Tabla 2 Relación de imágenes de satélite empleadas para elaboración de foto-mosaico**

Año	Sensor	Fecha	Escala Aproximada:	Resolución
2012	Landsat7	Julio de 2012	1:50.000	15 m
2013	Landsat8	Marzo de 2013	1:50.000	15 m

Fuente: CVC

**Tabla 3 Relación de fotos aéreas empleadas para elaboración de foto-mosaicos**

<b>Año</b>	<b>Vuelo:</b>	<b>Fotografías</b>	<b>Escala Aproximada:</b>	<b>Resolución de Escaneo:</b>
2004	FAL 448 Faja 43	319, 320, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 340, 341, 342	1:31.300	600 dpi
	FAL 448 Faja 44	240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272	1:31.300	600 dpi
2007	FAL 461 Faja 26	219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234	1:10330	600 dpi
	FAL 461 Faja 29	72, 73, 74, 75, 76 y 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93	1:10330	600 dpi
	FAL 461 Faja 31	49, 50, 51, 52	1:10330	600 dpi
	FAL 461 Faja 32	115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135	1:10330	600 dpi

Fuente: CVC

## 2.2 DIGITALIZACIÓN

Las fotografías aéreas, las imágenes de satélite y las planchas de cartografía seleccionadas fueron escaneadas a 600 dpi y almacenadas en formato TIFF (Tagged Image File Format, un formato para archivos de imágenes de alta calidad), esto con el fin de garantizar la calidad de la información; posteriormente se realizó la digitalización en pantalla a escala 1:2500 con el fin de que ésta fuera lo más aproximada y minimizara el error, especialmente el de distorsión hacia los extremos de cada imagen.

## 2.3 IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL

Con base en las aerofotografías y la cartografía base (FAL año 1998), se identificaron los “puntos” claves para la mejor ubicación de marcadores. Estos puntos deben ser de fácil observación y pueden corresponder a puentes, zonas esquineras, intercepción de vías o caminos, unidades de manejo específicas, los lotes y/o la finca misma. El objetivo es reducir al máximo el número de marcadores en el campo y que, además, se puedan identificar fácilmente sobre la base cartográfica con la que se cuenta.<sup>2</sup> En la Tabla 4 se

<sup>2</sup> Para tal fin se seleccionan puntos precisos y se correlacionan con los de referencia tomados de las planchas base teniendo en cuenta trabajar con una polinomial de grado tres para de esta manera contar con por lo menos diez puntos correlacionados que garanticen un alto grado de precisión con error sub-métrico de 0.5

presenta el listado de los puntos de control o referencia utilizados y en la Ilustración 8 su localización.

**Tabla 4 Listado de puntos de referencia**

Punto	Norte	Este	Punto	Norte	Este
1	1.050.717	829.868	106	1.125.771	1.023.127
2	1.050.044	829.182	107	1.122.465	1.021.242
3	1.052.452	828.609	108	1.123.469	1.022.504
4	1.053.195	829.889	109	1.123.465	1.021.059
5	1.052.570	831.554	110	1.123.775	1.019.849
6	1.053.632	832.161	111	1.121.751	1.019.202
7	1.053.566	833.577	112	1.120.341	1.016.789
8	1.051.836	832.821	113	1.119.698	1.016.793
9	1.050.521	832.817	114	1.121.119	1.014.503
10	1.051.976	833.997	115	1.118.392	1.009.689
11	1.051.871	835.609	116	1.117.499	1.008.363
12	1.052.793	834.661	117	1.115.185	1.009.058
13	1.054.410	832.642	118	1.113.431	1.005.419
14	1.056.245	835.281	119	1.114.987	1.002.105
15	1.055.127	837.191	120	1.113.137	1.002.101
16	1.053.986	836.959	121	1.118.817	1.000.315
17	1.054.480	839.139	122	1.118.491	998.441
18	1.055.778	838.051	123	1.114.510	992.528
19	1.057.132	838.008	124	1.113.716	992.988
20	1.058.395	837.365	125	1.112.859	992.778
21	1.061.200	834.315	126	1.111.645	989.032
22	1.063.865	832.034	127	1.108.655	983.380
23	1.065.521	835.010	128	1.107.084	979.209
24	1.066.548	837.723	129	1.105.361	979.689
25	1.063.289	838.374	130	1.096.228	964.299
26	1.060.016	840.205	131	1.103.869	977.788
27	1.059.719	839.231	132	1.108.294	978.876
28	1.058.758	838.868	133	1.109.342	983.230
29	1.059.688	838.628	134	1.109.873	986.165
30	1.061.685	842.307	135	1.115.469	990.912
31	1.062.236	841.520	136	1.118.713	995.326
32	1.061.895	843.277	137	1.118.557	1.001.350
33	1.061.922	846.589	138	1.118.383	1.000.096
34	1.062.442	846.681	139	1.128.801	1.028.031
35	1.065.094	846.099	140	1.131.922	1.027.911

Punto	Norte	Este
36	1.065.885	845.391
37	1.068.231	841.428
38	1.067.427	843.277
39	1.068.035	848.192
40	1.070.381	849.289
41	1.070.141	848.109
42	1.071.823	851.264
43	1.070.084	853.409
44	1.068.834	854.755
45	1.067.379	856.271
46	1.068.039	855.581
47	1.066.165	857.573
48	1.071.605	861.540
49	1.070.609	862.344
50	1.071.968	861.173
51	1.071.203	859.421
52	1.066.834	861.309
53	1.064.762	863.245
54	1.067.603	864.988
55	1.066.550	868.047
56	1.068.735	866.884
57	1.069.670	865.630
58	1.070.281	864.621
59	1.073.309	864.402
60	1.068.931	872.049
61	1.069.102	871.236
62	1.070.566	873.727
63	1.070.133	873.006
64	1.072.672	871.961
65	1.069.526	878.249
66	1.069.736	877.283
67	1.069.526	875.693
68	1.070.234	875.916
69	1.072.217	876.554
70	1.063.330	879.691
71	1.065.607	883.532
72	1.066.371	884.122
73	1.070.347	878.437
74	1.066.271	887.962

Punto	Norte	Este
141	1.127.090	1.026.096
142	1.128.992	1.023.452
143	1.129.419	1.021.401
144	1.121.599	1.024.581
145	1.120.300	1.021.831
146	1.124.817	1.018.958
147	1.119.612	1.019.834
148	1.122.845	1.015.420
149	1.120.043	1.013.369
150	1.117.301	1.004.420
151	1.114.184	996.896
152	1.115.322	993.887
153	1.118.097	994.774
154	1.116.037	991.742
155	1.114.491	988.977
156	1.111.031	977.429
157	1.112.821	985.718
158	1.113.515	986.508
159	1.109.119	984.663
160	1.107.753	981.733
161	1.100.178	970.970
162	1.099.726	970.057
163	1.098.674	971.331
164	1.101.150	967.323
165	1.097.022	961.647
166	1.097.304	964.434
167	1.096.185	957.639
168	1.096.871	958.151
169	1.093.363	953.551
170	1.095.895	953.392
171	1.091.370	954.079
172	1.095.355	955.222
173	1.095.339	956.198
174	1.095.236	956.893
175	1.093.626	956.793
176	1.091.914	956.852
177	1.093.144	959.865
178	1.094.082	959.020
179	1.096.520	957.961

Punto	Norte	Este
75	1.066.459	889.352
76	1.070.789	893.957
77	1.071.895	898.964
78	1.072.210	901.634
79	1.074.054	903.211
80	1.077.803	916.861
81	1.079.058	921.929
82	1.079.958	921.741
83	1.081.553	921.545
84	1.086.132	922.139
85	1.079.324	907.690
86	1.074.709	896.448
87	1.069.863	868.826
88	1.065.594	852.408
89	1.062.352	849.841
90	1.064.231	884.103
91	1.064.051	881.653
92	1.066.818	874.821
93	1.068.707	872.360
94	1.067.080	872.363
95	1.067.229	878.260
96	1.077.806	923.103
97	1.079.224	922.098
98	1.069.283	866.556
99	1.062.959	851.186
100	1.059.315	841.902
101	1.130.407	1.025.715
102	1.127.990	1.023.171
103	1.128.974	1.022.174
104	1.129.248	1.022.178
105	1.126.244	1.023.298

Punto	Norte	Este
180	1.093.772	961.522
181	1.095.795	964.826
182	1.099.376	973.579
183	1.102.697	975.129
184	1.102.123	978.758
185	1.102.900	980.870
186	1.107.814	977.040
187	1.104.275	972.014
188	1.101.198	968.728
189	1.097.618	967.804
190	1.098.466	963.160
191	1.088.892	950.212
192	1.091.511	945.444
193	1.094.683	949.985
194	1.094.554	952.347
195	1.088.672	945.188
196	1.084.450	936.992
197	1.084.917	936.416
198	1.083.775	934.660
199	1.083.431	932.457
200	1.085.396	930.347
201	1.090.569	940.904
202	1.090.000	943.656
203	1.081.824	932.219
204	1.081.834	926.939
205	1.087.455	938.456
206	1.090.712	946.144
207	1.088.460	936.533
208	1.084.802	937.526
209	1.088.162	938.786
210	1.083.974	925.924

## 2.4 PROCESOS DE GEO-REFERENCIACIÓN

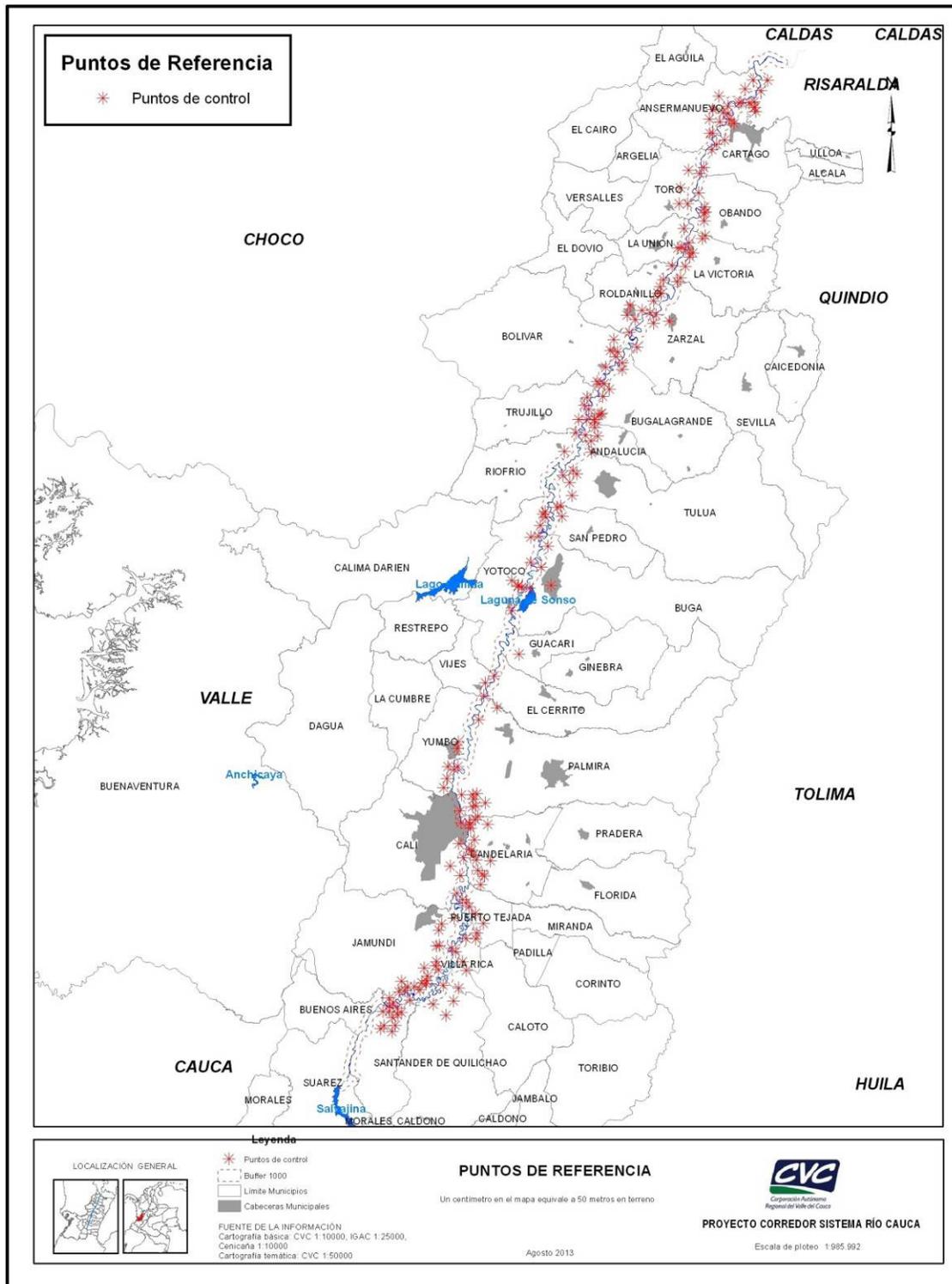
Los puntos de control se localizaron en la base cartográfica y se determinaron sus coordenadas y elevaciones, obteniendo así una base de puntos para el desarrollo de procesos de geo-referenciación.

Una vez se tuvo la base de puntos de control se procedió a la geo-referenciación de los foto-mosaicos de la zona de estudio para los años 2004 y 2007 mediante la utilización del programa Envi. Las fotografías se agruparon para formar tramos y se obtuvieron los foto-mosaicos, los cuales fueron la base de los estudios efectuados por el equipo de trabajo de Geomorfología.

Estos mismos puntos de control se utilizaron para mejorar el ajuste en la referenciación de las cartografías escaneadas; durante este proceso se evidenciaron algunas inconsistencias en la cartografía digitalizada, tales como:

- La cartografía oficial del IGAC del año 1966 presenta desfase entre las planchas 242-IV-B y 242-II-D hasta el empalme entre las planchas 261-II-A y 261-II-C (las planchas 1959 son 242-D, 242-IVB, 242-IV-A, 242-IV-C); esto obedece a que este tramo fue restituido a partir de fotografías de 1959, con la que se generó una base predial para la época; este tramo, adicionalmente, se encuentra rotado. También se encontraron planchas que tienen como fuente de restitución las fotografías aéreas de los años 1957, 1958, 1967 y 1968.
- La Cartografía de CVC del año 1969 (Planchetas) a escala 1:50.000 presenta la misma inconsistencia de la cartografía IGAC de 1966 en el mismo tramo. La cartografía CVC de 1969 tiene como fuente cartográfica las restituciones de los años 1957 y 1959.
- La Cartografía básica del estudio de suelos del IGAC del año 1980 fue elaborada a partir de fotografías aéreas de los años 1974 a 1976, homologadas como 1975, y 1966 a 1973, homologadas como 1969, y presenta un desfase entre las planchas 242-IV-B y 242-II-D hasta el empalme entre las planchas 261-II-A y 261-II-C, es decir, en el mismo tramo de las anteriores cartografías.
- La cartografía FAL del año 1998 es la que menos desfase presenta; sin embargo, entre algunas planchas, como la 280-III-C1 y C3, 300-I-A3, 300-III-A3 y A4, 300-III-C2 y 223-IV-D2 lo presenta.

Ilustración 8 Localización puntos de referencia



**Ilustración 9 Foto-mosaico sector Puente La Balsa-Cali****2.5 COMPOSICIÓN DE FOTO-MOSAICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO**

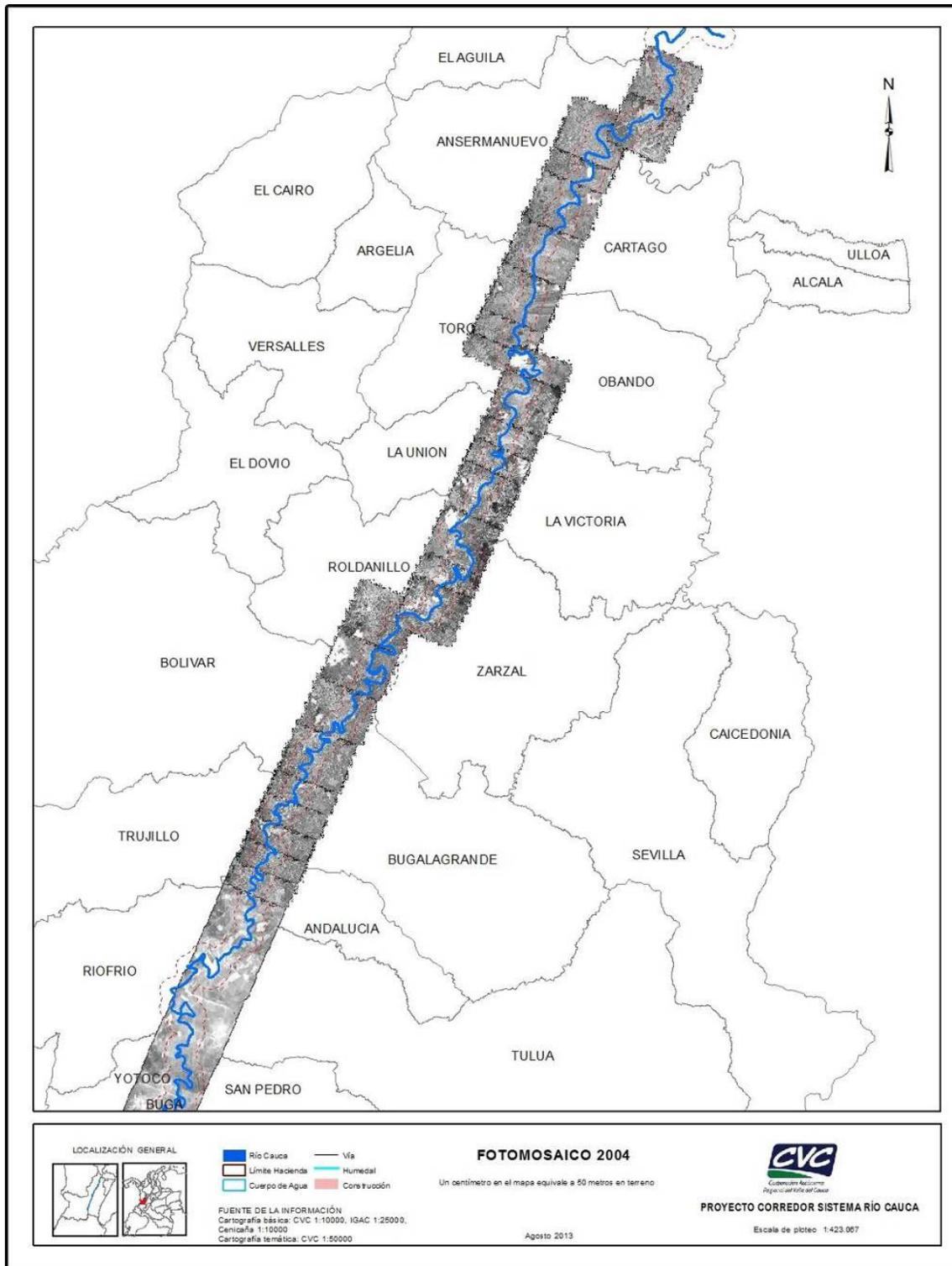
Una vez seleccionadas, escaneadas y referenciadas las aerofotografías, se procedió a realizar una composición para obtener un foto-mosaico de base para la zona de estudio y que en el presente trabajo tiene dos tramos: uno a partir de imágenes del año 2004 y otro a partir de imágenes del año 2007.

Las imágenes del año 2004 corresponden a la zona norte, desde el municipio de Buga hasta el municipio de La Virginia; para la zona sur, desde Buga hasta Jamundí, el foto-mosaico se elaboró con base en las fotografías áreas del año 2007 (ver Ilustraciones 10 y 11). En este punto vale la pena hacer dos aclaraciones:

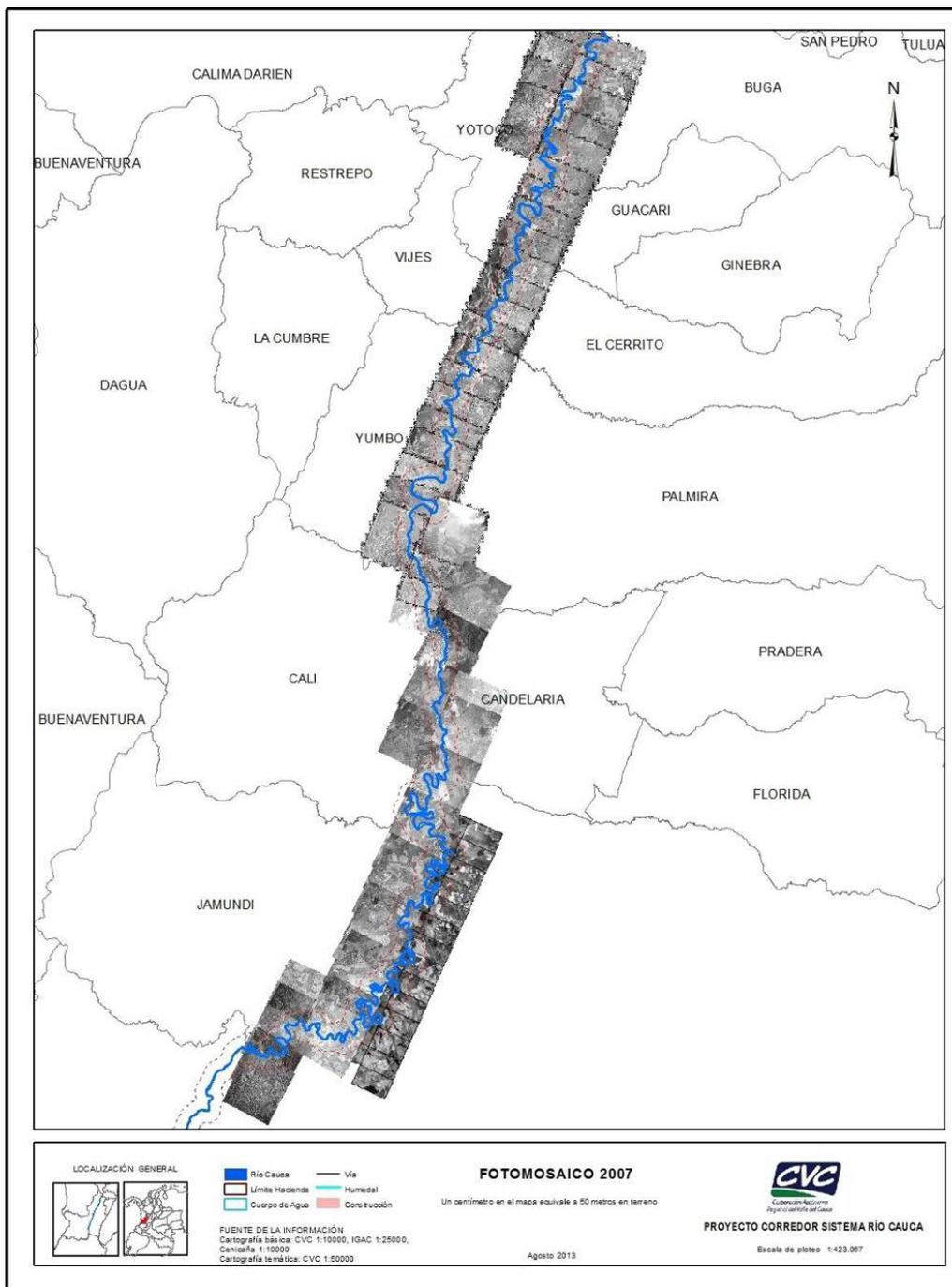
- Para efectos de comparación de la evolución de la dinámica local del río Cauca a lo largo de la zona de estudio fue necesario tomar dos puntos de referencia; el primero para la zona norte con base en fotos del año 2004 y el segundo para la zona sur con base en fotos del año 2007; la dinámica se tomó teniendo en cuenta más la tasa de movilidad que el vector del desplazamiento horizontal identificado, ya que de esta forma se tiene un valor más absoluto en cuanto a la dinámica en los últimos años.
- No se tuvo información fotográfica geo-referenciada reciente de la zona comprendida al sur del municipio de Jamundí, más concretamente en el departamento del Cauca; las últimas imágenes encontradas corresponden a los años 80's; para este

caso, la evolución de la dinámica del río Cauca se tomó teniendo como base la batimetría realizada por la CVC en el año 2012.

**Ilustración 10** Secuencia de foto-mosaicos de la zona norte, año 2004



**Ilustración 11 Secuencia de foto-mosaicos de la zona sur, año 2007**



## 2.6 DIGITALIZACIÓN DE INFORMACIÓN

A partir de la elaboración de los foto-mosaicos se procedió al desarrollo de los diferentes mapas temáticos, los cuales fueron la base donde se consignó información primaria y secundaria y a partir de la cual se efectuó el análisis integral de las diferentes variables

morfo-hidráulicas identificadas y valoradas. Tres grupos de foto-mosaicos se realizaron a partir de la información obtenida.

El primero foto-mosaico corresponde a la actualización y complementación de las diferentes unidades geomorfológicas presentes a lo largo del corredor en estudio. A partir de trabajos de foto-interpretación local a nivel de semi-detalle, escala de las fotos promedio 1:20.000, se identificaron las unidades predominantes a dicha escala, los contactos entre ellas, sus características geométricas bi-dimensionales, sus condiciones de relieve, sus propiedades morfométricas y, en general, toda la información obtenida a partir del foto-análisis; además, se incluyó dentro del corredor evaluado la presencia de rasgos estructurales, fallas y lineamientos principalmente, definiendo su grado de actividad, estimada a partir de la información secundaria existente. Esta información fue llevada a los fotos-mosaicos elaborados, dándole continuidad regional a las diferentes unidades identificadas, clasificándolas de acuerdo con su origen mediante los protocolos establecidos para este propósito.

El segundo grupo de información plasmada en los foto-mosaicos corresponde a la movilidad local asociada con procesos de socavación lateral del río, obtenida a partir de la superposición de los mosaicos que contenía la posición de las orillas del río para cada época en particular. Se procedió a la digitalización en pantalla de los cauces del río Cauca, obteniendo trazados de orillas para los años 2013, 2012, 2007, 2004, 1998, 1973, 1974, 1976, 1967, 1968, 1959, 1958, 1957, que para efectos de análisis de cambios en la dinámica del río se agruparon en las capas que se relacionan en la Tabla 5.

**Tabla 5 Correlación de información obtenida, vs año consolidado**

<b>Años origen</b>	<b>Años consolidado</b>
2012 - 2013	2012
2004 - 2007	2007
1998	1998
1974 - 1976 - 1973	1977
1967 - 1968	1966
1957 - 1958 - 1959	1957

Se incluyó un tercer grupo de información, el cual está relacionado con los datos correspondientes a sondeos a percusión realizados a lo largo del corredor en estudio. En este grupo está contenida, entre otra, la siguiente información: coordenadas de ubicación de cada sondeo en el sistema MAGNA-SIRGAS, profundidad del sondeo, número, espesor y tipo de capas encontradas y características de su resistencia a la penetración estándar, SPT. La información incluida corresponde básicamente a los sondeos efectuados por las firma SAYA LTDA, once (11) sondeos efectuados sobre el fondo del río en los sectores en donde existen estaciones hidro-climatológicas, sesenta y siete (67) sondeos realizados por la firma CONGRESUELOS LTDA. a lo largo de las márgenes del río Cauca y la información obtenida a partir de los sondeos efectuados por la Universidad del Valle en el año 2013, veintidós (22) en total, que son complemento al presente estudio.

Adicionalmente, se incluyó dentro del SIG empleado la información de tipo hidráulico obtenida a partir de los diferentes análisis efectuados, dentro de la cual se encuentra la siguiente: altura de diques naturales (para ambas márgenes), pendiente del río, líneas del thalweg para los años 2000 y 2012, sinuosidad del cauce, relación B/D y tasa de movilidad de orillas, así como la ubicación, tanto en planta como en perfil, de sectores en donde la actividad de extracción de materiales de arrastre ha sido permanente durante los últimos 12 años.

El sistema contiene, a su vez, la información relacionada con geo-referenciación geográfica, arcifinia, hidrográfica, poblacional, ubicación de puntos de control, puntos GPS de amarres locales y ubicación de secciones batimétricas, así como el abscisado propuesto para este proyecto y el cual se recomienda materializar en campo de tal forma que se obtengan puntos de referencia reales para las etapas posteriores a este estudio.

Finalmente, se incluyó la información correspondiente a los sectores o áreas identificadas a lo largo del estudio, en donde se propone se evalúen en una etapa posterior y de forma más detallada la factibilidad de ser empleados como zonas para el manejo, control o mitigación de los efectos de la inundaciones del río Cauca. Se propuso dos tipos de áreas en particular: las denominadas Zonas de Embalses Naturales y las Zona de Amortiguación Multipropósito; para cada una de ellas el SIG incluye información acerca de su extensión, nombre, geo-referenciación, clasificación, área estimada, etc.

## 2.7 HOMOLOGACIÓN DE INFORMACIÓN

Como elemento de análisis adicional, se superpusieron los perfiles del fondo del río Cauca de los años 2000 y 2012; no obstante estos dos perfiles presentan diferencias en su punto de inicio. El cero (0) del Abscisado del perfil del año 2000 inicia en la pata de la presa y la primera sección medida se ubicada 19 km aguas abajo. El cero (0) del Abscisado del perfil del año 2012 se encuentra en el punto de coordenadas **817696,153 N - 1042102.007 E Origen de proyección Oeste-Magna con dátum Magna Sirgas**, con localización a 823 m aguas abajo de la presa sobre el eje del río. Se homologó esta información de acuerdo con la siguiente metodología:

- Definición de un punto de origen (cero) común a los dos perfiles para generar un abscisado nuevo, que por requerimiento del proyecto debía estar en la presa; se escogió el punto GPS 54 identificado y materializado en el “*Levantamiento topobatimétrico del río Cauca y 30 metros de la berma en ambas márgenes, Tramo Salvajina - La Virginia, Contrato 462 de 2011*”, localizado en la corona de la presa como cero del Abscisado.
- Definición del centro del cauce del río Cauca en 2012 como eje, sobre el cual se determinó el abscisado. Como paso preliminar, se debió restituir (trazar) el cauce para este año, para lo cual se utilizaron las imágenes Landsat de los años 2012 y 2013.

- Determinación de las abscisas de las secciones levantadas en los dos perfiles sobre el eje nuevo; en este paso se presentaron dos situaciones: la primera con el perfil del año 2000, en donde no se pudo determinar la abscisa de todas las secciones puesto que no todas cortaban el eje nuevo, adicionalmente, muchas de las secciones no estaban trazadas en la planta, lo que imposibilitó determinar la abscisa nueva. La segunda situación se presentó con las secciones del año 2012, donde se debieron corregir o completar algunas secciones. En la Tabla 6 se presenta la relación de las inconsistencias encontradas).
- Determinación de la cota más baja (thalweg) de cada sección abscisada, como cota de fondo del río.
- Una vez se contó con la información Cota - Abscisa corregida, se trazó el perfil.
- Se elaboró el gráfico en donde se muestran la planta y el perfil generados.

Tabla 6 Relación de sectores con inconsistencias identificadas para el perfil del 2012

Relación de inconsistencias Perfil 2012				
Sección	Abscisa vieja	Abscisa nueva	Cota Thalweg	Observaciones
1	K0+008	<b>K 1+199</b>	<b>1017,361</b>	A este y a todos los demás puntos se les debió Corregir La abscisa
10	K5+592	<b>K 6+768</b>	<b>996,895*</b>	Dato completado
11	K5+894	<b>K 7+074</b>	<b>1003,732*</b>	Dato Corregido
12	K6+402	<b>K 7+583</b>	<b>1000,995*</b>	Dato completado
13	K6+858	<b>K 8+040</b>	<b>1001,271*</b>	Dato completado
14	K7+351	<b>K 8+536</b>	<b>999,960*</b>	Dato completado
55	K26+854	<b>K 28+121</b>	<b>976,923*</b>	Dato completado
56	K27+106	<b>K 28+369</b>	<b>980,500*</b>	Dato completado
60	K28+460	<b>K 29+783</b>	<b>979,500*</b>	Dato completado
63	K29+550	<b>K 30+867</b>	<b>978,675*</b>	Dato completado
66	K30+559	<b>K 31+878</b>	<b>973,820*</b>	Dato completado
121	K50+400	<b>K 51+500</b>	<b>960,930*</b>	Dato Corregido
127	K52+717	<b>K 53+819</b>	<b>959,344*</b>	Dato Corregido
130	K53+499	<b>K 54+617</b>	<b>961,233*</b>	Dato completado
136	K55+746	<b>K 56+879</b>	<b>958,540*</b>	Dato completado
235	K95+685	<b>K 96+711</b>	<b>951,814*</b>	Dato completado
239	K97+563	<b>K 98+612</b>	<b>950,520*</b>	Dato Corregido
284	K119+418	<b>K 120+589</b>	<b>944,860*</b>	Dato Corregido
329	K140+102	<b>K 141+246</b>	<b>934,760*</b>	Dato Corregido
350	K150+491	<b>K 151+592</b>	<b>936,566*</b>	Dato completado
360	K157+033	<b>K 158+126</b>	<b>927,896*</b>	Dato completado
361	K157+886	<b>K 158+967</b>	<b>933,511*</b>	Dato Corregido
380	K171+047	<b>K 172+102</b>	<b>929,490*</b>	Dato completado
409	K193+056	<b>K 194+053</b>	<b>934,107*</b>	Dato completado
438	K213+329	<b>K 214+287</b>	<b>933,941*</b>	Dato Corregido
444	K217+420	<b>K 218+351</b>	<b>929,499*</b>	Dato completado
532	K275+144	<b>K 275+886</b>		Sección no está.
540	K282+690	<b>K 283+350</b>	<b>916,664*</b>	Dato Corregido
546	K286+801	<b>K 287+413</b>		Sección no está.
709	K413+667	<b>K 413+542</b>	<b>893,183*</b>	Dato Corregido
716	K419+084	<b>K 418+933</b>	<b>889,186*</b>	Dato Corregido
735	K433+482	<b>K 434+320</b>	<b>889,212*</b>	Dato completado

### **3 GEOMORFOLOGÍA**

Como se indicó anteriormente, el objetivo principal inicial del estudio de evaluación geomorfológica era el de complementar, actualizar y ajustar la cartografía existente de este tema en la CVC con el fin de mejorar el grado de definición de contactos y características, empleando, a su vez, métodos de geo-referenciación más precisos, desarrollados durante los últimos años.

Durante el desarrollo del estudio se fue obteniendo información y evidencias de correlación de unidades morfológicas, con procesos dinámicos desarrollados tanto en la zona del canal activo del río Cauca como en su corredor aledaño, por lo que se vio la necesidad de ampliar un poco más los objetivos y alcances iniciales, llegando a realizar una evaluación de la correlación con dichos procesos e incorporando estas variables a los análisis integrales con parámetros hidráulicos obtenidos a partir de la información recientemente obtenida.

Aparte de lo anterior, la mejor calidad en las imágenes obtenidas de sensores remotos permitieron definir con mayor grado de detalle las condiciones y características de cada unidad, logrando obtener resoluciones aceptables a la escala de trabajo, 1:25000, logrando definir o diferenciar las distintas formaciones superficiales y la identificación de nuevas formaciones morfológicas de origen tanto natural como antrópico.

Los trabajos de complementación y actualización de la información geomorfológica existente tuvieron en cuenta los protocolos empleados por el Sistema de Información Ambiental de la CVC, en donde cada capa temática corresponde a unidades geomorfológicas con códigos y colores definidos. Además, se tuvieron en cuenta las propuestas metodológicas para el desarrollo de la cartografía geomorfológica para zonificación geo-mecánica del Ministerio de Minas y Energía.

Se consultaron las bases de fotos aéreas disponibles en las entidades del estado y privadas, con el fin de obtener la mayor información posible para la construcción de los fotomosaicos, así como para propósitos de foto-interpretación.

En la sección de cartografía de la CVC se consultó toda la información existente del área de estudio; se tuvo en cuenta que los estudios anteriores de este tipo fueron realizados hacia los años 2000 y 2005, sobre bases aéreas del año 1998, por lo cual se determinó el empleo de las imágenes más recientes, con mayor detalle y mejor resolución, que se obtuvieron para todo el corredor del río Cauca y áreas aledañas, entre los años 2004 y 2007.

Para efectos prácticos en cuanto a manejo de información, extensa y voluminosa por demás, así como de los trabajos de foto-interpretación, se dividió el corredor de la zona de estudio en tres tramos, buscando únicamente facilidades en el desarrollo del proyecto, no correspondiendo esta sub-división con características geológicas, geomorfológicas o hidráulicas, en particular. Los tramos de trabajo definidos fueron los siguientes:

- Tramo Uno: Sector Jamundí-Cali, fotos años 2006-2007, con algunas restricciones en cuanto a la deficiencia en la cantidad de imágenes. Esta situación fue en parte sub-sanada con la información suministrada por CENICANÑA, a partir de la cual se logró conformar la totalidad del foto-mosaico en el corredor de estudio del proyecto.
- Tramo Dos: Cali-Tuluá, imágenes de los años 2006 y 2007; cubrimiento total.
- Tramo Tres: Buga-La Virginia. Fotos aéreas del año 2004, cubrimiento completo del corredor de trabajo.

Para el caso del tramo comprendido entre Salvajina y la zona sur del departamento del Valle del Cauca se tuvo una restricción muy importante al momento de efectuar las actualizaciones y complementaciones ya que no se tiene cubrimiento aéreo reciente. Se consultaron las bases de datos digitales y manuales de la CVC así como las de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (departamento del Cauca), el IGAC, el Servicio Geológico Nacional - sede Popayán y la Gobernación del Cauca, no obteniéndose información para este tramo, siendo la más reciente la de los años 80's. En este caso se subsanó en parte la ausencia de información mediante recorridos de campo a lo largo de la vía Timba-Suárez, que corre paralela al río en este sector, a partir de los cuales se pudo obtener información, muy puntal por demás, de los cambios o alteraciones ocurridas durante los últimos años. De todas formas, el sector se caracteriza por presentar una morfología muy monótona, asociada con la presencia de un valle de profundidad intermedia, con fuerte control litológico y estructural, en donde los cambios tienen pocas evidencias superficiales y están más asociados con la actividad antrópica de la zona. Un rasgo importante observado corresponde a los efectos de profundidad del canal del río a pesar del fuerte control litológico, representado en general por rocas tipo areniscas de alta dureza, pertenecientes a la Formación Guachinte.

En los laboratorios de la Universidad del Valle se realizó la fotointerpretación del área de estudio mediante el uso de estereoscopio de espejos, a partir de la cual se determinaron las unidades geomorfológicas, los rasgos estructurales y los rasgos morfodinámicos y sedimentarios que caracterizan a cada unidad. Las variables foto-interpretadas se dibujaron sobre el foto-mosaico mediante el uso de la herramienta Arcgis con el fin de procesar digitalmente la información temática, que se dibujó a escala 1:6.000 y en algunos casos a escala 1:4.000, cotejándose gran parte de esta información en campo mediante amplios recorridos por tierra y agua (en lancha).

La Tabla 7 muestra la relación de las diferentes fuentes empleadas para el desarrollo de la actualización y complementación geomorfológica de la zona de estudio, indicando el año de captura de la información, la escala, el tramo y sus referencias geográficas.

Tabla 7. Relación de información empleada para trabajos de fotointerpretación

RELACION DE FOTOS AEREAS DE DIFERENTES AÑOS UTILES PARA EL ESTUDIO GEOMORFOLOGICO SALVAJINA-LA VIRGINIA							
FUENTE	SOBRE	NUMERO FOTOS	AÑO	ESCALA	CALIDAD	SECTOR FOTO DE SUR A NORTE	SECTOR ESTUDIO
IGAC	S471	111-124	1974	1:42.300	REGULAR	COLA EMBALSE SALVAJINA-REBOSADERO, EMBALSE SIN CONSTRUIR. EL TAMBO-SUAREZ	SECTOR UNO
						SUAREZ - TIMBA SIN REGISTRO	SECTOR UNO
IGAC	C2396	4-15	1989	1:31.600	REGULAR	SUAREZ - SAN ANTONIO	SECTOR UNO
FAL	F36B	603-610	1998	1:29.000	BUENA	NORTE DEL CAUCA-TIMBA	SECTOR UNO
FAL	F39C	587-578	1998	1:29.500	OPTIMA	NORTE DEL CAUCA-SUR VALLE (TIMBA)	SECTOR UNO
FAL	F39A	320-324	1998	1:30.550	OPTIMA	NORTE DEL CAUCA-TIMBA	SECTOR UNO
FAL	F42A	160-157	1998	1:31.700	OPTIMA	TIMBA-QUINAMAYO	SECTOR UNO
FAL	F44A	506-495	1998	1:31.050	OPTIMA	QUINAMAYO-EL TIPLE	SECTOR UNO
FAL	F42A	147-144	1998	1:30.550	OPTIMA	CASCAJAL-RIO GUACHAL	SECTOR UNO
FAL	F39A	334-339	1998	1:30.550	OPTIMA	ORIENTE DE CALI-RIO GUACHAL	SECTOR UNO
FAL	29	72-76	2006	1:25.050	OPTIMA	NORTE CAUCA - QUINAMAYO	SECTOR UNO
FAL	26	219-234	2006	1:26.100	OPTIMA	NORTE CAUCA - RIO DESBARATADO-RIO GUACHAL	SECTOR UNO
FAL	29	87-93	2006	1:25.050	OPTIMA	NAVARRO-JUANCHITO	SECTOR UNO
FAL	F37B	401-416	1998	1:31.800	OPTIMA	NORTE DE CALI- RIO SONSO	SECTOR DOS
FAL	F37A	182-190	1998	1:31.300	OPTIMA	CIENAGA EL CHIRCAL (YOTOCO)-INGENIO SAN CARLOS (TULUA)	SECTOR DOS
FAL	31	52-49	2006	1:25.300	OPTIMA	NORTE CALI - RIO GUACHAL	SECTOR DOS
FAL	32	134-115	2006	1:25.950	OPTIMA	NORTE DE CALI -BUGA	SECTOR DOS
FAL	F33	417-438	1998	1:32.000	OPTIMA	MEDIA CANOA-NORTE DE BOLIVAR	SECTOR TRES
FAL	F37A	202-228	1998	1:31.300	OPTIMA	EL GUAYABO (NW DE BUGALAGRANDE)-EL AGUILA	SECTOR TRES
FAL	F36B	266-274	1998	1:31.350	OPTIMA	TORO - ANACARO (ANSERMANUEVO)	SECTOR TRES
FAL 448	F44	SOBRE COMPLETO	2004	1:22.500	OPTIMA	BUGA-CARTAGO	SECTOR TRES
FAL 448	F43	SOBRE COMPLETO	2004	1:24.850	OPTIMA	BUGA-CARTAGO	SECTOR TRES
FAL	35	19-28	2006	1:26.300	OPTIMA	AL NORTE DE MEDIA CANOA-RIO FRIO	SECTOR TRES
						SECTOR UNO	SALVAJINA -CALI
						SECTOR DOS	CALI-TULUA
						SECTOR TRES	TULUA -LA VIRGINIA

### 3.1 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

La diferenciación de las unidades geomorfológicas, a partir de los trabajos de fotointerpretación, se basó en las características morfológicas de cada una de ellas, sus profundidades o elevaciones relativa y absoluta, los cambios texturales de las fotografías, los cambios en la tonalidad de éstas y, en general, todas las herramientas disponibles para la elaboración de este tipo de análisis de sensores remotos.

La actualización y complementación de las unidades geomorfológicas empleó la misma nomenclatura, convenciones y patrones, aceptados y utilizados por la CVC durante los últimos años; no se realizaron cambios en este aspecto, pues consideramos que los existentes cumplen con las características morfológicas, de orígenes y dinámica, específicas de la cuenca del río Cauca en su zona plana.

Se incluyen tres unidades adicionales, identificadas a partir de los trabajos de fotointerpretación: dos corresponden a formaciones de origen predominantemente natural, siendo denominadas Barra central reciente activa (Q0), y Barras Laterales Antiguas Consolidadas (Q1A); para el caso de la unidad con paragénesis antrópica se ha denominado Unidad Antrópica (Qra).

Los planos geomorfológicos existentes muestran, a su vez, las zonas con control litológico; el estudio desarrollado permitió llevar a más detalle estas unidades, pudiendo separarlas y clasificarlas de acuerdo con el tipo de litología predominante. De acuerdo con la escala, la

información primaria obtenida a partir de reconocimientos de campo y la foto-interpretación, estos controles se clasificaron de la siguiente manera: i) Rx1, para los controles formados por la presencia de rocas pertenecientes a las Formaciones Zarzal-La Paila, en las cuales se tuvo poca información de campo para realizar una separación entre ellas; predomina hacia la zona norte del corredor en estudio, básicamente desde Zarzal hacia aguas abajo; ii) Rx2, corresponde a los controles originados a partir de la presencia de rocas pertenecientes a la Formación Guachinte, predominando hacia la zona sur del proyecto, aguas arriba del municipio de Yumbo; y, iii) Rx3, para los controles conformados por rocas pertenecientes al Grupo Volcánico, predominante sobre la margen izquierda del río Cauca y hacia la zona centro del corredor del proyecto.

Los nomencladores, patrones y convenciones empleadas en este estudio son sugeridas y la CVC deberá definir la viabilidad del empleo de estas denominaciones, así como las homologaciones a que haya lugar.

En la Tabla 8 se presentan las diferentes unidades identificadas a lo largo del corredor del proyecto, definiendo su respectivo nomenclador; la disposición geográfica de las diferentes unidades se puede observar en el Grupo de Planos A, anexos al presente documento y que hacen parte integral de él.

**Tabla 8 Relación y nomencladores de unidades morfológicas identificadas en el corredor del proyecto**

UNIDAD	DESCRIPCIÓN
<b>Q0</b>	Barra central reciente y activa.
<b>Q1</b>	Barras y playas aluviales en proceso de consolidación.
<b>Q1A</b>	Barras laterales antiguas y consolidación, complejo de orillares
<b>Q2</b>	Depósitos de pantano y zonas pantanosas permanentes.
<b>Q3</b>	Cauces abandonados y taponés arcillosos.
<b>Q4</b>	Albardón natural. Levee.
<b>Q5</b>	Zonas desecadas y rellenos de cauces.
<b>Qt</b>	Terraza aluvial.
<b>Qd</b>	Depósito Coluvial
<b>Qra</b>	Unidad Antrópica.
	Nuevas unidades propuestas.

Se describen a continuación las diferentes unidades identificadas, realizando algunas complementaciones en su conceptualización, con el fin de permitir una mejor ubicación y definición espacial en estudios posteriores y de mayor detalle que se realicen en el futuro.

### 3.1.1 Barras Centrales Recientes y Activas (Q0)

Corresponde a una unidad que en algunos casos por su tamaño se pudo cartografiar a la escala del estudio (ver Ilustración 12). Esta unidad tiene geformas de tipo lenticular alargada en el sentido del cauce y en forma paralela a éste, formando en algunos sectores sinuosos del río morfologías tipo herradura, separando en uno o varios canales el flujo en el canal activo; su longitud es variable y depende de la pendiente natural del río y de los

procesos exógenos que puedan ocasionar variaciones en los parámetros hidráulicos de éste; corresponde a unidades originadas a partir de procesos de agradación. Son unidades o geoformas de tipo temporal o estacional, mostrando a lo largo de la zona evaluada una alta incidencia y afectación a partir de procesos de origen natural y antrópico; la paragénesis natural está asociada con periodos de inundaciones o crecientes del río Cauca, que en general son las que propician las condiciones para el desarrollo de estas barras centrales, básicas en la dinámica y estática de éste, ya que actúan como reguladoras naturales de pendientes longitudinales y transversales, controlando la alta cinética del río en periodos de crecientes y regulando en periodos de estiaje; la influencia antrópica ha causado importantes variaciones en la presencia de esta unidad reguladora del canal activo y de sus condiciones cinéticas; las extracciones de materiales del lecho del cauce asociadas a este tipo de geoforma y sobre todo la reducción en las secciones transversales del río a partir de la conformación de sistemas de contención alledañas a las orillas del mismo, han contribuido de manera significativa con la desaparición de éstas, ya que aumentan de manera considerable la velocidad en el flujo del canal, removiendo los materiales que conforman estas barras.

Es una unidad muy sensible a los cambios en las condiciones dinámicas del río, siendo un indicador claro y determinante al momento de evaluar el estado de equilibrio de éste y sus implicaciones sobre la cadena hidráulica y morfodinámica del cauce y zonas alledañas. Esta unidad no se había cartografiado en trabajos anteriores pero se considera de suma importancia incluirla en el presente estudio debido a su importancia como indicador dinámico del río Cauca. Predomina hacia la zona sur del valle alto del río Cauca, donde la sinuosidad es alta, en donde las condiciones de los diques naturales son de baja a moderada consolidación y susceptibles a procesos de socavación lateral y de fondo, razón por la cual estas barras se presentan como reguladoras de variaciones extremas de las condiciones morfo-hidráulicas. La desaparición de estas barras centrales recientes ha generado importantes desequilibrios en el río, evidenciados por las altas tasas de retroceso de márgenes y de socavación de fondo de éste, lo cual da una idea de la importancia de la presencia de estas unidades dentro del contexto local y regional de un cauce activo como el del río Cauca.

**Ilustración 12 Barras recientes sobre el cauce del río Cauca; zona sur, sector La Balsa**



### 3.1.2 Barras y Playas Aluviales en proceso de consolidación (Q1)

Corresponde a zonas conformadas por sedimentos tipo limos y arenas, así como sedimentos tipo gravas, depositados como resultados de procesos de degradación lateral de la orilla opuesta y el cambio en la pendiente longitudinal y transversal del río, que favorece los procesos de sedimentación, especialmente sobre la curva interna del canal (Ilustración 13); presentan una morfología ligeramente inclinada hacia el cauce del río, alargada en el sentido de la orilla sobre la que se acumula, con ancho máximo hacia su zona central y en la zonas más sinuosas, desarrollando una curvatura en forma de media luna; en este estado de su desarrollo es una geoforma muy sensible a las alteraciones o cambios en la dinámica y morfología del río, ya que se encuentran conectadas con la dinámica del lecho del río y, en especial, con la dinámica de la orilla opuesta, que en general está asociada con procesos de socavación lateral. Se ven afectadas cuando existe un desequilibrio, tanto en la pendiente longitudinal como en la pendiente transversal del río, situaciones que se presentan a partir de intervenciones antrópicas directas, como las extracciones de materiales, como indirectas, como son las reducciones en la sección hidráulica del río. Al igual que la unidad anterior, representan una unidad reguladora de las condiciones morfo-hidráulicas del río, correspondiendo a su vez en indicadores del estado de equilibrio de éste.

**Ilustración 13 Barras y Playas ubicadas desarrolladas sobre curvas internas del río Cauca**



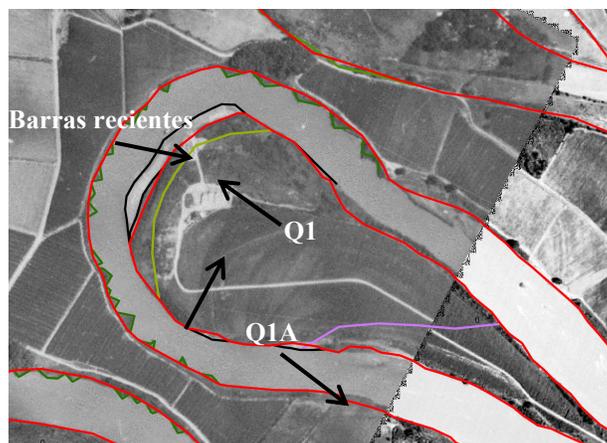
### 3.1.3 Barras laterales consolidadas. Complejo de orillares (Q1A)

Corresponde a la segunda geoforma de origen natural identificada y propuesta como nueva unidad a considerar dentro de la cartografía geomorfológica de la región; los análisis foto-geológicos y de campo efectuados permiten definirla como una unidad de suma importancia como indicador de seguimiento o unidad de medida de los desplazamientos laterales del río Cauca, constituyéndose, a su vez, en un indicador crítico del estado de equilibrio que presenta el canal del río en un tramo específico (ver Ilustración 14).

Se origina a partir de la consolidación de las barras y playas aluviales correspondientes a la unidad anterior, que por efectos de compactación natural o antrópica han recuperado terrenos a través de los desplazamientos laterales del canal, como consecuencia de procesos de socavación avanzadas en la margen opuesta a donde éstos se presentan. Las evidencias muestran que las zonas que presentan esta unidad con evidencias de longitudes transversales altas están asociadas con estados de desequilibrio del río, siendo este estado proporcional a la magnitud de la extensión lateral de estas geoformas. Se desarrollan, en la mayoría de los casos, sobre la parte interna de los meandros

Se observan como formas semi-circulares concéntricas, conservando aún los relictos o huellas de las antiguas orillas que conformaron el canal activo del río en una época determinada.

#### Ilustración 14 Características de los complejos de orillares o barras consolidadas



La Ilustración anterior muestra el desarrollo de esta unidad, observándose un importante desequilibrio en el canal activo del río que hizo necesario la conformación y construcción de espolones sobre la orilla opuesta.

#### 3.1.4 Depósitos de pantanos y zonas pantanosas permanentes (Q2)

Generalmente se presentan asociadas con bacines de carácter regional, originados por actividad morfo- tectónica y presencia de antiguos cauces, ciénagas o ambientes lacustres, que actuaban como áreas de laminación y regulación de crecientes del río Cauca, formando láminas o espejos de aguas de variada extensión. Sus formas son irregulares, pero con control topográfico, desarrollando pendientes transversales muy bajas orientadas hacia el canal activo del río (Ilustración 15).

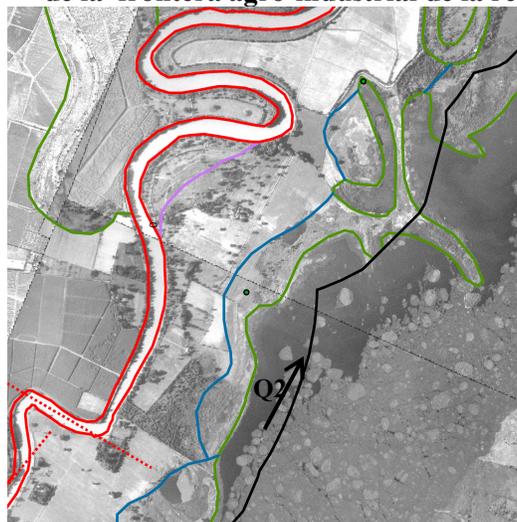
Cumplen o cumplían una función muy importante dentro de la dinámica morfo-fluvial del río Cauca y sus afluentes en la zona del valle geográfico, actuando como reguladoras de crecientes y desbordes de éste en épocas de invierno y como vaso de abastecimiento de aguas del subsuelo en épocas de estiaje, cuando los niveles del río descienden significativamente, no apartando los caudales más superficiales para mantener el equilibrio hidrogeológico de la zona; más que una unidad geomorfológica, debe clasificarse,

considerarse y recuperarse como un nicho ecológico importante para la región, no sólo como regulador de crecientes y sustentador de las condiciones hidrogeológicas sino como medio necesario para la conservación de especies forestales y faunísticas típicas de la región.

Corresponde a una unidad que presenta un muy alto grado de intervención antrópica, siendo un claro indicador de la pérdida de las condiciones de humedad natural de una zona, así como de la alteración de las condiciones de la lámina de agua freática; las áreas intervenidas muestran, en general, procesos de recubrimiento o sellamiento de estos antiguos espejos de aguas, con capas de suelos autóctonos o alóctonos, con evidencias de sobreconsolidación que han generado aislamiento entre la superficie del terreno y las capas naturales inferiores, con pérdida de recarga natural, desarrollo de procesos de impermeabilización y “profundización” del nivel freático. En algunos casos, estas áreas han sido “cercadas” con estructuras de contención, que impiden una adecuada recarga y descarga, aislando el sector de la dinámica natural del río. Gran parte de esta unidad física, así como su entorno biótico, han desaparecido del valle geográfico del río Cauca, degradando a una forma más simple y estéril, la cual se ha denominado como Q5 y cuyas características se describirán más adelante.

En algunas de estas zonas se efectuaron exploraciones del subsuelo durante el desarrollo del presente estudio, encontrándose capas superiores alóctonas de hasta 2.5 m de espesor, bajo las cuales se identificaron los estratos producto de la sedimentación natural de estos ambientes, representados básicamente por la presencia de arcillas orgánicas, de color oscuro, verde y grisáceo, de muy alta plasticidad y humedad natural, típicas de ambientes lacustres con reducción de materia orgánica en volúmenes significativos. Es una unidad muy sensible a los cambios directos e indirectos y su reducción afecta de forma significativa el régimen hidrogeológico de una zona específica, con alteraciones sobre drenajes superficiales y la parte biológica de la región.

**Ilustración 15** Áreas de pantanos, afectadas por fuertes presiones de la frontera agro-industrial de la región



### 3.1.5 Cauces abandonados y tapones arcillosos (Q3)

Este tipo de unidad y su respectivo nicho ecológico presenta una paragénesis de similares características a la unidad anterior, pero teniendo como base un medio fluido más dinámico, tales como antiguos cauces del río Cauca, siendo su origen netamente de ambiente fluvial (Ilustración 16).

En general, se caracteriza por presentar las formas sinuosas, algunos pocos tramos con sectores rectilíneos, dejadas como relictos o huellas en los tramos en donde el río Cauca transitó en algún periodo de tiempo, que por razones naturales, la mayoría de los casos, o antrópicas, cambió su curso dejando estos cuerpos de aguas aislados de la dinámica normal del río, pero con conexiones morfológicas e hidráulicas superficiales y subterráneas, que alimentaron durante algún tiempo su ambiente geosférico y biótico. Gran parte de estas unidades biogeográficas también han desaparecido, dejando escasas evidencias de su presencia en los de mayor envergadura y en donde la intervención humana no ha sido tan significativa; estos procesos antrópicos han sido favorecidos y propiciados, en la mayoría de los casos, al variar o alterar las condiciones hidráulicas de drenajes naturales, al afectar el nivel base del río Cauca como consecuencias de procesos de profundización de éste y, sobre todo, como consecuencia de la alteración en las líneas de flujo y equipotenciales de la red hidrogeológica de cada sector, en particular. Al igual que la unidad anterior, la alteración en las condiciones hidrogeológicas, como son los “descensos” del nivel freático, ha contribuido con el deterioro y pérdida de estos ambientes biogeográficos, pero siendo el principal agente interventor el hombre y sus actividades de desarrollo en su superficie y que poco a poco han retrocedido la frontera hasta ocupar la totalidad de su entorno, hasta prácticamente desaparecer como unidad morfo-biológica.

**Ilustración 16 Relicto de antiguas unidades morfo-biológicas asociadas con antiguos cauces**



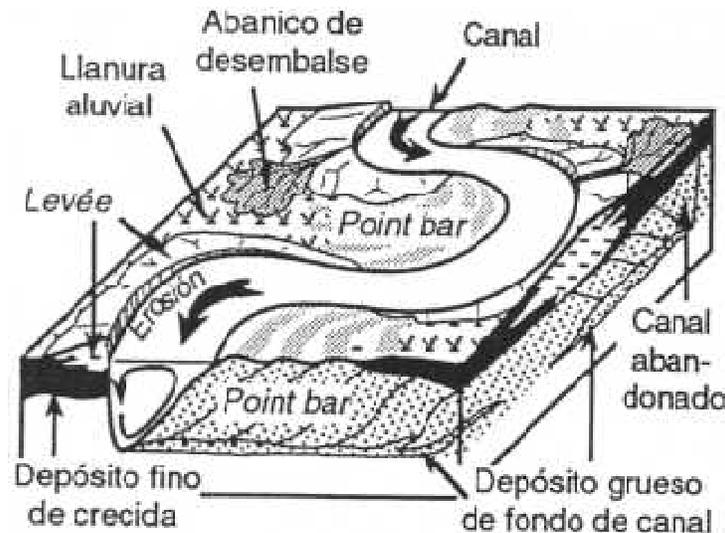
Al igual que la unidad anterior, son áreas que deben protegerse y recuperarse, ya que constituyen la última frontera natural de contención y mitigación ante los embates de la naturaleza, especialmente de las crecientes del río Cauca; la características de sus formas, su conexión hidráulica superficial y del subsuelo, presentan las condiciones naturales para regular las crecientes del río; son terrenos que pertenecen a la dinámica activa del río y, por lo tanto, deben estar disponibles a estos usos que la naturaleza hace de forma periódica; la parte biológica es un aspecto que debe conservarse en este tipo de unidades, ya que

representan un ambiente natural de conservación de especies, ejerciendo un control biótico y sobre todo representando un papel de “semillero” que proporciona fertilizantes de forma indirecta a los terrenos aledaños a estos cuerpos o unidades biogeográficas.

### 3.1.6 Albardones naturales o Levees (Q4)

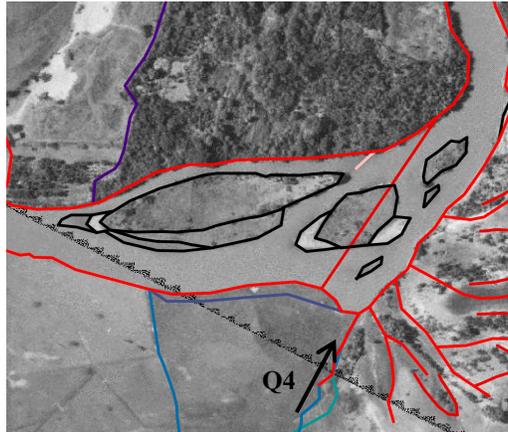
Por definición, un albardón es un dique natural que bordea las orillas de un canal o río y que ha sido originado a partir de la acumulación de sedimentos transportados por las crecientes de éste; en general, son fijados posteriormente por vegetación de la zona; algunas crecientes secundarias de menor proporción pueden generar rupturas en éste, anegando las márgenes a través de conos de desbordamiento, en donde el material más grueso se acumula cerca del canal activo (ver Ilustración 17).

**Ilustración 17** Albardones o levees dentro de la morfología fluvial de un canal de tipo meándrico



La cartografía morfológica existente mostraba extensas áreas como conformadas por albardones; en este estudio se logró definirlos con mayor precisión debido a la buena escala de las imágenes aéreas y los sistemas de posicionamiento (Ilustración 18).

Esta unidad puede verse afectada por las periódicas inundaciones del río, elevando su nivel en la zona contigua al canal del río, favoreciendo el desborde en áreas más bajas, pudiendo estar asociados estos procesos con la ruptura o rebosamiento de diques artificiales, los cuales en la mayoría de los casos están ubicados en la zona en donde predominan los albardones. Es una unidad compleja para su identificación, tanto en campo como a partir de análisis fotogeológicos, ya que la altura que desarrollan es en general baja y se presenta cubierta con abundante material vegetal, producto del alto contenido de nutrientes que transportan los sedimentos y aguas durante las crecientes.

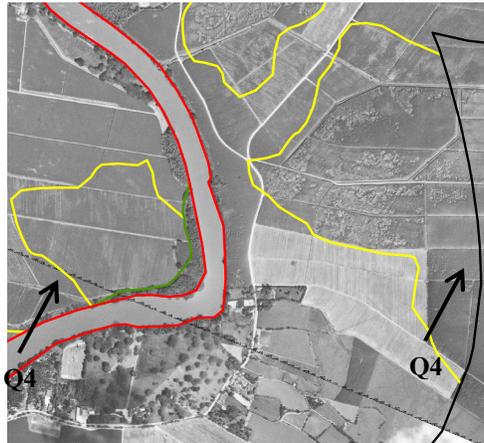
**Ilustración 18 Faja de albardones sobre la margen derecha del río Cauca****3.1.7 Zonas desecadas o rellenos de cauces**

Indudablemente la presencia de esta unidad en una zona en particular es el mejor indicativo del alto grado de intervención antrópica que se ha efectuado a lo largo del valle geográfico del río Cauca. Corresponde a las huellas o relictos que aún se pueden observar e identificar, a partir de imágenes aéreas, de vastas extensiones que en su momento estuvieron conformadas por lagunas, pantanos, meandros abandonados, cauces principales y secundarios y en general las geformas que en su momento estuvieron dentro de la dinámica natural del río Cauca.

Las zonas identificadas tienen variadas formas, con excepción de los cauces antiguos que se presentan en forma de cintas alargadas y curvas de acuerdo con la morfología inicial del cauce en su momento de desaparición (Ilustración 19).

La función de estos antiguos cuerpos era de tal magnitud en el control y mitigación de las inundaciones, que los resultados que vemos en la actualidad como consecuencia de su intervención y alteración son de características de desastre ante la ocurrencia de crecientes o inundaciones del río Cauca. No sólo es desastroso el haber intervenido y alterado estas áreas de control de la dinámica del río sino que han sido ocupadas para el desarrollo de actividades agro-industriales y en el peor de los casos para el desarrollo de asentamientos humanos.

Bajo estas perspectivas, no es difícil entender por qué cuando ocurren las crecientes del río Cauca las consecuencias son desastrosas para la “economía” de la región y la población afectada, pero no se tiene en cuenta que hemos ocupado terrenos que pertenecen o están ubicados dentro de la franja de actividad hidráulica del río y de sus afluentes. Después de ocurridas las afectaciones comienzan los procesos de reclamos por pérdidas y daños ocasionados por los desbordes del río, pero se olvida que las áreas afectadas por las crecientes siempre han pertenecido a la dinámica del río y que corresponden a zonas de control y mitigación natural de éste.

**Ilustración 19 Extensas áreas desecadas e incorporadas a labores agrícolas de la región**

La presencia de esta unidad en el valle del río Cauca ha aumentado considerablemente, siendo su grado de afectación y alteración total, dejando pocas evidencias en imágenes y en terreno de su existencia anterior; la intervención ha sido directa, con desarrollo de procesos de ocupación, relleno y compactación a partir de las actividades agro-industriales que emplean equipos pesados, procesos que alteran significativamente la permeabilidad del terreno, “profundizando” el nivel freático y cortando la relación directa entre las corrientes superficiales del terreno y la actividad hidrogeológica de la zona afectada. Algunas zonas afectadas por estos procesos de desecación antrópica presentan evidencias de procesos de pérdida de fertilidad, aridez de la capa superior del terreno, asociada principalmente con la alteración de las condiciones hidráulicas superficiales y del subsuelo.

Hacia la parte norte del departamento del Valle del Cauca es muy significativa la presencia de esta unidad sobre ambas márgenes del río Cauca, observándose en el terreno sólo vagas evidencias de formación de simas de poca profundidad, marcadas más por los desniveles de vías de acceso a “suertes” cañeras que como resultado de una evidencia morfológica física en el entorno. Algunos sectores que fueron intervenidos y en los cuales no se observa en la actualidad expresiones morfológicas de las unidades originales, corresponde al sector comprendido entre Obando y Cruces, por la margen derecha del río Cauca.

A su vez, hacia la parte sur del Valle del Cauca el proceso no ha sido tampoco de menor relevancia, siendo muy marcados los rellenos ubicados hacia la margen izquierda del río Cauca, especialmente en el sector comprendido entre el río Timba y el río Cali. Resalta por su alto grado de intervención la pérdida de terrenos lacustres y fluviales ubicados entre el puente del Hormiguero y el Paso de La Torre, entre los cuales se incluye el llamado “Estero”, ubicado al suroccidente de la ciudad de Cali, y como máxima expresión de este tipo de intervenciones la zona en donde se ha desarrollado y legalizado el desarrollo poblacional de Aguablanca de la ciudad de Cali. Estas “legalizaciones y aprobaciones” de tipo ambiental parece ser que no tuvieron en cuenta la importancia que para el entorno local y regional representaron en su momento las zonas de pantanos, zonas lacustres y antiguos

cauces del río, procediendo a su intervención y alteración, sellando consigo la suerte en cuanto al manejo natural de las crecientes del río Cauca.

Como resultado de las políticas de permisividad de ocupación indiscriminada de geoformas de tipo biogeográfico, de vital importancia no sólo para conservación de las condiciones bióticas sino para la dinámica del río, se comenzaron a presentar problemas en el manejo y control de inundaciones, las cuales generaron afectaciones directas sobre la población, los bienes y los servicios, señalando la responsabilidad sobre el medioambiente, pero olvidándonos que en forma directa somos los responsables por la ocupación y uso indebido de áreas que siempre le han pertenecido al régimen fluvial y pluvial de la cuenca del río Cauca.

Buscando reducir y controlar dichas afectaciones y en aras de proteger personas, bienes y servicios, optamos por seguir interviniendo de forma directa y a veces más agresiva la dinámica del río y a su entorno ambiental, a través de la construcción de obras de contención, sin haber realizado los estudios necesarios y suficientes para la implantación de este tipo de obras. El diseño de obras de contención para el control de inundaciones no sólo debe comprender las evaluaciones de tipo hidráulico, hidrológica y geotécnica, que son las que en realidad se efectúan, sino la evaluación en detalle de las condiciones morfo-hidráulicas y ambientales, no sólo del sector sino a nivel regional, a partir de las cuales se pueda definir la necesidad, el tipo y la ubicación de este tipo de obras, para que no se constituyan en elementos interventores, dañinos o adversos, que resulten más perjudiciales a mediano y largo plazo, tal como se está presentando en la actualidad. El daño que se está ocasionando de pronto no es reconocible a nivel macro, que es nuestra escala de evaluación del daño, pero sí hay ya evidencias, tales como las que hemos descrito a lo largo de este capítulo, de la alteración negativa que sobre el medio hidráulico, morfológico y biológico ha ocasionado la implantación de obras sin el conocimiento y los estudios adecuados de estos temas.

La implantación de obras de contención ubicadas en las orillas o bordes del canal activo del río Cauca ha generado la reducción significativa de la sección hidráulica del cauce, que ante la ocurrencia de crecientes del río generan no sólo un aumento en los procesos de socavación lateral y de fondo del canal sino aumentos importantes en la cinética del río, cuyas consecuencias se ven reflejadas en terrenos bajos ubicados tanto aguas abajo como aguas arriba por efectos del remanso que produce la disminución en la sección. Otro tipo de obra que se implementó en algunos sectores del río Cauca consistió en la instalación de espolones sobre alguna de las márgenes del río, con el propósito de protegerla de procesos de socavación lateral; las consecuencias pronto se conocieron, registrándose daños significativos sobre la orilla opuesta y en algunos casos sobre el fondo o lecho del río, como resultado de los vórtices que generan este tipo de obras en ríos con las características del río Cauca. El empleo de obras de protección de orillas, tales como trinchos, muros laterales, pantallas, tablestacados, debe obedecer a la ejecución de estudios detallados integrales que involucren no sólo las disciplinas antes mencionadas sino, sobre todo y lo más importante, una evaluación local, con identificación y evaluación de respuestas de carácter del medio morfo-hidráulico en la zona de influencia directa, que debe corresponder a la totalidad del canal.

Las investigaciones bibliográficas efectuadas para el desarrollo del presente estudio llegaron al conocimiento de un documento de carácter histórico, el cual describe, de manera gráfica y conceptual, el estado o las condiciones naturales que predominaban a lo largo del valle geográfico del río Cauca en el año 1943. El documento titulado “*Diccionario Geográfico Industrial y Agrícola del Valle del Cauca*”, fue arreglado y publicado por Pedro Antonio Banderas, miembro de la Redacción de “EL Tiempo” de Bogotá en 1943. El documento registra y describe la presencia de 29 cuerpos lacustres y cenagosos, distribuidos a lo largo del río Cauca y sobre ambas márgenes de éste, los cuales controlaban y mitigaban los efectos de las crecientes del río, aportando después de éstas, nutrientes sobre el terreno anegado, el cual, como lo menciona el documento, se “secaba rápidamente” después de una creciente.

El listado, la ubicación, el nombre y algunas de las características de esos cuerpos lacustres y cenagosos se resumen en la Tabla 9.

**Tabla 9 Listado de cuerpos de aguas existentes sobre ambas márgenes del río Cauca en el año 1943**

No.	Municipio	Abscisado aprox. río Cauca(2012)	Altura s.n.m	M.D.	M.I.	Nombres Lagunas	Observaciones varias
1	Santander de Quilichao				X	Areas cenagosas rios Quinamayo y Teta.	Areas cenagosas al sur rio La Quebrada
2	Jamundi	24.696	110.368	985	X	Ciénagas Yucacruada, El Jigua, El Guabal y Santa Rosa(4)	Area cenagosa frente al río Cauca(69,kms)
3	Puerto Tejada	142.000			X	Hay areas cenagosas alrededor del rio Palo	
4	Cali	110.368	149.142	1003	X	Aguablanca, Potrero Grande, Marucha, Salomia, PinoGordo, Morga, Chumba, Pacheco(8)	Ciénagas entre río Cali y Hormiguero(26 kms)
5	Candelaria	124.000	155.417*	1020	X	Ciénagas Tortugas, ciénaga que forma El Guachal(2)	Zona inundable por el Zo Tortugas
6	Palmira	155.417*	182.943	1085	X	Ciénagas El Cenizo, El Tajo, Pozo Sordo y Cauca seco(4)	Ciénagas del Guachal, Palmira y otros
7	Yumbo	149.142	175.600	1004	X	Ciénaga de Sondó(1)	Río Cali-Qo.San Marcos:25,6kms
8	Vijes	180.000	184.000	987	X	Ciénaga en río Vijes.(1)	Longitud cenagosa aprox. 4 kms
9	El Cerrito	182.943	194.250	1030	X	Ciénagas en río Cerrito, y C.La Carambola(2)	Hay ciénagas alrededor del Cauca
10	Yotoco	193.600	267.670	972	X	Hay tierras cenagosas en borde izquierdo del río Cauca	Qo.Guabal-Río Piedras(74,07kms)
11	Guacarí	194.250	206.563	1055	X	Laguna Chirca(Sonso)llegaba hasta Guacarí.(1)	Hay tierras cenagosas en 50% M.D.frente a Cauca;
12	Buga	206.563	251.079	1100	X	Laguna Chirca o Ciénaga de Sonso(1)	8 kms de largo aprox.
13	San Pedro	251.079	265.176	1000	X	Laguna el Conchal(1)	2,5 kms aprox.
14	Tuluá	265.176	295.284	1025	X	Los rios Tuluá y Morales entregan por separado al Cauca	Hay zonas bajas entre estos dos rios
15	Riofrio	267.670	297.958	961	X	No hay referencias a Ciénagas cerca al río Cauca en este municipio	No se observa el Zo.Burriga al frente
16	Trujillo	297.958	313.215	1260	X	No hay referencias a Ciénagas cerca al río Cauca en este municipio	No hay madrevejas en esta margen izquierda
17	Andalucia	295.284	304.497	950	X	El río B/grande cae a la Laguna del Bueyo el Burro(1)	
18	Bolivar	313.215	338.364	918	X	La Ciénaga, cerca a Bolívar.(1)	
19	Bugalagrande	304.497	334.570	944	X	Ciénaga El Burro(le caen río B/grande, Morillo y el Overo)(1)	Hoy en día es parte Ing.Riopaila
20	Roldanillo	338.364	368.794	966	X	Ciénaga de Quintero(1)	Hoy en día es parte del RUT
21	Zarzal	334.570	361,421	975	X	Ciénaga del Burro (1)	Ciénagas en un 30% tramo frente a Cauca
22	La Victoria	361.421	379.476	930	X	Hay tierras cenagosas en borde derecho del río Cauca	Hay antiguos cauces del Cauca en esa margen
23	La Union	368.794	382.427	964	X	Ciénaga El Portachuelo Grande(1)	Hay tierras cenagosas en M.I.del río Cauca
24	Toro	382.427	406.067	960	X	Presenta quebradas varias	Hay tierras cenagosas en M.I. del río Cauca
25	Obando	379.476	400.203	933	X	Ciénaga Las Burras e Inicio Ciénaga Grande (2)	Antiguo cauce del río Cauca, antes de 1943
26	Ansermanuevo	406.067	439,79	1035	X	No hay nombres de cienagas	Tramo final valle geográfico, con poco ancho
27	Cartago	400.203	428.303	924	X	Ciénaga Grande y Ciénaga Redonda(2)	Ocupan unos 11 kms del tramo frente a Cauca
28	La Virginia	428.303			X	No se conocen	Tramo encañonado estrecho
29	Villa Rica				X	Areas cenagosas antes y despues via Jamundi-Santander	Ciénagas al norte de Río La Quebrada
						Total Ciénagas permanentes 35.	

Se ha considerado importante para el desarrollo y comprensión de las alternativas propuestas, a partir del presente estudio, para el manejo de las inundaciones generadas por el río Cauca, presentar un resumen de las descripciones de dicho documento, de tal manera que se tenga una ilustración y conocimiento de las condiciones que existían en el valle alto

geográfico del río Cauca para esa época y de la importancia de la presencia de los cuerpos de aguas, lagunares y áreas pantanosas, como zonas de regulación y amortiguación de dichos desbordes, como zonas de protección agrícola-ambiental y su importancia en el desarrollo de las actividades hídricas superficiales y del subsuelo.

El documento señala que para esa época se comenzaba a evidenciar la pérdida de caudales de los principales afluentes del Cauca, como son los ríos La Vieja, La Paila, Bugalagrande, Morales, Tuluá, Guadalajara, Sabaleta, Amaime, El Bolo, Desbaratado, Mediacanoa, Cali, Jamundí, Claro, Timba y Riofrío, entre otros, que fueron caudalosos en su momento, como consecuencia de la “despoblación forestal”, la cual fue intensa hacia los nacimientos de éstos; indica, a su vez, que otro de los factores responsable de la pérdida de caudales fue el cambio en el uso de los suelos, con la intensificación de los cultivos de arroz. Comenzaba a plantearse la “recuperación o desecación” de las zonas pantanosas y cenagosas para incorporarlas a la economía de la región, así como la construcción de proyectos de irrigación con caudales del río La Vieja para beneficiar el sector norte del departamento del Valle del Cauca.

El documento presenta una descripción de las condiciones de navegabilidad del río Cauca, las cuales se pueden resumir de la siguiente manera.

*“El río nace en la Laguna del Buey, departamento del Cauca, en una altiplanicie de la región de Paletará, a 3.000 metros de altura sobre el mar. Es uno de los más caudalosos e importantes de Colombia y recorre el departamento del Valle del Cauca en una extensión aproximada de 447 kilómetros. Los conquistadores españoles le dieron el nombre de río Grande de Santa Marta por haberlo descubierto el día en que la iglesia católica celebra la fiesta de dicha santa. El río Cauca corre de sur a norte el departamento encauzado entre las cordilleras Central y Occidental de los Andes desde la desembocadura del río Timba, en el sur, hasta la desembocadura del Cañaverál, en el norte y límite con el departamento de Caldas. Fue una vía esencial del comercio vallecaucano desde el puerto de San Julián hasta La Virginia, en el departamento de **Caldas**. El caudal de este río aumenta cada vez que recibe, por ambas riberas, numerosos ríos, riachuelos y arroyos **que riegan el Valle en todas direcciones**. Sus afluentes de la orilla derecha nacen todos en la cordillera Central, y los de la margen izquierda, nacen en la Occidental. El desarrollo total de este río es de 1.400 kilómetros, aproximadamente, y corre por los departamentos de Cauca, Valle del Cauca, Caldas, Antioquia y Bolívar. En el departamento del Valle este río sirve de línea divisoria de muchos municipios y pasa cerca de poblaciones de bastante importancia. Sobre este caudaloso río se han construido, dentro del territorio del Valle, los puentes colgantes de armadura de hierro llamados Carlos Holguín, en Puerto Mallarino; el giratorio del ferrocarril del Pacífico, entre Puerto Mallarino y el Paso del Comercio; el de Mediacanoa, en el paso del mismo nombre, que une los municipios de Buga y Yotoco; el general Francisco de Paula Santander, que une los municipios de Tuluá y Riofrío; el Eustaquio Palacios, que une las bandas oriental y occidental, en el paso del Guayabal; y el de Anacaro, en la carretera que va de Cartago a Ansermanuevo. **Como puertos fluviales de importancia en este río figuran Puerto Mallarino (Juanchito); Puerto Isaacs (Yumbo); Paso de la Torre (Yumbo); Hormiguero (Cali); Molina (Obando) y Puerto Caldas y algunos otros. Las riberas del Cauca presentan una gran variedad de paisajes tropicales, en donde se aprecian bosques y guaduales bellísimos, magníficos cultivos de cacao, café, maíz, caña de azúcar, plátanos y dehesas cubiertas de ganados. Este río fue navegable***

**desde 1885**, época en que se construyó en el paso de Buga el primer vapor que surcó esas aguas y que naufragó en su primer viaje de estreno en Puerto Mallarino. **La navegación se efectuaba desde el Puerto de San Julián, departamento del Cauca, hasta La Virginia, en el Caldas**. El 17 de septiembre de 1887 fue botado al agua el segundo vapor denominado “Cauca”, el cual fue construido en Inglaterra por la casa Yarrow y Company. La estructura metálica de este barco era toda de acero y fue introducido al Valle en piezas, a lomo de mula y con grandes dificultades hasta las orillas del río, en el Paso del Comercio. Este barco fue armado por el ingeniero mecánico Mr. Charles Hardy, enviado especialmente por la casa constructora. Navegó entre los puertos de La Bolsa, al sur, y de La Virginia, al norte. Fueron sus iniciadores los señores C.H. Simonds, ciudadano alemán, y Bartolomé Chávez. En 1.896 naufragó en el remolino de “Bum-Bum”, municipio de Vijes. Vino después el vapor “Chávez”, de dimensiones menores, el cual duró en servicio varios años. Posteriormente se construyeron, en 1903, tres vapores más denominados, “Santander”, “Caldas” y “Sucre”. De esa época para acá fueron botados al agua muchos otros hasta completar el número de 14. **La navegación del río Cauca quedó prácticamente clausurada desde hace unos quince (15) años (1.928), más o menos, con motivo a que las vías de comunicación en el departamento tomaron gran desarrollo**. El Cauca desemboca al Magdalena sobre el brazo de Loba en el sitio denominado boca del Guamal.” Lo resaltado corresponde a los autores del presente informe.

Como podrá observarse, a partir de la descripción que presenta el documento, el río Cauca se constituía para esa época en la arteria principal de comunicación o eje alrededor del cual se desarrollaba la economía y el crecimiento social y demográfico de la región; sin embargo, el documento es claro al indicar que para el año 1943 comienzan los procesos de intervención antrópica directa, con talas indiscriminadas en la parte alta y baja de la cuenca, lo cual conllevó a la disminución de los caudales de todos los ríos, y los proyectos de desecación de extensas áreas, que en la actualidad se clasifican y corresponden a la unidad que nos ocupa en este numeral, que es la de Zonas desecadas y relleno de cauces, Q5, cuya presencia y extensión es un indicador de la magnitud de la intervención en la dinámica y morfología del río Cauca.

El documento presenta una descripción de las condiciones y el estado, para esa época, de cada una de las áreas que conformaban pantanos y ciénagas, de la cual extraemos la siguiente información.

### **Municipio de Jamundí:**

Se ubicaban varias ciénagas en donde existía una variedad de peces en sus caños y ríos, con presencia importante en las zonas cenagosas, adyacentes al río Cauca; numerosas especies de zarcetas, iguazas, patos silvestres y garzas. Entre los cuerpos lacustres se encontraban:

- Yucacruda: Ciénaga situada cerca del límite del departamento del Valle del Cauca con el departamento del Cauca. Estaba formada por los derrames y crecientes del río Timba.

- Yucatán: Ciénaga del municipio de Jamundí, situada sobre la margen izquierda del río Cauca, cerca del límite del Valle del Cauca con el departamento del Cauca. Estaba formada por las crecientes y derrames del río Timba y otros.
- El Jigua: Ciénaga formada por los derrames del río Guachinte y algunos otros zanjones y quebradas de menor importancia. Estaba situada en el municipio de Jamundí, ribera izquierda del río Cauca.
- Palmeras: Finca situada en la región de Sánchez, jurisdicción del municipio de Jamundí. Constaba de 150 plazas de terreno plano, cultivado en su mayor parte de pasto común. Tenía una pequeña zona con plantaciones de café, yuca, plátano y árboles frutales. Esta finca, ubicada en terrenos del proindiviso de Jamundí, la atravesaba una acequia derivada del río Claro, la cual desemboca al zanjón de Potrerillo, tributario de la Ciénaga El Guabal en la margen izquierda del río Cauca. Se dedicaba a la cría de ganado vacuno criollo cruzado con razas importadas.
- Sánchez: Zanjón del municipio de Jamundí, pasaba por el caserío del mismo nombre y entregaba sus aguas a una ciénaga situada sobre la margen izquierda del río Cauca.
- Santa Rosa: Pequeña Ciénaga de la jurisdicción del municipio de Jamundí, situada al pie de un contrafuerte de la cordillera Occidental. Allí nacía el riachuelo El Rosario, que pasa por la población de Jamundí, cabecera de ese mismo municipio.
- Colindres: Hacienda situada en el municipio de Jamundí. Constaba de 319 plazas de terreno plano, cultivadas en su totalidad de pasto para. Tenía magníficos bosques y guaduales y era atravesada por el Zanjón de Yocambo que desembocaba al Zanjón de Tortugas, el cual le servía de límite por el occidente. Por el norte y el oriente limitaba también con los ríos Cauca y Jamundí, los cuales en tiempos de invierno inundaban una gran zona de este predio con sus crecientes.

### **Municipio de Cali:**

- Aguablanca: Ciénaga que se situaba en el corregimiento de Villanueva, jurisdicción del municipio de Cali. Se formaba por las inundaciones de los ríos Cauca, Cañaveralejo, Meléndez, Lili y por las aguas del Zanjón de Puente Palma. Desaguaba por un caño al río Cañaveralejo. Esta ciénaga era navegable por canoas y champanes, pero en cuanto fueron retiradas las malezas y palizadas que obstruían sus caños y desagües, quedaron al descubierto grandes zonas de terreno que fueron incorporadas a la agricultura y ganadería. En esta ciénaga abundaban garzas, zarquetas, pellares, etc.
- San Luis: Hacienda situada en el corregimiento de Puerto Mallarino, jurisdicción del municipio de Cali. Constaba de 450 plazas cultivadas de pasto para. Tenía pequeños bosques, sementeras de plátanos y huertas de árboles frutales. En inmediaciones de esta hacienda, por la margen derecha, se encontraba la Ciénaga de

Salomia. Se ubicaba a orillas de la carretera que de Cali conduce al Paso del Comercio, en el río Cauca. Tenía ganado criollo cruzado con Holstein y Durham.

- Puerto Mallarino: Correspondía a la cabecera del corregimiento del mismo nombre, jurisdicción del municipio de Cali, situado sobre la orilla izquierda del río Cauca. Era puerto fluvial de bastante actividad, adonde llegaban numerosas balsas y otras pequeñas embarcaciones cargadas de plátano, café, cacao, guadua, leña, etc. En épocas anteriores el comercio era muy activo, ya que allí arribaban permanentemente barcos de pequeño calado, en los cuales se efectuaba la navegación entre los puertos de San Julián y La Virginia, este último en el departamento de Caldas, en su tiempo. Allí se alzaba un gran puente colgante llamado “Carlos Holguín”, el cual unía los municipios de Cali y Candelaria, en la carretera Central; un kilómetro hacia el norte de este caserío se levantaba, también sobre el río Cauca, otro gran puente giratorio que daba paso a la vía del ferrocarril del Pacífico. Este puerto fluvial se llamaba anteriormente Juanchito, nombre que tomó debido a que en esta región se estableció desde épocas pasadas un trabajador llamado Juan, quien se dedicaba al negocio de la venta de guadua y leña y que por ser de pequeña estatura los vecinos lo llamaban Juanchito. Hoy este nombre lo tiene un corregimiento de Candelaria situado en la margen derecha del río Cauca.
- Las Vegas: Hacienda situada en el corregimiento de Meléndez, jurisdicción del municipio de Cali. Constaba de 570 plazas de terreno plano, cultivado de pastos pará en su mayoría, y una pequeña parte de guinea. En distintos lugares de la hacienda existían pequeños grupos de montes y guaduales de donde se extraían materiales que suplían las necesidades energéticas de ésta. En la parte oriental se ubicaba una “hermosa Ciénaga formada por las crecientes de los ríos Lili y Meléndez, los cuales bañaban en gran parte este predio”.
- Santa Ana: Hacienda situada en el corregimiento de Meléndez, jurisdicción del municipio de Cali. Constaba de 860 plazas de terreno plano, cultivado de pasto común y pará. Estaba atravesada en la parte sur por el río Lili y por la parte este disponía de algunos caños o antiguos esteros y ciénagas formadas por las crecientes del río Cauca y sus afluentes.
- Isla Grande: Isla de considerable extensión formada por el río Cauca y por el caño denominado Cauquita. Se extendía desde pocos kilómetros al norte del Paso de Navarro, hasta Puerto Mallarino. En ella existía desarrollo ganadero, fincas de cacao, café y plátano. En esta isla se encontraba ubicada la Ciénaga de Potrero Grande, sobre la orilla izquierda del río Cauca.
- Potrerogrande: Ciénaga del municipio de Cali, situada en la margen izquierda del río Cauca. **La formaban las crecientes de los ríos Cauca, Meléndez, Cauquita y otros.** Allí abundaba la garza, la zarceta, la iguaza y otras especies de aves acuáticas.
- Lili: Río del municipio de Cali. Nace en los Farallones de Cali, Cordillera Occidental de los Andes y **desembocaba en la Ciénaga de Aguablanca, situada**

**en la margen izquierda del río Cauca.** En inmediaciones de este río, en la región de Cañasgordas, dicen los historiadores, tuvo lugar la primera fundación de Cali el día 24 de julio de 1536.

- Chumba: **Ciénaga formada por las inundaciones del río Cauca, Cauquita y por los derrames de la ciénaga de Aguablanca.** Estaba ubicada en el corregimiento de Villanueva, jurisdicción del municipio de Cali, entre Cauquita y los Caños de Las Cañas y Aguablanca.
- El Cascajal: **Zanjón formado por las crecientes y avenidas del río Jamundí.** Recorría de occidente a oriente la zona sur del municipio de Cali y desembocaba al río Cauca en la hacienda El Asombro.
- El Estero: **Caño o cauce formado por los derrames y crecientes del río Cauca** en el municipio de Cali. Arrancaba a muy corta distancia al norte de la carretera de El Hormiguero, recorría serpenteando numerosas fincas, haciendas y **ciénagas** ubicadas sobre la margen izquierda del río Cauca y tributaba sus aguas a **las ciénagas de Aguablanca, Potrero Grande y el caño de Cauquita.** Este caño tomaba el nombre de Caño Figueroa, un poco antes de ser atravesado por la carretera que une a Cali con el Paso de Navarro.
- Morgan: Zanjón del municipio de Cali, formado por el zanjón de Cascajal, derivado del río Pance, pasaba por el caserío del mismo nombre y desembocaba en el caño El Estero, situado sobre la margen izquierda del río Cauca.
- Puente Palma: Zanjón del municipio de Cali. Estaba formado por pequeñas vertientes y riachuelos que nacían en la cordillera Occidental de los Andes, entre las minas de Cañaveralejo y Los Chorros. Desembocaba en la Ciénaga de Aguablanca.
- Cañasgordas: Hacienda situada en el corregimiento de Pance, jurisdicción del municipio de Cali. Constaba de 305 plazas de terreno plano y ligeramente quebrado en las estribaciones de la cordillera Occidental, cultivadas en su totalidad en pasto común. Los linderos de esta hacienda eran las tierras comprendidas dentro del perímetro formado por el río Lili o Piedras, desde sus cabeceras hasta llegar **a El Estero, donde seguía su curso con este nombre hasta la Ciénaga de “Pacheco” y de allí buscar el río Cauca,** formando así el lindero norte; sur, el curso del río Jamundí desde su desembocadura en el río Cauca hasta la sierra alta de la cordillera; oriente el río Cauca; y occidente, la misma sierra alta.
- Caño de Figueroa: Caño o Madre vieja El Estero, situado en la margen izquierda del río Cauca. Tomaba este nombre pocos kilómetros antes de su desembocadura a Cauquita, en el municipio de Cali.
- El Guabito: Hacienda situada en el corregimiento de Puerto Mallarino, jurisdicción del municipio de Cali. Constaba de 1000 plazas de terreno plano cultivadas en su totalidad de pastos pará, guinea y común. Tenía pequeñas zonas de montes y guaduales y una magnífica finca que producía cacao, café, plátano, etc. La

atravesaba de occidente a oriente la carretera Central que conducía de Cali a Candelaria y en la misma dirección en sentido casi paralelo, la vía del ferrocarril del Pacífico que iba de Cali a Palmira. **La bañaba el río Cauca que le servía de límite por el oriente y por el sureste el caño denominado Cauquita, que en épocas de invierno inundaba con sus crecientes una gran parte de esta propiedad.**

### **Municipio de Candelaria:**

- Tortugas: Ciénaga situada en el corregimiento de Juanchito, jurisdicción del municipio de Candelaria y en inmediaciones del caño o madreveja llamado Caucaseco. **Esta ciénaga se formaba por las inundaciones y crecientes del río Cauca y otros.**
- Fraile: Río que nace en las partes altas de la Cordillera Central de los Andes, jurisdicción del municipio de Florida. Tributa sus aguas **a la ciénaga que forma el río Guachal**, en jurisdicción del municipio de Candelaria.
- Santa Marta: Hacienda situada en el corregimiento de El Gualí, jurisdicción del municipio de Candelaria. Constaba de 1000 plazas de terreno plano, cultivado en su totalidad de pasto pará, el cual era considerado de muy buena calidad por ser de tallo grueso y su hoja grande y jugosa. **“El río Párraga atravesaba la hacienda de oriente a occidente, sombreado en trechos por pequeñas zonas de montes y guadales. Su corriente en épocas de invierno inundaba una gran extensión, pero pasado ésta, el terreno se secaba rápidamente.”**

### **Municipio de Palmira:**

- Malimbú: Zanjón formado por aguas derivadas del río Amaime. Recorría una rica región ganadera de la jurisdicción del municipio de Palmira y desembocaba a la **Ciénaga del Cenizo**, situada en la ribera derecha del río Cauca.
- La Alicia: Hacienda situada en el corregimiento de Palmaseca, jurisdicción del municipio de Palmira. Constaba de 850 plazas de terreno plano, cultivadas en su totalidad de pasto pará. En esta extensión quedaban incluidas aproximadamente 50 plazas de monte y gradual **y 300 plazas de terrenos que se inundaban por la creciente de los ríos en épocas de invierno.**
- Yunde: Hacienda situada en el corregimiento de Guanabanal, jurisdicción del municipio de Palmira. Constaba de 760 plazas de terreno cultivadas en pasto pará. Tenía pequeños cultivos de plátano, maíz, árboles frutales y otros productos con los cuales se suplían necesidades de la hacienda. Tenía pequeñas zonas de gradual y monte, así **como también unas 70 plazas de terreno pantanoso formado por las crecientes de los ríos Fraile, Párraga, El Chontaduro y El Bolito**, los cuales la atravesaban.

- Obando: Corregimiento del municipio de Palmira, situado en una región plana que se extiende desde la margen derecha del río Cauca hasta los corregimientos de Rozo y La Herradura. Producía cacao, plátano, maíz, y ganados de todas clases. En el área de este corregimiento **se encontraban algunas ciénagas formadas por las crecientes de los ríos Guachal, Palmira y otros.**
- Pozo Sordo: **Ciénaga situada en la margen derecha del río Bolo**, en la hacienda de Palmaseca, jurisdicción del municipio de Palmira. **La formaba las crecientes del río antes citado.**
- La Esmeralda: Hacienda situada en el corregimiento de Palmaseca, jurisdicción del municipio de Palmira. Constaba de 400 plazas de terreno plano, cultivadas en su totalidad de pasto pará. Tenía aproximadamente unas 3 plazas de guadual y pequeño cultivo de plátano para surtir las necesidades de ésta. **En épocas de invierno estos ríos se desbordaban e inundaban buena extensión de esta propiedad y otras vecinas.**
- Yeguas: Zanjón del municipio de Palmira. **Era una derivación del río Amaime que con El Tamborero y El Chimbique, desaguaban en la Ciénaga del Cenizo, margen derecha del río Cauca.**
- Chimbique: Zanjón que desembocaba en el río Palmira, en la **Ciénaga del Cenizo, margen derecha del río Cauca.** Este zanjón desde su nacimiento hasta un poco antes de su desembocadura llevaba el nombre de Zumbáculo.
- El Tajo: **Ciénaga del municipio de Palmira, situada entre los ríos Guachal y Cauca. La formaban los derrames y crecientes del primero de los ríos citados.**
- Palmira: Zanjón derivado del río Nima, jurisdicción del municipio de nombre homónimo. Esta acequia, denominada río Palmira, fue construida por la municipalidad de la población del mismo nombre en 1859, por el gobernador de la provincia, don Nicomedes Conto, quien construyó un trincho de piedra, ladrillo y cal hidráulica en la bocatoma del río Nima, evitándose así que los habitantes de esa ciudad se privaran de agua para usos domésticos. Este zanjón atravesaba el centro de la ciudad del mismo nombre y tributaba sus aguas al río Guachal, que con otros **formaban la Ciénaga de El Cenizo, situada en la margen derecha del río Cauca.**
- Caucaseco: **Ciénaga situada en el corregimiento del Guanabanal, jurisdicción del municipio de Palmira. Estaba formada sobre un cauce abandonado del río Cauca, en la margen derecha del mismo río. En la ciénaga abundaban peces de todas las especies.**
- Cauquita: **Pequeño cauce del río Cauca que arrancaba unos 4 kilómetros abajo del Paso de Navarro y avanzaba de sur a norte por la ribera izquierda del mismo y desembocaba en Puerto Mallarino. Recibía las aguas del caño de Figueroa y estaba unido al caño de Las Cañas por el caño de Aguablanca, casi**

paralelo a la carretera que va de Cali al Paso de Navarro. **Recorría una zona cenagosa formada por las crecientes del río Cauca.**

#### **Municipio de El Cerrito:**

- Cerrito: Río que nace en la Cordillera Central de los Andes, pasa al sur de la población del mismo nombre, formaba una **pequeña ciénaga a orillas del río Cauca** y desemboca en éste por la margen derecha. Es su tributario el riachuelo Quebradaseca.
- Amaimito: Río derivado del Amaime, en el municipio del Cerrito. **Desembocaba en el Cauca por la margen derecha, frente a la ciénaga denominada La Carambola, que también desaguaba al Cauca.**

#### **Municipio de Yumbo:**

Para este municipio el documento resalta la presencia de la que denomina Punta de Yumbo, la cual corresponde a una saliente o pequeño ramal de la Cordillera Occidental, “que **avanza hasta muy corta distancia de la margen izquierda del río Cauca, en el sitio de Puerto Isaacs, jurisdicción del municipio de Yumbo**”.

Hace referencia, a su vez, a la presencia de la ciénaga de Sondó, situada en la hacienda de Arroyohondo, corregimiento de Puerto Isaacs; se formaba a partir de las crecientes del río Cauca y de los desbordes de la quebrada Guabinas, en las cercanías de la Vuelta de Los Piles.

Para el caso del sector de Piles, se conoce con este nombre **el paso del río Cauca, en donde formaba una curva que fue cortada con el fin de rectificar el cauce de dicho río y evitar los desbordamientos durante las épocas de invierno.**

- Cachavi: Pequeña quebrada que nacía en los contrafuertes de la Cordillera Occidental **y desembocaba en la ciénaga situada en la margen izquierda del río Cauca,** entre las quebradas Arroyohondo y Menga.
- Guabinas: Riachuelo que nace en el Cerro de Pan de Azúcar en la Cordillera Occidental y desembocaba en la Ciénaga de Sondó, margen izquierda del río Cauca.

#### **Municipio de Yotoco:**

Su registro hidrográfico muestra, entre otros, los siguientes accidentes fluviales.

- Ciénagas: Abundaban las zonas cenagosas situadas sobre la margen izquierda del río Cauca; abundaban las aves acuáticas especialmente la garza, la iguaza, el pellar, la zarceta y otras especies “*que brindan al paisaje tranquilo y bellissimo de las riberas del Cauca un aspecto de vida y magnificencia sin iguales*”.

- El Espinal: Riachuelo del municipio de Yotoco. Nace en la Cordillera Occidental de los Andes y desemboca al río Cauca por la margen izquierda; en la actualidad presenta un alto grado de intervención en todo su cauce, convirtiéndose en drenaje estacional; sobre su margen izquierda se ubica el relleno sanitario en donde se depositan los residuos sólidos de la ciudad de Cali.
- El Espinal: Hacienda situada en el municipio de Yotoco. Constaba de 2.300 plazas de terreno plano y montañoso cultivadas de pasto común, guinea y pará. **Poseía en las orillas del río Cauca terrenos cenagosos donde habitaban numerosas aves acuáticas.**
- Chimbilaco: Riachuelo que desembocaba en el río Cauca por la margen izquierda.
- Garzonero: Riachuelo del municipio de Yotoco. Nace en un contrafuerte de la Cordillera Occidental de los Andes y desembocaba al río Cauca por la margen izquierda.
- Quebrada Montegrando: Quebrada del municipio de Yotoco. Nace en un contrafuerte de la Cordillera Occidental de los Andes y desemboca al río Cauca por la margen izquierda.
- Piedras: Río que nace en la Cordillera Occidental, pasa por el caserío del mismo nombre, marca límites entre los municipios de Riofrío y Yotoco, y desemboca al río Cauca por la margen izquierda.
- Mediacanoa: Río del municipio de Yotoco. Nace en la Cordillera Occidental, pasa por el caserío del mismo nombre y desemboca al río Cauca por la margen izquierda.
- Chambimbe: Riachuelo del municipio de Yotoco. Nace en un contrafuerte de la Cordillera Occidental y desemboca al río Cauca por la margen izquierda.

Todos estos drenajes naturales y afluentes del río Cauca sobre su margen izquierda presentan en la actualidad una muy alta intervención, con rectificación de cauces, deforestación casi total de sus partes altas, que los han convertido más en cauces o caños estacionales, algunos con alto grado de contaminación.

### **Municipio de Guacarí:**

- Chircal: Laguna situada entre los municipios de Guacarí y Buga, de regular extensión, en la margen derecha del río Cauca y cercana a la línea del Ferrocarril del Pacífico; en ella vierten sus aguas el arroyuelo Quebradaseca. En esta famosa y extensa ciénaga abundaba mucho la garza blanca y rosada, la zarceta, la iguaza, el pellar, el gallito de ciénaga y otras aves acuáticas. Abundan también los peces de todas clases.

### **Municipio de Buga:**

En las ciénagas situadas en la margen derecha del río Cauca existía una abundante fauna representada en garza, iguaza, zarceta, el pellar, el gallito de ciénaga y otra gran variedad de aves acuáticas.

- Quebrada Seca: Quebrada del municipio de Buga. Nace en un contrafuerte de la Cordillera Central de Los Andes, pasa por el caserío del mismo nombre **y desemboca a la Ciénaga de El Chircal, margen derecha del río Cauca. (Hoy Laguna de Sonso).**
- San Juanito: Hacienda situada en jurisdicción del municipio de Buga, en las afueras de la ciudad cabecera de ese municipio. Constaba de 600 plazas de terreno plano cultivado en su mayoría de pastos común y pará. **En la parte Occidental, es decir a orillas del río Cauca, sus terrenos eran cenagosos,** razón por la cual permanecía la mayor parte del tiempo poblada de toda clase de aves acuáticas.

### **Municipio de San Pedro:**

En la región cenagosa de las orillas del Cauca podían verse con frecuencia bellísimos grupos o manadas de garzas blancas, de iguanas, de zarcetas, y de otras muchas aves acuáticas que forman un conjunto encantador en el paisaje vallecaucano.

- Quebrada San Pedro: Quebrada del municipio del mismo nombre. Nace en la cordillera Central de los Andes, pasa por la población del nombre homónimo **y “desagua al Cauca por la margen derecha”.** Antiguamente ésta quebrada se llamaba Artieta.
- Presidente: Quebrada que nace en la Cordillera Central, marca límites entre los municipios de Buga y San Pedro, y desemboca en el río Cauca por la margen derecha.
- Todos Los Santos: Quebrada que nace en la Cordillera Central de los Andes, municipio de San Pedro, pasa por el caserío del mismo nombre y desemboca al río Cauca por la margen derecha.

### **Municipio de Tuluá:**

En las ciénagas que formaban **las avenidas del río Cauca**, se encontraba aves acuáticas y vegetación asociada con este ambiente.

- Tuluá: Río que nace en el páramo de Las Herosas, en la cordillera Central de los Andes, atraviesa la ciudad del mismo nombre y desemboca al río Cauca por la margen derecha. *“Este río hasta hace pocos años **fue de gran caudal** y hermoso, pero la despoblación forestal llevada a cabo en sus cabeceras, sin control y sin medida, ha acabado casi completamente con sus aguas. Se cree que en las cabeceras de este río existen minas de pizarra, caparrosa y otros minerales, por*

*cuya causa sus aguas son permanentemente de un color verde oscuro”* (cita textual del documento).

### **Municipio de Riofrío:**

No hay referencias a ciénagas cerca al río Cauca en este municipio. No se observa ni se hace referencia para esa época, sobre la margen derecha del río Cauca al frente de Riofrío año 1943, del Zanjón Burrigá, sino de las quebradas San Pedro, Presidente, Chambimbal, Honda y otras, desembocando directamente al río Cauca, en forma casi perpendicular.

### **Municipio de Trujillo:**

No hay referencias a ciénagas cerca al río Cauca (margen izquierda) en este municipio, ni tampoco de madrevejas en este tramo del río Cauca.

### **Municipio de Bolívar:**

Don Gustavo Arboleda, conocido historiador, afirma que Bolívar fue fundada por una tribu de indios llamados “Gorrones”, denominación que les fue dada, después de la inmigración de personas oriundas de comarcas circunvecinas, porque ofrecían a los vecinos **gran cantidad de peces que sacaban de una ciénaga próxima al poblado**, anunciándolos a grandes voces con el nombre de “gorrones”, que era con el que, en su idioma, denominaban esa clase de animales.

### **Municipio de Bugalagrande:**

- **“En las Ciénagas formadas por el río Cauca”** se encontraba gran variedad garzas blancas, zarceta, iguaza y otras especies de aves acuáticas.
- Río Bugalagrande: *“Río que marca límite entre los municipios de Tuluá, Andalucía, Bugalagrande y Sevilla. Nace en el Páramo de Barragán en la Cordillera Central de los Andes y **desemboca en la Laguna del Buey**, situada en la margen derecha del río Cauca. Este río ha mermado en gran parte su caudal, debido a la incontrolada despoblación forestal en las cabeceras”*.
- El Burro: *“**Ciénaga** situada en la margen derecha del río Cauca, en el municipio de Bugalagrande. En ella desembocan los ríos Bugalagrande, Morillo y El Overo. Esta ciénaga desagua en el río Cauca por un pequeño caño”*.

### **Municipio de Andalucía:**

*“En la zona **ribereña del río Cauca** abundan numerosas aves acuáticas, entre ellas la garza, la zarceta y la iguaza. Límites Especiales: Al norte el río Bugalagrande, desde su nacimiento en la Cordillera Central de los Andes, hasta 300 metros antes de llegar a la*

casa de la antigua hacienda denominada La Teja, hoy Sevilla, entre la vía férrea del Pacífico y el río Cauca; de este punto línea recta al Suroeste, hasta encontrar un mojón clavado en el centro **de una madreveja del río Bugalagrande, y por esta madreveja aguas abajo hasta el río Cauca;** al oeste, el río Cauca desde la desembocadura de la madreveja del Bugalagrande, aguas arriba hasta su confluencia con el río Morales; al sur, el río Morales desde su desembocadura en el río Cauca, hasta donde le afluye la quebrada de Sabaletas, se asciende por ésta hasta su nacimiento y de allí por las partes altas de la serranía, en dirección Sureste hasta la cima de la Cordillera Central de los Andes; al este, de este punto en adelante, por la cima de la cordillera, hasta el nacimiento del río Bugalagrande”

### **Municipio de Roldadillo:**

- Quintero: “**Ciénaga del municipio de Roldadillo**, situada al noroeste de la ciudad cabecera y sobre la margen izquierda del río Cauca. **Es formada por los derrames del río Cauca y por las quebradas del Rey, Higueroncito, La Seca, Morelia y Roldadillo. En esta ciénaga abundan las garzas, las zarcetas, las iguazas, los pellers y otras aves acuáticas que forman un conjunto de belleza natural**”.
- Roldadillo: Riachuelo o quebrada que nace en el cerro de Paramillo, en la cordillera Occidental, pasa por la población del mismo nombre y desembocaba en la **Ciénaga de Quintero, margen izquierda del río Cauca.**
- La Seca: quebrada que nacía frente a la población de Cajamarca en la cordillera Occidental y desembocaba **en la laguna de Quintero, margen izquierda del río Cauca.**
- Morelia: Riachuelo del municipio de Roldadillo que nacía en la cordillera Occidental, pasaba por el caserío del mismo nombre y desembocaba a **la laguna de Quintero**, situada en la margen izquierda del río Cauca.

### **Municipio de Zarzal:**

“El municipio de Zarzal limita al Norte, con la quebrada de La Honda, desde su desembocadura en el río Cauca hasta su nacimiento, de aquí en línea recta hacia el este, hasta encontrar el puente del ferrocarril del Pacífico sobre el río La Vieja, en el trayecto Zarzal-Armenia; al Este, el río La Vieja, aguas arriba, hasta encontrar la desembocadura de la quebrada Palmichal, ésta aguas arriba hasta su nacimiento; de este punto por la línea más alta de la Cordillera Central de Lo Andes, hasta el río La Paila en la desembocadura de la quebrada Pavas; al Sur, la citada quebrada aguas arriba, hasta un punto frente mojón llamado Caicedo; de aquí en línea recta a dicho mojón, y de éste al nacimiento de la quebrada de Morillo o Guare; por esta quebrada aguas abajo, **hasta su desembocadura en la Ciénaga del Burro**, y de aquí en línea recta al río Cauca; y al oeste, el río Cauca desde este último punto hasta la desembocadura de la quebrada La Honda”.

### **Municipio de La Victoria:**

- Ciénagas: “**En las partes cenagosas de las orillas del río Cauca**, abunda la garza rosada, la blanca, la iguaza, la zarceta, el pellar, etc., etc. En este municipio como en otros del departamento, la fauna y las aves acuáticas han sido muy perseguidas hasta el punto de encontrarse casi agitadas las especies ya nombradas”.
- Límites especiales: “Por el norte, desde el mojón de piedra que se halla en la hacienda de La Mesa, a orillas del río Cauca, límite con el municipio de Obando, en línea recta hasta otro mojón que se encuentra frente a la **Ciénaga de Los Abejorros o Burras**, en la carretera Central, y de este mojón en línea recta atravesando la carretera, hasta el río de La Vieja, en el punto intermedio entre los pasos de La María y Samaria; por el este, río de La Vieja aguas arriba hasta el Ferrocarril del Pacífico en el ramal Zarzal-Armenia; por el sur, desde este último punto, al nacimiento de la quebrada La Honda, y ésta, abajo hasta su desembocadura en el río Cauca; por el oeste, el río Cauca desde la desembocadura de la quebrada La Honda hasta el primer punto de partida”.

### **Municipio de La Unión:**

- La Unión: Río que nace en la cordillera Occidental, pasa por la población cabecera del municipio y desembocaba en una **laguna situada en la margen izquierda del río Cauca**.
- Portachuelo Grande: **Ciénaga** del municipio de La Unión, situada sobre la margen izquierda del río Cauca. Allí abundaban las garzas y un sinnúmero de aves acuáticas y peces de todas clases.
- San Pedro: quebrada que nace en la cordillera Occidental, pasa por el caserío del mismo nombre y **desemboca en una laguna situada en la margen izquierda del río Cauca**.
- San Luis: quebrada del municipio de La Unión que nace en la cordillera Occidental de Los Andes **y desembocaba en una Ciénaga situada en la margen izquierda del río Cauca**.

### **Municipio de Orando:**

- Límites Especiales: “Por el norte, desde el punto frente al boquerón del Hatillo(Hoy San Francisco), en el municipio de Toro, a orillas del río Cauca, línea recta a la ribera de **Ciénaga Grande** en la desembocadura de la quebrada Las Cruces; ésta, aguas arriba, hasta su nacimiento en la cordillera Central de los Andes, de allí en línea recta al nacimiento de la quebrada Aguaclara y ésta, aguas abajo, hasta su desembocadura en el río de La Vieja; por el oriente, este río aguas arriba hasta un punto intermedio entre los pasos de La María y La Samaria; por el sur, de este punto, en línea recta a un mojón que se encuentra frente a la **Ciénaga de Los Abejorros o Burras** en la carretera Central y de aquí al mojón de piedra que se halla en la hacienda de La Mesa, a orillas del río Cauca, límite con el municipio de

La Victoria, y por el occidente, el río Cauca, desde este punto aguas abajo hasta el mojón situado frente al boquerón del Hatillo, punto de partida”.

- El Naranjo: Riachuelo del municipio de Obando que nace en la cordillera Central y desembocaba en **Ciénaga Grande**, margen derecha del río Cauca.

### **Municipio de Ansermanuevo:**

La riegan los ríos Cauca, Cañaveral, Catarina, Chanco, Las Cruces y El Cabuyal, los cuales desembocan al río Cauca por la margen izquierda. No hay referencias de lagunas o ciénagas al lado del río Cauca en este municipio.

### **Municipio de Cartago:**

- Ciénagas: En las **Ciénagas formadas por el río Cauca**, era significativa la presencia de la garza, la zarzeta, la iguaza, y otras aves acuáticas.
- Cienagagrande: **Ciénaga situada en la margen derecha del río Cauca**, en el municipio de Cartago. Esta ciénaga dividía los municipios de Cartago y Obando y a ella desembocaban las quebradas de Obando, Pedro Sánchez y Cruces. En sus aguas abundaban las más variadas clases de peces. Desaguaba por varios canales al río Cauca, uno de ellos atravesado por un puente llamado Agualimpia.
- El Salto: quebrada que nace en la cordillera Central, pasa por el corregimiento de Zaragoza jurisdicción del municipio de Cartago y desembocaba en **Cienagagrande**, margen derecha del río Cauca. Hacia sus nacimientos llevaba el nombre de quebrada de Los Negros.
- La Vieja: “Río caudaloso que nace en el Páramo de la Yerbabuena, en la cordillera Central de los Andes, a unos 100 metros más o menos del cordón principal de la Cordillera por donde pasan los límites entre los departamentos del Valle y Tolima. Tiene un curso aproximado de 140 kilómetros y **es navegable por embarcaciones de poco calado** en un trayecto de 10 kilómetros aproximadamente”.
- Las Cruces: Río del municipio de Cartago; nace en la cordillera Central en la Cuchilla de Santa Bárbara y sirve de límite entre el municipio ya citado y el de Obando. Desembocaba en **una Ciénaga** situada en la margen derecha del río Cauca. Este río también era denominado Quebrada de Piedras.

Se ha querido presentar esta descripción, en algunos casos de forma textual, de las condiciones morfológicas, hidráulicas y ambientales, que prevalecían a lo largo del valle geográfico del río Cauca, en la zona de influencia directa de éste, con el propósito de poder entender cómo ha evolucionado el paisaje debido a la intensa presión e intervención antrópica durante los últimos 70 años. Como bien lo describe el documento, las áreas o corredor aledaño al cauce del río Cauca presentaban una morfología en donde predominaban los ambientes lacustres y cenagosos, tipo Q2, que más que una unidad física correspondían a un entorno biológico en particular, con alto desarrollo de especies

forestales y vegetales, que cumplían la función de regular las aguas del río en periodo de crecientes, constituyéndose a su vez en fuentes de almacenamiento y distribución de caudales que sostenían los regímenes superficial y del subsuelo, en épocas de estiaje. Vemos cómo a lo largo de estos años las condiciones morfológicas y ambientales han variado sustancialmente, cambiando no sólo el uso del suelo, sino generado pérdidas totales en las condiciones biogeográficas de la región. Los cuerpos de aguas han sido desecados, los drenajes naturales se han intervenido, rectificándolos, y en la mayoría de los casos desapareciéndolos mediante la implementación de rellenos compactados que no sólo afectan la hidrografía de superficie, sino también los regímenes hidrogeológicos de toda la región.

Vemos cómo el paisaje ha pasado del predominio de unidades biogeográficas como las zonas lacustres y zonas de pantanos permanentes, Q2, a predominar áreas de desecación o de rellenos compactados, con baja fertilidad natural, Q5, con pérdida no sólo de las condiciones morfológicas e hidráulicas de estos sectores, sino de la bio-diversidad que existía al interior de estos cuerpos.

Consideramos que es hora de crear conciencia en el manejo y uso adecuado de nuestros recursos naturales; hasta dónde queremos llegar con nuestro “desarrollo regional” a costa de la alteración o pérdida del entorno físico y biológico del valle geográfico; debemos tener en cuenta que no sólo estamos abocados a una alteración de las condiciones físicas y biológicas del río Cauca, sino que estamos enfrentados a variaciones en el cambio climático de este planeta, por lo demás cíclicas en el tiempo geológico y de las cuales se tienen abundantes registros de los daños ocasionados en tiempos remotos sobre las diferentes latitudes del planeta. La combinación de estas dos alteraciones, regional la una y global la otra, puede llevarnos, más que a un desarrollo, a un desastre de la sociedad, si no tomamos conciencia de que debemos comenzar ya el proceso de recuperación de la mayoría de las áreas que hemos intervenido, en aras de mejorar la calidad de vida de nuestra región.

Debemos ser conscientes que nuestro desarrollo debe estar ligado con la protección y recuperación de nuestros recursos, estando acordes las actividades productivas con la oferta y restricciones que nos presente el medio, de tal forma que podamos buscar un equilibrio sostenible en el tiempo, con el fin de que podamos mejorar la calidad de vida no sólo de nuestra generación, si no de las futuras que tendrán mayores problemas poblacionales y socio-económicos a los que tenemos o hemos tenido que afrontar nosotros en la actualidad.

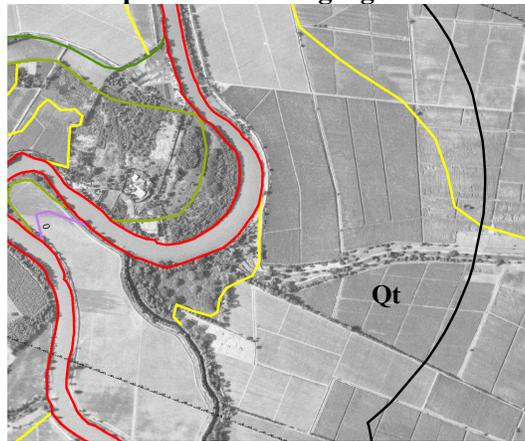
Como se describirá más adelante, el desarrollo de la región no debe ir en contra de las restricciones del medio receptor de la zona; por el contrario, consideramos que una concertación adecuada, efectiva y planificada a mediano y largo plazo, más que entre entidades o gremios, entre el hombre y la naturaleza, podrá garantizar nuestro desarrollo y, lo más esencial, de las generaciones futuras.

Tengamos presente que el norte de los programas y acciones a seguir para la recuperación y conservación del valle geográfico del río Cauca y su eje central, el mismo río, debe estar enfocado más en la recuperación de unidades biogeográficas del tipo Q2, que a la “degradación” del medio, con el aumento de terrenos clasificados como de tipo Q5.

### 3.1.8 Terrazas Aluviales (Qt)

Esta unidad representa las geofomas planas, resultado de la evolución del valle aluvial del río, y distribuidas ampliamente en todo el valle geográfico, observándose como grandes extensiones uniformes. Su morfología presenta una pendiente baja a muy baja hacia el canal del río Cauca, presentando en la actualidad muy baja disección como resultado de la intervención antrópica, que a lo largo del tiempo ha rectificó cauces de afluentes y que a su vez ha rellenado cauces menores, para “recuperar” áreas para la actividad agrícola de la región; su conformación a través de capas alternantes de arcillas, limos, arenas, gravas, paleosuelos, etc., representa los diferentes regímenes hidráulicos del río Cauca a través de su historia. Esta unidad predomina a todo lo largo del valle geográfico del río Cauca (ver Ilustración 20).

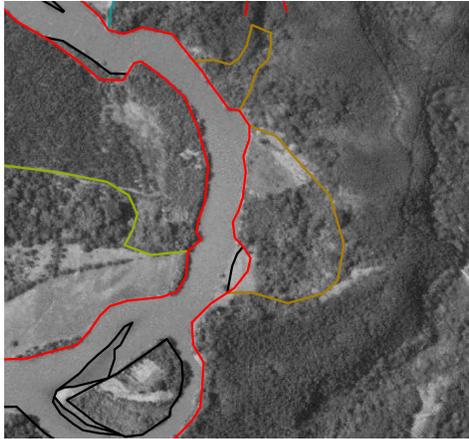
**Ilustración 20** Morfología y estado actual de las terrazas aluviales que conforman el sustrato superior del valle geográfico del río Cauca



### 3.1.9 Depósito coluvial (Qd)

Corresponde a una serie de depósitos de origen gravitacional, asociados, en la mayoría de los casos, con depósitos de origen aluvial, los cuales se identificaron en la zona de estudio sobre la parte baja de terrenos con pendientes moderadas a altas, especialmente en zonas con controles litológicos. Presentan una forma triangular a trapezoidal, con pendientes moderadas y con poca disección (ver Ilustración 21).

**Ilustración 21** Depósito coluvial formado sobre la parte baja de una zona con control litológico y suprayaciendo terrazas aluviales más antiguas



### **3.1.10 Unidad Antrópica. (Qra)**

Se ha considerado importante incluir dentro de la nomenclatura morfológica regional una nueva unidad, la cual corresponde a las diversas geformas modeladas, a partir de las actividades que desarrolla el hombre, para ubicación de infraestructura y demás obras para el desarrollo de las actividades sociales y económicas de la zona (ver Ilustración 22).

En general, corresponde a áreas peneplanizadas, ya sea como resultados de procesos de excavación o retiro de materiales, o a partir de conformación de rellenos, zonas de escombreras, algunas de las cuales se han ubicado sobre las márgenes del río Cauca. Es una unidad que podrá ser tomada como indicador del grado de intervención antrópica de la región, ya que su desarrollo y conformación, generan alteraciones, no sólo sobre la morfología del terreno, sino sobre todo en la red hidrográfica superficial, (alteración de cauces, naturales, flujos de escorrentía, etc.), y sobre la red de flujo hidrogeológica del sector.

Consideramos que dentro de esta unidad deben incluirse todos los asentamientos humanos, llámense ciudades, pueblos, poblados, caseríos, ya que su desarrollo ha implicado una muy alta intervención de las condiciones naturales de la región, alterando las características hidroclimáticas, hidrográficas, hidráulicas, morfológicas, ambientales, etc., que ha contribuido en gran manera a la generación de daños y desastres, algunos con pérdida de vidas humanas, debido a haber ocupado áreas en donde se desarrollaban o mitigaban procesos naturales relacionados con la presencia de ríos y quebradas. En el caso de la ciudad de Cali, hemos visto y continuamos viendo cómo se desarrollan nuevos proyectos en áreas en donde las condiciones naturales morfo-hidráulicas del río Cauca y sus afluentes no lo hacen aconsejable, pero con la implementación de obras creemos poder desarrollar los proyectos, olvidándonos que lo que se está haciendo es generar mayor presión e intervención sobre el medio biogeográfico.

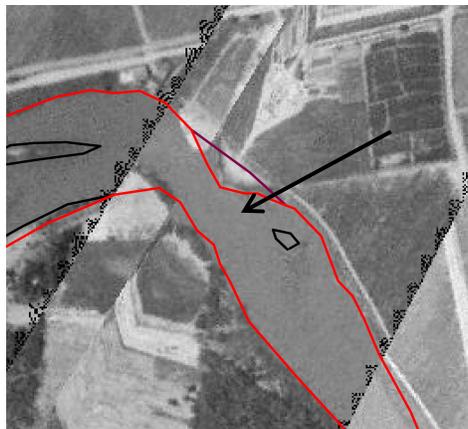
Se continúa con el desarrollo de proyectos, lo más grave, de desarrollo urbano, sobre cauces antiguos del río Cauca o en áreas cenagosas, que como se ha indicado a lo largo del presente informe, respondían a las necesidades dinámicas del río y afluentes, constituyéndose en zonas de amortiguación natural para las crecientes del río, como control

de los desbordes de sus afluentes como abastecedor y controlador de las condiciones hidrogeológicas de la región.

El desarrollo urbano no ha medido las consecuencias o si las ha medido nunca las ha tenido en cuenta, del grado de afectación que puede llegar a causar el desborde de cualquiera de los ríos que cruzan la ciudad y que de acuerdo con registros geológicos, la presencia de conos aluviales a lo largo de su cauce ha alterado sustancialmente la morfología pre-existente, arrasando con extensas zonas ubicadas en sus márgenes; se ha canalizado la totalidad de los ríos que cruzan la zona, con la convicción de que es la solución a los problemas para el desarrollo urbano; se han efectuado estudios que miden el comportamiento hidráulico de los caudales de cada uno de éstos, pero nunca se han tenido en cuenta las condiciones o expresiones morfológicas que nos presenta el medio y que nos advierte que tarde o temprano los procesos pueden repetirse; **los ríos y quebradas no transportan únicamente agua**, pero desafortunadamente los modelos tienen en cuenta únicamente el medio fluido; la premisa básica sobre la que se ha desarrollado la ciencia geológica indica que *“los procesos que ya ocurrieron en la naturaleza y de los que se tienen registros ocurrirán nuevamente en el futuro”*.

La evolución en tamaño de esta unidad será un indicador importante del grado de intervención directa del hombre sobre el medio morfo-hidráulico del valle geográfico del río Cauca.

#### Ilustración 22 Relleno antrópico localizado sobre margen derecha del río Cauca



### 3.2 CONTROLES LITOLÓGICOS

Los diferentes estudios que se han desarrollado sobre el valle del río Cauca, incluyendo los relacionados con la identificación y evaluación de unidades morfológicas y litológicas, han tenido siempre presente y les han asignado alta importancia a la presencia de los que se han denominado controles litológicos. Estos corresponden básicamente a afloramientos de rocas de diverso tipo, desde no alteradas hasta parcialmente meteorizadas que, por su dureza y resistencia a los procesos de socavación o erosión, se han constituido en barreras naturales o sistemas de contención que han controlado la divagación del cauce del río Cauca en varios sectores, confiriéndole un buen grado de estabilidad.

La expresión “control litológico” no debe tomarse literalmente como una unidad geomorfológica en particular, debiendo aclarar y complementar que cada tipo de control presenta sus características intrínsecas, asociada con su litología, origen, procesos endógenos y exógenos y, en general, todas las variables que le confieren una clasificación como unidad morfológica dentro de un entorno local o regional.

La literatura ha empleado, casi que en su gran mayoría, este término para describir los afloramientos conformados por rocas basálticas y diabásicas, ubicadas especialmente sobre la margen izquierda del río Cauca a partir de municipio de Yumbo y hasta después del municipio de Bolívar. Sin embargo, durante el desarrollo del presente estudio se pudieron identificar otros tipos de controles litológicos, asociados con formaciones diferentes y que ejercen un control efectivo sobre el cauce del río Cauca, restringiendo su canal y generando controles efectivos sobre los procesos de socavación debido a la alta resistencia de los materiales que los conforman. Las características de estos controles se describen en los siguientes numerales y su ubicación se presenta en el Grupo de Planos A, Geomorfología.

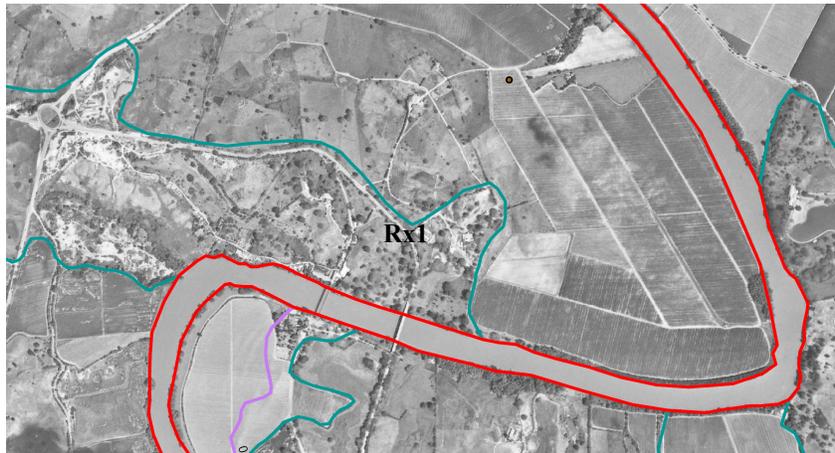
### **3.2.1 Control Litológico Rx1**

Este tipo de control está asociado con la presencia de afloramientos rocosos pertenecientes a la Formación Zarzal, con algunos sectores con predominancia de rocas de la Formación La Paila. Este tipo de control restringe el canal del río Cauca, confinándolo a su canal activo, generando tramos de muy baja sinuosidad, casi rectos, con desarrollo de pocos procesos de socavación lateral debido a la resistencia de las rocas, en general conglomerados, arenisca cuarzosa, etc., con buen grado de cementación y alta dureza.

Se presentan en forma de afloramientos con morfologías escarpadas, de muy poca altura, no mayor a los 5.0 m, sin disecciones importantes y conformando las orillas del río en estos sectores; en algunos de estos controles se observaron efectos tectónicos correspondientes a esfuerzos de compresión que generaron ligeros levantamientos de las capas, que confirma este tipo de rocas. Este tipo de control predomina hacia la parte norte del valle geográfico del río Cauca, observándose especialmente sobre la margen derecha en el trayecto ubicado entre Zarzal y Cartago (ver Ilustraciones 23 y 24).

**Ilustración 23 Control litológico a partir de presencia de rocas sedimentarias bien cementadas de la Formación Zarzal. Margen derecha del río Cauca, entre Obando y Cartago**



**Ilustración 24 Vista aérea del control litológico Rx1, sector Cartago, Formación Zarzal****3.2.2 Control Litológico Rx2**

Este tipo de control está asociado con la presencia de afloramientos rocosos, conformados principalmente por conglomerados polimícticos y lodolitas, que tienen su mejor expresión sobre el lecho del río Cauca y algunas márgenes, hacia la zona sur del municipio de Cali. En general, presentan un color grisáceo oscuro, con alto grado de alteración y dureza que puede oscilar entre los 15 golpes/pie en su parte superior y los 50 golpes/pie o mayor en profundidad (Ilustración 25).

Este tipo de control se presenta como cuerpos aislados, de forma irregular, de aspecto rugoso en la mayoría de los casos, con espesores no determinados, pero que por correlación de campo se estima que pueden alcanzar hasta los 10 m en las zonas cercanas al lecho del río; los afloramientos muestran material rocoso de tipo sedimentario, parcialmente meteorizado, sin evidencias de fracturamientos o sistemas de discontinuidades; se nota un comportamiento de predominancia dúctil, de dureza moderada y deleznable de forma manual. Ofrece resistencia o control a las márgenes y cauce del río, formando “fosas” o canales estrechos en su lecho, que son visibles en varios de sus tramos en épocas de estiaje. A pesar de tener un comportamiento dúctil, de apariencia sensible a sufrir alteraciones, corresponde a un material que presenta buen grado de consolidación y cementación de partículas finas, no de tipo calcáreo, las cuales rodean y brindan enlaces físicos muy desarrollados con las partículas más gruesas.

Es muy posible, como se verá más adelante, que las denominaciones que se le han dado a algunos de estos cuerpos, caliches, puedan estar asociadas con el grado y tipo de cementación, proveniente aparentemente a partir de soluciones o precipitaciones de tipo sulfuroso, como lo sugiere en algunos sectores la presencia de minerales de tipo pirita.

Las relaciones de campo y la morfo-tectónica de la zona indican que estos cuerpos están asociados con la presencia de formaciones sedimentarias tipo Guachinte en su parte basal o de edad más temprana como las capas intermedias de la Formación Jamundí, los cuales fueron emplazados a partir de movimientos estructurales controlados por los sistemas de fallas regionales y locales que cruzan el valle geográfico del río Cauca, tanto en dirección

NNS o NNW a EW, estas últimas poco estudiadas y que consideramos de gran influencia sobre la dinámica y movilidad local del río a todo lo largo del sector en estudio.

**Ilustración 25. Control litológico, (Rx2), relacionado con presencia de rocas sedimentarias tipo conglomerados y lodolitas; margen derecha del río Cauca, aguas abajo del puente Hormiguero**



### **3.2.3 Control Litológico Rx3**

En el presente estudio se ha denominado bajo esta convención a los controles litológicos que se encuentran conformados por basaltos, diabasas y pillow lavas de la Formación Volcánica que se ubican hacia la zona central del tramo en estudio, desde el municipio de Yumbo hasta un poco aguas abajo del municipio de Bolívar (ver Ilustraciones 26 y 27).

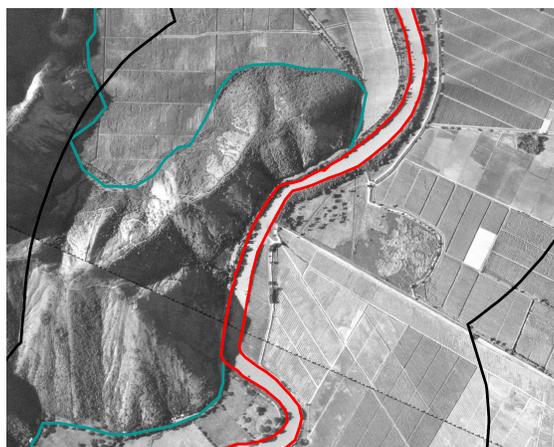
Sus geoformas son muy claras y definidas, contrastando con el paisaje plano y aterrazado que conforma el valle geográfico del río Cauca y afluentes; se desarrolla principalmente sobre la margen izquierda del río Cauca, con algunas “ventanas” de muy poca extensión sobre la margen derecha de éste.

Su geoforma predominante corresponde a colinas estructurales, con laderas muy rectas, de poca altura, baja disección controlada por sistemas de discontinuidades y desarrollo de facetas triangulares y trapezoidales como producto de los movimientos locales y regionales que han afectado el macizo rocoso. De los tres controles identificados a lo largo del cauce del río Cauca en la zona de estudio, debido a la alta dureza de las rocas y su resistencia a los procesos erosivos, este es el que mayor control ejerce sobre su cauce, desarrollando tramos rectilíneos muy largos, con un canal estrecho y poca evidencia de divagaciones o movilidad de orillas. En general, su presencia se asocia con sectores del río muy confinados y estables, pero susceptibles a ser afectados por procesos de desbordamientos debido a lo estrecha de su sección y al acorazamiento de las márgenes que impiden algún tipo de movimiento de éstas.

**Ilustración 26 Control estructural tipo Rx3, pillow lavas sobre la margen izquierda del río Cauca en el sector Vijes-Yotoco**



**Ilustración 27 Vista aérea de control estructural sobre la margen izquierda del río Cauca en el sector Vijes-Yotoco**



Los principales controles litológicos identificados a lo largo de la zona de estudio se relacionan en la Tabla 10.

### **3.2.4 Caliches**

En este punto vale hacer referencia a que estos afloramientos han sido denominados o mal llamado como “caliches”, asociándolos como zonas de protección para el subsuelo del lecho del río y en algunos casos de los taludes que conforman las márgenes de éste. La consulta bibliográfica nos llevó al documento que consideramos que mejor descripción y análisis presenta en cuanto a la presencia de estos cuerpos, por lo que transcribimos los resultados de éste (3).

3 “El Río Cauca en su Valle Alto Geográfico” CVC-Univalle, 2005.

Tabla 10 Relación y distribución de controles litológicos a lo largo del río Cauca

No.	UBICACIÓN TRAMO Y SITIO	LONGITUD (km)		ABSCISADO(kms)	SIMBOLO Y NOMBRE DEL CONTROL
		M.I.	M.D.		
1	San Francisco-La Balsa		0,532	K26+408 a K26+940	Rx2(Formación Guachinte)Tog
2	La Balsa-Quinamayó		0,104	K28+050 a K28+194	Rx2(Formación Guachinte)Tog
3	La Balsa-Quinamayó		0,228	K28+826 a K29+054	Rx2(Formación Guachinte)Tog
4	La Balsa-Quinamayó		0,134	K29+400 a K29+534	Rx2(Formación Guachinte)Tog
5	La Balsa-Quinamayó		0,916	K31+882 a K32+598	Rx2(Formación Guachinte)Tog
6	Arroyohondo-Río Tuluá	0,286		K178+755 a K179+041	Rx1(Formación Volcánica)Kv
7	Arroyohondo-Río Tuluá	0,362		K181+803 a K182+165	Rx1(Formación Volcánica)Kv
8	Arroyohondo-Río Tuluá	0,429		K186+088 a K186+517	Rx1(Formación Volcánica)Kv
9	Arroyohondo-Río Tuluá	1,285		K189+505 a K190+790	Rx1(Formación Volcánica)Kv
10	Arroyohondo-Río Tuluá	0,840		K235+070 a K235+154	Rx1(Formación Volcánica)Kv
11	Arroyohondo-Río Tuluá	0,500		K238+160 a K238+660	Rx1(Formación Volcánica)Kv
12	Arroyohondo-Río Tuluá	0,515		k241+120 a k241+395	Rx1(Formación Volcánica)Kv
13	Río Tuluá-Río La Vieja	1,396		K304+604 a K306+000	Rx1(Formación Volcánica)Kv
14	Río Tuluá-Río La Vieja	0,391		K313+203 a K313+594	Rx1(Formación Volcánica)Kv
15	Río Tuluá-Río La Vieja	0,040		K342+863 a K324+903	Rx1(Formación Volcánica)Kv
16	Río Tuluá-Río La Vieja	0,413		K327 +178 a K327+591	Rx1(Formación Volcánica)Kv
17	Río Tuluá-Río La Vieja	0,291		K338+265 a K338+556	Rx1(Formación Volcánica)Kv
18	Río Tuluá-Río La Vieja	0,807		K344+000 a K344+807	Rx1(Formación Volcánica)Kv
19	Río Tuluá-Río La Vieja	0,852		K372+970 a K373+822	Rx1(Formación Volcánica)Kv
20	Río Tuluá-Río La Vieja	2,876		K376+313 a K379+189	Rx1(Formación Volcánica)Kv
21	Río Tuluá-Río La Vieja	0,172		K409+897 a K410 + 069	Rx1(Formación Volcánica)Kv
22	Río Tuluá-Río La Vieja	1,075		K414+236 a K415+311	Rx3(Formación Zarzal)Tpz
23	Río Tuluá-Río La Vieja		0,588	K417+340 a K417+928	Rx1(Formación Volcánica)Kv
24	Río Tuluá-Río La Vieja	1,079		K418+767 a K419+646	Rx1(Formación Volcánica)Kv
25	Río Tuluá-Río La Vieja		1,115	K419+384 a K420+499	Rx1(Formación Volcánica)Kv
26	Río Tuluá-Río La Vieja		0,559	K420 +950 a K421+509	Rx1(Formación Volcánica)Kv
27	Río Tuluá-Río La Vieja	0,284		K425+214 a K425+498	Rx1(Formación Volcánica)Kv
28	Río Tuluá-Río La Vieja	0,785		K432+711 a K433+496	Rx1(Formación Volcánica)Kv
29	Río La Vieja-La Virginia		0,349	K429+332 a K429+681	Rx3(Formación Zarzal)Tpz
30	Río La Vieja-La Virginia		1,334	K431+242 a K432+576	Rx3(Formación Zarzal)Tpz
31	Río La Vieja-La Virginia		0,679	K434+634 a K435+313	Rx3(Formación Zarzal)Tpz
32	Río La Vieja-La Virginia		1,124	K436+548 a K437+672	Rx3(Formación Zarzal)Tpz
33	Río La Vieja-La Virginia		8,957	K439+695 a K448+652	Rx3(Formación Zarzal)Tpz

**“El Caliche:** Dado que este material es uno de los objetivos del presente estudio, se incluye la descripción y caracterización que hasta el momento se tiene de él, dentro de las unidades litológicas que conforman la planicie del río Cauca, como si fuese una unidad independiente.

Geológicamente se define como caliche, nare o calcreta, a cortezas que se forman cerca de la superficie o en la superficie y que están compuestas esencialmente de calcita. Se desarrollan en regiones áridas o semiáridas, donde la evaporación excede la lluvia y en donde la dirección predominante del movimiento de la humedad de los suelos es hacia arriba. El agua intersticial en la zona vadosa, que lleva CO<sub>2</sub>, disuelve los componentes de calcio de las partículas del suelo y por atracción capilar es arrastrada hacia la superficie, donde se evapora. A medida que sucede la evaporación se incrementa la salinidad del agua intersticial la cual puede precipitar calcita y otros minerales como costras superficiales o como cementos entre las partículas (Friedman y otros, 1992).

Se ha denominado informalmente como caliche a una capa que aflora a lo largo del río Cauca. Este tipo de depósito es muy común en las riberas del río y actualmente no se tiene

ningún estudio detallado que se refiera a la composición litológica, disposición espacial, extensión, espesor, posición estratigráfica, génesis del depósito, textura y comportamiento ante la acción de los procesos erosivos, por lo cual han surgido muchas versiones informales acerca de estos parámetros, que definen claramente el tipo de roca y depósito que se presenta en el río.

Este tipo de litologías afloran casi permanentemente en toda la longitud del río Cauca, desde el municipio de Suárez hasta La Virginia en el municipio de Risaralda. Estos niveles aparecen indistintamente sobre ambos márgenes del río a manera de taludes o sobre el límite agua–talud–lecho, como por ejemplo en el sector de Zanjón Oscuro y los Rápidos del Hormiguero, ejerciendo aparentemente un control litológico sobre las riberas del río. Esta capa aflorante no muestra alta dureza a la partición manual. Sin embargo, dentro del estrato parece ser más resistente a la erosión, ya que no presenta claras evidencias de socavación lateral ni de fondo, pudiendo constituir un posible control litológico, con una mayor resistencia a la acción erosiva de la corriente, que las presentadas por el resto de materiales del entorno. Este control puede ocurrir principalmente durante los flujos de bajas velocidades.

Estos estratos de caliche afloran claramente antes del sector conocido como Tablanca, donde aparecen esporádicamente en las riberas del río especialmente sobre la margen izquierda.

Aguas abajo de la desembocadura del Río La Teta, sobre la margen izquierda y muy cerca de la madreveja La Platanera se presentan algunos afloramientos sobre el lecho del río con apariencia de roca dura y con características similares a las del caliche.

Igualmente aguas abajo del puente La Bolsa estos estratos afloran casi permanentemente. En algunos sectores sobre la margen derecha se presentan como espolones naturales, en un tramo donde la erosión no ha afectado estos afloramientos. En el tramo comprendido entre el puente de La Bolsa y el puente de Hormiguero estos afloramientos son escasos, presentándose en longitudes que pueden alcanzar los 200 m.

En el sector conocido como los Rápidos del Hormiguero (o Los Toboganes), el caliche hace parte del lecho del río cubriendo casi todo su ancho desde la margen derecha hasta muy cerca de la margen izquierda. En seguimientos que hizo CVC en este sector (donde se tiene concentración de extracciones mecanizadas en un solo punto), se observó cómo, una vez formado un hueco, éste empezó a avanzar por remonte (al aumentarse localmente la pendiente), buscando el puente de Hormiguero, rompiendo el caliche, con velocidades mayores a las que normalmente se presentaban allí.

Antes de la desembocadura del Zanjón Oscuro, sobre **la margen izquierda** se presentan nuevamente afloramientos de caliche que muestran una morfología de roca dura, pero que en muestra de mano es altamente frágil y se parte fácilmente debido a su composición. En los estratos de este sector es notoria la presencia de organismos y madrigueras de algunos peces (como el Corroncho), indicativo de la presencia de materia orgánica y de la facilidad para ser localmente perforados.

Aguas abajo de la desembocadura del río Desbaratado, los afloramientos de caliche son más repetitivos, de mayor espesor vertical y aparecen tanto en la margen derecha como en

*la margen izquierda, a manera de estratos continuos que localmente ocupan hasta un 10% del ancho del río y hasta 500 metros de longitud.*

*En el sector de Juanchito el caliche aflora como parte de la orilla y a manera de plataforma que en ocasiones conforma el lecho del río. Aquí se observan evidencias de acción erosiva, sugiriendo que este estrato no es tan resistente como parece y puede ser erodado por el flujo, convirtiéndose en una superficie ligeramente rugosa.*

*Los afloramientos de caliche se observan continuamente entre los puentes de Juanchito y el Ferrocarril.*

*En el tramo entre el Río Guadalajara y el Río Piedras, aunque aparece esporádicamente el estrato de caliche sobre la margen derecha, se observa que en algunos afloramientos se presenta erosión, causando la caída del material en forma de bloques. Esto podría explicarse como cambios en la composición litológica del estrato, siendo sus materiales más susceptibles a la erosión y desintegración física.*

*Aguas abajo de la población de Robledo, estos niveles afloran esporádicamente sobre ambas márgenes y debido a su disposición espacial y apariencia morfológica podrían corresponder a estratos distintos de caliche. En algunos de los estratos se observan filtraciones a través de las capas, indicando su alta permeabilidad en este sector, diferenciándolos de los que afloran en el primer tramo.”*

En relación con este documento queremos complementar y aclarar algunos aspectos, teniendo como base los nuevos reconocimientos de campo y las consideraciones morfológicas obtenidas durante el desarrollo del presente estudio.

- En cuanto a la definición de su paragénesis, algunos autores sugieren y denominan también como caliches a las capas formadas de la precipitación de nitratos, sulfuros y óxidos, a partir de los cuales se desarrollan “costras” de muy poco espesor que recubren suelos o afloramientos rocosos expuestos a las condiciones de formación de éste.
- Las características mesoscópicas de los afloramientos no muestran evidencias determinantes que puedan sugerir que estos materiales tuvieron un origen a partir de la precipitación de soluciones calcáreas o de otro tipo; la expresión externa de los caliches, cualquiera que sea su origen, están más determinados con presencia de soluciones coloidales, que generan sólidos con tamaños de granos extremadamente finos, criptocristalinos, que no se observa en los afloramientos que a lo largo del tiempo han tomado esta denominación en la región.
- Durante el desarrollo del estudio efectuado por la CVC y Universidad del Valle, como parte del Proyecto de Modelación del Río Cauca en el año 2001, se tomaron muestras de estos afloramientos, las cuales fueron llevadas para la evaluación mineralógica y clasificación, a partir de secciones delgadas con análisis del microscopio con luz polarizada. La muestra analizada se tomó aproximadamente a 1 km aguas abajo de la desembocadura del río Palo. El resultado del análisis indicó que la muestra correspondía a una “waca arcósica lítica de grano fino (nomenclatura según Folk, 1974), que por sus características texturales

corresponde a un escaso transporte en una sola dirección, en medio fluvial. Los óxidos de hierro que cementan el material sugieren condiciones superficiales ricas en oxígeno”. Indudablemente estos resultados se apartan de cualquiera de las definiciones y paragénesis que caracterizan los caliches, correspondiendo a un material de origen sedimentario, de medio continental muy cercano a la génesis de las formaciones ubicadas en la región, tales como Guachinte y, eventualmente, Jamundí.

- Es probable que en un momento del tiempo geológico, posiblemente aún dentro del registro histórico, estos materiales o afloramientos pudieron estar asociados con pequeñas y delgadas capas originadas a partir de la precipitación de nitratos o sulfuros, presentes en las rocas de la formación Guachinte, pero por efectos del aumento en los procesos de socavación y erosión superficial del lecho del río y márgenes, estas capas desaparecieron, dejando expuestas de forma directa las rocas que conforman parte del basamento rocoso del lecho del río en su parte más superficial.
- El documento señala, a su vez, que estos denominados caliches se presentan distribuidos espacialmente a lo largo del cauce del río Cauca, pero con diferentes composiciones mineralógicas y texturales. Los reconocimientos efectuados durante el desarrollo del presente trabajo son claros al reconocer la presencia de varios tipos de controles litológicos, cuyas características fueron descritas anteriormente. Se pudo encontrar, por ejemplo, que para la zona que corresponde al sur del Puente del Paso del Comercio predominaban los controles denominados Rx2, los cuales fueron asociados con rocas sedimentarias pertenecientes muy probablemente con la Formación Guachinte, ya que muestra conglomerados y lodositas, con condiciones similares -pero en estado avanzado de alteración- a las que se observan sobre las estribaciones de la cordillera Occidental. Para el caso de la zona central, Yumbo-Bolívar, es inconfundible que el control litológico del cauce del río es ejercido por los basaltos, diabasas y pillow lavas de la Formación Volcánica; sin embargo, en sectores muy puntuales se observaron algunos afloramientos de materiales hacia la parte más profunda de sus terrazas naturales, en donde estos controles se asemejaban a los predominantes en la zona sur. Para el caso de la zona norte, desde Bolívar hasta Cartago, los controles tipo Rx1 mostraban leves similitudes en cuanto a tipo de material, conglomerado básicamente, pero de un color más claro, de alta dureza y comportamiento frágil.
- La distribución espacial de estos cuerpos a lo largo del río Cauca tienen una relación directa con las condiciones morfo-tectónicas de la región, en donde se conjugan una serie de fallas ortogonales entre sí, que aparentemente han alternado su actividad y han modelado no sólo el paisaje sino que han emplazado cuerpos sedimentarios hacia las cercanías de la superficie del terreno, en la zona activa del canal del río. Un aspecto morfológico-litológico que siempre ha llamado la atención es la ausencia de rocas terciarias sedimentarias sobre la margen izquierda del río Cauca a partir del sector de Vijes y aproximadamente hasta el municipio de Obando; lo llamativo del caso no es en sí la ausencia de estas rocas en este sector, sino que a partir de estos mismos tramos comienzan a aparecer las rocas sedimentarias

terciarias sobre la margen derecha del río Cauca, sobre las estribaciones de la vertiente occidental de la cordillera Central. Es reconocida y aceptada la presencia de la falla Cauca, la cual controla el río desde el departamento del Cauca y continúa hacia el norte hasta entrar en contacto con la falla Romeral a la altura del municipio de Anzá en Antioquia; a este sistema se le ha asignado actividad reciente.

Consideramos que bajo estas perspectivas e información analizada no es adecuado ni recomendable el uso de la expresión “caliche” para nombrar o indicar los afloramientos o controles estructurales que se distribuyen a lo largo del lecho y márgenes del río Cauca. Es muy posible que en algún momento del tiempo geológico estas formaciones superficiales hubiesen estado recubiertas por este tipo de depósito, pero que con el tiempo fue removido en su totalidad, no encontrándose indicios en los sectores evaluados de la presencia de lo que paragenéticamente se denomina “caliche”, en cualquiera de sus versiones. Es recomendable iniciar un programa de educación que permita llamar **control litológico** a estos cuerpos rocosos en diferentes estados de alteración, que confieren un “acorazamiento” del lecho del río y sus márgenes.

Se presentan los resultados de los análisis efectuados sobre secciones delgadas, de muestras tomadas en diferentes puntos del río Cauca, para el proyecto de Modelación del río Cauca en el año 2001.

#### ➤ **MUESTRA 1**

Tomada a aproximadamente 2.3 km aguas arriba de la entrega del canal Interceptor Sur de la ciudad de Cali al río Cauca.

##### **Análisis macroscópico:**

**Color:** Gris oscuro azulado.

**Textura:** limo-arcillosa

**Consistencia:** ligeramente blanda en estado húmedo, pero muy compacta cuando está seca.

**Composición:** los únicos minerales que se aprecian a simple vista son las muscovitas, el resto se aprecia como una masa homogénea de grano fino a muy fino.

**Observaciones:** la navaja penetra la muestra fácilmente cuando se encuentra aún húmeda.

##### **Análisis microscópico:**

Material sedimentario clástico de tamaño de grano fino, mediano a bien seleccionado, formado por detritos de cuarzo (en un 80%), feldespato (5-10%) y fragmentos de roca (5%). Como minerales accesorios se aprecian micas (muscovitas y cloritas), anfíboles y óxidos de hierro. Los fragmentos de cuarzo presentan una alta angulosidad y moderada esfericidad y los anfíboles y micas presentan una moderada angulosidad pero baja esfericidad. Los óxidos de hierro se presentan tanto como agregados de apariencia terrosa, así como manchas ocre y marrones en algunos sectores de la muestra.

#### ➤ **MUESTRA 2**

Tomada aproximadamente 220 metros aguas abajo de la entrega del Canal Interceptor Sur de la ciudad de Cali, sobre la margen izquierda del cauce del río Cauca.

**Análisis Macroscópico:**

**Color:** Café a pardo.

**Textura:** limosa

**Consistencia:** Dura y compacta.

**Composición:** Los únicos minerales apreciables a simple vista son las micas (muscovitas), el resto de la muestra se aprecia como una masa terrosa.

**Observaciones:** La muestra corta fácilmente con la ayuda de una navaja.

**Análisis Microscópico:**

Material sedimentario formado por acumulación de detritos fundamentalmente de cuarzo (60%), feldespato (20%) y fragmentos de roca (10%). Como elementos accesorios se presentan abundantes micas (muscovitas y cloritas), anfíboles, y óxidos de hierro en masas terrosas y en manchas en casi toda la muestra. Los cuarzos y feldespatos presentan una mediana esfericidad y alta angulosidad, y las micas, baja esfericidad y mediana angulosidad.

➤ **MUESTRA 3**

Muestra recolectada aproximadamente 500 metros aguas abajo del Puente Juanchito, sobre un afloramiento encontrado a manera de andén hacia la margen derecha del cauce.

**Análisis Macroscópico:**

**Color:** Café a parda verdosa.

**Textura:** limosa

**Consistencia:** Compacta.

**Composición:** A simple vista se observan muscovitas y trazas de óxidos de hierro. Se aprecian pequeñísimos minerales negros, posiblemente ferromagnesianos, que al desprenderse dejan aureolas de óxidos en el sitio que ocupaban. Se observan, además, abundantes huellas de restos vegetales.

**Observaciones:** La muestra corta fácilmente con la ayuda de una navaja.

**Análisis Microscópico:**

Sedimento de origen clástico formado por detritos de cuarzo cristalino (90%) y feldespatos (5-10%). Como accesorios se aprecian abundantes micas (muscovita principalmente y biotitas y cloritas) y óxidos de hierro a manera de manchas locales. El cuarzo tiene una mediana esfericidad y una alta angulosidad, las micas una baja esfericidad y mediana angulosidad.

➤ **MUESTRA 4**

Tomada aproximadamente 300 metros aguas abajo del puente de la vía férrea, sobre un afloramiento a manera de andén encontrado de la mitad del cauce hacia la margen derecha del mismo.

**Análisis Macroscópico:**

**Color:** Café a parda verdosa.

**Textura:** limosa

**Consistencia:** Dura y compacta.

**Composición:** A simple vista se observan muscovitas, trazas de óxidos de hierro y abundantes huellas de restos de materia vegetal.

**Observaciones:** La muestra corta fácilmente con la ayuda de una navaja.

#### **Análisis Microscópico:**

Material sedimentario de tipo clástico, constituido por fragmentos de cuarzo cristalino (90%), feldespatos (10%) y como accesorios muscovitas y abundantes óxidos de hierro enmascarando casi toda la masa de cuarzos y feldespatos, a manera de una mancha. Se aprecian vacíos dejados por restos de material vegetal.

#### ➤ **MUESTRA 5**

Tomada aproximadamente 500 metros aguas abajo del sitio conocido como Pueblito Valluno, y 300 metros aguas arriba de la desembocadura del río Arroyohondo, sobre un andén ubicado hacia la margen izquierda del cauce.

#### **Análisis Macroscópico:**

**Color:** Superficialmente negruzca, pero internamente de color pardo verdoso.

**Textura:** limo-arenosa

**Consistencia:** Muy dura y Compacta.

**Composición:** A simple vista solo son distinguibles las muscovitas y algunos pequeñísimos minerales negros posiblemente correspondientes a ferromagnesianos.

**Observaciones:** En el sitio del afloramiento es difícil extraer la muestra con la ayuda de un palustre o machete, ya que superficialmente se presentan costras abigarradas de óxidos de hierro (posiblemente limonita). Ya al interior la muestra es más fácilmente excavable.

#### **Análisis Microscópico:**

Material sedimentario de origen clástico, conformado por fragmentos de cuarzo cristalino en su mayoría, y en menor proporción feldespatos. Hacia la parte externa de la muestra (que estaba expuesta a la superficie), se aprecia una capa formada por una masa compacta de cristales de cuarzo y feldespatos, ligados por óxidos de hierro de color negruzco, café y marrón.

### **3.3 MORFO-ESTRUCTURAS**

Aunque no estaba contemplado dentro de los objetivos y alcances específicos del estudio, se ha considerado de sumo interés para el análisis integral del proyecto realizar una descripción de las condiciones morfo-estructurales que se han registrado para la zona y su relación con la dinámica regional del cauce del río Cauca durante los últimos periodos de tiempo.

La dinámica regional la hemos definido como aquella serie de modificaciones que se han detectado a lo largo del curso del río Cauca, que por sus características parecieran estar asociadas más a desplazamientos mayores del canal del río, en movimientos “súbitos” dentro del tiempo geológico, que no han dejado huellas o rastros de movimientos

secuenciales en las áreas entre el lugar donde se ubicaba el cauce y su posición actual. Asimismo, aquellos tramos del río que presentan giros bruscos en su orientación principal, desplazando el eje del río en varios casos a direcciones opuestas al tren regional de éste, la presencia de importantes sistemas de fallas demarcando y limitando los bordes y estribaciones de la dos cordilleras, así como de fallamiento ortogonales a los anteriores controlando varios de sus afluentes, no pueden estar disociados de la evolución del cauce del río y de las diferentes formas receptoras que se han desarrollado a lo largo del valle geográfico de este.

Consideramos que para la evaluación que se propone realizar es de suma importancia el análisis de la presencia de sistemas de fallas y lineamiento estructurales que demarcan y cruzan el valle geográfico del río Cauca, alterando las características hidráulicas y morfológicas del río y sus afluentes y, en algunos casos, generando o estando asociados con procesos de inestabilidad de sus márgenes y lecho. Estudios anteriores ya habían detectado algunos de estas “anomalías” morfo-estructurales; lo que se pretende es aportar alguna otra información, recolectada durante el desarrollo del presente estudio, que permita hacia futuro llegar a tener una mejor comprensión de los diferentes factores geomorfológicos que pueden estar asociados con la dinámica local y regional del río Cauca y su relación con el entorno biogeográfico de cada sector en particular, el cual no se puede aislar de las condiciones físicas de la región.

Dentro de la literatura se ha abordado el tema de forma parcial y aislada, pero no se conocen propuestas o análisis que indiquen la influencia que estas estructuras han generado sobre la morfología regional del río Cauca. Se quiere presentar y mostrar en este estudio, una serie de rasgos que son representativos a nivel regional y que de acuerdo con registros de sensores remotos o modelos de elevación digital, así como algunos reconocimientos de campo, llaman la atención acerca de su relación e influencia con la dinámica integral del río Cauca. El estudio efectuado por la CVC y la Universidad del Valle en el año 2007 indicaba, como una de sus conclusiones, lo siguiente: *“De acuerdo con los registros históricos existentes, el Río Cauca ha sufrido por lo menos tres cambios de curso drásticos: entre Hormiguero y Juanchito (K116+400 y K139+300), entre Juanchito y la antigua desembocadura de río Frayle (K136+400 y 144+400) y entre Toro y San Francisco (K385+300 y K400+000). A lo largo de estos antiguos cauces se aprecian cotas más bajas hacia las zonas más lejanas del cauce activo, correspondientes a zonas pantanosas o bacines; sin embargo, cerca al cauce activo se encuentran las cotas más altas asociadas con los albardones naturales que sirven de diques de protección natural y evitan que estos cauces sean de nuevo ocupados”.* (4)

Para el caso de la descripción morfo-tectónica, se ha optado por dividir la zona de estudio en cinco tramos, los cuales presentan características morfo-estructural de similares condiciones y sobre todo teniendo en cuenta el tipo de afectación que se presentan sobre el curso del río.

---

4 “El Río Cauca en su Valle Alto” CVC-Univalle, 2007.

➤ **TRAMO 1: Salvajina-Río Timba**

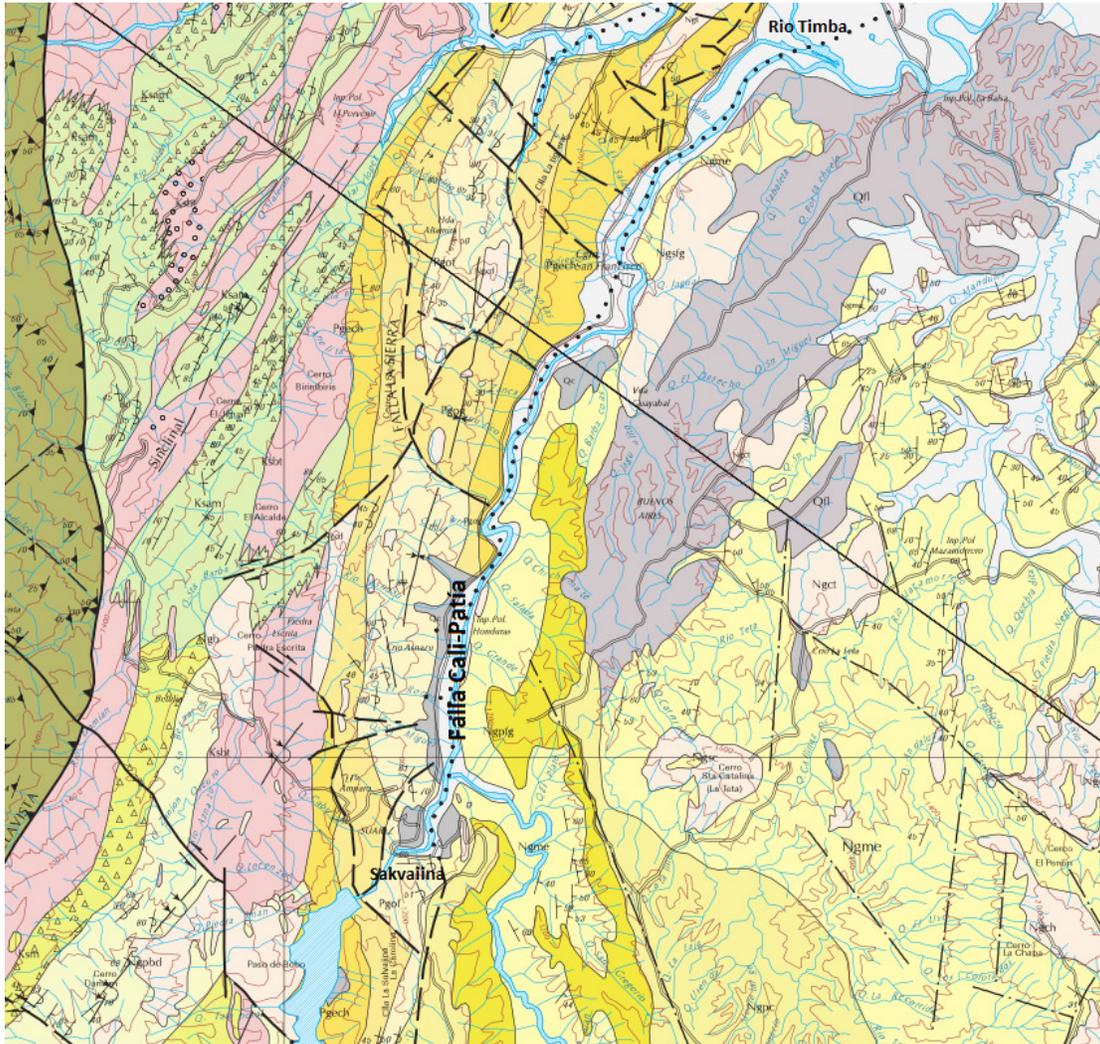
Este tramo está comprendido entre la represa de Salvajina y la confluencia del río Timba. En general, este tramo se caracteriza por presentar una morfología del río estrecha, con valles de moderada a baja profundidad, poco encañonamiento y de vertientes entre intermedias a largas, con laderas rectas a cóncavas en algunos sectores y con fuerte control estructural. En este sector, el río presenta una orientación muy definida, NS, ligeramente al NNE, con fuerte control estructural y litológico.

El control estructural está asociado con la presencia de sistemas de fallas de carácter regional muy definidas que controlan el curso del río, confinándolo y confiriéndole una forma muy rectilínea, con sinuosidad muy baja. Estos sistemas en la zona se combinan formando el sistema Cali-Patía, que transcurre desde el sur del departamento de Cauca y continúa hacia el norte del departamento del Valle del Cauca, generando varias expresiones morfológicas sobre el piedemonte de la cordillera Occidental. Característico de este tramo es la poca presencia de expresiones morfo-estructurales relacionadas con sistemas de fallas o lineamientos de orientación NNW o EW. Sin embargo, como resultado de los procesos de deformación y orogenia que ha sufrido la zona, los cauces que conforman los tributarios son netamente rectilíneos, con desarrollo de patrón sub-angular, de muy alta pendiente hidráulica y asociados con las respuestas dinámicas del macizo rocoso terciario ante la generación de esfuerzos de origen tectónico.

Podemos indicar para este primer tramo, que si bien la influencia de los sistemas estructurales ha sido directa, éstas no han generado desplazamientos regionales de su cauce o al menos no se tienen evidencias claras; el cauce se presenta bien conformado, con controles litológicos asociados con la denominación Rx2, correspondientes a rocas duras y resistentes como areniscas, conglomerados y lodolitas, de la Formación Guachinte. En términos morfo-estructurales podríamos indicar que este sector es estable.

En la Tabla 10 de Controles Litológicos, no se incluyó este tramo debido a que no se tuvo información reciente de sensores remotos para a zona del departamento de Cauca que permitiera realizar una foto-interpretación detallado de éste.

### Ilustración 28 Condiciones lito-estructurales de la zona comprendida entre Salvajina y el río Timba



Fuente: INGEOMINAS, Plancha 320 Buenos Aires, 1999.

#### ➤ TRAMO 2: Río Timba-Villa Paz

Este tramo comprende el cauce del río Cauca ubicado entre la desembocadura del río Timba y la población de Villa Paz. En este tramo el río presenta una característica muy particular, ya que toma una orientación predominante hacia NNE, con variaciones muy significativas en su curso al sur y al NW en varios sectores, aumento en la sinuosidad y presencia de varios sistemas de fallas que convergen y se entrecruzan entre sí. En este último punto no hay consistencia entre la ubicación y nombre de los sistemas de fallas que cruzan el sector; como ejemplo, el sistema Palmira- Buga, presenta dos tipos de ubicaciones diferentes en cartografías de INGEOMINAS; en la Plancha N-6, Geología Popayán, la traza se ubica desprendiéndose o como ramal de la falla Mosquerillo que viene del sur del departamento del Cauca, continuando hacia el NNE al norte de la población de Santander de Quilichao. Por el contrario, la Geología de la Plancha 320, Buenos Aires, muestra la ubicación de este sistema desprendiéndose del sistema Cali-Patía, pasando al sur de la población de Robles y por las poblaciones de Quinamayó y Villa Paz. Si bien, no es el

objetivo entrar a determinar la ubicación precisa de estos sistemas de fallas, la importancia del sistema Palmira Buga a nivel regional, hace que se haga mención de esta situación, proponiendo al mismo tiempo argumento para la definición de la ubicación de su traza principal.

A partir de los análisis efectuados durante el desarrollo del presente estudio, el sector se presenta controlado por tres sistemas de fallas, cuyos efectos se han combinado a través del tiempo geológico, modelando el paisaje y, sobre todo, la evolución en la posición del cauce del río Cauca y afluentes, su expresión hidrográfica, así como deformaciones locales sobre el curso de éste.

El sistema Cali-Patía que viene controlando el cauce del río Cauca desde la parte sur, tramo anterior y con dirección predominante NS, se ubica hacia la zona occidental de tramo, generando alteraciones importantes en el curso del río Timba cerca de la desembocadura sobre el río Cauca y continuando hacia el norte, al occidente de la población de Timba y cerca al piedemonte de la cordillera; varias expresiones morfológicas asociadas con presencia de cerros aislados y separados por depósitos cuaternarios importantes del cuerpo principal de la cordillera, así como facetas trapezoidales, silletas y movimientos en masa alineados, son indicativos de la continuidad **de este sistema** hacia el norte (trazado propuesto en color rojo en la Ilustración 30). Este sistema definiría el punto o sector más occidental de alteración morfológica regional del curso del río Cauca, constituyéndose en el límite de dicha alteración.

El límite oriental de este sector está definido por la presencia del sistema de Fallas Mosquerillo, estructura que viene del sur del departamento del Cauca con orientación predominante NS, controlando el cauce del río Quinamayó, afectando significativamente el cauce del río Cauca hacia la zona oriental de Villa Paz, en donde se presenta un alto desarrollo de meandros, alta sinuosidad y materiales poco consolidados, (¿evidencia de presencia de falla?) que han generado estrangulamientos o capturas de meandros. A este sistema se le ha definido alguna actividad reciente en la zona sur del departamento del Cauca.

Para el caso de la presencia del sistema Palmira-Buga, las evidencias morfo-estructurales, así como los patrones de drenajes, muestran que ésta se desprende del sistema Cali-Patía a la altura de la población de Timba, Cauca, continuando una orientación NNE, cercana a EW, controlando el curso del río entre este poblado y Villa Paz, cortándose con la traza de la falla Mosquerillo, la cual afecta la dirección del sistema Palmira-Buga, girándolo hasta tomar una orientación más cercana NS, hasta ubicarse al norte sobre las estribaciones de la vertiente occidental de la cordillera Central.

Llama la atención la variación en la orientación de los drenajes presentes tanto al norte como al sur del río Cauca en este sector. En el primer caso, drenajes importantes como la quebrada Robles, cambian bruscamente de orientación, pasando de un eje con orientación NW-SE a SW-NE a la altura de la población de este nombre, hasta entregar sus aguas a Zanjón Cañitas con orientación predominante EW; la vertiente norte del río en este sector, margen izquierda de éste, muestra una predominancia de orientación de afluentes en sentido EW, observándose pocos drenajes entregando sobre esta margen, rasgo estructural

indicativo de algún tipo de afectación tectónica de la zona, “levantamiento”, que genera una obstrucción o barrera natural para el desagüe directo de las aguas de escorrentía y canales naturales hacia las orillas más cercanas del afluente principal; los drenajes que predominan en este tramo tienen una orientación sub-paralela al cauce del río Cauca, observándose una faja de terreno comprendida entre el río Timba y Robles, sin presencia significativa de redes de drenajes directos. Para el caso de la vertiente sur, margen derecha del río Cauca, la situación es totalmente diferente, observándose una muy densa red de drenajes naturales que confluyen sobre esta orilla, mostrando un patrón sub-paralelo y con predominancia de orientación de cauces NS, ortogonal a la red de drenaje que se observa en margen opuesta en la misma zona.

Esta situación llama la atención más si se tiene en cuenta la presencia de los tres sistemas de fallas presentes y que se conjugan en la zona, evidenciando el alto control tectónico del sector a partir de la conjugación de esfuerzos distensivos y compresivos que han contribuido con el desarrollo de las condiciones morfo-hidráulicas del valle y del cauce del río; estas conjugaciones, distensión-compresión, dan lugar a geoformas alternadas de “cimas” y “simas”, sobre las cuales se desarrolló toda una dinámica del río, tanto del cauce como de áreas aledañas a éste, que propicia la evolución de ambientes biogeográficos como los que se ubican o ubicaban en la zona. A nivel de hipótesis y con base en los análisis realizados a partir de sensores remotos y de algunas observaciones de campo, podría indicarse que la margen izquierda ha sido afectada por “levantamientos” más recurrentes que han alterado la red hidrográfica de esta zona, desplazando la mayoría de los cauces hacia el norte y cambiando la orientación del curso de éstos a una dirección EW.

Indudablemente para este tramo la presencia de rasgos estructurales combinados entre sí han determinado y definido las características del sector, favoreciendo el desarrollo de la alta sinuosidad de éste, las pobres condiciones geomecánicas de los materiales que conforman las orillas, la generación de geoformas suaves con leves alteraciones del relieve, que han favorecido el desarrollo de ambientes biológicos a partir de crecientes y desbordes del río, representado por antiguas lagunas, ambientes cenagosos y, en general, formas asociadas con presencia de diferencias del relieve que permiten el desarrollo de procesos de sedimentación y acumulación de aguas.

Indudablemente este es un caso típico de alteración o movilidad de tipo regional, controlada por la presencia de fallas asociadas con actividad reciente, que se han encargado, en parte, de la modelación del paisaje, no sólo físico sino biológico y sensible de la zona; el sector, debido a la alta sinuosidad, a las pobres condiciones geomecánicas de los materiales que conforman las orillas y, lo principal, presencia de sistemas de fallas, han generado estrangulamientos de curvas y meandros, que han propiciado el desarrollo de ambientes lacustres y palustres, algunos con un alto grado de intervención antrópica y otros en procesos de desaparición total. Si bien es cierto, los movimientos asociados con sistemas tectónicos son imperceptibles para el ojo humano, sí se reflejan en la superficie del terreno, alterando las condiciones morfológicas de un sector en particular.

Dentro de este sector y sobre la margen izquierda, se ubican, entre otros, los siguientes cuerpos de agua: La Guinea, Guarinó, El Avispal y Cucho de Yegua, así como el corte de meandro más reciente ocurrido en el sector de Tablanca (madrevieja Cauquita).



Paz, se conjuga con el sistema Palmira-Buga, asociación que nuevamente encauza el río Cauca hacia la dirección predominante con el valle geográfico y con el tren de estructuras regionales; el sistema Mosquerillo, se tiene cartografiado hasta la confluencia del río Claro con el río Cauca, pero consideramos, a la luz de algunas evidencias observadas hacia la parte norte del puente de Hormiguero, “volcanes de arenas”, esta falla con actividad reciente asociada, continúa hacia el norte, tomando el nombre de Falla Corozo, activa y la cual se ha reconocido controlando el cauce del río Cauca, aguas abajo de la curva de Las Córdoba. La presencia de estos sistemas de fallas en la zona cobra especial significación si se tiene en cuenta que con base en algunas observaciones de imágenes de satélite se identifican algunos meandros abandonados hacia la zona sur de Jamundí, evidenciando la presencia de un importante curso de aguas recostado sobre el piedemonte de la vertiente oriental de la cordillera Occidental y cerca al límite oriental del casco urbano de Jamundí.

Lo relevante del caso es que a partir de observaciones de sensores remotos e imágenes de modelos de elevación digital, el límite norte de este sub-tramo se presenta asociado y morfo-estructuralmente ligado a un alineamiento de carácter regional de orientación NNW, que controla el cauce del río Desbaratado en la vertiente oriental del río Cauca, así como los cauces de los ríos Pance, Lili y Meléndez localizados sobre la vertiente oriental de la cordillera Occidental; el alineamiento afecta únicamente rocas de las Formación Amaime en la cordillera Central y rocas de las Formación Volcánica en la cordillera Occidental. Si bien es cierto estas dos unidades han sido separadas, consideramos que desde el punto de vista crono-estratigráfico, composicional, mineralógico y paragenético, corresponde a un mismo ambiente de formación, con facies distintas que han variado levemente la composición de las rocas.

La presencia de sistemas estructurales ortogonales entre sí ha influenciado notoriamente la morfología del cauce del río Cauca en este tramo, confiriéndole una alta sinuosidad, que desarrolla altas movilidades locales horizontales y verticales. Es notoria la presencia de antiguos cuerpos lacustres y palustres, algunos totalmente intervenidos y otros en procesos de intervención total; dentro de éstos se pueden mencionar los siguientes: La Ventura, Cayuca Haya, San Jorge, El Mango, El Chuchal y El Cabezón, entre otros; nuevamente vemos como la presencia de sistemas estructurales se asocian con la presencia de morfologías apropiadas para el desarrollo de procesos de sedimentación o acumulación de aguas y desarrollo de bióticas locales.

El segundo sub-tramo se ubica entre el sector de Hormiguero y la Vuelta de Las Córdoba. Siempre ha llamado la atención el cambio súbito, si se puede llamar así, en el curso del río Cauca en este sector, el cual se presenta desplazado en promedio 1 km hacia el oriente en relación con su posición inicial; “súbito” en el sentido que entre la faja de terreno que separa las dos posiciones del río no se observan vestigios directos de haber ocurrido un cambio sucesional y progresivo que hubiese dejado la huella morfológica de su desplazamiento lateral; llama la atención, también, el hecho del importante cambio en la sinuosidad en el cauce del río, pasando de un valor superior a 2.5 en el cauce antiguo a valores del orden de 1.25 en su posición actual. Este tipo de variaciones morfológicas son típicas de cuencas o drenajes que han sido afectados por importantes movimientos tectónicos de tipo distensivo que pueden generar pequeños “mini-graben”, alterando sustancialmente la sinuosidad del cauce, tornándolo rectilíneo, tal como es la expresión

actual del río en este tramo. La literatura geológica muestra la presencia de la falla Corozo, con actividad asociada, de orientación NNE y que controla el cauce del río en este sector y que como mencionamos anteriormente, puede ser la continuidad al norte del sistema Mosquerillo, conformando regionalmente lo que se ha llamado el sistema de Falla del río Cauca, que controla toda el río hasta su confluencia con el sistema Romeral, hacia la parte media del departamento de Antioquia.

Por otro lado, existen los límites hacia la zona sur y norte del sub-tramo, relacionados con los puntos en donde los cauces se separaron y volvieron a unir. Hacia el sur, el punto de separación se ubicaría a unos 2 Km. aguas abajo del puente del Hormiguero, sector por donde se proyecta el alineamiento que denominaremos como Desbaratado-Hormiguero-Pance-Meléndez, el cual tiene una orientación media N70°W. Para el caso de la zona norte, el sector en donde los dos cauces nuevamente se unirían, se ubica a la altura de la Vuelta de Las Córdoba, en un tramo en donde es evidente, a su vez, un importante alineamiento de orientación EW, que parte de la zona media de la vertiente occidental de la cordillera Central, **controla el río Nima y se prolonga hacia la cordillera Occidental controlando el cauce del río Arroyohondo**; los dos ríos muestran características composicionales y estructurales muy similares, a pesar de estar separadas por varios kilómetros de valle geográfico del río Cauca (5). Consideramos que este es un caso típico de desplazamiento regional lateral del cauce del río Cauca, asociado con sistemas estructurales de tipo distensivo en su eje central y controlado y delimitado por sistemas de fallas ortogonales a la dirección del momento principal. En este sentido llama la atención que el desplazamiento del cauce del río en el sector comprendido entre Hormiguero y La Vuelta de las Córdoba fue en sentido occidente-oriente, mientras que si se observa la presencia de un antiguo cauce hacia zona la norte de La Vuelta de las Córdoba, se ve que, el actual cauce está desplazado en el sentido oriente-occidente, mostrando algún tipo de movimiento de rumbo asociado con los alineamientos identificados en dirección EW.

Finalmente, las condiciones estructurales están definiendo no sólo la movilidad regional del río en este tramo, sino que asociados a éstos se han desarrollado las unidades biogeográficas que predominan en la zona, con cauces abandonados en procesos de total extinción y ocupación, algunos para uso o desarrollos urbanos; es necesario crear conciencia sobre la importancia de tener un mejor conocimiento de la relación estructuras-dinámica del río, ya que como hemos visto hasta el momento existe una simbiosis muy importante entre estas dos variables, que son las que, en últimas, definen las geoformas de un área en particular, constituyéndose en los receptores de la evolución biótica regional y local.

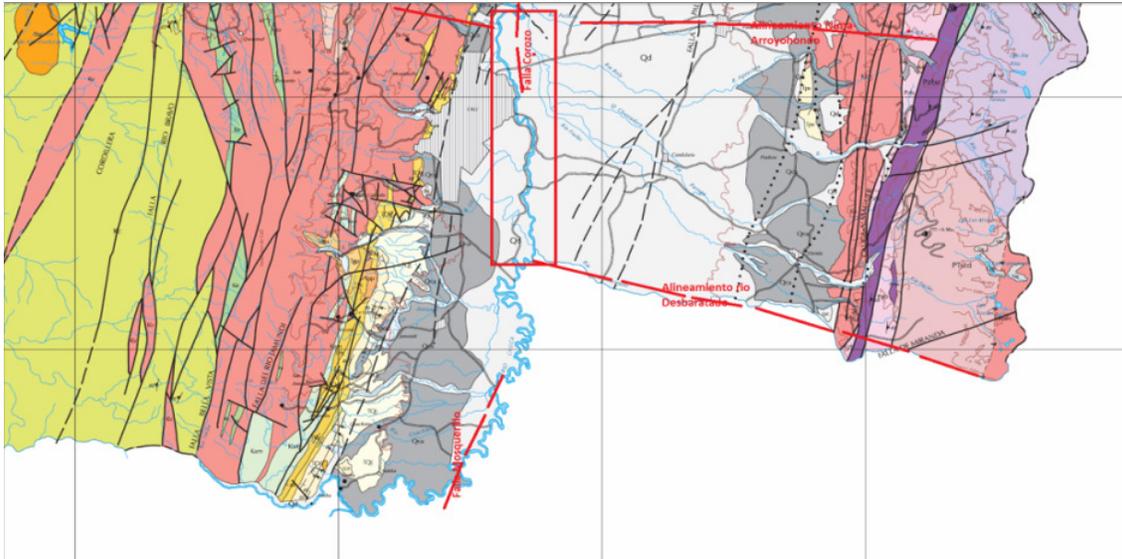
Vale la pena resaltar en este punto, a nivel de comentario general, la expresión morfológica clara y definida que se observa entre El Cerrito y Miranda, ubicada a todo lo largo del piedemonte de la cordillera Central, en donde se desarrolla una importante “entrante” fisiográfica, asociada con el alineamiento del río Desbaratado en la zona sur y un importante alineamiento asociado con los sistemas Amaime-Cerrito. Esta “entrante” podría

---

5 Observaciones de campo efectuadas por uno de los autores del presente informe, durante el desarrollo de proyectos para generación de energía.

estar asociada con el movimiento regional que causó el desplazamiento del río Cauca en el sector a la altura de Cali.

### Ilustración 31 Condiciones lito-estructurales en la zona Villa Paz-Cali



Fuente: “Geología del Departamento del Valle de Cauca” (INGEOMINAS, 2001). Resaltados en rojo, del autor de este documento.

#### ➤ **TRAMO 4: Cali-Buga**

Este tramo está comprendido entre la zona norte de Cali y el sector de Buga, incluida la zona de la Laguna de Sonso. Estructuralmente están bien definidos varios sistemas de fallas, que se localizan sobre las estribaciones de las dos cordilleras, y que confinan el valle geográfico del río Cauca, las cuales demarcan, de manera clara, los límites de éste, presentándose en este sector la zona más estrecha a la altura del municipio de Buga y a la cual le han denominado como “saliente” de Buga.

Para el caso de la cordillera Occidental, sobre las estribaciones o piedemonte de ésta, se ubican las trazas del sistema Cali-Patía, el cual se divide en varios segmentos con dirección predominante NNE, tomando diversos nombres, tales como fallas Santana y Roldanillo, las cuales afectan principalmente rocas de la Formación Volcánica, que conforman el sustrato rocoso de esta zona del valle geográfico del río Cauca. El río Cauca se ubica sobre la parte baja de esta cordillera, “recostándose” en algunos sectores, los cuales determinan la forma, orientación y carácter rectilíneo de su cauce, mostrando cauces rectos en tramos pequeños, relacionados con discontinuidades estructurales del macizo rocoso. Varios fallamientos de tipo local, algunos con evidencias de actividad reciente (desplazamientos de divisorias, facetas triangulares, etc.), se identificaron a partir de trabajos de fotointerpretación de la zona, aledaña al río; asimismo, los dos sistemas de discontinuidades principales detectadas para esta formación muestran una disposición espacial ortogonal entre sí, formando ángulos casi rectos en sus orientaciones y con ángulos de buzamiento variando entre 45° y la vertical; a partir de estudios geofísicos efectuados en el sector de la quebrada Espinal, peaje de Yotoco, para el desarrollo de los estudios de factibilidad del túnel de desviación

Cauca-Calima, se pudo determinar que bajo las terrazas aluviales recientes del río, se ubica un basamento rocoso que no pasa de los 30 m de profundidad y que ejerce un control sobre las expresiones morfológicas superficiales asociadas con la dinámica del río. También se tiene la presencia de sistema de fallas del río Cauca, que como se indicó anteriormente, podría ser la extensión al norte de los sistemas de fallas de Mosquerillo ubicada más al sur y de la falla Corozo ubicada hacia la zona norte de Cali; su orientación es predominante NNE y presenta expresiones asociadas con control de cauce del río, mostrando tramos muy rectos.

Para el caso de la cordillera Central, sobre las estribaciones de ésta se ubican a su vez varias trazas de sistemas de fallas regionales, entre los que se encuentran Palmira-Buga y Guabas-Pradera-Potrerillos; sus trazas distan del eje del río Cauca a una mayor distancia que las ubicadas sobre la cordillera Occidental, por lo que su influencia directa para este tramo específico es baja.

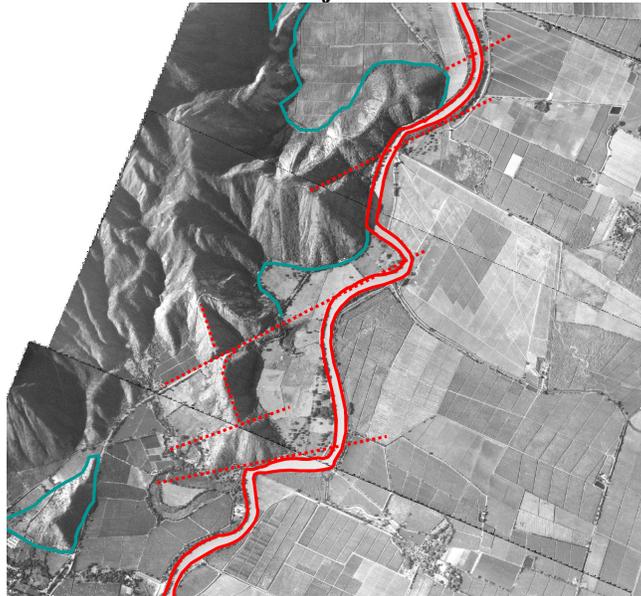
Pero lo que más llama la atención corresponde nuevamente a los alineamientos de orientación preferencial EW, que afectan los cauces de los principales ríos y quebradas que bajan de las vertientes de las dos cordilleras y que sus prorrogaciones parecen coincidir espacialmente, estando asociados con la presencia de importantes unidades biogeográficas de tipo lacustre y palustre, entre los que se encuentra la Laguna de Sonso. Es claro y definido el alineamiento del río Amaime con las cuencas del río Yumbo y la quebrada Guadualito, esta última ubicada al sur de Vijes, coincidiendo con el valle colgado de la zona de Pavas. Más hacia el norte, el alineamiento del río Guabas en la cordillera Central con la cuenca de la quebrada Espinal, y en la parte alta de la cordillera Occidental, con la presencia de los valles de Restrepo y Dorado; hacia la zona de Buga, el alineamiento que se prolonga desde la parte media del río Guadalajara y continúa sobre la cordillera Occidental sobre la cuenca de la quebrada Mediacanoa y en su parte alta, el valle del río Calima, en donde actualmente se encuentra la represa de este nombre. Algunos de estos alineamientos fueron estudiados durante varias etapas de proyectos hidroeléctricos, llegando a clasificarse como zonas de fallas, de tipo dúctil, con desarrollo de orientación de minerales; entre éstos se encuentran las fallas del río Amaime, evidencias sobre el río Guadalajara y las cuencas de los ríos Tuluá y Bugalagrande. Varios de menor relevancia se identificaron a lo largo de la zona.

Para el caso del alineamiento Amaime-Yumbo-Pavas, es muy importante resaltar que hacia la zona sur de éste, las rocas sedimentarias terciarias se ubican sobre el piedemonte del flanco oriental de la cordillera Occidental, mientras que hacia el norte de esta expresión no vuelven a aparecer estas rocas hasta la inmediaciones del municipio de Ansermanuevo. Por el contrario, para el caso de la vertiente occidental de la cordillera Central, estas rocas afloran hacia el norte de este alineamiento, estando muy restringida hacia la zona sur. Hay que resaltar que la falla denominada como Amaime corresponde a una importante estructura de carácter regional que controla el curso del mismo nombre y posiblemente continúa en profundidad, afectando el basamento rocoso de la Formación Amaime, con altas probabilidad de continuar hacia la cordillera Occidental.

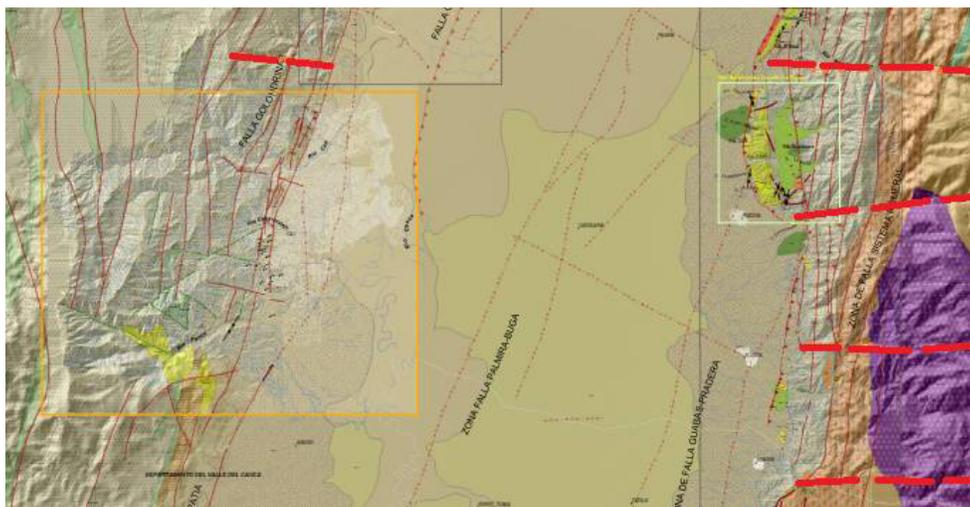
Estos “alineamientos estructurales” se presentan con forma de “escalonamientos tectónicos”, presentándose en una disposición espacial ortogonal en relación con el tren

regional natural y el eje del río Cauca y su valle geográfico; si ubicamos los sistemas lagunares y palustres más importantes de este tramo podemos encontrar coincidencias entre la posición de éstas y los alineamientos antes mencionados. Valdría la pena a futuro desarrollar un estudio más detallado que permita, definir la asociación de la presencia de estos cuerpos con la evolución morfo-estructural del valle geográfico y como determinante en la dinámica fluvial del río. Consideramos que todos estos factores hay que tenerlos en cuenta antes de definir obras, programas o actividades de recuperación, control y protección, ya que de su comprensión dependerá grandemente a futuro la aceptación o rechazo por parte del medio biogeográfico receptor.

**Ilustración 32** Controles de tipo estructural en el cauce y las márgenes del río Cauca en el sector Vijes-Yotoco



**Ilustración 33** Condiciones estructurales zona Cali-Buga



Fuente: “Estudio de Microzonificación sísmica de Santiago de Cali”. Mapa Neo-tectónica de la Zona Central, 2005. Resaltado en rojo, del autor de este documento.

➤ **TRAMO 5: Buga-La Virginia**

Este tramo comprende la parte final de la zona de estudio, abarcando desde el municipio de Buga hasta el municipio de La Virginia, en el departamento de Risaralda.

Las estructuras ubicadas sobre el piedemonte de la cordillera Occidental continúan apareciendo, tomando varios nombres pero con la misma orientación NNE y afectando rocas de la Formación Volcánica, emplazando, en algunos casos, cuerpos intrusivos y zona de mineralizaciones asociadas con rocas ultra-básicas. El cauce del río continúa con el control ejercido por el sistema Cauca, presentando algunas distorsiones que giran bruscamente su curso, hasta llegar a orientaciones NNW. El núcleo de la cordillera Central se aleja considerablemente, comenzando a predominar en las cercanías las rocas sedimentarias de las Formaciones La Paila y Zarzal, que presenta afectaciones estructurales, con presencia de sistemas de fallas NNE y formación de sinclinales y anticlinales como consecuencia de los esfuerzos tectónicos que caracterizan el área; en algunos casos, las estructuras presentes en la zona se encuentran recubiertas parcialmente por los suelos transportados que conforman la llanura aluvial del río Cauca, desarrollando geoformas de cerros aislados y alargados en sentido al tren regional de estructuras nortesur.

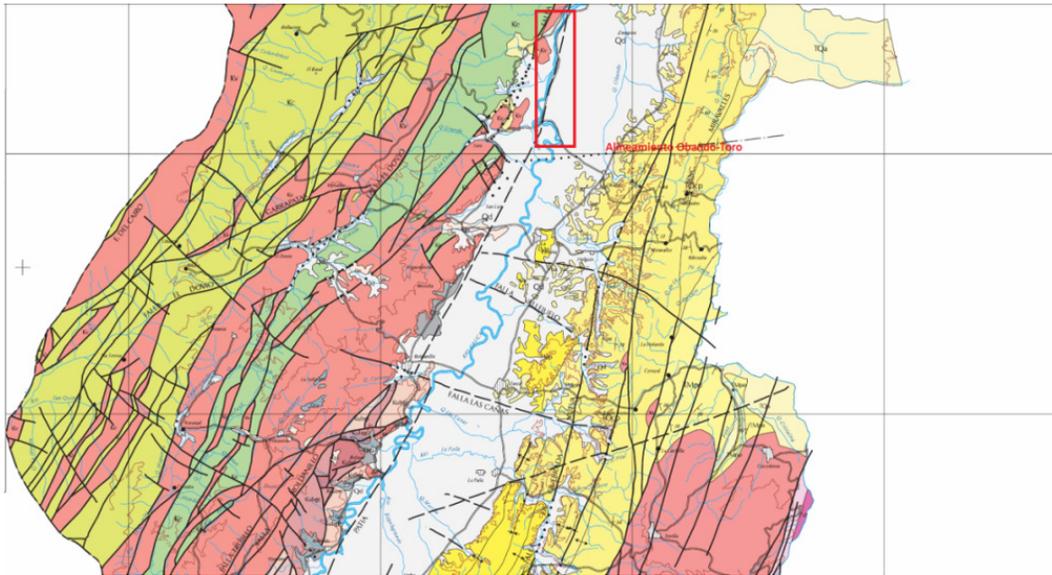
Al igual que para los tramos anteriores, en este sector es evidente la presencia de fallas transversales de orientación EW, las cuales afectan las rocas sedimentarias y con algunas evidencias de actividad reciente sobre algunos depósitos cuaternarios ubicados entre las poblaciones de La Unión y Toro. Entre estos sistemas se encuentran, entre otros, las fallas Cañas y Vallejuelo, y un alineamiento muy marcado e importante que se puede denominar Obando-Toro, que se ubica al sur de estas dos poblaciones y presenta dirección EW;

Un poco al norte del anterior alineamiento se detectó, a partir de estudios anteriores, la presencia de un cauce muy antiguo, el cual presenta un desplazamiento “súbito” del cauce del río Cauca hacia el occidente, sin huellas de movimientos progresivos, de similar característica al descrito para la zona sur del municipio de Cali. De acuerdo con los reconocimientos de campo, se encontraron algunas tenues evidencias de este antiguo cauce, perdidas dentro de los extensos cultivos de caña, presentando forma de batea, de pendientes muy suaves y poca profundidad, menores de 1.5 m, debido al alto grado de intervención antrópica de éste. Por su parte, el cauce actual del río Cauca muestra un giro importante hacia el NW, desarrollando, a su vez, una alta sinuosidad en un tramo de longitud estimada de 5 km, estando confinado entre dos tramos muy rectos, tanto al norte como el sur.

Estas condiciones registradas muestran que este tipo de desplazamiento del cauce del río Cauca está muy asociado con la presencia de estos rasgos estructurales de orientación EW y que, a su vez, éstos han generado una importante modelación del terreno, asociada con unidades biogeográficas de alto valor, tanto para la preservación de las condiciones morfohidráulicas del río como para las características bióticas de cada una de éstas.

Es importante tener en cuenta todos estos aspectos de tipo morfo-estructural al momento de definir e identificar los programas, obras o acciones más adecuadas para la recuperación y conservación del río Cauca como un cuerpo físico-biótico.

**Ilustración 34 Condiciones lito-estructurales en la zona Buga-La Virginia**



**Fuente:** “Estudio de Microzonificación sísmica de Santiago de Cali”. Mapa Neo-tectónica Regional, 2005. En rojo resaltado por el autor del presente documento.

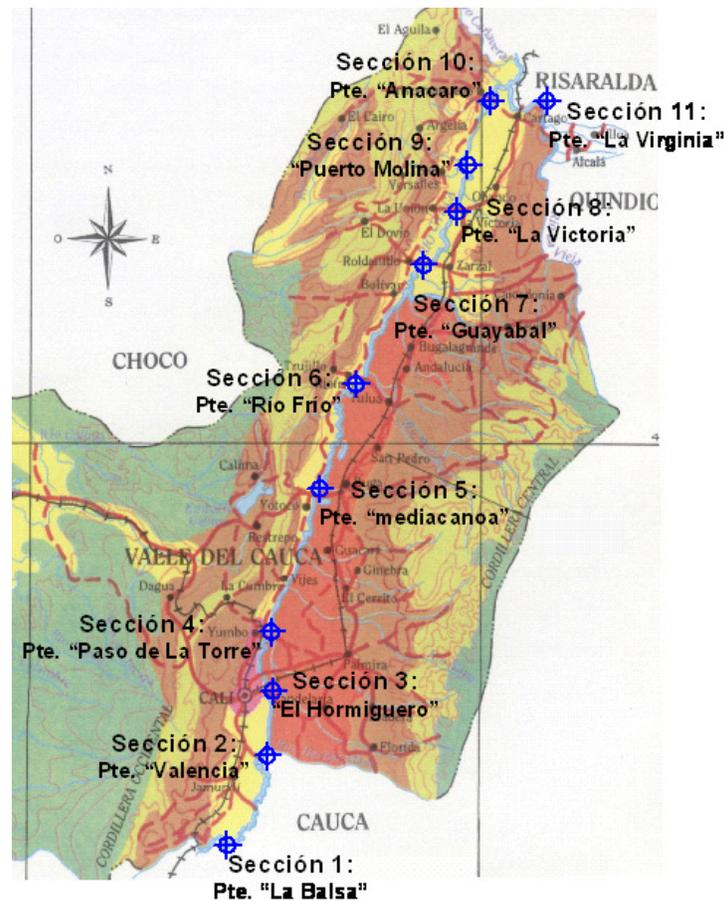
## 4 EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

Dentro de los alcances del estudio se consideró la revisión de los resultados encontrados en varios de los programas de investigación del subsuelo que se han efectuado a todo lo largo del corredor del río y en algunos casos de sus afluentes, con el propósito de obtener información sobre la caracterización geotécnica de los diferentes materiales o capas que conforman no solo las márgenes del río Cauca, si no el fondo de este, de tal manera pudiera alimentar la matriz de susceptibilidad morfológica, como un parámetro de suma importancia al momento valorar la fragilidad de entorno físico al interior del corredor en estudio. Esta información se encuentra muy dispersa en varias fuentes y ubicadas en varios sitios, por lo que se concentró básicamente en la documentación existente en la Universidad de Valle, la cual está representada dos trabajos realizados en épocas anteriores.

La primera corresponde a los sondeos efectuados por la firma CONGRESUELOS, año 2011, de la cual se extrajo información correspondiente a 337 perforaciones a percusión, ubicadas sobre ambas márgenes del río Cauca dentro del corredor que delimita la zona de estudio; esta información fue sistematizada, llevándola al sistema SIG, e incorporando información correspondientes a localización del sondeo, coordenadas, profundidad, tipo capas encontradas y el valor de SPT obtenido para cada una de ellas, entre otra información; la ubicación de estos sondeos, se puede consultar en el Grupo de Planos A, que hace parte integral del presente informe. Esta base de datos, será la base para la clasificación de los complejos de orillas o terrazas naturales, su importancia relativa en la conformación y deterioro de las márgenes del río y su relación con la presencia de elementos geomorfológicos y biogeográficos presentes en la zona.

En el año 2003, la Universidad del Valle elaboró para la CVC un muestreo sedimentológico del lecho del río Cauca con el propósito de obtener información para la modelación morfológica de éste. La firma SAYA realizó la exploraciones del lecho del río, ejecutando catorce (14) sondeos que alcanzaron profundidades entre 6.0 y 11.0 m, tomando muestras alteradas e inalteradas para la caracterización física y mecánica de las diferentes capas encontradas. La resistencia de los estratos se efectuó con el método dinámico correspondiente a la prueba de penetración estándar, a partir de la cual se determinó la resistencia de las capas ubicadas bajo el fondo del río. A su vez, esta información fue sistematizada llevándola al sistema SIG, a la cual se le asignó sus coordenadas, profundidad del sondeo, tipo de capas y espesor de cada una de ellas, así como los resultados del ensayo de penetración estándar. La ubicación detallada de cada sondeo, se puede consultar en el Grupo de Planos B, que hace parte integral de este informe; una ubicación general dentro del contexto departamental, se observa en la siguiente ilustración

Los sondeos efectuados alcanzaron profundidades de entre 6.0 m y 11.0 m, con profundidad mínima del lecho del río en relación con el nivel de agua para cada punto de 2.60 m y máxima de 3.70 m; se detectó una gradación longitudinal con variaciones de sedimentos del tamaño de gravas hacia la parte alta del río, entre Salvajina y Timba, gradando a arenas de medias a finas en la medida en que se avanza hacia el norte. Verticalmente para los sondeos revisados, se observa una predominancia en la gradación de grueso en la parte superior del lecho del río, hasta finos en las capas más bajas, llegándose a

**Ilustración 35 Ubicación sondeos realizados sobre fondo del río Cauca**

**Fuente:** “Muestreo Sedimentológico del material del lecho”, CVC-UNIVALLE

identificar sedimentos tipo arcillas orgánicas a profundidades de hasta 5.0 m por debajo del lecho del río; las capas más superficiales, gravas y arenas, muestran una mala clasificación de sus partículas, indicando condiciones variables en los procesos de transporte, sedimentación y velocidad del flujo. Llama la atención el amplio rango que presenta la resistencia a la penetración estándar para un mismo punto, con valores muy bajos en las capas más profundas del lecho del río, algunas veces inferiores a los obtenidos para las capas superiores. La Tabla 11 muestra un resumen de las condiciones encontradas para cada capa, así como la ubicación de los sondeos efectuados.

**Tabla 11 Resumen de sondeos efectuados sobre el lecho del río Cauca**

SONDEO	UBICACIÓN	*PROFUNDIDAD,m	**ESTRATO	CLASIFICACION	SPT	OBSERVACIONES
1	Puente de La Balsa, margen izquierda	6,00	2,60 -3,50	Gravas mal gradadas, sub-redondeadas, contenido de arena 30%.	21	phi=35°, P.U. 1.7-2.0 ton/m3
			3,50-4,50		66	
			4,50-6,00		72	
2	Puente de La Balsa, margen izquierda	6,00	3,20-4,10	Gravas mal gradadas, sub-redondeadas, contenido de arena 30%.	34	phi=38° P.U. = 1.8-2,2 ton/m3
			4,10-5,0		65	
			5,0-6,0		90	
1	Puente Guillermo León Valencia	7,00	2,60-5,50	Arena media a gruesa, mal gradada	7 25	Phi=35°, PU=1.9 ton/me
			5,50-7,00	Gravas limosas	10 4	phi= 28", PU=1.7 ton/m3
1	Puente El Hormiguero, margen derecha	14,00	2,60-4,00	Arenas limosas mal gradadas	3 14	phi=26° muy suelta
			4,00-14,00	Arena limosa bien gradada	7 14	phi=32°, PU=1,4-1,8 ton/m3
2	Puente El Hormiguero, centro	7,00	2,70-5,00	Gravas mal gradadas	6 18	phi=35°, PU= 1,5-1,8 ton/m3
			5,00-7,00	arenas limosas bien gradadas	18 22	phi=35°, PU= 1,7-2,0 ton/m3
1	Paso de La Torre	8,00	3,70-6,00	Arenas mal gradadas	5	Compacidad suelta a media, no plastico
			6,00-8,00	Gravas sub-redondeada, madera descompuesta	30	
1	Puente Buga-Medicanoa. Margen derecha	8,00	8,00-6,00	Arenas mal gradadas	2 -9	phi=28°, PU=1,4-1,6 ton/m3
			6,00-8,00	Arenas arcillosas	14 27	phi=33°, PU=1,7-1,9 ton/m3
2	Puente Buga-Medicanoa. Margen izquierda	8,00	3,30-4,80	Arenas mal gradadas. Materia organica	2	phi=25°, muy suelta
			4,80-8,00	Arenas limosas, mal gradadas	10	phi=33°, PU=1,4-1,8 ton/m3
1	Puente Riofrio-Tulua	8,00	3,30-6,50	Arenas mal gradadas	5	phi=28°l, PU=1,2-1,6 ton/m3
			6,50-8,00	Gravas mal gradadas y arenas	21	phi=35°, NP
1	Puente Guayabal	7,00	2,70-5,00	Arenas mal gradadas	6	phi=28°,PU=1,2-1,5 ton/m3
			5,00-7,00	Limo-arcilloso, materia organica	5	phi=20°, IP=59, muy plastico
1	Puente La Victoria	7,00	2,70-3,80	Arenas mal gradadas, gravas	2	phi=28°, NP
			3,80-6,00	Limo-arcilloso consistencia dura	15	phi=22°, alta plasticidad
			6,00-7,00	Arena-limosa, algo de gravas	50	phi=38°, muy compacto
2	Puente La Victoria	7,00	3,30-5,00	Areanas mal gradadas, algo de gravas	4	phi=26°, PU=1,2-1,5 ton/m3
			5,00-7,00	Limo-arcilloso, muy baja consistencia	2 -25	phi=26°, Su=20 Kpa
1	Puert Molina	7,00	3,60-4,20	Areanas compacidad media	17	phi=32°, NP
			4,20-7,00	Limos consistencia muy baja	18 -42	phi=30°, Su=15-35 Kpa
1	Puente Anacaro	9,00	3,60-5,50	Arena limosa mal gradada	20 7	phi=30°, PU=1,5-1,8 ton/m3
			5,50-9,00	Arcilla gris-verdosa	3	phi=32°, Su= 12 Kpa
1	Puente La Virginia	11,00	3,30-5,00	Arenas mal gradadas, trazas de gravas	4	phi=26°, NP
			5,00-11,00	Limos verde oscuro, materia orgánica	5	phi=26°, Su= 15 Kpa
*	Profundidad con nivel de rio					
**	Valor inicial corresponde a fondo de rio					

En relación con estas exploraciones realizadas sobre el fondo del río, es conveniente resaltar los siguientes aspectos:

- Para el caso de los sondeos efectuados en el Puente de La Balsa, los estratos muestran una buena homogeneidad, tanto en tipo de materiales como en características físicas y mecánicas; la longitud total de los barrenos, 3.0 m, muestra la predominancia de capas conformada por gravas mal gradadas, de color grisáceo, con canto de tamaño medio 1", de forma sub-redondeada, con porcentajes bajos de arenas; la resistencia a la penetración estándar, varía linealmente con la profundidad, presentando resistencia altas a muy altas hacia el fondo de las perforaciones, (hasta 90 golpes/pie según informe), valores indicativos de estratos o materiales muy duros, cercanos a las características de una roca de buena calidad geotécnica, con compresiones simples del orden de 100 ton/m<sup>2</sup>.

Aunque se tiene una información muy general a partir de estos sondeos, la presencia de estos valores de SPT tan extremadamente altos plantea la posibilidad de que bajo la capa de gravas se tenga algún tipo de control litológico, representado por rocas con contenidos de gravas, tipo conglomerados, parcialmente alterados y que sea la fuente de las gravas encontradas más cerca de la superficie; valores tan alto en ese tipo de ensayos, no son típicos de sedimentos granulares, ya que estos materiales ante el impacto de la cuchara muestreadora, tiende a deformarla o desviarla no llegando a alcanzar estas cifras; de hecho, durante los trabajos de campo efectuados para el desarrollo del presente estudio, la zona del puente de la Balsa, tanto agua arriba como aguas abajo, se identificaron controles litológicos, Rx2, conformados principalmente rocas tipo conglomerados. De todas formas hay que tener en cuenta la cercanía del río Timba a los puntos de exploración, siendo esta cuenca y la del río Ovejas, las únicas fuentes de recarga de material gravoso que le queda al río Cauca en su parte alta.

- Para el sondeo efectuado a la altura del Puente Guillermo León Valencia, Paso de la Bolsa, se encontró una secuencia estratigráfica variada tanto en textura, como en características geotécnicas de las capas identificadas; el sondeo alcanzó una profundidad de 5.0 m a partir del lecho del río. Los 3.0 m iniciales, se encontraron arenas de textura gruesa, color grisáceo, mal gradada con contenido de grava equivalente al 30%; la capa más superficial de este estrado, primer metro, presenta una resistencia a la penetración estándar del orden de 7 golpes/pie calificado como muy bajo y típico de materiales sin consolidar y suelto; esta capa corresponde a los sedimentos más recientes que han sido transportados por el río, y que están sujetos a movimientos longitudinales y laterales, asociado con las variaciones del flujo del río, dependiendo del caudal de este; por el contrario, los 2.0 m finales de esta capa, registran resistencia a la penetración en promedio de 25 golpes/pie, correspondiendo a materiales con buen grado de consistencia. La segunda capa, encontrada entre los 5.50 m y 7.50 m de profundidad, se clasificó como gravas mal gradadas, conformada por fragmentos sub-redondeados con tamaño medio de 1", con arenas en proporción del 41%; lo que llama la atención de este estrato es la baja resistencia a la compresión, que inicia en 10 golpes/pie y hacia el fondo del sondeo registra sólo 4 golpes/pie, indicativos de materiales muy sueltos, de muy baja consolidación. Esta diferencia considerable entre la resistencia de la capa superior y la capa inferior sería un importante indicador de la fragilidad del río en este sector, pudiendo haber sido afectado, en su momento, por la alta densidad de explotaciones que se ubican

tanto aguas arriba como aguas abajo del sector explorado, como por los cambios en su curso, producto de cortes de meandros, alteración “reciente” y que no ha permitido la consolidación de su fondo por las variaciones abruptas en la pendiente longitudinal y lateral del río.

- Los sondeos efectuados a la altura del puente de Hormiguero, dos en total, muestran una distribución de los valores de la resistencia a la penetración, acorde con las características de cada capa encontrada, gravas y arenas limosas, observándose valores menores para los registros tomados sobre la margen derecha a los encontrados para el centro del río. Lo que sí llama la atención para el caso del sondeo en el centro del río, es la presencia de arenas limosas de color grisáceo a verdoso, con un porcentaje que pasa la malla 200 superior al 16%, valor repetitivo de presencia finos de menor tamaño; generalmente, este tipo de color en un sedimento está relacionado con la presencia de ambientes lacustres, con descomposición de materia orgánica con alto contenido clorofílico, situación que sugiere que el actual lecho del río Cauca pudo corresponder a una antigua laguna o ambiente pantanoso con alto contenido de materia orgánica; igualmente, la presencia de este tipo de sedimento puede estar asociada con la presencia de elementos contaminantes, propios de ambientes anaeróbicos; esta capa se ubica a 3.50 m por debajo del lecho del río.
- Para el caso del sondeo efectuado a la altura del puente del Paso de La Torre, la totalidad del barreno mostró sedimentos de textura areno-limosa, con contenidos de gravas del orden del 10%, con tamaño de  $\frac{3}{4}$ ” y de formas sub-redondeadas; la resistencia a la penetración encontrada muestra valores relativamente altos a partir del depósito más reciente del río, con promedios de 25 golpes/pie y aumentando con la profundidad; sin embargo, hay un detalle que llama la atención, la presencia de troncos de madera en descomposición debajo de los 2.0 m del fondo del río; esta situación podría indicar un levantamiento importante del fondo del río en este tramo debido a procesos naturales o antrópicos desarrollados, tanto en el canal del río Cauca como en sus afluentes; a partir de los análisis hidráulicos efectuados para el desarrollo del presente estudio, se pudo comprobar que efectivamente la línea de thalweg del río en este sector presenta “levantamientos” que oscilan entre 1.0 m y 2.50 m, para un periodo comprendido entre el año 2000 y el año 2012. Vale la pena recalcar que el afluente más cercano a este tramo corresponde al canal Guachal, (3 km aguas arriba), el cual se caracteriza por presentar un alto contenido de sólidos en suspensión y saltación, debido a las pobres condiciones de compactación y consolidación de los estratos que conforman la márgenes de este y en donde predominan las arenas finas y los limos arenosos.
- En el sector del puente de Mediacanoa se realizaron dos sondeos, uno sobre la margen derecha y el segundo sobre la margen izquierda. En el sondeo efectuado sobre la margen izquierda se detectó la presencia de materia orgánica en la capa que conforma los 2.0 m superior del lecho del río, mientras que para el sondeo de la margen derecha no se detectó la presencia de este tipo de sedimento. El aporte sobre la margen izquierda puede provenir del río Mediacanoa que desemboca a 1 km aguas arriba del sector de exploración. Por el contrario, sobre la margen derecha en

donde se localiza la Laguna de Sonso, no se registró la presencia de materia orgánica, indicativo de la falta de “comunicación” entre ésta y el río Cauca. Los materiales que conforman el subsuelo del lecho del río, presentan poca resistencia a la penetración, en promedio de 10 golpes/pie hasta una profundidad de 4.0 m por debajo del fondo de éste, indicativo del estado juvenil del canal en este sector y, por consiguiente, de un estado de fragilidad alta ante cambios naturales o antrópicos que se generen en su entorno biogeográfico.

- El sondeo efectuado en el sector del puente que une los municipios de Tuluá y Riofrío muestra la presencia de una capa de espesor medio de 4.0 m bajo el fondo del río, conformada por arenas mal gradadas, de textura gruesa y color café claro, con presencia de gravas (18%) de forma sub-redondeada y tamaños de  $\frac{1}{2}$ ”; se detectó un alto contenido de cuarzo lechoso de aspecto brillante, el cual proviene de las cuencas de los ríos Guadalajara y Tuluá como resultado de la meteorización de las cuarzo-dioritas del Batolito de Buga que afloran hacia la parte media de estas cuencas; esta capa presenta baja resistencia a la penetración, 6 golpes/pie en promedio, indicativo de que el fondo del río está en proceso de consolidación. Finalmente, después de los 4.0 m bajo el lecho del río comienza a aparecer el antiguo lecho más conformado y resistente, constituido por gravas mal gradadas y arenas, con resistencias a la penetración superior a los 25 golpes/pie.
- Para el caso del sondeo efectuado en el sector del puente de Guayabal, Zarzal-Roldanillo, llama la atención la presencia de una capa de limos arcilloso de color verdoso, ubicada debajo de unas arenas mal gradadas y a una profundidad de 3.0 m por debajo del lecho del río; como se indicó anteriormente, este tipo de material es típico de área con ambientes lacustres o palustres con alto contenido de materia orgánica; la presencia de estos sedimentos, sugieren que el canal en donde se ubica actualmente el río Cauca en este sector, alguna vez estuvo conformado por lagunas o un ambiente pantanosos, que dejó como evidencia la presencia de arcillas de color verdoso que en el registro alcanza los 2.0 m de espesor, no identificándose a mayor profundidad ya que la perforación se llevó hasta este punto. Al consultar bibliografía histórica del departamento, es especial documento de datan del año 1943, a manera esquemática muestra que en este sector, límites de los municipio de Roldanillo y Zarzal, existían ambientes lacustres y pantanosos ubicados sobre ambas márgenes del río. Es posible que el cauce del río hubiese estado localizado un poco más al oeste y que se haya desplazado hacia el oriente, desarrollando el nuevo canal sobre un antiguo ambiente de tipo lacustre.
- En la zona del puente de La Victoria, se ejecutaron dos sondeos ambos sobre el centro del cauce del río separadas entre sí por una distancia de 200 m. La capa superior del fondo del río, está conformada por arenas pobremente gradadas, de espesor medio 1.50 m y SPT del orden de 3 golpes/pie constituyéndose en el depósito superficial más reciente del canal del río. Infrayacen a la capa anterior, limo arcilloso y arcillas limosas, de consistencia fluida, espesor de 3.0 m y SPT de 12 golpes/pie en promedio. Hacia el final de los sondeos, y a una profundidad de 4.0 m aproximadamente, comienza a aparecer arenas limosas, con trazas de gravas, con resistencia a la penetración superior a los 40 golpes/pie, que parecen corresponder a

controles litológicos definidos por la Formación Zarzal, Rx1, evidenciado por presencia de cuerpos de esta en forma de cerros aislado y en estribaciones de esta secuencia sedimentaria que han sido afectadas por fallamiento de tipo regional.

- Del sondeo efectuado en el sector de Puerto Molina, llama la atención la presencia de una capa que comienza a aparecer desde 1.0 m por debajo del fondo del río, y la cual está conformada por limos de color gris a azul verdoso, con trazas de gravas, desarrollo de oxidación y con presencia de nódulos consolidados; la resistencia de esta capa es baja, en promedio 15 golpes/pie. Este tipo de sedimento está asociado con ambientes lacustres, lo cual indica que el canal actual se ha desarrollado encima de un antiguo depósito de tipo cenagoso. A partir de los 4.0 m de profundidad en relación con el fondo del río, comienza a aparecer materiales con resistencia superiores a los 40 golpes/pie que son indicativos de presencia de controles litológicos de tipo rocoso, parcialmente alterados, posiblemente correspondiente a la formación Zarzal.
- En el sector del puente de Anacaro, que une los municipios de Cartago con Ansermanuevo, se realizó una perforación la cual alcanzó una profundidad de 5.0 m bajo el lecho del río. Los 2.0 m iniciales, están conformadas por sedimentos tipo arenas limosas, con pobre gradación y con resistencia entre moderada y baja, 12 golpes/pie en promedio, pero con tendencia a la disminución con la profundidad. Importante la presencia de una capa conformada por arcillas de color gris verdoso, abundantes micas, de consistencia fluida y plasticidad baja, la cual se ubica entre los 2.0 m y el fondo del sondeo el cual llegó hasta unos 5.0 m por debajo del fondo del río; su resistencia a la penetración dinámica es muy baja, siendo en promedio de 3 golpes/pie, indicativo del pobre grado de consolidación de esta, debido probablemente a su conformación “reciente” y al alto contenido de materia orgánica; el espesor de esta capa, sus características y la presencia abundante de micas, es un indicador claro de estar ante la presencia de un habiente de tipo lacustre o palustre, bajo el fondo de lo que en la actualidad es el canal activo del río. Las imágenes de sensores remotos, muestran un importante desplazamiento del cauce del río en el sector, con corte de meandros que formaron en su momentos zonas cenagosas con ambientes biogeográficos muy definidos, cuya evidencias corresponde a la presencia de las capas encontradas al final del sondeo efectuado en este sector. La presencia de estas arcillas, son indicativos de sensibilidad y fragilidad del medio físico y biótico del medio en la zona aledaña a esta área.
- Al igual que el caso anterior, el sondeo efectuado en el sector del puente de La Virginia, la capa que conforma el subsuelo del fondo del río está conformada por limos de color café a verdoso, con contenido de materia orgánica, evidencia de una ambiente lacustre de edad “reciente” debido al poco espesor de la capa de arenas que la suprayace; la resistencia a la penetración es muy baja en promedio de 4 golpes/pie, típico de capas con muy baja consistencia y en procesos “juvenil” de consolidación. En el sector de la Virginia, sobre la margen izquierda e observan patrones de antiguos cauces que pueden estar relacionados con presencia de ambientes lacustre en la zona en donde se encuentra en la actualidad el canal del río Cauca.

Se obtuvo información de sondeos efectuado en varias épocas, la cual fue recolectada y clasificada por la Universidad del Valle en el año 2005; esta información corresponde a 36 sondeos distribuidos a lo largo del río Cauca, en ambas márgenes. La Tabla 12 muestra la relación de estas perforaciones, incluyendo la localización de cada una de ellas, el tipo de material encontrado, el valor de la resistencia a la penetración estándar, la consistencia del material y la unidad geomorfológica sobre la que está ubicada.

**Tabla 12 Relación de sondeos a lo largo del corredor río Cauca**

SONDEO N <sup>o</sup>	ABSCISA APROXIMADA / SITIO	MATERIAL	SPT*	DUREZA DEL SUELO	UNIDAD
1	K47+700 (1 km a.ab. río Kinamayo)	SP-SM	2 5	Muy Suelto	Q4-Q5
2	K68+985 (Hacienda Cachimbalito) ?	SM-SP-SW	9 18	Medio - Denso	Q4
3	K80+879 (3m a.ab. Pte. Guillermo Leon Valencia)	SM	2 5	Muy Suelto	Q4
4	K117+126 (5m a.ab. del Puente El Hormiguero)	ML-OL-SM	2 5	Muy Suelto	Q4
5	K137+421 (Arenera de Navarro)	ML-SM	>40	Denso-Muy denso	Q4
5A	K143+897 (Juanchito)	SM	20 40	Denso	-
6	K159+795 (Puente Puerto Isaacs)	ML-OL-SM	3 5	Blando (capa densa)	Q5
6A	K165+342 (cerca de Cementos del Valle)	SM-CL-ML	>40	Muy Denso	Q5-Q4-Q7
7	K177+742 (Desembocadura del río San Marcos)	ML-SM-SP	5 8	Muy Suelto-Medio	Q4-Q5
8	K204+500 (Hacienda Tapias aprox. 2074m a.ab río Guabas)	SM-SP	2 5	Muy Suelto	Q5
9	K220+642 (aprox. 3560m a.ab. río Yotoco)	SP	2 5	Muy Suelto	-
10	K246+366 (?)	SP-SM	2 5	Muy Suelto	-
11	K269+595 (Hacienda Garzoneró) ?	MH-ML-SM	2 5	Suelto - Medio	-
12	K285+795 (Hacienda San Juanito aprox. 150m a.ab. Q. La Esperanza)	MH-ML-SM-SP	2 5	Suelto - Medio	Q5
13	K307+795 (Hacienda El Rin aprox. 1.3km a.ab. Barca C. La Balsa)	ML-SM-G	10 5	Muy Suelto-Medio	Qd-Q7-Q4
14	K326+495 (Hacienda El Rin) ?	ML-SM	2 5	Muy Suelto	Q4
15	K348+795 (La Barca Guare) ?	SP-SM	2 5	Muy Suelto-Denso	Q4
16	K54+000 (aprox. 6km a.ab. río Kinamayo)	SP	20 40	Denso	Q4-Q7
17	K83+092 (Hacienda Venecia aprox. 2.2km a.ab.Pte. G. L. V.)	SP-GM-GW	9 18	Medio - Denso	Q4
18	K92+292 (Hacienda Venecia) ?	SM-SP-SW	2 5	Muy Suelto	Q4-Q7
19	K100+107 (Desembocadura Río Palo)	SP	2 5	Muy Suelto	Q5
20	K122+721 (Arenera del Hormiguero aprox. 2.5km a.ar. Río Desbaratado)	SP-SM	5 8	Suelto - Denso	Q5
21	K126+421 (Hda. Marañoñ aprox. 1170m a.ab. Río Desbaratado)	SP-SM	>40	Muy Denso	Q5
22	K142+597 (Arenera Restrepo-Juanchito)	SP-SM-ML	2 5	Suelto	Q4
23	K145+775 (Barrio Petecuy-cerca Pte. Ferrocarril-Cali) ?	ML-CL	>40	Muy Denso	Q4
24	K148+542 (Paso del Comercio)	SM-SP	2 5	Suelto	Q4
25	K168+942 (60m a.ab. río Yumbo)	GM-GW-SP	20 40	Denso	Q4-Q5
26	K185+137 (5m a.ab. río Amaime)	SP-SM	2 5	Suelto	Q7
27	K196+942 (Hda. El Espinal aprox.500m a.ab río Zabaletas )	ML - SM - SP	2 5	Suelto	Q7-Q4-Q2
28	K210+842 (Hda. Hato Viejo aprox. 1800m a.ab. Río Sonso)	SP	2 5	Suelto	Q5-Q4
p2	K162+000 (Carton de Colombia)	Relleno - CL	9 18	Medio	Q7-Q5 ?
p4 - p5	K203.8, K204 (Mvieja, Vidales, Hda. La Esperanza) ?	MH - ML - SM	2 5	Suelto	Q4-Q7 ?
Bt 2	K131+440 (aprox. 1640m a.ar. Barca cautiva Navarro)	CL - ML - MH	-	-	Q4
Bt10	K128+750 (aprox. 2690m a.ab. Río Desbaratado)	CL-ML-CH-MH-SM	-	-	Q4
Bt 28	K124+750 (aprox. 500m a.ar. Río Desbaratado)	CL-ML-MH-CH	-	-	Q5
Bt 42	K119+800 (aprox. 2280m a.ab Pte. Hormiguero)	ML-MH-CL-SM-SP	2 5	Suelto	Q5-Q3
Bt 60	K113+700 (aprox. 2 Km a.ab. Río Jamundi)	CH-MH-SM-SP	2 5	Suelto	Q5
Viv-Ea-30	K380+550 (aprox. 200m a.ab. Pte Mariano Ospina -La Victoria)	CL	-	-	-
* Clasificación según Norma NBR 7250-82					

Fuente: Información recolectada por CVC-UNIVALLE, “El río Cauca en su Alto Valle Geográfico”, 2005.

Finalmente, durante el desarrollo del presente estudio se llevaron a cabo 22 sondeos a percusión, los cuales se distribuyeron a lo largo del corredor del río Cauca, teniendo como objetivos la caracterización de orillas y márgenes del río, así como la determinación del estado que presentan algunas zonas de antiguos humedales o de ambientes lacustres que han tenido diferentes etapas de alteración naturales y antrópica. La ubicación detallada de



El resumen de las características encontradas para cada sondeo realizado en el desarrollo del presente estudio se puede observar en la Tabla 13.

**Tabla 13 Resumen de los sondeos realizados en el presente estudio**

CODIGO PERFORACION	COORDENADAS		PROFUNDIDAD, m		MATERIAL	SPT	N.F.
	NORTE	ESTE	PROPUESTA	ALCANZADA			
SP-01	833653,411	1053480,084	10,00	4,00	ML-GM	3 a Rechazo	2,80
SP-02	836895,550	1055414,406	10,00	6,00	ML-SM-SW-GM	2-4-25-50	3,50
SP-03	840260,046	1063271,886	10,00	10,00	MH-SM-SP	8-15-35-20	6,00
SP-04	845917,280	1064995,202	10,00	7,50	SP-SM-GW	10-11-34-Rech	N.D.
SP-05	851627,394	1067102,862	10,00	9,00	SP-SM-GM	9-11-43-Rech.	1,50
SP-06	861135,698	1066939,816	10,00	10,00	ML-SM	11 5 28	2,50
SP-07	863746,143	1067145,907	10,00	10,00	ML-SM	11 5 28	2,50
SP-08	866040,614	1066405,114	10,00	10,00	MH-SM	10 24 45	3,50
SP-09	867834,501	1065635,026	10,00	10,00	ML-SM	3 20 50	2,00
SP-10	881070,229	1065302,251	10,00	10,00	MH-SM	25 18	9,00
SP-11	883413,244	1066671,202	10,00	10,00	CL-ML-SM	15 9 36	8,50
SP-12	895540,345	1071089,330	10,00	10,00	CL-CH	16 26	N.D.
SP-13	910419,844	1075190,561	10,00	5,00	CL	16 40	N.D.
SP-13A	915466,180	1078052,191	10,00	10,00	ML-SM	10 22	3,50
SP-14	918805,860	1079669,809	10,00	10,00	ML-SM	10 27	1,50
SP-15	920149,072	1080413,236	10,00	10,00	ML-SM	10 28	1,50
SP-16	921012,057	1080912,859	10,00	10,00	ML-SM	9 20 10	5,50
SP-17	924578,162	1082253,902	10,00	10,00	SM	2 10 26	2,00
SP-18	932784,791	1085888,766	10,00	10,00	MH	15 30 4 26	2,00
SP-19	950909,116	1093186,816	10,00	8,50	ML-SM	12 30 50	2,30
SP-20	993424,589	1114766,820	10,00	10,00	MH-SM-ML	9 12 27	8,60
SP-21	1004746,950	1116909,518	10,00	10,00	CL-ML-SM	5 9 29	6,00
SP-22	1023173,275	1126682,873	10,00	10,00	ML-SM-MH	3 6 12	3,60

En relación con los resultados obtenidos a partir de los sondeos y los ensayos de laboratorio efectuado a las muestras tomadas, se tienen las siguientes consideraciones.

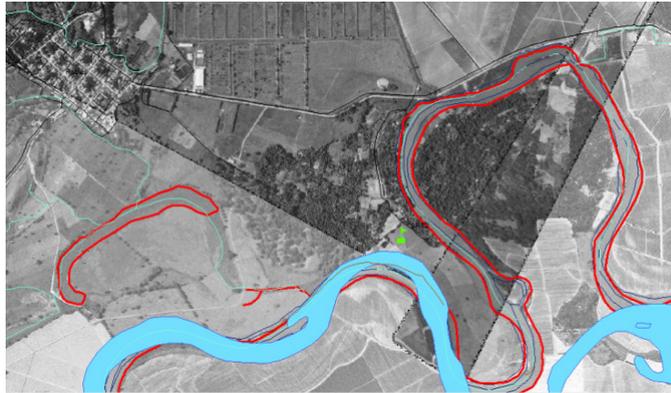
El sondeo SP-01 se ubicó sobre la margen derecha del río Cauca, a unos 300 m aguas abajo del puente de La Balsa (ver Ilustración 37). Este sondeo tenía como objetivo la caracterización de los materiales que conforman la terraza en esta margen, así como determinar la posible presencia de controles litológicos bajo ésta. Los 3.0 m superiores mostraron una capa conformada por limos arcillosos de baja compresibilidad, los cuales presentan una resistencia a la penetración muy baja, 2 golpes/pie, que indican el poco grado de consistencia de la muestra, evidencia de estar en procesos de consolidación; el tipo de sedimento representa un ambiente de dinámica muy baja, cercano a ambientes lacustres, pero no detectándose contenidos de materia orgánica en descomposición en proporciones importantes. A partir de los 3.0 m de profundidad comienza a aparecer una capa constituida por gravas no alteradas, de forma sub-redondeada, conformando un estrato muy denso en donde se obtuvo rechazo para la prueba de penetración estándar; la presencia de este

estrato a esta profundidad, es consistente con la presencia en superficie de afloramiento rocosos tipo conglomerados, que conforman un control litológico sobre la margen derecha del río, desde la desembocadura del río Timba y hasta unos 400 m aguas abajo del puente de La Balsa; los valores del ensayo de penetración confirman la presencia del estrato en profundidad en la zona aledañas al cauce del río, siendo concordante con los resultados obtenidos en las perforaciones ejecutadas en el lecho del río, en la cual a una profundidad de 2.0 m bajo el fondo de éste, se registró la presencia de gravas con SPT superiores a los 50 golpes/pie.

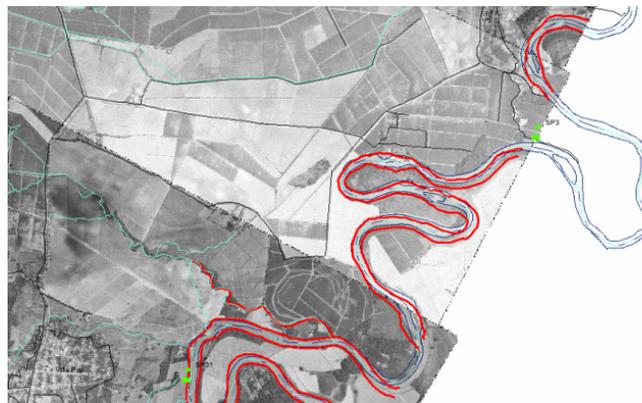
**Ilustración 37 Ubicación del sondeo SP-01**



El sondeo SP-02 se ubicó a unos 1600 m al SE de la población de Robles, teniendo como objetivo la caracterización de los materiales que conforman la margen izquierda del río Cauca, en la zona en donde se produjo el corte meandro de Tablanca (ver Ilustración 38). Este sondeo estaba programado para alcanzar una profundidad de 10.0 m, pero solo se logró perforar hasta los 6.0 m. Los 3.50 superiores correspondieron a materiales formados por sedimentos tipo limo arcillo de baja compresibilidad y consistencia muy blanda, la cual registró resistencia a la penetración promedio de 5 golpes/pie, valor que representa materiales de pobres características geotécnicas y muy susceptibles a ser afectados por procesos de erosión y socavación lateral, especialmente ante la presencia de cuerpos de aguas con alta energía cinética. Sin embargo, llama la atención que a partir de los 3.5 m de profundidad, comienza a registrarse la presencia de una capa conformada por gravas no alteradas, con fracción de arenas limosas, muy densas y con resistencia a la compresión desde 50 golpes/pie, hasta el rechazo obtenido a la profundidad de 6.0 m. La presencia de esta capa en profundidad, representa una condiciones de estabilidad aceptable del fondo del río, ya que la capa más blanda y superficial, la que fue afectada por el corte del meandro, corresponde únicamente a la terraza que conforma la margen derecha, existiendo cerca al fondo del río un estrato con alta Resistencia a los procesos de socavación de fondo. Si bien los procesos de corte de meandros pueden continuar en la zona debido a la presencia de capas poco consolidadas en la parte superior de los niveles de terraza, también es cierto que la alteración de la pendiente del río, será prolongada en el tiempo debido a la resistencia del material de fondo, no desarrollando cambios súbitos que puedan alterar drásticamente la estabilidad del cauce en el sector.

**Ilustración 38 Ubicación del sondeo SP-02**

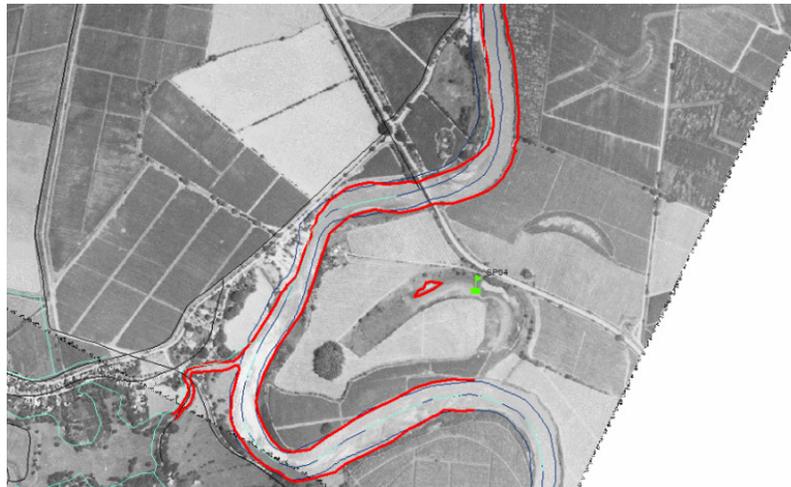
El sondeo SP-03 se ubicó sobre la margen derecha del cauce del río Cauca, a unos 3.8 km al NE de la población de Villa Paz (ver Ilustración 39). La parte superior del sondeo, 4.50 m superiores, está conformada por limos arcillosos de consistencia blanda, sin contenido importantes de materia orgánica. A partir de los 4.50 m y hasta el fin del sondeo, se registraron arenas limosas, de color café oscuro, con compacidad media, SPT entre 11 y 25 golpes/pie, se presentan gravas no alteradas en proporción del 14%.

**Ilustración 39 Ubicación del Sondeo SP-03**

Por su parte, el sondeo SP-04 se ubicó a 300 m al SE del puente Guillermo León Valencia y tenía como propósito obtener informar acerca del estado que presentan las diferentes capas que una vez conformaron un antiguo meandro del río, el cual se presenta totalmente intervenido en la actualidad (ver localización en la Ilustración 40). Para tal efecto se tomaron cuatro muestras en tubos shelby de 0.50 m de longitud cada una en la parte superior del terreno, los cuales cubrieron el perfil de los 2.0 m superiores, encontrándose que hasta los 1.50 m, aproximadamente, predomina una capa de color oscuro, de textura arcillosa, de alta plasticidad y muy blanda; se encontró un alto contenido de óxidos y emanaciones de ácido sulfhídrico, típicos de ambientes oxidantes; se observaron bandeamientos conformados por materia orgánica en diferentes estados de descomposición, las cuales representan las diferentes etapas de intervención antrópica para, rellenos alterantes de material vegetal, con el propósito de “recuperar” tierras para las labores

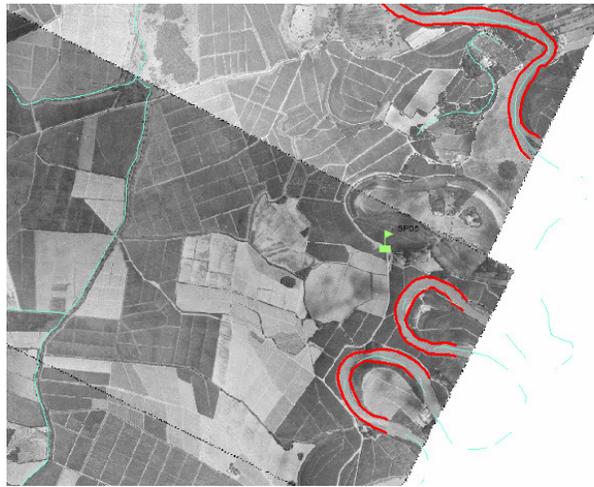
agrícolas, eliminando los ambientes bio- geosféricos desarrollados de forma natural por la dinámica del río Cauca en el sector; esta capa llega a alcanzar los 1.80 m de profundidad. A partir de este nivel comienzan a aparecer arenas limosas, con gravas de tamaños inferiores a  $\frac{1}{2}$ ", los cuales registraron SPT de 20 golpes/pie; esta capa correspondía al lecho del antiguo cauce del río, la cual reposa sobre un estrato de mayor firmeza, conformado por gravas no alteradas, detectadas a una profundidad de 6.50 m y con resistencia a la penetración superior a los 50 golpes/pie, típica de la zona y la cual parece corresponder a los controles litológicos del fondo del río.

#### Ilustración 40 Ubicación del sondeo SP-04



El sondeo SP-05 se localizó sobre la madre vieja El Cabezón, a unos 4.3 km al oriente de Jamundí y, al igual que el anterior, tenía como propósito evaluar las condiciones actuales de este sector, el cual presenta una intervención total con actividades distintas a las ambientales protectoras (ver ubicación del sondeo en la Ilustración 41). La capa superior de 2.0 m de espesor está conformada por arenas de tamaño fino a muy fino, de muy baja compacidad, con comportamiento no cohesivo que impidieron la toma de muestras inalteradas en tubos Shelby; esta capa se ha conformado a partir de los sedimentos de desborde del río en recientes, así como de intervenciones antrópicas, representadas por la presencia de bandas de materiales vegetal en diferentes etapas de descomposición. A partir de los 2.0 m y hasta los 6.0 m de profundidad predominan las arenas limosas, de compacidad media y resistencia a la penetración entre 15 y 30 golpes/pie y la cual representa el antiguo cauce del río en el sector. A partir de los 6.0 m de profundidad se detectó la presencia de gravas no alteradas, sub-redondeadas, con resistencia a la penetración superior a los 45 golpes/pie, valor que puede clasificarse o catalogarse como control litológico del antiguo lecho del río.

**Ilustración 41 Ubicación del sondeo SP-05**



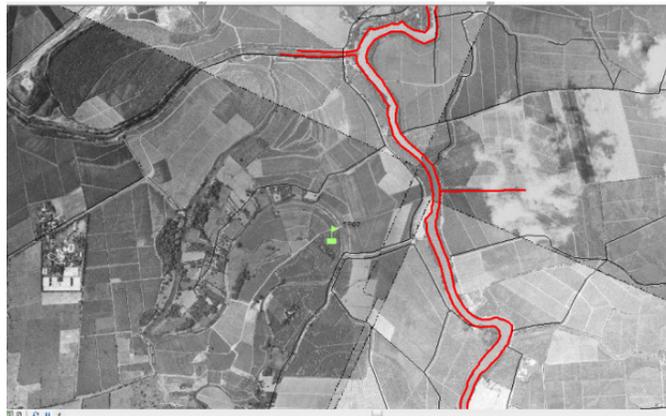
El sondeo SP-06 se localizó sobre la margen derecha del río Cauca a unos 300 m aguas abajo del puente de Hormiguero (ver Ilustración 42). Los 2.0 m iniciales están conformados por limos arcillosos, de baja compresibilidad, consistencia media y bajo porcentaje de arenas de tamaños fino a medio; la presencia de este tipo de sedimento a este nivel es indicativo, tanto de desbordes del río como de efectos de intervenciones antrópicas para cambios en el uso del suelo; la baja compresibilidad de una capa de poco espesor y de edad “reciente” puede ser indicativo del desarrollo de actividades o tránsito de equipos pesados en superficie. Bajo la anterior capa y hasta la profundidad de investigación, 10.0 m, se registraron arenas limosas color azul, de compacidad media y resistencia a la penetración promedio de 10 golpes/pie, que corresponden a la presencia del antiguo cauce del río, afectado por desarrollos de ambientes de tipo más lacustre, pero con intervención total en la actualidad, tanto natural como antrópica.

**Ilustración 42 Ubicación del sondeo SP-06**



El sondeo SP-07 se ubicó al sur del canal sur, sobre un amplio y antiguo cauce, el cual se le conoce con el nombre de El Estero, localizado sobre la margen izquierda del río Cauca. (ver Ilustración 43). Los 2.0 m iniciales muestran un sedimento con textura arcillosa, muy plástica, de alta compresibilidad y la cual muestra dos eventos diferentes con ambientes reductores y de oxidación, representados por la presencia de capas alterantes con alto contenido de óxidos y materia orgánica en descomposición; las capas con predominancia de óxidos de hierro, son típicos de zonas en donde se presentan flujos periódicos de bajo caudal que permiten la sedimentación de este tipo de partículas, así como el desarrollo de procesos de oxigenación por la circulación constante de las aguas; por el contrario, las capas con ambiente reductor presentan alto contenido de materia orgánica, llegándose a observar finas capas constituidas por turbas o madera en proceso de descomposición; la presencia de estas capas alterantes, muestra la dinámica del río, observándose de manera clara los periodos asociados con niveles alto del río, control del nivel freático, así como los periodos de estiaje en donde predominan el desarrollo de ambientes de tipo lacustres, con procesos de descomposición de materia orgánica. Desde los 2.0 m de profundidad y hasta el final del sondeo se registró la presencia de arenas limosas de color azul, de compacidad media, cohesiva, con resistencia a la penetración promedio de 10 golpes/pie, indicativo de un lecho del río en etapa de formación y alterado de manera súbita debido a la persistencia de un SPT bajo a lo largo de los 7.0 m de profundidad investigados.

**Ilustración 43 Ubicación del sondeo SP-07**



El sondeo SP-08 se ubicó 700 m al norte del canal Interceptor Sur de la ciudad de Cali, el cual descarga sus aguas al río Cauca (ver Ilustración 44). Los registros muestran que hasta una profundidad de 2.50 m predominan los sedimentos tipo limo arcilloso de alta compresibilidad, muy plásticos, de alta humedad natural, consistencia media y resistencia a la penetración no mayor a 10 golpes/pie; esta capa corresponde al antiguo ambiente de tipo lacustre y palustre, desarrollado una vez el cauce del río cambió su curso; las muestras presentan un alto contenido de materia orgánica, así como la presencia de capas con desarrollo de procesos de oxidación significativos, con espesores que alcanzan los 0.08 m. Desde los 2.50 m y hasta la profundidad total de la perforación se registró la presencia de arenas limosas, color grisáceo, de compacidad media y resistencia a la penetración variando desde 15 hasta 40 golpes/pies, desde la parte alta hacia abajo. En este punto vale la pena resaltar que para el conjunto de sondeos efectuados para este estudio, del canal interceptor hacia el norte, no se volvieron a detectar arenas o arenas limosas de color azuloso,

restringiéndose la presencia de este tipo de sedimentos hacia la zona sur del valle geográfico.

**Ilustración 44 Ubicación del sondeo SP-08**



El sondeo SP-09 se ubicó hacia la zona SW del barrio El Vallado de la ciudad de Cali, sobre un antiguo cauce que presenta una significativa intervención desde hace varios años (ver Ilustración 45). Los registros indican la presencia de sedimentos tipo arcillas en los 2.50 m iniciales, mostrando el desarrollo de capas alternantes de ambientes reductores y oxidantes, típicos de áreas donde existe una alternancia en los regímenes dinámicos del río, desde ambientes de baja energía a ambientes con ausencia de energía cinética; la presencia de ripples u ondulaciones en varias de las muestras analizadas, no sólo en este sector sino en otras tomadas más hacia el sur, muestra un ambiente con presencia de energías muy bajas que generan olas de pocos tamaño, asociados, a su vez, no sólo con la actividad del caudal del río sino con actividad eólica. Al igual que en el sondeo anterior, bajo esta capa prevalecen arenas limosas de color grisáceo, de compacidad media y con resistencias a la penetración de 20 golpes/pie. Importante para este sector es la presencia de una capa ubicada entre los 3.50 y 4.50 m de profundidad, la cual presenta las condiciones para desarrollar procesos de licuación ante la ocurrencia de sismos con magnitudes superiores a los 7.0 grados de magnitud.

**Ilustración 45 Ubicación del sondeo SP-09**



El sondeo SP-10 se ubicó a unos 100 m agua arriba de la desembocadura de la quebrada Arroyohondo en el río Cauca, en la margen izquierda de éste (ver Ilustración 46). Hasta los

8.50 m de profundidad, predomina una capa conformada por limos arcillosos de consistencia dura a media, con contenidos bajos de arenas finas y resistencia a la penetración promedio de 25 golpes/pie. Desde los 8.50 m hasta el final del sondeo se registran arenas limosas de color gris oscuro, compactidad alta, cohesivas, con contenido de gravas no alteradas y resistencia a la penetración del orden de 20 golpes/pie.

**Ilustración 46 Ubicación del sondeo SP-10**



El sondeo SP-11 se ubicó a unos 800 m al oriente de la glorieta de CENCAR en el municipio de Yumbo, sobre la parte media de una amplia curva o meandro que amenaza en el futuro cortar la curva; se propuso con el objetivo de caracterizar el tipo de material presente en esta zona, la cual presenta un muy alto grado de intervención antrópica, con presencia de cultivos mecanizados (ver ubicación en la Ilustración 47). Hasta los 9.0 m de profundidad se encontró la presencia de sedimentos tipo limos arcillosos, de color café claro, consistencia dura, baja compresibilidad, resistencia a la penetración media de 23 golpes/pie y presencia de arenas finas en baja proporción. Hacia el final del sondeo comienzan a aparecer sedimentos tipo arenas limosas, de color gris oscuro, alta compactidad, con contenido de gravas no alteradas sub-redondeadas y resistencia a la penetración mayor a 35 golpes/pie.

**Ilustración 47 Ubicación del sondeo SP-11**

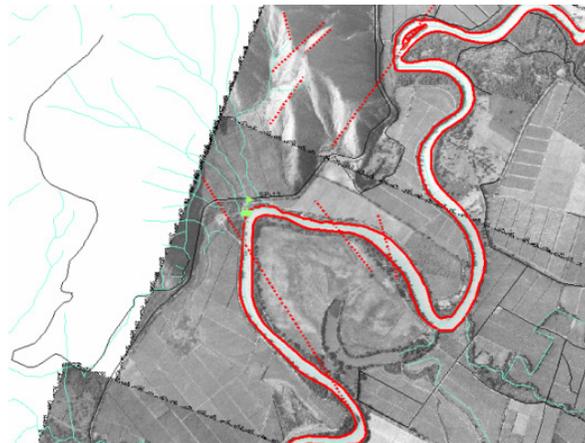


El sondeo SP-12 se ubicó sobre la margen derecha del río Cauca, a la altura del municipio de Vijes (ver Ilustración 48). Predominó, a lo largo de todo el sondeo, la presencia de arcillas con variaciones en sus condiciones de plasticidad; para los 4.0 m iniciales, su compresibilidad es muy baja, de consistencia media y resistencia a la penetración promedio de 20 golpes/pie; estas condiciones pueden estar asociadas con las actividades agrícolas mecanizadas que se desarrollan en su entorno y que han afectado la parte superior de los suelos ubicados en la zona más superficial del perfil. Por otro lado, las arcillas que se ubican debajo de los 4.0 m de profundidad presentan un alto grado de compresibilidad, son de color café oscuro, con presencia de capas de color verdoso, consistencia muy dura y resistencia a la penetración superior a los 40 golpes/pie; la presencia de este material es indicativo de ambientes lacustres, donde se han desarrollado procesos de descomposición de abundante material vegetal “fresco”, representado por la presencia de finas vetas de color verde, evidencias de inundaciones bruscas, con procesos de alteración vegetal rápidos.

**Ilustración 48 Ubicación del sondeo SP-12**



Por su parte, el sondeo SP-13 se ubicó sobre la margen izquierda del río Cauca, a la altura de la quebrada Espinal (ver Ilustración 49). Este no avanzó sino hasta los 5.0 m de profundidad, encontrándose rechazo a este nivel. Hasta los 3.50 m de profundidad se registró una capa conformada por sedimentos tipo limo arcilloso de baja compresibilidad, de consistencia dura, con presencia de arenas finas en proporción del 20% y resistencia a la penetración media de 25 golpes/pie, indicativo de sedimentos muy superficiales con un alto grado de consolidación, aparentemente originada por actividades agrícolas. Desde los 3.50 m de profundidad hasta el final del sondeo predomina una capa arcillosa, con baja compresibilidad, consistencia media, presencia de arenas finas y resistencia a la penetración mayor a 50 golpes/pie. Indudablemente el alto grado de consolidación que presentan estos sedimentos, con poco espesor y ubicados en la parte superior del perfil de suelos son un indicativo que el desarrollo de actividades mecanizadas sí puede haber afectado la calidad natural de los suelos, sobre-consolidándolos y, por consiguiente, disminuyendo su grado de percolación de aguas lluvias y de escorrentía, aparte de las alteraciones sobre el régimen hidrogeológico.

**Ilustración 49 Ubicación del sondeo SP-13**

El sondeo SP-13 A se localizó al norte de la perforación anterior, sobre la margen izquierda del río Cauca ( ver Ilustración 50). En los primeros 3.50 m de profundidad se registró una capa constituida por limos arcillosos de baja compresibilidad, consistencia dura y resistencia a la penetración menor de 8 golpes/pie; la consistencia dura, pero con baja resistencia podría ser un indicativo de un alto grado de desecación de los suelos por pérdida de humedad natural, relacionada con la “profundización” del nivel freático. Desde los 3.50 m de profundidad y hasta el final del sondeo se encontraron arenas limosas, color gris oscuro, compacidad alta y resistencia a la penetración entre 15 y 25 golpes/pie. Hacia el final del sondeo se detectó presencia de gravas no alteradas, que aumentan de forma significativa la resistencia a la penetración. Hacia esta profundidad no fue posible la toma de muestras en tubos de pared delgada debido a la alta resistencia de la capa.

**Ilustración 50 Ubicación del sondeo SP-13 A**

El sondeo SP-14 se localizó hacia el extremo SW de la Laguna de Sonso, sobre la margen derecha del río Cauca (ver Ilustración 51). Hasta los 6.50 m de profundidad se registró la presencia de limos arcillosos, color café claro, consistencia dura y resistencia a la penetración entre 6 y 15 golpes/pie; llama la atención en esta capa la presencia de sedimentos tipo arenas medias hacia el final del tramo, en porcentajes del orden del 20%, alto si se considera que el ambiente predominante debe ser de tipo lacustre, con

depositación de partículas entre arcillas y limos y ocasionalmente arenas finas en bajas proporciones. La parte superior del tramo, entre 0.0 y 3.0 m de profundidad, presenta menor contenido de arenas, predominando las arcillas con alto contenido de materia orgánica. La presencia de las arenas en el tramo comprendido entre los 3.50 y 5.50 m de profundidad está relacionada con los desbordamientos del río Cauca, que de forma periódica afectaban el cuerpo y áreas aledañas de la laguna, proporcionando este tipo de sedimento, que dentro del ambiente lacustre con alto contenido de materia orgánica cumple una importante función como “controlador” del desarrollo desmedido de las especies vegetales terrestres y sobre todo las sub-acuáticas; por el contrario, la presencia de sedimento tipo arcilla, predominando hacia la parte superior del sondeo, con contenidos bajos de arenas en todos sus tamaños, son indicadores de una falta de “comunicación” entre los procesos de desborde del río y las condiciones estáticas y dinámicas de la laguna; podría llegar a pensarse que la ausencia de porcentajes naturales de sedimento tipo arenas puede llegar a favorecer el desarrollo de los procesos de descomposición de material orgánica, propiciando el desarrollo desmedido de especies vegetales; valdría la pena efectuar un estudio más detallado acerca de la relación de la presencia de sedimentos tipo arena, con la proliferación o crecimiento desmedido de especies forestales en ambientes de tipo lacustre. Después de los 6.0 m de profundidad se registró la presencia de arenas limosas color gris oscuro, de compacidad alta, contenido de gravas no alteradas de forma sub-redondeada y resistencia a la penetración superior a los 35 golpes/pie.

#### **Ilustración 51 Ubicación del sondeo SP-14**



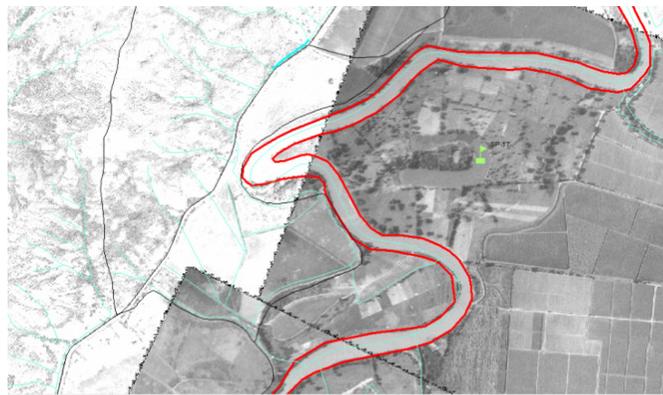
El sondeo SP-15 se ubicó hacia la zona NW de la laguna de Sonso, mientras que el SP-16 se ubicó al norte de ésta, ambas sobre la margen derecha del río Cauca (ver localización en las Ilustraciones 52 y 53). Los registros encontrados en estas dos perforaciones no difieren significativamente de los encontrados en el sondeo SP-14, identificándose las mismas capas, similares espesores y siendo valederas las mismas consideraciones efectuadas. La única diferencia significativa corresponde a la posición del nivel freático; para los sondeos SP-14 y SP-15 se ubica a una profundidad de 1.50 m, mientras que para el sondeo SP-16 se detectó a 5.50 m de profundidad.

**Ilustración 52 Ubicación del sondeo SP-15****Ilustración 53 Ubicación del sondeo SP-16**

El sondeo SP-17 se ubicó en el antiguo cauce del río denominado madre vieja La Trozada, localizada sobre la margen derecha del río Cauca (ver Ilustración 54). Los 2.0 m iniciales del sondeo se tomaron con tubos Shelby y fueron analizados de forma detallada en los laboratorios de la universidad. Los sedimentos encontrados representan claramente un ambiente lacustre, formado por arcillas con intercalaciones de bandas de color muy oscuro constituidas por materia orgánica en descomposición tipo turba, depositados en ambientes de orillares o barras laterales del cuerpo de aguas, en donde se desarrollaron formas rizadas; entre estas capas se identificaron finas láminas de color amarilloso, con alto desarrollo de oxidación y presencia de concreciones férricas en forma de fragmentos aislados; la muestra en este tramo, emana fuertes olores a sulfuros, fósforo y materia orgánica en descomposición que podría representar la presencia de elementos peligrosos que ha drenado hasta concentrarse en este antiguo cuerpo de aguas, el cual en la actualidad presenta un alto grado de intervención; como se explicó en numeral anterior, la presencia de capas y concreciones de óxidos intercaladas con elementos orgánicos típicos de ambientes reductores, representan los diferentes regímenes a los que ha estado sometido el sector después de haber sufrido el corte del meandro y haber desaparecido el canal activo del río de este sector; las capas con presencia de óxidos, representan los ambientes transitorios de crecientes del río, en donde existe un alto caudal de aguas con contenidos significativos de oxígeno, que genera alteraciones sobre los minerales y compuestos

férricos presentes en el río Cauca. La presencia de olores fuertes, también pueden estar relacionados con el alto grado de contaminación que lleva el río Cauca y que al encontrar medios receptores adecuados, tienden a depositar elementos de alto peso atómico, así como de sustancia tóxicas; en general, esta capa puede representar y contener las huellas de los diferentes procesos naturales y antrópicos que se desarrollan tanto hacia aguas arriba del sector, como en la zonas aledañas a esta madreveja, donde las actividades agrícolas mecanizadas corresponden al uso actual del suelo. El alto contenido de materia orgánica en descomposición y la presencia de elementos bio-turbados pueden ser evidencias o registros de los altos niveles de intervención del río Cauca. Después de los 2.0 m de profundidad y hasta el final del sondeo se registraron sedimentos de textura areno limosa, de color gris oscuro, de compacidad alta y resistencia a la penetración entre 12 y 25 golpes/pie. Llama la atención la presencia de capas de arenas potencialmente licuables ubicadas entre los 3.50 y 6.0 m de profundidad; la presencia de estos estratos cerca de la superficie del terreno podrían generar manifestaciones en superficie, ya que no existe una capa de suficiente espesor que permita la mitigación de la onda producida por sismos con magnitudes superiores a los 7 grados.

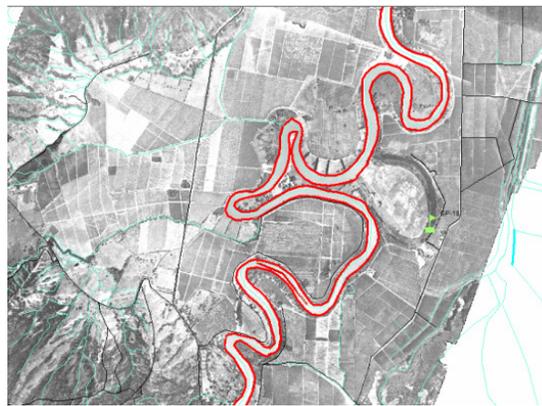
**Ilustración 54 Ubicación del sondeo SP-17**



El sondeo SP-18 se ubicó sobre la margen derecha del río Cauca en el antiguo cauce que conforma la madreveja El Cedral (ver Ilustración 55); al igual que para casos anteriores, los 2.0 m iniciales del sondeo se tomaron con tubos shelby y las muestras fueron analizadas de forma detallada en los laboratorios de la Universidad del Valle. Hasta los 0.3 m de profundidad se observó la presencia de limos arenosos de color café claro, con abundantes raicillas y materia vegetal en descomposición, representando esta capa antiguos sedimentos de desborde, así como los sedimentos transportados por las corrientes de aguas de escorrentía que bajan de forma natural por la pendiente del terreno y cuyo aporte es propiciado especialmente en periodos cuando los aprovechamientos de cultivos coinciden con épocas de invierno, generando procesos erosivos superficiales y transporte de sedimentos hacia la parte baja. Entre los 0.30 y 3.0 m de profundidad, la muestra registra una capa de textura arcillosa, de consistencia media y alta compresibilidad, la cual presenta oquedades con diámetros hasta de 1.0 mm, correspondiendo unos a huellas dejadas por burbujas formadas por la emisión de gases, posiblemente metano, y otros por descomposición de organismos vivos; se identificaron pequeñas capas formando finas laminaciones, constituidas por material orgánico en descomposición, turba, con evidencias de ambiente dinámicos que desarrollaron “rizamientos” en la base y techo de estas

pequeñas capas; el depósito en general representa el periodo de quietud del medio receptor, con formación de ambiente lacustre, interrumpido periódicamente por desbordes del río Cauca, los cuales depositaron material vegetal, el cual después de ser recubierto por nuevas capas de sedimentos, formaron las finas laminaciones de material bio-turbado. Entre los 3.0 y 3.5 m de profundidad se detectó una capa formada por arenas finas, compactas que representa una periodo de creciente del río. Finalmente, desde los 3.50 m y hasta la profundidad total del sondeo se registró la presencia de limos arcillosos de alta plasticidad y compresibilidad, de consistencia media, porcentajes de arenas finas entre 1-5%, resistencia a la penetración baja, entre 3 y 8 golpes/pie, y presencia de sedimentos color azuloso; este registro es representativo de un antiguo ambiente de tipo lacustre, con contenidos importantes de materia orgánica (fuerte olor de materia en descomposición), ambiente reductor, lo cual sugiere la presencia de un antiguo lago o ciénaga bajo el antiguo cauce sobre el que se conformó la madreveja El Cedral.

#### **Ilustración 55 Ubicación del sondeo SP-18**



El sondeo SP-19 se localizó sobre la margen derecha del río Cauca, en el sector de la madreveja Bocas de Tuluá, cerca de la actual desembocadura del río del mismo nombre (Ilustración 56). Se empleó la misma técnica de tomar los 2.0 m iniciales del sondeo con tubos Shelby, que permitiera hacer una descripción gráfica más detallada. Entre 0.0 m y 0.9 m se encontró una capa constituida por sedimentos tipo arcilloso, con color que varían entre gris oscuro y amarilloso, con bandeamientos y microestructuras de tipo ripple, abundante material vegetal poco descompuesto y abundantes oquedades producto de burbujas formadas a partir de emanación de gases, así como de la descomposición de organismos faunísticos; esta capa representa los diferentes y recientes ambientes de tipo lacustre, desarrollados después del corte del meandro y que ha estado sujeta a los periódicos desbordamiento no solo del río Cauca, sino del río Tuluá, el cual en la actualidad desemboca hacia la parte sur de esta madreveja; la diferencia en los colores del sedimento encontrado, corresponde a la fuente de cada desbordamiento o creciente; consideramos, teniendo en cuenta las condiciones tanto del río Cauca, como de la cuenca del río Tuluá, que los sedimentos de color amarillos, están más relacionados con los desbordes del río Cauca, mientras que los más oscuros, grisáceos, están relaciones con desbordes y crecientes del río Tuluá que transportan grandes cantidades de sedimentos cuyas fuentes se ubican en zonas de la parte alta de las cuencas, en donde se desarrollan procesos erosivos y de

remoción en masa avanzados y críticos (Cárcava La Azules); los dos tipos de sedimentos se inter-digitan, no observándose en algunos casos un contacto muy definido, que sugiere una combinación o generación simultánea de crecientes de los dos ríos. Entre los 0-9-1.10 m, se registró la presencia de un ambiente de tipo palustre, arcillosos, con muy alto contenido de materia orgánica, color muy oscuro, agua en retención y olor a materia vegetal en descomposición; esta capa representa el periodo de tiempo que transcurrió entre el corte del meandro y la ocurrencia del primer desbordamiento o creciente de cualquiera de los dos ríos, cuyos sedimentos antes descritos, cubrieron estos, desarrollando un ambiente reductor o anaeróbico que propició la formación de este tipo de material. A partir de 1.10 m y hasta el final del sondeo, 8.50 m, se registró la presencia de capas formadas por arenas limosas, hasta los 4.50 m, y arenas gravosas entre 4.50-8.50 m; presentan compacidad media, comportamiento granular no cohesivo, no plásticas y con resistencia a la penetración que varía desde 50 golpes/pie, hasta alcanzar el rechazo a la profundidad máxima del sondeo. Este tipo de sedimento conforma la planicie aluvial del río Cauca en este sector, constituyéndose en el “basamento” del valle geográfico; llama la atención que en esta área predominan las arenas gravosas como sedimento conformador de la planicie aluvial, mientras que en general para el resto de las zonas investigadas el tipo de sedimento predominante es la arena limosa; podría explicarse esta situación por los aportes del río Tuluá, los cuales en general corresponde a arenas y gravas provenientes principalmente de la meteorización del batolito de Buga y la Formación Nogales ubicadas sobre la zona media de su cuenca.

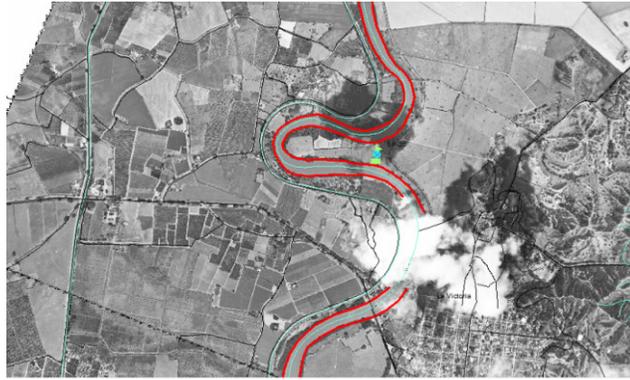
#### **Ilustración 56 Ubicación del sondeo SP-19**



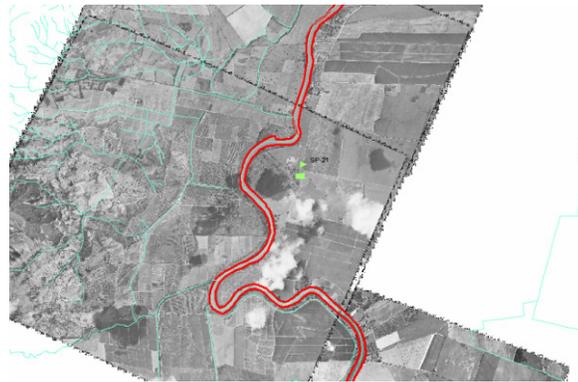
El sondeo SP-20 se localizó al norte del municipio de La Victoria, sobre la margen derecha del río Cauca (ver Ilustración 57). La totalidad del registro del sondeo muestra una capa muy homogénea formada por limos arcillosos, de color café claro, consistencia media, contenido de arenas finas en porcentaje no mayor al 5% y con resistencia a la penetración que oscila entre 10 y 25 golpes/pie. Entre los 9.0 y 9.50 m de profundidad se detectó una pequeña capa de arenas, de color gris oscuro y compacidad media, en la cual la resistencia a la penetración disminuye hasta valores de 12 golpes/pie. El ambiente asociado a este tipo de materiales presenta una predominancia de energía bajas, cercanas a estados lacustres, pero con bajo contenido de materia orgánica; el tipo de sedimento y su color también es representativo de procesos de meteorización y la presencia y de cuerpos rocosos conformados por sedimentos finos, de color claro, tales como los que se observan en el

área, Formación Zarzal y La Paila, que constituyen la fuente de aporte de sedimentos para la conformación de la planicie aluvial del río Cauca en el sector. La presencia de la capa de arena limosa representa un cambio puntual en el tiempo de las condiciones de sedimentación, pudiendo estar asociado con una creciente súbita y de corta duración.

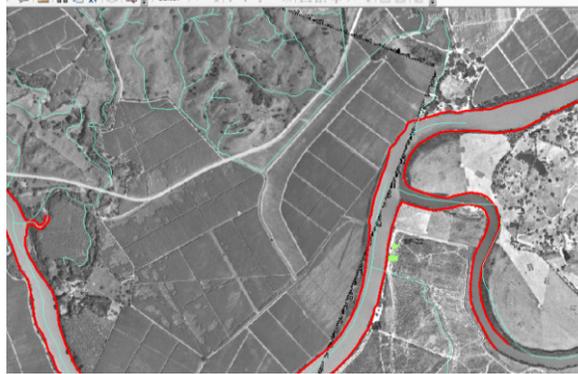
#### **Ilustración 57 Ubicación del sondeo SP-20**



El sondeo SP-21 se ubicó en el sector comprendió entre Puerto Molina y Juan Díaz, teniendo como objetivo básico la investigación de una geoforma tipo bacín evidenciada tanto en campo, como a partir de imágenes de fotografía aérea; el sondeo alcanzó una profundidad de 10 m, encontrándose básicamente el siguiente registro (ver Ilustración 58). Desde la superficie del terreno y hasta los 5.0 m de profundidad se encontró la presencia de una capa conformada por sedimentos tipo limos arcillosos de baja compresibilidad, consistencia media, resistencia a la penetración promedio de 10 golpes/pie y fracción arenas promedio del 10%; esta capa representa la historia “reciente” del valle geográfico del río Cauca en este sector, en donde predomina aportes de inundaciones, sedimentos transportados por aguas de escorrentía y presencia de conformaciones o rellenos de tipo antrópico. Entre los 5.0-6.50 m de profundidad, se registró la presencia de una capa arcillosa de color café, de baja compresibilidad, con humedad natural superior al Límite Plástico, de consistencia blanda, y resistencia a la penetración del orden de 5 goles/pie; a los 6.0 m se ubica el nivel freático de la zona; indudablemente, las características que presenta este material, evidencian la presencia de un antiguo cauce que transcurrió por esta área hace ya bastante tiempo, histórico por demás; la evidencia de campo muestra la presencia de geoformas acanaladas, con muy alto grado de intervención, detectables a partir de la presencia de simas de poca profundidad, así como por la presencia de taludes de pendientes muy suaves, que correspondían a las antiguas orillas del río; algunos registros fotográficos y estudios anteriores ya reportaban la presencia de este antiguo canal, mostrando un desplazamiento del canal activo del río hacia el oeste, pero no encontrándose u observándose registros o evidencias de que este desplazamiento haya sido progresivo. A partir de los 6.50 m y hasta el final del sondeo se encontraron sedimentos tipo limos arcillosos de baja compresibilidad, con trazas de color azulosos, consistencia blanda y contenidos de arenas finas entre 10 y 20%, siendo su resistencia a la penetración menor a 10 golpes/pie; esta capa es consistente con la detectada en la zona de La Victoria, la cual corresponde al “basamento” o conformación de la planicie aluvial del río Cauca para la zona norte de su valle alto geográfico.

**Ilustración 58 Ubicación del sondeo SP-21**

El sondeo SP-22 se localizó sobre la margen derecha del río Cauca, antes de la confluencia del río La Vieja, en una zona expuesta a desbordamientos periódicos recientes de ambos ríos (ver Ilustración 59). El primer metro del sondeo está constituido por sedimentos de tipo arcilloso, con variación del color desde gris oscuro hasta amarilloso, con bandeamientos rizados, producto de dinámicas locales, con abundante material vegetal con bajo grado de descomposición, predominantemente raicillas, y oquedades producidas a partir de emanación de gases o de descomposición de organismos faunísticos; el ambiente es típicamente lacustre, de baja energía, donde las fuentes de sedimentos se alternan entre el río Cauca, con aporte de sedimentos amarillosos, y el río La Vieja, con aportes de sedimentos más oscuros; los sedimentos en algunos niveles se presentan inter-digitados, evidenciando la ocurrencia simultánea de desbordamientos de los dos ríos; la presencia de materia orgánica con poco grado de descomposición, así como la poca potencia de la capa, son indicadores del estado “juvenil” de este depósito, corroborado por una resistencia a la penetración no mayor de 3 golpes/pie, típico de una capa con muy bajo grado de consolidación. Entre 1.0 m y 1.20 m de profundidad se detectó la presencia de una capa de textura arenosa, con tamaño de grano fino, con alto contenido de micas y materia orgánica con poca descomposición, presencia de estructuras sedimentarias cruzadas, con presencia de finas capas de arcillas grises; representa periodos de desbordamiento del río, con energía moderadas, típicas de las zonas laterales del canal activo del río. Entre 1.2 m y 3.5 m de profundidad se registró la presencia de una capa con similares características a la primera ya descrita, ala cual corresponde a ambientes de depositación de iguales condiciones a los descritos para esa capa. Entre los 3.5 m y 5.0 m de profundidad se registra nuevamente la presencia de una capa arenosa, representativa de una dinámica con energía moderada, que prevalece hacia las zonas marginales del canal activo del río. Desde los 5.0 m y hasta el final del sondeo se registró nuevamente la presencia arcillas y limos arcillosos, color café alta compresibilidad y contenidos de arenas finas entre 3 y 10%. El registro obtenido a partir de este sondeo es típico de áreas sujetas a crecientes y desbordamientos periódicos, intercalados con épocas de sedimentación en ambientes de tipo lacustre, representativos de zonas de confluencia de ríos con pendiente baja y alto aporte de sedimentos.

**Ilustración 59 Ubicación del sondeo SP-22**

Las investigaciones directas realizadas durante el desarrollo del presente estudio muestran entre otros los siguientes resultados:

- Los materiales que conforman las capas más profundas bajo el lecho del río, hasta antes de la Laguna de Sonso, son predominantemente de tipo gravas, de alta resistencia a la penetración, determinando “controles litológicos” a profundidades no mayores a 3.0 m en relación con el fondo de éste. En el sector de la Laguna de Sonso y hasta las inmediaciones de la desembocadura del río Tuluá, predominan los sedimentos más finos, tipo limos arenosos, sobre las capas más profundas del lecho del río, con registro de sedimentos tipo arcillas hasta el río Guadalajara, lo cual sugiere que en épocas anteriores la zona donde en la actualidad se ubica el canal activo del río, estuvo conformada por ambientes lacustres, donde el río divagaba continuamente, en cierta forma tomando un patrón anastomosado. A partir del río Tuluá y hacia el norte del valle, el “sustrato” del río está conformado por sedimentos tipo limos arenosos, con un grado de consolidación entre moderado y alto.
- Podría señalarse que de acuerdo con las investigaciones efectuadas del subsuelo que conforma el lecho del río Cauca, en general, éste presenta buena resistencia a los procesos de socavación de fondo, a menos que se alteren o intervengan de manera significativa las condiciones hidráulicas y morfológicas del canal activo, a partir del cual comienzan a desarrollarse importantes procesos que alteran la geometría de su lecho, lateral y longitudinal, la pendiente, que se reflejan en superficie en la pérdida de orillas y márgenes, así como en la aceleración de los procesos de cortes de meandros como consecuencia de las variaciones de la pendiente del río; los procesos remontantes, con vectores ortogonales entre sí, son significativos e importantes a lo largo de zonas donde la intervención antrópica ha sido continua y acelerada.
- La terrazas naturales que han “emergido” como resultado de los procesos de socavación del lecho del río Cauca y que constituyen la mayor parte de la planicie de su valle alto geográfico, tienen una composición predominante de sedimentos tipo limos arenosos, de variada resistencia, los cuales muestran evidencias de sobre-

consolidación externa y disminución en la humedad natural, formando en algunos casos costras o concreciones de masas de suelos, de extrema dureza y ausencia total de elementos orgánicos, materia indispensable en un suelo fértil.

- Las investigaciones de las madrevejas con diferentes grados de intervención antrópica muestran, en general, que el ambiente lacustre formado después del corte de los meandros tiene una potencia que oscila entre 1.5 m y 2.50 m, poco espesor, indicativos de formaciones “recientes”, pero con un muy alto grado de intervención antrópica. Los rellenos superficiales están conformados por sedimentos tipo limos arenosos a arenas finas, proveniente en parte, poca por demás, de desbordes del río Cauca o afluentes, así como del transporte de sedimentos por acción de aguas de escorrentía; sin embargo el mayor volumen de materiales ubicados sobre la parte alta del perfil de suelos para estas áreas, corresponde a una combinación entre material vegetal con poco grado de descomposición y arenas finas, capa típica de rellenos antrópicos en donde existe abundante material vegetal.
- Los registros de las capas más superficiales de las zona de madrevejas, muestran en algunos casos la presencia de elementos contaminantes, evidenciados por la presencia de capas que representan ambientes reductores y oxidantes, así como de emanaciones de gases, restos de organismos faunísticos, probablemente afectados por los diferentes elementos nocivos que transporta el río Cauca, su afluentes o que son transportados por las aguas de escorrentía. Algunas muestras con olores muy fuertes, pueden estar asociados con la presencia de compuestos fosforados o con altos contenidos de azufre.
- Indudablemente en la zona comprendida entre Puerto Molina y Juan Díaz, sí se ubica un cauce antiguo del río Cauca, evidenciado por la presencia de arcillas típicas de ambientes lacustres posteriores al corte del río y por la evidencia morfológica de campo consistente en la presencia de bacines longitudinales de poca profundidad, con taludes suavizados por la acción de la intervención natural y antrópica.

Consideramos que las investigaciones del subsuelo que se realicen sobre el valle geográfico del río Cauca y sus afluentes, no sólo deben orientarse a la obtención de parámetros geomecánicos de las diferentes capas que lo conforman, sino que a su vez debe aprovecharse la información intrínseca que se registra en este tipo de investigaciones para obtener un mayor conocimiento que permita desarrollar un modelo más claro y definido de la evolución del valle, no sólo en el aspectos morfo-hidráulicos, sino en las condiciones ambientales presentes para una época específica del desarrollo y evolución del entorno regional.

La importancia en los datos y resultados obtenidos serán tenidos en cuenta como una variable de suma importancia para la definición y valorización de las condiciones integrales y la calidad morfológica del corredor del río Cauca.

## **5 MORFODINÁMICA DEL RÍO**

Varios son los factores o variables asociadas con la actividad dinámica de un canal activo y su zona de influencia directa, como son sus márgenes; en mayor o menor medida, han sido los elementos o parámetros que han modelado la forma del canal, su evolución y la respuesta de éste ante la ocurrencia de los diferentes procesos endógenos y exógenos que están intrínsecamente relacionados con su desarrollo morfo-dinámico.

Variables tales como la pendiente del río (local o regional) y la sinuosidad, combinado con las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de un sector en particular, desarrollan respuestas de comportamiento diferentes, en aspectos tales como la movilidad lateral y vertical y la relación ancho-profundidad, las cuales tienen tasas de avance relacionadas directamente con el grado de intervención antrópica del sector.

Bajo la perspectiva de obtener resultados o caracterizaciones homogéneas a lo largo del cauce del río Cauca, basados en la conjugación de parámetros morfológicos e hidráulicos, se identificaron varias de las variables hidráulicas del río a lo largo de su zona de estudio, obteniendo a su vez la valoración e identificación de las consecuencias que sobre el canal y zona de influencia directa de este, ha tenido la conjugación de estas variables, las cuales se han traducido en cambios en la configuración geométrica lateral y longitudinal tanto del cauce, como de las márgenes que confinan el canal.

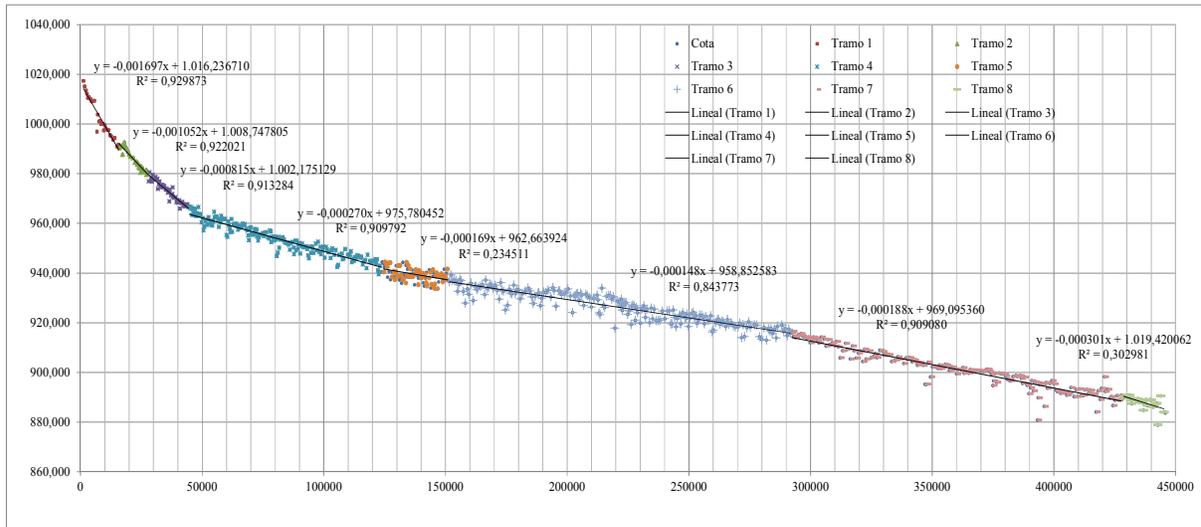
Se presentan a continuación los resultados de los análisis efectuados, los cuales se obtuvieron con base en los trabajos topo-batimétricos realizados en el año 2012 a partir del levantamiento de 751 secciones transversales, las cuales no tuvieron referenciación planimétrica detallada; los datos obtenidos se compararon con los resultados a partir de los trabajos elaborado en el año 2000 en desarrollo del Proyecto de Modelación del río Cauca realizado por la Universidad del Valle y la CVC. Los registros de las tasas de movilidad lateral se obtuvieron a partir de procesos de foto-interpretación detallada de épocas diferentes, cuya metodología de medición y referenciación fue descrita en un capítulo anterior (ver Grupo de Planos B).

### **5.1 PENDIENTE DEL RÍO**

Una de las principales variables que deben identificarse para el desarrollo de un estudio de esta naturaleza corresponde a la pendiente longitudinal del río o canal, siendo la base sobre la que éste se sustenta y en donde las alteraciones, ya sean de poca magnitud, resultan en variaciones significativas para el conjunto de parámetros intrínsecos de éste y las zonas directamente relacionadas, como en nuestro caso las márgenes del río Cauca.

De acuerdo con los datos obtenidos a partir de los levantamientos topo-batimétricos, la pendiente del río Cauca a lo largo del corredor comprendido entre Salvajina y La Virginia presenta ocho tramos homogéneos, los cuales se pueden observar en la Ilustración 60.

**Ilustración 60 Expresiones polinómicas de la pendiente del río Cauca**



Se determinó la pendiente de cada tramo característico por el método de los mínimos cuadrados, con regresión lineal, considerando como puntos del perfil aquellos que corresponden a los puntos del thalweg, es decir, los puntos más profundos del cauce.

Las pendientes obtenidas a partir de las polinómicas que representan la pendiente media de cada tramo fueron ajustadas con base en las pendientes locales, obteniéndose los valores de la pendiente para cada tramo en particular, los cuales se presentan en la Tabla 14.

**Tabla 14 Pendiente media del río Cauca a lo largo de la zona de estudio**

SECTOR	ABSCISA	PENDIENTE
1	k0+000-k17+00	0.182%
2	k17+000-k29+000	0.111%
3	k29+000-k50+000	0.062%
4	k50+000-k125+000	0.028%
5	k125+000-k150+000	0.028%
6	k150+000-k290+000	0.015%
7	k290+000-k430+000	0.019%
8	k430+000-k448+000	0.036%

Para el tramo 1 la dispersión de los datos es baja, indicando una pendiente muy homogénea a lo largo del sector y con pocos “resaltos” en la configuración geométrica de la sección transversal; esta situación está directamente relacionada con la presencia de controles litológicos constituidos por rocas sedimentarias, areniscas y lodolitas de la Formación Guachinte, de buena resistencia a los procesos de socavación lateral y de fondo; existe un fuerte control estructural, representado tanto por la presencia de sistemas de fallas regionales como por la estratificación de las rocas sedimentarias de la Formación

Guachinte, las cuales en general en el sector presentan una orientación NS, controlando el cauce del río, el cual presenta una orientación similar; el patrón de los drenajes secundarios o afluentes del río en este tramo es típico rectangular, con pendientes hidráulicas muy altas y controlados por sistemas de discontinuidades de las rocas sedimentarias. Es el tramo, a nivel de promedio regional, que presenta mayor pendiente longitudinal.

En el caso del tramo 2, la pendiente presenta una variación importante, con dispersión de la información muy baja, concentrándose alrededor la polinómica lineal que representa la pendiente, signo muy evidente de poca alteración en el nivel del fondo del río, así como de poca presencia de cambios bruscos en el lecho de éste; al igual que en el tramo anterior, hay presencia de rocas sedimentarias terciarias así como de algunas formaciones de edad más recientes, que confinan tanto las márgenes del río como su fondo, ejerciendo un adecuado control sobre la geometría del canal.

En el tramo 3, sector comprendido entre los ríos Timba y Quinamayó, la dispersión de los datos es mayor que en los casos anteriores, siendo en general moderada, con estimado de seis puntos por fuera de la media que representa la expresión polinómica, estando asociados con fosas locales producto de alteraciones ocurridas a partir de cortes de meandros. Vale la pena resaltar que en este tramo el río cambia su orientación de NS a NNE, con tramos en dirección WE, y en algunos casos con orientación norte-sur; el sector presenta una alta afectación estructural debido a la presencia de sistemas de fallas regionales que se conjugan en la zona y se ramifican hacia el norte. Se registran controles litológicos puntuales y aislados, predominando suelos transportados de pobres condiciones geomecánicas.

Para el caso del sector 4, la dispersión de la información es alta en cuanto al número de datos fuera de la media representada por la polinómica de este sector, así como en el valor de su dispersión. Las variaciones en la pendiente del río están muy relacionadas con la presencia de un importante número de extracciones de materiales de arrastre, las cuales alteran significativamente la geometría del fondo del río, en especial en periodos prolongados de bajas precipitaciones regionales.

El tramo 5 muestra una alta dispersión de la información, representada por presencia de picos y valles, alternando de forma irregular, con valles profundos asociados con la presencia de extracciones mineras y pico altos en las cercanías de las desembocadura de ríos de importancia regional, que alteran la pendiente del río, “elevando” el fondo del río y conformando la sinuosidad irregular observada, debido a que tanto las extracción de materiales como las confluencia de ríos no se presentan de forma cíclica o regular en el tramo. Este sector se ubica desde la confluencia del río Desbaratado, al sur, hasta la desembocadura del río Cali, al norte. Hay presencia de varios controles litológicos, representados por material sedimentario clasificado como arcosa lítica, parcialmente alterada, dureza media y resistencia moderada a los procesos de socavación.

En el caso del tramo 6, comprendido entre la confluencia del río Arroyohondo hasta aguas arriba de la desembocadura del río Tuluá, corresponde al sector que registró la menor pendiente regional de acuerdo con el promedio obtenido mediante la polinómica definida para éste. Se observa una muy alta dispersión en los datos, mostrando los valores más extremos del perfil longitudinal del río, con picos y valles pronunciados, de forma regular o

cíclica, con “levantamiento” importante del fondo del río y fosas profundas asociadas con la presencia de ríos de suma importancia para la red hídrica del río Cauca, tales como Yumbo, Nima, Amaime, Cerritos, Guabas, Guadalajara, Mediacanoa y Riofrío, principalmente; las expresiones morfológicas sobre el lecho del río Cauca cerca de la desembocadura de los ríos principales están definida por variaciones importantes en el fondo del río que alteran sustancialmente la pendiente de éste, mostrando a nivel local pendientes tanto positivas como negativas, formando fosas de amplia longitud y profundidad, en donde se generan cambios en la cinética de éste, favoreciendo la formación de vórtices y como resultado el desarrollo de procesos de erosión lateral y longitudinal remontante. Pendientes contrarias y continuas, formando ángulos muy agudos, pueden favorecer el desarrollo de este tipo de socavaciones. Es un tramo que se caracteriza por presentar fuertes controles estructurales y ausencia de ríos de importancia sobre la margen izquierda, estando ubicados los mayores afluentes sobre la margen derecha, con presencia de importantes cuerpos de aguas y pocos controles litológicos.

En el tramo 7 la pendiente aumenta levemente, presentando una alta dispersión de los datos, representada por la presencia de fosas profundas ubicada de forma irregular, mostrando dos fosas muy profundas, de las más profundas detectadas a lo largo de la zona de estudio, ubicadas la primera a la altura de la abscisa k393+500, con promedio de 10 m de profundidad, y la segunda sobre la abscisa k397+000, con profundidad máxima de 9.0 m, ambas a la altura del municipio de Obando, en un sector muy sinuoso localmente y en donde se ha detectado la presencia de sistemas estructurales regionales en dirección NNW a EW (ambos sitios corresponden a curvas donde no hay controles litológicos y cuya profundidad o nivel del thalweg, es inversamente proporcional a sus radios, en estos dos casos de valores muy pequeños). En la zona se detectó, sobre la margen derecha, la presencia de paleo-cauces del río Cauca que registran en la actualidad una muy alta intervención antrópica, que ha enmascarado la casi totalidad de los rasgos morfológicos de éstos.

Finalmente, el tramo 8 registra un aumento de la pendiente, con alta dispersión de los datos, mostrando un valle profundo a la altura de la abscisa k444+000 y otro en el sector de La Virginia; se nota un pico importante, asociado con “levantamiento” del fondo del río, a la altura de la abscisa k446+750, antes de caer nuevamente a lo que se puede denominar como la fosa de La Virginia.

Desde el punto de vista regional, la pendiente del río Cauca se puede definir en los tramos homogéneos antes descritos; sin embargo, localmente la variación en la pendiente es muy significativa, con la presencia casi que constante de valles y picos pronunciados, asociados con actividades naturales pero principalmente con el grado de intervención antrópica que ha afectado el río durante su evolución histórica. La parte alta de la zona de estudio se ha visto afectada por los procesos de descarga de la represa de Salvajina, alterando de forma continua el lecho y márgenes del río, afectando la pendiente de éste, en un tramo de por sí sensible, desde el punto de vista morfológico, estructural, hidráulico y geotécnico; el alto grado de deterioro que presentan las cuencas de los afluentes del río Cauca, junto con las intervenciones que se han desarrollado casi que en forma total, tanto en los caudales de estos afluentes como en su entorno físico y ambiental en la parte plana del valle geográfico del río, son, entre otros, los factores que han contribuido con las alteraciones significativas

en la pendiente del río, sin contar con la presencia de puntos de extracción de materiales de arrastre, que en algunos casos emplean técnicas poco recomendables en cuanto a tipo y volúmenes de materiales extraídos.

Vale la pena resaltar que los cambios más marcados en la pendiente del río, en sus puntos de quiebre, parecen estar asociados con la presencia de sistemas estructurales regionales, como los que se definieron en su momento en un capítulo anterior, notándose, a su vez, algún tipo de asociación con los sectores en donde se reconocieron las fosas de mayor profundidad en el lecho del río Cauca.

## **5.2 SINUOSIDAD**

La sinuosidad del cauce del río Cauca corresponde a otra de las variables intrínsecas de éste, la cual está directamente asociada con la pendiente longitudinal de este, las condiciones litológicas y geomorfológicas de un tramo específico, la calidad de los materiales que conforman el canal y la zona aledaña y, principalmente, como se describió en un capítulo anterior, muy relacionada con la presencia de sistemas estructurales regionales y locales, que ejercen una influencia directa como resultado de los esfuerzos compresivos y distensivos a los que está sometido el curso del río durante sus diferentes etapas evolutivas.

A su vez, la sinuosidad del río ha sido uno de los factores determinantes en la conformación y modelación del paisaje que se observa en la actualidad a lo largo de valle geográfico del río Cauca, ya que en varios sectores se han producido cortes de meandros con radios que varían entre decenas de metros hasta centenares de metros, configurando en superficie hábitats físicos y ecológicos propios, que desafortunadamente se han perdido en el tiempo como consecuencia de la alta intervención antrópica que se ha desarrollado en estas áreas.

Los cortes asociados con tramos de alta sinuosidad del río generan, a su vez, alteraciones sobre la pendiente del río, como se describió en el numeral anterior, que a su vez se asocian con deterioros, tanto en el lecho del río como sobre sus márgenes, como resultados de los procesos de erosión remontante lateral y longitudinal.

En definitiva, la valoración de la sinuosidad dentro de la evolución de las condiciones morfo-hidráulicas del río Cauca, representa un parámetro de suma importancia a tener en cuenta en la etapa de conocimiento y estudio de éste. Los valores obtenidos a partir de la evaluación de las características morfométricas del cauce del río se pueden observar en la Tabla 15.

**Tabla 15: Sinuosidad por tramos homogéneos.**

SECTOR	ABSCISA	SINUOSIDAD
1	k0+000-k17+00	1.22
2	k17+000-k29+000	1.55
3	k29+000-k50+000	2.27
4	k50+000-k125+000	3.09
5	k125+000-k150+000	1.25
6	k150+000-k290+000	1.90
7	k290+000-k430+000	1.69
8	k430+000-k448+000	1.59

Valores muy altos en la sinuosidad del cauce del río Cauca se observan para los tramos 3 y 4, comprendidos entre las abscisas k29+000, aguas abajo del río Timba, y k125+000, sector aledaño a la desembocadura del río Desbaratado, sector que se caracteriza por presentar importantes alteraciones morfológicas así como la presencia de sistemas estructurales regionales, algunos con actividad sísmica reciente. Uno de los aspectos más importantes es la presencia sobre la margen izquierda del río Cauca de meandros abandonados originados a partir de cortes o capturas de estos, en donde se desarrollaron entornos biogeográficos con característica especiales, de los cuales quedan muy pocos debido a la alta intervención antrópica, de la agroindustria, de la zona plana; la intervención ha incluido la pérdida y ocupación, casi que total, de drenajes menores, que permitían una conexión directa entre el río Cauca, sus afluentes y sus acuíferos, afectando las condiciones de humedad natural de los suelos.

Los sectores identificados como de alta a muy alta sinuosidad se presentan asociados con los rasgos estructurales y lineamientos de orientación NNW y EW, descritos anteriormente, así como sistemas de fallas regionales de dirección predominante NNE, que en conjunto pueden haber determinado la alta sinuosidad de éstos, como resultado de esfuerzos compresivos ocurridos entre los bloques de los escalonamientos tectónicos identificados.

Para el caso del sector comprendido entre las abscisas k150+000 y k430+000, en donde la sinuosidad media es de 1.8, alta, los reconocimientos de campo permitieron identificar fuertes controles litológicos y estructurales; en el caso de la margen izquierda del río Cauca, los controles litológicos están definidos por la presencia de rocas de la Formación Volcánica, las cuales a su vez se presentan afectadas por sistemas de discontinuidades muy marcadas y desarrolladas, con gran persistencia o continuidad y de moderada a baja densidad, presentándose los dos sistemas principales en forma cuasi-ortogonal, que son las encargadas del desarrollo de gran parte de la sinuosidad del río en este tramo (véase controles litológicos Rx3); el macizo conformado por estas rocas presenta un relieve muy marcado en superficie, pero con evidencias de presencia de cerros o colinas aisladas, parcialmente enterradas bajo los sedimentos del cuaternario, que conformarían fosas en

donde la prolongación de sus laderas demarcarían y controlarían el curso del río, muy recostado en este tramo sobre el piedemonte de la vertiente oriental de la cordillera Occidental; es representativa la presencia de cuerpos de aguas, lagunas, antiguos chircales o cauces abandonadas, ubicados entre la orilla izquierda del río Cauca y el piedemonte de la cordillera, cuya existencia puede estar asociada a la presencia de las condiciones litológicas y estructurales antes descritas, así como de la actividad tectónica asociada con la presencia de fallamientos de tipo regional. Para el caso de la margen derecha, los controles en este tramo están directamente relacionados con la presencia de litologías más recientes, como con las Formaciones La Paila y Zarzal, que a su vez presentan afectaciones estructurales, que en parte ha definido la sinuosidad del tramo, observándose el desarrollo de geoformas de tipo “ganchos estructurales” asociados con presencia de controles litológicos, que estrechan significativamente el cauce antes de desarrollar una muy alta sinuosidad local para un tramo en particular; más adelante se tratará con algún grado de detalle estas geoformas, que se presentan asociadas con los lineamientos de orientación NNW a EW, observados e identificados en varios sectores del río Cauca.

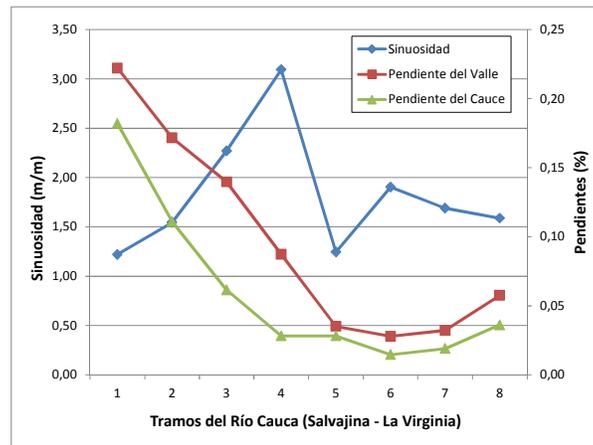
### 5.3 PENDIENTE DEL VALLE-PENDIENTE DEL CAUCE

La relación entre la pendiente del valle y la pendiente del cauce corresponde a un parámetro que indica el grado de asociación de las dos variables, mostrando las condiciones del nivel base de una mega-cuenca como la del río Cauca en la zona de estudio y la de sus afluentes, pudiendo definir el gradiente entre ellos, así su potencial de socavación de fondo y lateral, tanto del medio emisor como del medio receptor. En los sectores en donde la relación de las pendientes es alta, es común observar en las áreas más cercanas a la desembocadura de ríos principales la formación de “fosas” de diferentes profundidades, con “levantamientos” del fondo del río aguas abajo de estas áreas. Por el contrario, en áreas en donde la diferencia de pendientes es baja, predomina el proceso de sedimentación o colmatación, debido a las bajas energías cinéticas de sus afluentes, siendo susceptibles a ser afectadas por procesos de desbordes del río Cauca en épocas de altas precipitaciones.

La Tabla 16 muestra los datos obtenidos para la pendiente del cauce del río Cauca,  $P_c$ , y la del valle geográfico de éste,  $P_v$ , y la relación  $P_v/P_c$ ; la Ilustración 61, a su vez, muestra la disposición gráfica de los datos, cuyos resultados principales se comentan a continuación.

**Tabla 16: Tramos del río Cauca y el valor de las pendientes del cauce y del valle geográfico.**

SECTOR	ABSCISA	Pvalle,%	P cauce	Pv/Pc
1	k0+000-k17+00	0,220	0.182%	1,20
2	k17+000-k29+000	0,172	0.111%	1,54
3	k29+000-k50+000	0,140	0.062%	2,33
4	k50+000-k125+000	0,087	0.028%	3,1
5	k125+000-k150+000	0,035	0.028%	1,25
6	k150+000-k290+000	0,028	0.015%	1,86
7	k290+000-k430+000	0,032	0.019%	1,6
8	k430+000-k448+000	0,058	0.036%	1,61

**Ilustración 61: Graficas de pendiente del cauce del río vs pendiente del valle geográfico.**

Algunas observaciones en relación con la información obtenida a partir de los datos evaluados son las siguientes:

- Para el caso del tramo 1, la relación encontrada entre las pendientes es 1.20 (el menor valor obtenido a lo largo de la zona de estudio), típico de un sector en equilibrio, con fuerte control litológico y estructural y en donde los procesos de socavación lateral y de fondo son de poca magnitud. Si bien las pendientes pueden considerarse altas para el cauce del río Cauca, las dos presentan pendientes muy similares con diferencias que no superan el 20% del valor medio.
- Para el tramo 2, comprendido entre el Puente de San Francisco y la desembocadura del río Timba, si bien la relación de pendientes aumenta hasta alcanzar un valor de 1.54, el cauce aún presenta un equilibrio aceptable, debido a la presencia de controles litológicos y estructurales, que confinan el canal, desarrollando una morfología muy paralela entre la pendiente de éste y la pendiente del valle geográfico; este valor sugiere un ambiente de transición entre condiciones montañosas localizadas hacia la parte alta del tramo y condiciones morfológicas planas, típicas de planicies aluviales extensas, modeladas hacia la parte baja del sector.
- Los datos obtenidos para los tramos 3 y 4 corresponden a los valores más altos de toda la zona de estudio; la relación  $P_v/P_c$  oscila desde 1.6, al inicio del tramo 3, hasta 2.33 al final de éste y alcanzando un máximo de 3.1 en el tramo 4 a la altura del río Palo, en donde se detectó una fosa profunda, posiblemente asociada con el desequilibrio que se presenta entre las dos pendientes. A lo largo de este sector, el río Cauca y su zona de influencia directa presentan unas condiciones morfológicas especiales, en donde la sinuosidad es muy alta, los suelos son de moderadas a pobres condiciones geomecánicas, se presentan varios cortes de meandros que han desarrollado geoformas biogeográficas asociadas con la presencia de antiguos cauces. El curso del río es muy variable, con orientaciones que no obedecen a un patrón regular, observándose que en algunos tramos alcanza orientaciones en sentido norte-sur, atípico de las condiciones hidráulicas y morfológicas del cauce y

del valle geográfico. Hay presencia de sistemas de fallas regionales en dirección NNE y los sistemas ortogonales a los anteriores, que pueden haber desarrollado esfuerzos tectónicos de tipo compresivo, que han afectado tanto el curso del río en sí, como la pendiente del valle geográfico, mostrando un desequilibrio el cual se ve reflejado en la dinámica, la morfología y la hidráulica, no sólo del canal receptor, sino de los canales afluentes de éste ubicados sobre terrenos con pendientes ortogonales a esos, mayores que la del cauce del río principal. Las mismas características observadas a lo largo de estos dos tramos, muestran un cauce y áreas aledañas en desequilibrio dinámico y morfológico, por lo que los cortes de amplios meandros continuarán a lo largo del tiempo. Vale la pena resaltar que el corte más reciente localizado en el sector de Tablanca se ubica a la altura de la abscisa k37+000, punto en donde comienza a aumentar el valor de la relación  $P_v/P_c$ , hasta alcanzar un máximo hacia el sector de la desembocadura del río Desbaratado, k124+000. Otro rasgo que se mencionó anteriormente y que está directamente relacionado con valores altos de  $P_v/P_c$ , corresponde a la presencia de fosas de profundidades variables en los sectores inmediatos a la desembocadura de ríos principales, así como en los sectores donde han ocurrido los corte de meandros, muy probablemente por el efecto de la energía potencial acumulada a partir de la diferencia de la pendiente del valle y del cauce para el primer caso y como resultado de la profundización que se genera sobre el nuevo curso del río después de un corte para el segundo caso; son representativos los siguientes sectores: i) entre las abscisas k34+000 y k38+000 (madreviejas La Guinea y Tablanca), con desarrollo de fosas de más de 10 m de profundidad; y, ii) el sector de la desembocadura del río Palo, con alteraciones en el fondo del río que alcanzan simas de más de 7.0 m de profundidad. El corte de Tablanca, que se presentó en el sitio de mayor diferencia entre la pendiente del valle con la pendiente del cauce, nos indica que el río Cauca iniciará más procesos de movimiento lateral para disminuir la pendiente de su cauce, la cual con el corte se aumentó (al disminuir la sinuosidad).

- En el tramo 5, comprendido entre las abscisas k125+000 y k150+000, río Desbaratado-río Arroyohondo, el valor de la relación  $P_v/P_c$  es muy bajo, 1.25, observándose que las dos curvas se presentan cuasi-paralelas entre sí, con pendientes muy similares, siendo la del valle geográfico levemente superior; el valor obtenido para este tramo podría ser anómalo, si se tiene en cuenta que la media general de la relación  $P_v/P_c$  es superior a 1.8 para tramos de similares características morfológicas y de suelos; la anterior consideración se reafirma si se observa que el tramo siguiente nuevamente alcanza valores superiores a 1.8, siguiendo la tendencia general de la relación; es llamativa también la baja pendiente tanto del cauce como del valle, siendo la diferencia entre estas dos no mayor a 0.007%, en un tramo caracterizado por presentar una sinuosidad baja; aparte de lo anterior, es notoria la presencia de antiguos cuerpos de aguas sobre la margen izquierda del río Cauca, gran parte de los cuales presentan una completa intervención, algunos con desarrollo urbanísticos en donde se ha construido gran parte de la ciudad de Cali. Todos estos factores, conjugados con las características morfo-tectónicas descritas en un capítulo anterior, sustenta la idea de que este tramo fue afectado por un importante fallamiento regional de tipo distensivo que desplazó el curso del río Cauca hacia el oriente, no dejando evidencias o huellas de un

desplazamiento o migración progresiva de éste. Es un sector muy interesante desde el punto de vista morfo-tectónico e hidráulico y que cualquier alteración en dichas condiciones puede llegar a afectar la seguridad de las personas e infraestructura localizada al oriente de la ciudad de Cali. Los quiebres de pendiente del valle, tanto en su parte norte como en el sur, son coincidentes con la presencia de lineamientos estructurales regionales: al norte con el lineamiento Nima-Arroyohondo y al sur con el lineamiento Desbaratado-Pance-Meléndez.

- Para los tramos finales, 6, 7 y 8, y después de alcanzar mínimos en las pendientes del valle y del cauce, la relación tiende a llegar al valor promedio de 1,8, característico de cauces de estabilidad aceptable, con moderado control litológico y poco control estructural.

Indudablemente, la relación  $P_v/P_c$  es un dato importante que debe tenerse en cuenta para cualquier análisis que involucre la determinación del grado de estabilidad de un cauce o canal, ya que representa e involucra parámetros tan poco tangibles o medibles, como la presencia o probable presencia de sistemas estructurales asociados con la morfo-hidráulica del río, mostrando intrínsecamente valores asociados con las energías potenciales y cinéticas presentes como motor de la dinámica del río y sus afluentes. Si bien los resultados pueden asimilarse como de igual significación a los obtenidos para la sinuosidad del cauce, esta relación, más que determinar la relación entre las distancias horizontales del valle y del cauce, tiene en cuenta e involucra, además, el factor diferencia de niveles, el cual está incluido dentro de la definición de la pendiente, tanto del valle geográfico como del cauce del río Cauca, dando una connotación más integral entre las longitudes horizontales y la diferencias en elevaciones para un sector en particular, corrigiendo, si se quiere, el valor de la sinuosidad, al incluir la diferencia de niveles del sector. La Tabla 17 muestra los datos comparativos entre la sinuosidad obtenida a partir de la definición directa y la relación  $P_v/P_c$ , asimilable a la sinuosidad con un factor de corrección por diferencia de niveles.

**Tabla 17: Relación sinuosidad- $P_v/P_c$ .**

SECTOR	ABSCISA	Pvalle,%	P cauce	$P_v/P_c$	SINUOSIDAD
1	k0+000-k17+00	0,220	0.182%	1,20	1,22
2	k17+000-k29+000	0,172	0.111%	1,54	1,55
3	k29+000-k50+000	0,140	0.062%	2,33	2,27
4	k50+000-k125+000	0,087	0.028%	3,1	3,09
5	k125+000-k150+000	0,035	0.028%	1,25	1,25
6	k150+000-k290+000	0,028	0.015%	1,86	1,9
7	k290+000-k430+000	0,032	0.019%	1,60	1,69
8	k430+000-k448+000	0,058	0.036%	1,61	1,59

## **5.4 MOVILIDAD LATERAL**

Uno de los parámetros que más se evalúa durante el desarrollo de proyectos que involucran la evolución de la dinámica de un canal o cauce corresponde a la movilidad lateral o migraciones o desplazamiento de las orillas de éste, influenciado y definido tanto por factores internos como por factores externos, incluida la actividad antrópica como parámetro de más impacto sobre la estabilidad del cauce.

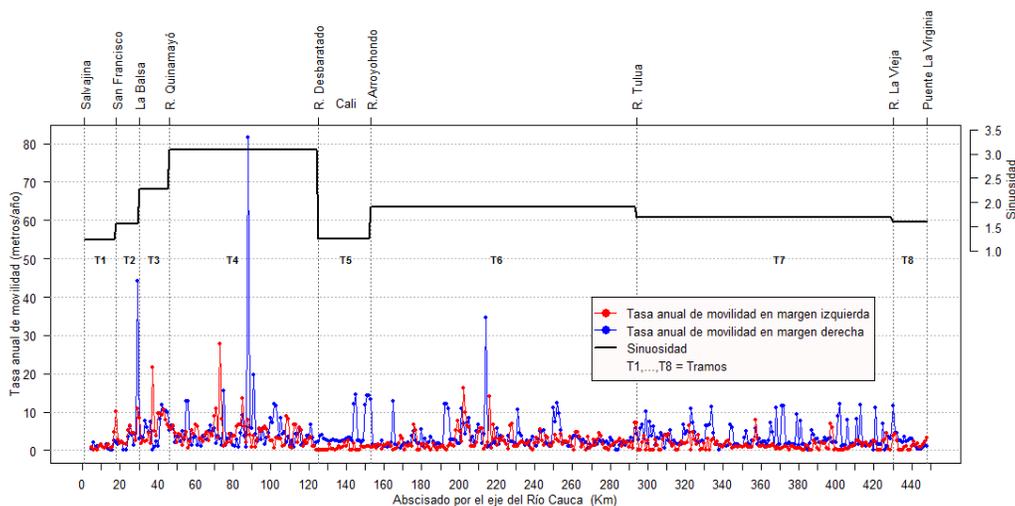
Este factor es de fácil reconocimiento ya que está asociado con sectores a lo largo de las orillas del canal, sometidos a procesos de socavación lateral de variada intensidad, en donde las huellas de dicho desarrollo son claras, medibles y, sobre todo, con graves implicaciones sobre las condiciones socio-económicas de una región, debido a la pérdida continua de franjas de terrenos, en algunos casos con tasas anuales muy altas.

Muchos factores se han señalado como los directamente causantes de los procesos de socavación lateral, pero como hemos venido analizando a lo largo del presente documento, son muchas las variables endógenas y exógenas que intervienen en la evolución de estos, algunas de las cuales son poco detectables debido a la magnitud del parámetro, elementos morfo-tectónicos, los cuales se reflejan, paradójicamente, en signos poco detectables para el ojo humano, pero de mucha persistencia a través del tiempo geológico e histórico más reciente.

La base para la determinación de la tasa de movilidad de un tramo específico correspondió a los levantamientos topo-batimétricos realizados en el año 2012 por parte de la CVC, los cuales fueron empleados como punto de referencia para la determinación de la evolución de los movimientos de migración lateral de las dos orillas; en total se registraron 751 secciones topo-batimétricas. Una vez definida la base de geo-referenciación, se procedió a los trabajos de fotointerpretación multi-temporal, sobre los cuales se definió la posición de cada margen para periodos de tiempo de 55, 46, 35 y 5 años, sobre los cuales se determinó la tasa de evolución lateral de las márgenes del río Cauca a lo largo de la zona de estudio. La unidad de medida empleada para la movilidad correspondió a metros/año, que es la que más se ajusta a las condiciones observadas. Hay que resaltar que los valores indicados corresponden a los obtenidos a partir de trabajos de fotointerpretación, en donde es necesario se haga una corrección de hasta 15% en la medición registrada, debido a la deformación de la medida con el marcador manual empleado; los valores indicados en la Tablas 18 y 19 corresponden a valores no corregidos, por lo cual se deberá tener en cuenta esta situación al momento de determinar el valor más aproximado de movilidad para un sector específico. La Ilustración 62 muestra gráficamente las curvas de movilidad obtenidas, tanto para la margen derecha como la izquierda, en la cual se ha incluido el gráfico correspondiente a la sinuosidad del cauce del río Cauca, que permitirá tener una visión más integral sobre la evolución de los procesos dinámicos laterales que han afectado el canal del río durante los años con que se cuenta registro histórico a partir de fotos aéreas o levantamientos directos.

El análisis estadístico efectuado para la serie de datos obtenidos para cada margen del cauce se presenta en las Tablas 17 y 18.

**Ilustración 62: Curvas de movilidad lateral margen derecha e izquierda; en la parte alta, curva de sinuosidad.**



**Tabla 18: Resultados estadísticos movilidad margen derecha río Cauca.**

MOVILIDAD MARGEN DERECHA, (m/año)								
Tramo	media	min	P10	P25	P50	P75	P90	max
1	0,9	0,0	0,1	0,4	1,0	1,3	1,9	2,5
2	6,0	0,2	0,3	1,5	2,3	4,1	6,1	44,2
3	5,6	0,0	0,9	2,8	5,3	8,6	10,3	11,9
4	5,4	0,8	1,3	2,2	3,7	5,6	8,6	81,6
5	4,6	2,0	2,3	2,5	2,6	3,4	12,7	14,6
6	3,4	0,0	1,2	1,5	2,2	3,6	7,3	34,6
7	3,5	0,0	1,2	1,5	2,3	4,7	7,6	12,0
8	2,6	0,2	0,4	1,2	2,2	3,0	4,5	11,6
Total	3,9	0,0	1,1	1,5	2,5	4,4	8,2	81,6

**Tabla 19: Resultados estadísticos movilidad margen izquierda río Cauca.**

MOVILIDAD MARGEN IZQUIERDA, (m/año)								
Tramo	media	min	P10	P25	P50	P75	P90	max
1	1,1	0,0	0,1	0,6	0,9	1,1	1,5	4,8
2	4,6	1,5	1,8	2,3	3,6	5,6	9,7	10,9
3	6,7	1,7	2,1	2,5	5,9	9,3	10,1	21,7
4	4,4	0,0	1,2	2,0	3,7	5,8	7,0	27,8
5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0	1,6	2,5
6	2,4	0,0	0,5	1,0	1,6	3,0	5,3	16,4
7	1,5	0,0	0,0	0,4	1,1	2,1	3,1	7,8
8	1,5	0,0	0,0	0,4	1,2	2,4	3,3	4,3
Total	2,5	0,0	0,0	0,8	1,6	3,2	6,0	27,8

A partir de los análisis estadísticos obtenidos, así como de los resultados gráficos y de reconocimientos de campo efectuados durante el desarrollo del estudio, se presentan algunos comentarios en relación con la movilidad lateral.

➤ **TRAMO 1.**

Este tramo, comprendido entre las abscisas K1+199 y K16+036, muestra para la margen izquierda una tasa de movilidad máxima de 4.8 m/año, mientras que para la margen derecha el valor máximo registrado fue de 2.5 m/año. Los dos valores máximos de movilidad encontrados corresponden a la zona ubicada 1 km aguas abajo del puente de San Francisco, en áreas en donde la actividad minera ha sido muy significativa y dejando huellas de socavación y erosión lateral sobre las terrazas que conforman las márgenes del río; es un sector en donde el control litológico y estructural es representativo, confinando el canal activo dentro de rocas de tipo meta-sedimentos, lutitas y filitas, las cuales se presentan levemente plegadas y con desarrollo de foliación en sentido NNE; la presencia de sistemas de fallas regionales y locales es muy significativa, predominando el sistema NNE, que controla el curso del río Cauca en este tramo.

➤ **TRAMO 2.**

Este tramo comprendido entre las abscisas K16+036 y K28+121 presenta una movilidad máxima de 10 m/año para la margen izquierda y de 40 m/año para la margen derecha. El sector más afectado para ambas márgenes se ubica entre la abscisa k26+000, aguas abajo de la desembocadura del río Timba, hasta la abscisa k29+000, en un tramo en donde el río posee una sinuosidad local muy alta y en donde se presentó un corte de meandro, conformando la madreveja La Fortuna, cuyo corte se produjo hace más de 50 años de acuerdo con los registros históricos; este corte redujo la distancia del cauce del río desde 2 Km., en su estado inicial, hasta un poco más de 1 Km., desarrollando un frente de socavación hacia el corte del meandro, que se pudo estimar con promedio de 50 m/año, alterando sustancialmente la pendiente del río en este tramo y favoreciendo los avanzados procesos de socavación lateral en esta área. Aparte de lo anterior, la zona ha tenido una fuerte presión proveniente de la actividad de explotación de materiales de arrastre, que en la zona están representados principalmente por materiales tipo gravas de muy buenas calidades geomecánicas, que son transportadas desde la parte alta y media de la cuenca del río Timba y depositadas en la parte baja, principalmente en la zona de su desembocadura en el río Cauca, formando extensas playas de este material; las extracciones mineras de todo tipo, artesanal y mecanizada, se han ubicado tanto en la zona de playas adyacentes al cauce como en el mismo lecho del río y han contribuido grandemente con los avanzados y críticos procesos de socavación lateral que se desarrollan hacia la parte final de este tramo.

Vale la pena añadir que hacia la parte final de este tramo comienzan a confluir una serie de sistemas estructurales regionales y locales, con disposición ortogonal entre sí, que han modelado el paisaje, entre otras la alteración del curso del río Timba, desde una orientación sur-norte hasta una dirección sur-norte, determinando unas condiciones sensibles en el grado de estabilidad del río Cauca y sus zonas aledañas. Existe también una transición marcada entre el tipo de control litológico en el tramo, pasando de rocas duras pertenecientes a la Formación Guachinte, a rocas de moderada dureza y resistencia de la

Formación Jamundí y de la Formación Popayán, las cuales controlan el curso del río hacia la parte final de este sector.

➤ **TRAMO 3.**

Ubicado entre las abscisas K28+121 y K40+730, corresponde al tramo en donde el río Cauca toma una orientación predominante occidente-orientado, registrando un fuerte control estructural, pero con bajo control litológico.

Para la margen izquierda el valor más alto de la movilidad fue de 12 m/año, con un promedio de 5.50 m/año. El mayor valor sobre la margen izquierda se registró entre las abscisas K36+000 y K38+000, en el sector en donde se presentó el corte denominado Tablanca y que afectó significativamente la morfología local del río, disminuyendo la longitud de su cauce de 4 km a menos de 1.5 Km., con las consecuencias adversas que este tipo de corte generan sobre la morfo-hidráulica del río. Durante la última etapa de la evolución del corte, entre los años 2007 y 2010, se registraron tasas de movilidad del frente erosivo del orden de 70 m/año, alta si se considera una pendiente del cauce baja, pero con una relación  $P_v/P_c$  alta, mayor de 2.3. De acuerdo con la evolución de los registros históricos, el corte de El Avispal, registró una tasa de movilidad en el frente erosivo del orden de 25 m/año para su etapa final.

Para la margen derecha el valor máximo de movilidad registrado fue de 20 m/año, con promedio de 6.7 m/año; la tasa de movilidad más alta registrada se detectó entre las abscisas k40+000 y k42+000, en una tramo con una sinuosidad local muy alta y en donde se han desarrollado varios cortes de meandros, quedando como relictos unidades morfológicas de cauces abandonados, la mayoría de las cuales presentan una muy alta intervención antrópica; para el tramo comprendido entre las abscisas k39+500 y k40+500, desembocadura del río Teta, se detectó una tasa de movilidad del frente erosivo del corte del meandro de 11 m/año.

Los valores registrados, tanto de la tasa de migración de orillas por socavación lateral, como a partir del análisis de los cortes ya desarrollados, indican valores que oscilan entre 12 m/año y 25 m/año. Existen varios tramos en donde la potencialidad de ocurrencia de nuevos cortes a corto y mediano plazo es muy alta si se tiene en cuenta la distancia entre los frentes erosivos y la tasas de movilidad de las orillas registrada para la zona; dentro de estos sectores se encuentran: i) el sector comprendido entre las abscisas k39+500 y k40+500, margen derecha, con potencialidad de corte en un periodo comprendido entre 12 y 30 años, el cual puede reducirse significativamente si el río tiende a retomar uno de sus antiguos cauces; ii) el tramo comprendido entre las abscisas k41+000 y k42+5000, con similares periodos a los del tramo anterior, también con tendencia a disminuir si se tiene en cuenta la presencia de un antiguo cauce sobre la margen derecha, en lo que corresponde a una madre vieja; iii) el sector ubicado entre las abscisas k42+000 y k43+500, margen izquierda, en donde la tendencia a generar la ruptura fluctúa con periodos que oscilan entre 10 y 22 años, con tendencia a la disminución del tiempo de corte debido a la presencia de cauces antiguos sobre el área, en donde potencialmente puede ocurrir el corte, siendo la zona con mayor probabilidad de corte en el corto plazo.

Corresponde a un tramo muy crítico, con un valor en la relación  $P_v/P_c$  alta, con suelos de baja a moderada consolidación, controles litológicos aislados y de moderada dureza y sobre todo con presencia de sistemas estructurales regionales y locales que han sido factor determinante en la evolución de la morfología e hidráulica del río Cauca.

➤ **TRAMO 4.**

Sin lugar a dudas éste se considera el tramo más complejo e inestable de toda la zona evaluada, porque se combinan una serie de factores internos a la evolución misma del cauce del río, junto con factores externos, especialmente alta intervención antrópica, originada a partir de la extracción sistemática y poco controlada de materiales de arrastre.

La relación  $P_v/P_c$  del río Cauca en este tramo es la más alta de las registradas, 3.10, valor que muestra un desequilibrio muy marcado entre la pendiente del valle geográfico y del cauce del río Cauca, tendiendo a generar alteraciones sobre el lecho de éste como resultado de la búsqueda de equilibrio en la dinámica de canal. Es muy característico de este sector la presencia de varios meandros y cauces abandonados como consecuencia de los cortes que se han desarrollado a partir de la alta relación entre la pendiente del valle y la pendiente del cauce ( $P_v/P_c$ ), la presencia de suelos de bajo a moderado grado de consolidación, la presencia de sistemas estructurales que desarrollan esfuerzos de tipo compresivo y la presencia de controles litológicos distribuidos de forma aislada a lo largo del cauce y las márgenes del río Cauca. La presencia de numerosos sitios de extracción de materiales de arrastre tornan el panorama aún más crítico si se tiene en cuenta el poco cumplimiento de la normatividad, la ausencia clara de ésta y el inadecuado control o seguimiento de cada una de ellas y la ilegalidad de los explotadores.

De acuerdo con los datos obtenidos, la margen izquierda del cauce a la altura del k72+000 registra los mayores niveles de movilidad, siendo del orden de 27 m/año, notándose una fuerte presión sobre esta margen que amenaza a corto plazo la nueva captura o corte del meandro ubicado en este sector.

Para el caso de la margen derecha se obtuvo un valor anómalo, representado por una movilidad del orden de 80 m/año; sin embargo, este valor resultó de la combinación no sólo de procesos de socavación lateral sobre esta margen sino como resultado de un corte sesgado u oblicuo que efectuó el río a la altura de la abscisa k87+000, en un tramo en donde la sinuosidad local es bastante alta y la presencia de extracciones de materiales de arrastre muy significativa.

Las condiciones de inestabilidad morfo-hidráulica que presenta este sector se han traducido en la formación de cauces abandonados que en su momento generaron entornos biogeográficos representativos de la zona y de las actividades abiótica y biótica del río Cauca, los cuales en la actualidad se presentan, en la mayoría de los casos, con intervención antrópica total, que ha “asfixiado” el río, privándolo de áreas en donde pueda regular sus caudales en épocas de altas precipitaciones, dando como resultado la afectación e inundación de otras zonas en donde anteriormente no se desarrollaban estos procesos.

En este sector están dadas las condiciones para la continuación de cortes de meandros o capturas debido a la alta sinuosidad, la alta relación entre las pendientes del valle y del cauce y la presencia de condiciones morfo-tectónicas adversas, que combinadas con la actividad antrópica poco diseñadas y controlada, favorecerá el desarrollo de estos procesos de socavación lateral y de fondo, alterando la dinámica del río y trayecto como resultado no sólo afectaciones sobre este sector específico sino reflejando sus efectos negativos aguas abajo y en algunos sectores aguas arriba de las zonas afectadas.

Se realizaron algunas mediciones que permitieron determinar la tasa de movilidad que han presentado algunos cortes ubicados dentro de este tramo del río Cauca; para el caso de la madreveja San Jorge, ubicada sobre la margen derecha del río y a la altura de la abscisa k69+000, se obtuvieron varios registros a partir de los cuales se determinó que el valor de la movilidad en el sector osciló con mínimos de 9 m/año hasta máximos de 18 m/año, muy similares a los obtenidos para el tramo anterior. Con base en estos datos y la morfodinámica que presenta el río en este sector se identificaron los tramos más críticos que se consideran pueden llegar a generar alteraciones en el paisaje y dinámica del río y su entorno, como resultado de la captura o corte de meandros, muy estrechos en esta zona y con frentes con separación entre sí de pocas decenas de metros. Los cortes que se consideran con más probabilidad de ocurrencia dentro de un periodo de corto a mediano plazo, se tienen los siguientes:

- El meandro ubicado a la altura de la abscisa k49+500, margen izquierda del río, que en la actualidad posee una separación de 160 m, hasta la abscisa k52+000, sector estimado en donde se cortaría el meandro en un periodo de tiempo que puede oscilar entre 8 y 10 años de continuar predominando las condiciones morfo-hidráulicas del sector y la actividad antrópica que se ha venido desarrollando en el sector.
- Sobre la margen derecha del río Cauca y a la altura de la abscisa k52+000 existe una alta probabilidad de corte del meandro, presentándose una separación entre márgenes de 120 m, que para las tasas de movilidad registradas para la zona pueden presentarse en periodos de tiempo comprendidos entre los 6 y los 12 años.
- Uno de los tramos considerados más críticos corresponde al localizado entre las abscisas k59+000 y k62+500, en este sector el río presenta un frente de meandros con desarrollo de morfología en forma de “S” alargada en sentido EW, con separaciones que oscilan entre 130 m para el meandro sur y de 55 m para el meandro norte; se considera que en el escenario de que se desarrolle cualquiera de los dos cortes, la misma configuración morfológica del río en el sector podría generar la formación de una amplia laguna, en forma de elipse, con eje mayor alargado en sentido EW, con longitud estimada de más de 1 km y con eje menor en sentido NS de longitud aproximada de 500 m; bajo las condiciones morfo-hidráulicas actuales del sector y teniendo como base las tasas de socavación registradas para cortes de meandro en la zona el periodo de probabilidad de ocurrencia variaría

entre 6 y 12 años para el meandro sur y entre 2 y 5 años para el meandro norte.

- Otro sector con alto potencial de generar una nueva ruptura entre meandros se ubica sobre la margen izquierda del río a la altura de la abscisa k63+500, rompiendo hacia el área de la abscisa k66+500 aproximadamente; la separación actual entre los dos extremos de la curva es de 180 m, que bajo las tasas de socavación propuestas representaría un periodo de ocurrencia del rompimiento oscilando entre 9 y 18 años.
- Con grado de moderada probabilidad de ocurrencia del corte se identificó el tramo comprendido entre las abscisas k69+500 y k71+000; el periodo estimado bajo las condiciones actuales se estima entre 10 y 22 años.
- Otro de los sectores que se consideran como críticos y con alta probabilidad de corte a corto plazo se localiza a la altura de la abscisa k72+000, rompiendo hacia la abscisa k75+000; como se indicó anteriormente, el punto inicial es el que mayor tasa de socavación lateral registró para este tramo sobre la margen izquierda del río Cauca, determinándose un valor del orden de 27 m/año, con fuerte presión sobre la margen izquierda a la altura de la abscisa k72+000. Bajo las condiciones actuales y con la tasa de movilidad determinada con base en la dinámica evaluada, el periodo de rompimiento puede ocurrir en un lapso de entre 7 y 10 años. Vale la pena resaltar que a partir de este punto comienzan a hacer presencia las extracciones de materiales de arrastre, que pueden reducir el tiempo de corte del meandro.
- Para el caso del sector comprendido entre las abscisas k87+000 y k88+500, en donde se presentó el mayor valor de socavación lateral para la margen derecha, la presión se ejerce desde el tramo del río que corre en dirección NE-SW, final de ese sub-tramo, estimándose periodos de rompimiento de entre 5 y 8 años o menores debido a la presencia de varias extracciones de materiales en el lecho del río.
- El sector comprendido entre las abscisas k90+000 y k97+000 es otra de las áreas en donde se pueden presentar sucesivos rompimientos, ya que el cauce del río está conformado por un tren de tres curvas de muy bajo radio, dispuestas en forma sucesiva a manera de “S” alargada en dirección NW-SE; la separación registrada entre los diferentes frentes de meandros, es de 80 m en promedio, estimándose periodos de tiempo para ocurrencia del corte bajo las condiciones actuales de entre 4 y 8 años; es un sub-tramo muy crítico, en donde es muy representativa la presencia de extracciones mineras.
- Un tramo super-crítico y a punto de corte es el comprendido entre las abscisas k106+000 y k109+500, donde la separación entre las márgenes son menores de 30 m a la fecha, que podrán romperse en menos de 3 años de acuerdo con las tasas de socavación lateral calculadas para la zona. Una ruptura en este sector podría implicar una presión muy fuerte sobre la

margen derecha del río en el tramo de la abscisa k109+000, favoreciendo una captura del amplio meandro ubicado hacia el oeste de este sector, en las inmediaciones de la abscisa k114+500. La tendencia y la presión del río a mediano y largo plazo en este tramo es a tornarse rectilíneo entre las abscisas k112+000 y k115+000; de llegar a generarse este corte, las condiciones del sector variarían ostensiblemente, con afectaciones importantes sobre el puente del Hormiguero, el cual actuaría como embudo, restringiendo el flujo normal de las corrientes aguas abajo, con repercusiones o desarrollos de erosiones remontantes aguas arriba de éste y aumento en los procesos de socavación lateral del sub-tramo.

Las perspectivas para este tramo no son muy alentadores, si partimos de la base que las condiciones naturales en general son en general sensible a cambios o alteraciones del entono, a partir de actividades humanas y en algunos casos hasta de factores maritales asociados con la morfodinámica del mismo río. Los cortes o capturas de meandros será continua a corto y mediano plazo, contribuyendo con la alteración de las condiciones morfo-hidráulicas de este especialmente aguas abajo de los sectores afectados.

La evolución de las grandes lagunas y ciénagas que alguna vez existieron a lo largo del río Cauca y que en la actualidad se presentan totalmente intervenidas por actividades agro-industriales, está muy relacionada con los procesos que se están presentando en la actualidad en este tramo; los cortes de varios frentes de meandros generaban la conformación de estos cuerpos de aguas, los cuales de forma paulatina, pero constante, fueron “recuperados” para la agricultura, interviniendo áreas pertenecientes al río, en donde éste, en épocas de invierno y de crecientes, regulaba sus caudales en compensación por la pérdida de las condiciones naturales que presentaba antes del corte o captura del meandro, valga decir, entre otros, la pendiente longitudinal; al ocurrir un corte, el cauce se encuentra en desequilibrio natural, el cual busca recuperar en forma lenta a través del tiempo geológico, pero ofreciendo su cauce antiguo como mitigador de los excesos de éste durante periodos de altos caudales. Desafortunadamente, poco hemos comprendido el comportamiento del río y sus zonas de influencia directa y ha prevalecido el desarrollo económico sobre el ambiental, situación que se ve reflejada en la ocupación total de estas áreas, dejando pocas o nulas opciones al río para su desarrollo y evolución que permita alcanzar el equilibrio perdido a partir de la captura de un meandro. Las consecuencias de estas alteraciones e intervenciones sobre la evolución natural de las condiciones morfométricas y dinámicas del río Cauca estamos comenzando a verlas y las soluciones que a veces se proponen es continuar con la intervención de éste, reduciendo sus espacios naturales y confinándolo a canales cada vez más estrechos.

#### ➤ **TRAMO 5.**

En este sector, comprendido entre la abscisa k150+000, río Desbaratado, y la abscisa k150+000, río Cali, la relación  $P_v/P_c$  desciende drásticamente, alcanzando uno de los valores más bajos de la zona de estudio, 1.25. El río en este tramo se caracteriza por presentar una muy baja densidad de la red hidrográfica en sus márgenes, limitándose a algunos cauces que, en la mayor parte, se encuentran intervenidos, tales como los ríos que cruzan el área urbana del municipio de Cali, sobre su margen izquierda, con únicamente el

registro de un drenaje principal, el zanjón Tortugas, sobre la margen derecha. La forma rectilínea del cauce y la ausencia de una red de drenaje significativa sobre la margen derecha sustentan, en parte, la hipótesis de un movimiento de distensivo en el sector, que desplazó el cauce del río hacia el oriente, sin dejar huellas de un movimiento periódico o progresivo.

Es representativa, también, la presencia de extracciones de materiales de arrastre, registrándose para el censo de CVC del año 2008 nueve puntos de extracción sólo en el sector ubicado entre el canal Interceptor Sur y el Puente de Juanchito.

Para la margen izquierda, la tasa máxima de movilidad registrada fue de 2.5 m/año, con promedio de 0.6 m/año, este último valor considerado dentro del rango de socavación lateral natural para un río con las condiciones de éste. El valor máximo obtenido se encontró entre las abscisas K140+000 y K141+000, a la altura de la Vuelta de Las Córdoba, en donde el río Cauca presenta una sinuosidad local de 2.14 y una alta intervención antrópica a partir de extracciones de materiales de arrastre y alteraciones sobre esta margen. Sobre esta misma margen, otro de los sectores que registra una tasa de movilidad por fuera de lo normal corresponde al sector localizado entre las abscisas k130+000 y k131+000, confluencia del canal Interceptor Sur, en donde la tasa de movilidad alcanza valores de 1.5 m/año, con pendientes locales del fondo del río oscilando entre 1.0 y 1.8 %, asociadas con la presencia de extracciones mineras y de la desembocadura del canal Interceptor Sur, que entrega sus aguas casi de forma perpendicular al flujo del río, en el punto de máxima curvatura del río en este sector.

Las condiciones más críticas a lo largo de la zona de estudio se observan sobre la margen derecha, en donde el promedio de migración lateral de esta orilla fue de 2.5 m/año, llegando a alcanzar picos de 12 m/año a la altura de la abscisa k145+000 en el sector localizado entre el Puente del Ferrocarril y Puente del Paso del Comercio. Las pendientes locales del fondo del río pueden alcanzar valores hasta de 2% a la salida del Puente del Ferrocarril, con promedio de 0.8% a lo largo del sector, encontrándose fosas con profundidades cercanas a los 5.0 m, evolucionada durante un periodo de tiempo de 10 años, como lo muestra la correlación de las topo-batimetrías realizadas en los años 2000-2012.

#### ➤ **TRAMO 6.**

Este tramo, ubicado entre la abscisa k150+000, río Cali, y la abscisa k290+000, aguas abajo del Puente Riofrío, se caracteriza por presentar un aumento importante en la relación  $P_v/P_c$ , 1.86, mostrando una intercalación entre tramos muy rectos con fuerte control litológico y estructural, con una sinuosidad local muy alta, que en ocasiones alcanza valores cercanos a 3.0.

La tasa máxima de movilidad detectada para la margen izquierda fue de 16 m/año, registrada para el sector comprendido entre las abscisas k201+000 y k202+000, con promedios del orden de 2.4 m/año.

Para el caso de la margen derecha, la tasa máxima de socavación lateral se detectó a la altura de las abscisas k213000 y k214+000, con un valor de 34 m/año y con promedio de 3.4 m/año.

Se efectuaron varias mediciones a lo largo del tramo, en aquellos sectores en donde se ha presentado captura de meandro y en donde se tenía información histórica que permitiera obtener datos acerca de la velocidad o tasa de socavación registrada durante el proceso final de corte del frente meándrico. Entre los sectores evaluados estuvieron los siguientes:

- El corte presentado entre las abscisas k164+5000 y k165+000, margen izquierda, y que dio lugar a la conformación de la madre vieja El Higuierón, registró durante su última etapa de corte, una tasa de socavación lateral del orden de 17 m/año.
- Entre las abscisas k169+500 y k170+500, tuvo lugar un corte muy significativo del río, el cual sufrió una reducción en la longitud de su cauce, pasando de 5800 m en su estado inicial a 1000 m después de la captura, con las implicaciones hidráulicas y morfométricas que conlleva esta importante disminución en su recorrido; la tasa de movilidad, determinada a partir de los registros históricos, muestra un pico muy alto de 80 m/año, valor que pudo haberse afectado por la presencia de antiguas madre viejas en este sector, que hacia la etapa final del corte aumentaron las tasas de movilidad, por encontrar capas con poca resistencia a la erosión, pertenecientes a antiguos cauces del río. El corte dio lugar a lo que en la actualidad se conoce como la madre vieja Platanares, ubicada aguas abajo de la desembocadura del río Mulaló en el río Cauca.
- A la altura de la abscisa k186+000 se registró un corte que dio lugar a la conformación de la madre vieja La Carambola, margen izquierda del río Cauca, registrando una tasa de socavación hacia el final de su etapa de corte del orden 19 m/año.
- Entre las abscisas k203+5000 y k204+000 se efectuó una importante captura de meandro, conformando sobre la margen izquierda lo que en la actualidad se denomina madre vieja Maizena; para este tramo la tasa de socavación lateral final registrada fue de 68 m/año, valor anómalo para los datos medios obtenidos, pero que, como se verá más adelante, obedece a unos patrones morfo-hidráulicos y estructurales particulares de este sub-tramo.
- A la altura de la abscisa k227+000 y sobre la margen derecha del río Cauca se ubica lo que se conoce como la madre vieja La Trozada, formada por un corte del río, en donde se registraron velocidades de socavación lateral final cercanas a los 18 m/año, de acuerdo con los registros evaluados.
- Finalmente, a la altura de la abscisa k247+500 se observa un estrecho frente de meandros que ha ido evolucionado, acercando este punto con el ubicado sobre la abscisa k250+500, en donde se prevé una importante captura a muy

corto plazo; los datos evaluados indican que la tasa de movilidad lateral es, en promedio, de 13 m/año, calculado para el periodo comprendido entre los años 2007 y 2012; la distancia que separa las dos orillas, de acuerdo con registros del años 2012, es de 40 m.

Estos sectores son los que mejores registros gráficos presentan y a partir de ellos se efectuaron los cálculos que permitieron determinar la tasa de movilidad de cada uno; los datos obtenidos muestran un valor muy coincidente con promedio de 15 m/año para este tramo, el cual será tenido en cuenta para la descripción de los sectores más críticos identificados durante el desarrollo del presente estudio.

Se identificaron varios sectores críticos con valores locales de sinuosidad muy altos y que, de acuerdo con la configuración geométrica del cauce, amenazan con cortar meandros, generando nuevas inestabilidades morfológicas e hidráulicas a lo largo del río Cauca. Dentro de estos sectores se encuentran los siguientes.

- Entre las abscisas k154+000 y k157+000, sector de Puerto Isaacs, se presenta una amplia curva de forma muy elipsoidal, con eje mayor en sentido NW-SE, la cual presenta una fuerte presión a partir de procesos de socavación lateral en su inicio y que a largo plazo, más de 20 años, pueden generar la captura o corte del meandro; es un sector de baja criticidad.
- El sector comprendido entre las abscisa k167+000 y k168+500 corresponde a un tramo de moderada criticidad, estimándose que los periodos de corte del meandro pueden oscilar entre 12 y 25 años bajo las condiciones actuales.
- Un sector que se considera como crítico, corresponde al tramo comprendido entre las abscisas k202+000 y k204+000; sobre la margen izquierda de este tramo se conformó la madre vieja Maizena, la cual, como se indicó anteriormente, presentó valores en la movilidad en su etapa final de 68 m/año. En la zona el río Cauca presenta una sinuosidad local muy alta, mostrando curvas con radios muy pequeños, especialmente a la altura de la abscisa k203+000, generando una fuerte presión sobre terrenos conformados por antiguos cauces del río, que se han visto desplazados tanto al occidente como al oriente, los cuales ofrecen poca resistencia a los procesos erosivos laterales debido a su poco grado de consolidación; los puntos de contacto estimados de un potencial corte serían a la altura de las abscisas k202+500 y k203+800, estimándose un periodo de ocurrencia de éste entre 3 y 12 años bajo las condiciones actuales y las tasas de movilidad registradas en el sector.
- Entre las abscisas k210+000 y k212+000 se puede considerar un tramo crítico si se tiene en cuenta la poca distancia que separa las orillas antes de generarse la avulsión del cauce; a partir de los datos obtenidos el corte puede presentarse en un periodo de tiempo que puede oscilar entre 3 y 8 años; la tendencia del río Cauca en este sub-tramo será acercarse a la altura

de la abscisa k212+000, siguiendo un curso sur-norte, predominante en este sector.

- En el tramo comprendido entre las abscisas k214+500 y 213+500 se registraron las mayores tasas de movilidad sobre la margen derecha, 34 m/año, siendo la tendencia del río Cauca a cortar el meandro dentro de un periodo de tiempo estimado entre 3 y 10 años. Las condiciones morfológicas e hidráulicas identificadas indican una zona muy sensible, con presencia de madrevejas sobre ambas márgenes y procesos de socavación lateral muy avanzados. Esta área se ubica al sur de la Laguna de Sonso, cuerpo de vital importancia para el río Cauca y el cual ha estado sometido a fuertes presiones antrópicas que han reducido considerablemente su área de influencia directa e indirecta, alterando significativamente las condiciones hidráulicas del río, ya que este cuerpo constituía una “cámara de quiebre de presiones” y embalse regulador natural para las oscilaciones que se presentan como característica de la morfología e hidráulica natural del río Cauca.
- Un sector que se considera como muy crítico corresponde al comprendido entre las abscisas k217+500 y k223+500, esta última a la altura del Puente de Mediacanoa. La sinuosidad local es alta para este sector, presentándose dos frentes de meandros muy seguidos que amenazan con hacer captura entre ellos, situación que alteraría significativamente la hidráulica y morfología del sector debido a la alta intervención antrópica que se presenta en la zona, especialmente en la reducción de la sección hidráulica del río como resultado de la implantación de jarillones de confinamiento cerca a las orillas del río Cauca, no dejando espacio de “maniobra” en épocas de caudales altos. Sobre la margen derecha del río en este tramo se localiza la Laguna de Sonso, que como se explicó anteriormente, constituía el embalse regulador natural en donde el río deposita sus excedentes, mitigando los procesos de socavación de meandros y controlando los flujos de aguas. Aparte de lo anterior, es una zona sensible desde el punto de vista estructural debido a lo que se ha denominado lineamiento río Guadalajara - río Mediacanoa, cuya descripción se efectuó en un capítulo anterior. La incomunicación entre el cuerpo de agua de la laguna y el río es un factor adverso determinante en la clasificación del sector como inestable hidráulica y morfológicamente y que, de presentarse rupturas en los frentes de meandros ubicados en este sub-tramo, traería consecuencias serias aguas abajo de éste, sobre ambas márgenes del río. Los periodos estimados de ruptura para las zonas más críticas oscilan entre 20 años para tasas de movilidad bajas y 10 años para tasas superiores a 30 m/año bajo las condiciones naturales actuales; dentro de este cálculo no se tiene en cuenta la afectación que sobre la velocidad del flujo de las aguas ejerce la disminución en la sección hidráulica del río por confinamiento con jarillones y que podría aumentar significativamente, tanto los promedios de tasas de socavación como los máximos registrados. Es un sector muy sensible y muy crítico y cuya alteración por nuevas rupturas o capturas

puede generar grandes daños en la zona aledaña, especialmente en la infraestructura presente en el sector. Aguas arriba de este sector hay censado para el año 2008 dos extracciones de materiales de arrastre.

- Otro sector crítico identificado corresponde al ubicado entre las abscisas k246+500 y k255+000; en este sector el río Cauca presenta una serie de curvas, formando en la zona central un “corbatín” con nudo alargado en sentido SW-NE, que desarrolla un tramo del río en dirección norte-sur. Se identificaron dentro de este sub-tramo, cuatro puntos críticos en donde la probabilidad de corte de los meandros es alta y a muy corto tiempo. El primero se ubica a la altura de la abscisa k247+350, con punto de corte en la abscisa k250+600, estimándose un periodo de corte entre 1 y 3 años, de acuerdo con las condiciones actuales. El segundo punto iniciaría corte en la abscisa k247+800, con punto de contacto alrededor de la abscisa k248+900, con periodo de corte estimado entre 2 y 5 años. El tercer punto se ubica a la altura de la abscisa k249+350, con probabilidad de ocurrencia del corte en un periodo de tiempo de entre 2 y 4 años. Finalmente, el cuarto punto se ubica sobre la abscisa k252+400, con punto de contacto a la altura de la abscisa k254+750 y periodo estimado para el corte de entre 4 y 8 años; estos tiempos para cada sector en particular son estimados teniendo como base las actuales condiciones morfométricas e hidráulicas que presenta todo el sector; de presentarse variaciones en éstas, estos tiempos pueden aumentar o disminuir según sea el tipo de alteración. La posiciones morfométricas de los meandros, la sinuosidad local del tramo y la pendiente del río en este tramo sugieren que de romperse cualquiera de los tres puntos iniciales, el cauce puede sufrir una gran alteración en su forma, sinuosidad y pendiente, conformando extensas áreas en unidades geomorfológicas, Q2, depósitos de pantanos permanentes, que alterarían el paisaje debido a la presencia de importantes relictos de antiguos cuerpos de aguas ubicados sobre ambas márgenes, tales como las madre viejas Samaria, El Conchal y El Cedral, sobre la margen derecha, y Garzonero sobre la margen izquierda. En su momento y hasta que fueron intervenidos casi que totalmente estos cuerpos de aguas fueron los reguladores del río Cauca en la zona, teniendo un origen similar a los cortes que podrían presentarse y estando asociados con la presencia de sistemas estructurales de orientación NNE-SSE, mencionados antes y que afectan el curso del río San Pedro al oriente y de la quebrada La Negra al occidente. De ocurrir una ruptura con afectaciones más que puntuales, locales, deberán tomarse las provisiones necesarias, de tal forma que se tengan programas para la conservación, mantenimiento y sostenimiento a largo plazo de estas áreas como zonas de regulación de crecientes, ya que de intervenirse podría generar afectaciones muy importantes aguas abajo, especialmente en las zonas pobladas, caso La Victoria, debido al cambio sustancial que tendría la morfo-hidráulica del río después de la avulsión en este sector. Es un sector crítico y muy sensible a cambios naturales y antrópicos.

- Otro sector que llama la atención y con potencial de ruptura local y no puntual a largo plazo se ubica entre las abscisas k256+500 y k263+000; la presencia sobre la margen izquierda de antiguos cauces, como son las madrevejas Gorgona y Jardín, podrían favorecer el rompimiento en este sector, formando un cauce más rectilíneo en dirección predominante NS. Aunque la separación directa entre los dos puntos de contacto potencial es cercana a los 2 km, no se descarta esta probabilidad de ocurrencia, más teniendo en cuenta que ya se han presentado en algunos sectores del río, en tramos de menor longitud pero de similares condiciones morfométricas e hidráulicas; el evento más crítico, aunque de muy baja probabilidad de ocurrencia, sería la ocurrencia de un sismo con afectación directa en este sector, estando el río con caudales muy altos.
  
- Finalmente, el último sector que se considera crítico en este tramo del río Cauca corresponde al ubicado a la altura de la abscisa k269+000; en este sector las dos orillas se encuentran separadas por una pequeña franja de terreno de no más de 75 m de ancho, que para las tasas de socavación lateral identificadas podría generarse el corte en un periodo de tiempo comprendido entre 2 y 4 años, bajo las condiciones actuales.

#### ➤ **TRAMO 7.**

Este tramo comprendido entre las abscisas k290+000 y k430+000, río La Vieja aproximadamente, se caracteriza por presentar una sinuosidad moderada a levemente alta, 1.69, con tramos largos muy rectilíneos y pocos sectores en estado latente de corte o alteración significativa de las condiciones morfométricas e hidráulicas del río Cauca. Presenta un adecuado control litológico, en parte estructural, representado por presencia de afloramientos de rocas de la Formación Zarzal, las cuales, en general, presentan una estratificación horizontal, de moderada a alta dureza y levemente plegadas debido a esfuerzos de compresión que, a su vez, también han afectado el curso del río a través del tiempo geológico.

Para el caso de la margen izquierda del río Cauca, la máxima tasa de movilidad registrada fue de 4.3 m, con promedio de 1.5 m, valor este último que se considera dentro del rango de socavación natural para un río de estas condiciones y con fuertes alteraciones antrópicas en su valle geográfico y afluentes. El valor máximo se detectó a la altura de la abscisa k310+000, en el sector comprendido entre las quebradas Huasanó y Robledo, en donde se observa una fuerte presión sobre esta orillas, la cual en poco tiempo puede presentar captura del cauce de la última quebrada.

Para el caso de la margen derecha, la mayor tasa de movilidad se registró a la altura de las siguientes abscisas: k296+000-297+000, k298+000-k299+000, k322+000-k323+000, k333+000-k334+000, k370+000-k372+000, k401+000-k402+000, k412+000-k413+000 y k420+000-k421+000. La mayoría de los sectores antes mencionados, en donde se registraron las mayores tasas de movilidad, están asociados con cortes antiguos del río, siendo el común denominador la total intervención de los antiguos cauces, no permitiendo

la recuperación natural del río una vez alterado el curso a partir de las capturas de meandros. En el caso del sector k370+000-k372+000, ubicado aguas arriba del puente de La Victoria, presenta un curso rectilíneo, presentando procesos de socavación lateral avanzados sobre esta margen, probablemente relacionado con dos factores: i) el primero relacionado con la presencia del sistema de fallas de Vallejuelo, que cruza en sentido EW este tramo y que podría generar afectaciones sobre el macizo rocoso del sustrato del lecho del río y alteraciones en la consolidación de los suelos transportados de edad más reciente; ii) la segunda causa podría estar asociada con la presencia del puente de La Victoria, estructura muy antigua en donde el cauce se estrecha considerablemente, disminuyendo la sección hidráulica y generando remanso aguas arriba, con resultados de tasas de socavación alta. Para el caso del sector k420+000-k421+000, las tasas de socavación altas están asociadas a actividades mineras relacionadas con extracción de materiales de arrastre.

En este tramo se han presentado varias capturas de meandros cuyas huellas se pueden observar en la actualidad, algunas más evidentes que otras, dependiendo del grado de intervención y el periodo de tiempo de ésta. De acuerdo con cálculos efectuados sobre los antiguos cursos aun visibles en los registros históricos, este tramo pudo alcanzar fácilmente una sinuosidad mayor de 2.2, alta si se considera que en la actualidad ésta es del orden de 1.69. Dentro de los sectores que llaman la atención por su morfometría superficial se encuentran los siguientes:

- El tramo comprendido entre las abscisas k292+000 y k295+000, sector de Bocas del Tuluá y río Morales, se considera una zona sensible si se tiene en cuenta la presencia del corte ocurrido hacia finales de la década del setenta y en donde la geometría del curso actual sugiere una potencialidad de retomar el cauce antiguo, con probabilidad de alcanzar el curso del río Morales y aún más hacia el norte; a lo largo de este sector y sobre la margen derecha se registraron tasas de movilidad altas, en promedio de 5 m/año, que ejercen una alta presión sobre el antiguo curso del río Cauca.
- Otro sector sensible y crítico corresponde al ubicado entre las abscisas k297+000 y k302+000; sobre la margen derecha se observan varios antiguos cauces del río Cauca que fueron cortados hace varias décadas, pero que aún se presentan mostrando algún tipo de evidencia de su presencia. Los canales antiguos, así hayan sido rellenados o taponados, continúan siendo zonas de “debilidad” de suelos dentro del contexto regional, ya que los materiales que se han acumulado, natural o antrópicamente, no alcanzan a obtener los estados de pre-consolidación natural de los suelos transportados distribuidos de manera homogénea a lo largo del tiempo geológico. Las tasas de movilidad en este tramo son muy altas, mayores a 10 m/año, valor que indica el grado de baja compactación de los materiales que conforman, sobre todo, la orilla derecha.
- A la altura de la abscisa k318+000 se puede presentar captura de meandro a mediano y largo plazo, con periodo estimado entre 5 y 10 años. Igual situación con similares periodos de ocurrencia se puede desarrollar a la

altura de las abscisas k321+000, k325+200, k332+500, k341+000, k358+000 y k374+000.

- Llama la atención el sector comprendido entre las abscisas k388+000, Puerto Toro, y k407+000; a partir de registros fotográficos se evidenció la presencia de antiguos cauces del río Cauca, ubicados a una distancia que oscila entre 0.6 y 2.5 km, mostrando un patrón netamente meándrico, con una sinuosidad estimada en 2.0, estando ubicado su cauce final en esa época a la altura de la abscisa k407+000, en las cercanías de lo que hoy se conoce como Zanjón Dolima. El desplazamiento del curso del río ocurrido en este tramo hacia el occidente, no evidencia la presencia de desplazamientos progresivos, mostrando un corte súbito y/o desplazamiento asociado con actividad tectónica del sector, en donde se observan las trazas de varias fallas que afectan la Formación Zarzal y de un importante alineamiento que se ha denominado en este estudio como Obando-Toro. Vale la pena resaltar que el cauce actual del río Cauca en este sector, presenta una sinuosidad muy cercana a 1.0, presentando un curso muy rectilíneo, muy opuesto a las condiciones iniciales antes descritas.
- Finalmente, otro sector que debe considerarse sensible en este tramo corresponde al ubicado entre las abscisas k427+500 y k428+500, sector de la desembocadura del río La Vieja. La presencia de varios antiguos canales, tanto del río Cauca como del río La Vieja, con altos valores de sinuosidad, son indicadores de suelos fácilmente erodables que en un momento dado pueden alterar los cursos de los dos ríos; la evidencia más clara de susceptibilidad de la zona son las tasas altas de socavación, que para este sector alcanzaron valores cercanos a los 3.5 m/año, alta para un sector en donde la sinuosidad local no supera los 1.2.

Las condiciones que presenta este tramo 7 y el registro de los eventos morfométricos e hidráulicos identificados es un ejemplo claro de lo que puede suceder en otros sectores que presentan en la actualidad similares características. En su época, el río Cauca en este tramo presentó, en general, una sinuosidad regional alta, mayor a 2.0, que permitió la ocurrencia de capturas en numerosos sectores, con cortes puntuales, locales y algunos regionales, que variaron este valor hasta obtener el actual de 1.69, otorgándole un patrón más rectilíneo; sin embargo, las áreas que conformaron los cauces abandonados fueron paulatinamente ocupadas e intervenidas, no permitiendo que el río en forma natural alcanzara su equilibrio, lo que se ha traducido en procesos de socavación avanzados, aun en tramos con configuración geométrica lineal; para este tipo de sectores, rectilíneos, el valor de la tasa de movilidad encontrada fue inferior a 1.5 m/año, mientras que para este tramo, de 135 mediciones efectuadas, el 35% presenta una movilidad superior a los 4 m/año, con valores extremos de hasta 12 m/año, aun en sectores de baja sinuosidad. Al no encontrar el río su punto de equilibrio natural, que en gran parte le confiere la presencia de los antiguos cauces, se desarrollan procesos avanzados de socavación lateral y vertical que van degradando el canal del río y generando y acelerando nuevas capturas, con aumento en su equilibrio hidráulico. Puede decirse que este tramo está en proceso de recuperar su equilibrio morfo-hidráulico a costa de pérdida de terrenos en ambas márgenes, mostrando

acelerados procesos de socavación lateral, aun en zonas en donde se presentan controles litológicos, con rocas resistentes a los procesos erosivos.

➤ **TRAMO 8.**

Para el caso de este tramo, el río presenta una sinuosidad de moderada a alta, 1.6, conformando un patrón de tramos largos muy rectos, unidos con curvas cerradas, mostrando un fuerte control litológico y estructural.

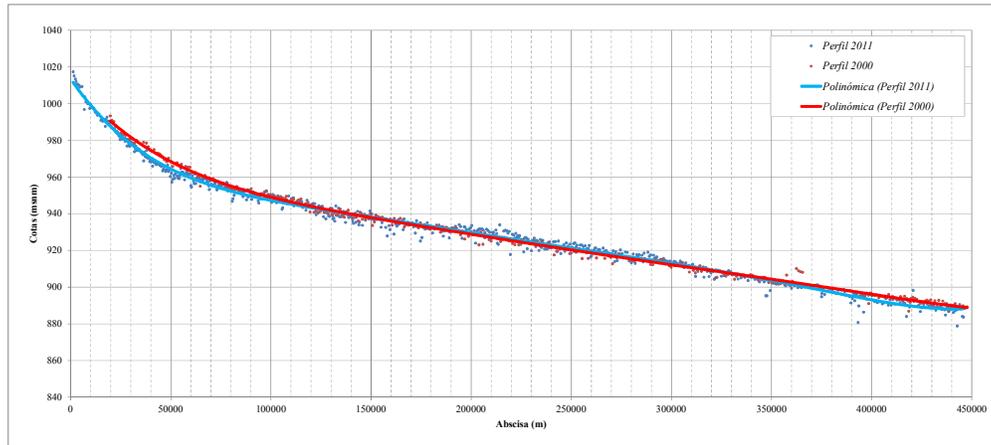
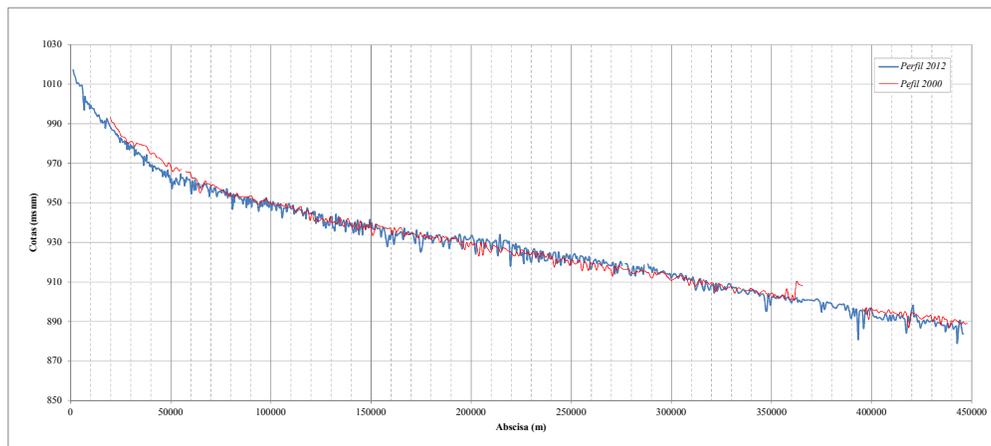
La tasa de movilidad máxima registrada para la margen derecha fue de 12 m/año, con promedio de 2.6 m/año; el sector en donde se presentó la mayor tasa de movilidad para esta margen se ubica a la altura de la abscisa k429+000, inmediatamente aguas abajo de la desembocadura del río La Vieja.

Para el caso de la margen izquierda, se registraron tasas de movilidad máximas de 4.3 m/año, con promedios de 1.5 m/año. El mayor valor se registró sobre la abscisa k431+000. Otros sectores con fuerte presión de socavación sobre esta margen se identificaron a la altura de: i) abscisa k436+000, con tasas de movilidad superiores a 1 m/año, muy continua y persistente durante los últimos 35 años; ii) entre las abscisas k440+500 y k4452+000, sector conformado por tres curvas consecutivas a 90°, y con tasas de movilidad promedio de 1.6 m/año, muy persistente durante los últimos 55 años; iii) abscisas k445+400, curva en ángulo recto con tasa de movilidad de 1.53 m/año a 2.5 m/año hacia la abscisa k446+000, siendo constante su evolución durante los últimos 55 años.

Las tasas de movilidad definidas y empleadas en el presente documento deben tomarse como tendencias del grado de socavación o migración de las orillas del río Cauca a lo largo de la zona de estudio; sus valores no deben tomarse como absolutos y determinantes, ya que mientras no exista una base o registro histórico confiable a partir de mediciones directas y sobre las mismas secciones a través del tiempo, previamente georreferenciadas y materializadas en terreno, no se podrá determinar con algún grado de certeza la evolución real o tasa de movilidad de las márgenes del río. Los trabajos de fotointerpretación manuales como los realizados para el presente estudio, así como los procesos de georeferenciación con insuficientes bases de datos para una triangulación efectiva y sin controles de campo, hace que la labor efectuada no tenga el carácter o detalle que se requeriría para un mejor análisis de las diferentes variables morfométricas e hidráulicas del cauce y las márgenes del río Cauca en el sector estudiado.

## **5.5 MOVILIDAD VERTICAL**

La movilidad vertical a lo largo de la zona de estudio fue calculada a partir de los perfiles del fondo del cauce tomados sobre la línea de mayor pendiente del río, thalweg, en los años 2000 y 2012. La información obtenida a partir de los levantamientos topo-batimétricos se llevó a gráficos, a partir de los cuales se realizaron los análisis de la evolución de la movilidad vertical del lecho del río Cauca. Las Ilustraciones 63 y 64 muestran los resultados obtenidos, definiendo la variación del perfil del fondo del río durante el periodo de tiempo comprendido entre el año 2000 y el año 2012.

**Ilustración 63** Polinómicas del perfil del río Cauca para los años 2000 y 2012**Ilustración 64** Variación del perfil del fondo del río a lo largo de la zona de estudio

Tres tramos claramente definidos se observan a partir de los gráficos anteriores. El primero se ubica aproximadamente entre la represa de Salvajina y la desembocadura del río Arroyohondo a la altura de la abscisa k150+000. El segundo entre el río Arroyohondo y la abscisa k325+000, en zona cercana a la confluencia del río Bugalagrande en el río Cauca. El tercer sector se ubica entre el río Bugalagrande y la zona de La Virginia, al final de la zona de estudio.

#### ➤ TRAMO 1.

El primer sub-tramo, el sector comprendido entre la represa de Salvajina y la desembocadura del río Palo aproximadamente, abscisa k100+000, presenta un importante proceso de profundización de su lecho en el periodo evaluado, con presencia de varios picos extremos que le confieren al sub-tramo un patrón de alta sinuosidad vertical; la información más reciente muestra una alta dispersión de datos pero distribuido cíclicamente, lo que sugiere algún tipo de control asociado a su presencia y de algún tipo de actividad cíclica que genera variaciones en el fondo del río. Llama la atención que el sector en donde se presentan los mayores valores de profundización del cauce corresponde a la

zona más alta del tramo, en donde predomina un fuerte control estructural y litológico, representado por presencia de rocas sedimentarias, de moderada a alta resistencia, pertenecientes a la Formación Guachinte.

Consideramos que tres factores son los que principalmente han influido en la evolución de los procesos avanzados que se han desarrollado en la última década en este tramo. El primero, indudablemente se relaciona directamente con la operación de la represa de Salvajina; las descargas cíclicas y permanentes que genera la operación de esta central ha sido el principal factor que ha favorecido la alta tasa de movilidad vertical que presenta este tramo; descargas de volúmenes muy superiores a los que en un momento dado puede llevar el río Cauca, especialmente en periodos de estiaje, son nocivas para la estabilidad y equilibrio del cauce, aun con la presencia de controles litológicos de aceptable condición, ya que generan un impacto directo sobre el fondo y márgenes, debido a las diferencias tanto en la energía potencial como en la energía cinética que poseen los caudales vertidos por la represa y los que caracterizan el medio receptor.

El segundo actor en importancia corresponde a la alta pendiente del río en el sector; en este tramo se registró la pendiente más alta de la zona de estudio, alcanzando valores entre 0.182% y 0.028%, el primero típico de zonas en donde predominan aun las condiciones de montaña y el segundo característico de un área de transición; al combinar este factor con el anterior vemos cómo la presencia de un cauce con pendiente relativamente alta, potencia de manera exponencial las energías que son inherentes a los caudales de descarga de la central, caracterizados por muy altas energía cinéticas, con alto poder de socavación lateral y principalmente de fondo; el patrón rectilíneo de baja sinuosidad que presenta este tramo contribuye a que la disipación de las energías concentradas sea muy baja, propiciando, por el contrario, en algunos tramos el aumento en la velocidad de los flujos, con los consecuentes resultados adversos sobre la estabilidad del fondo y orillas del río Cauca.

Finalmente, el tercer factor es el antrópico: la zona se ha caracterizado por presentar una fuerte presión sobre las márgenes y el fondo, directamente relacionadas con las actividades de explotación minera, que han alterado tanto la morfología de las márgenes y las orillas como la dinámica del río, creando los ambientes propicios para el desarrollo de procesos de socavación vertical por disminución en los grados de consolidación de los materiales del lecho del río.

Algunos de los sectores en donde mayor tasa de movilidad vertical se identificaron fueron los siguientes:

- K17+250, fosa de 3.5 m de profundidad, aguas abajo del puente de San Francisco; alta actividad antrópica antigua sobre ambas márgenes del río, tasa de movilidad muy alta sobre la margen izquierda, mayor a 10 m/año.
- K25+000, desembocadura del río Timba, máximo desplazamiento del fondo del río 3.65 m, alta movilidad sobre ambas márgenes, intensa actividad de extracción de materiales.
- K36+500, sector del corte de Tablanca (años 2010-2011), alteración del fondo del río con profundización de la línea de thalweg en cerca de 6.0 m, cambio importante en la pendiente local del fondo del río.

- K51+500 y k54+000, sector donde se registraron dos picos anómalos que pueden corresponder una inadecuada lectura de las secciones topobatemétricas o a diferencias en los puntos de geo-referenciación.
- Entre el río Timba y el Puente Guillermo León Valencia, varias sinuosidades asociadas con procesos de extracción de materiales de arrastre, algunas alcanzan profundidades hasta de 8.0 m.
- Aguas arriba del Puente Guillermo León Valencia, sector donde se aprecian “levantamientos” relativos del río durante el periodo evaluado, con diferencia de niveles de hasta 2.5 m, originado por el efecto remanso de éste al estrecharse la sección del cauce.
- Entre las abscisas k80+000 y k83+000, se observa un valor anómalo para “levantamiento” del fondo del río, a 2 m; de acuerdo con reconocimientos de campo, sí hay una ampliación y elevación del nivel de las barras laterales ubicadas sobre las curvas internas, pero no en la magnitud que muestran los resultados; las curvas externas presentan procesos muy avanzados de socavación lateral, con profundización del canal.
- K99+000, importante formación de fosa con profundidad mayor de 10 m, en la confluencia del río Cauca con el río Palo; presencia de extracciones mineras y alteraciones morfo-hidráulicas por alteraciones en la dinámica del afluente; movilidad lateral alta para ambas márgenes del río, con variaciones en el curso del río Cauca.

La sinuosidad vertical del fondo del río es representativa en el tramo comprendido entre el río Timba y el río Palo, debido a tres factores principalmente: i) los varios cortes de meandros existentes en el tramo que han alterado significativa y cíclicamente la pendiente y el fondo del río; ii) la presencia de varios puntos con extracción de materiales de arrastre; iii) el principal, la ocupación e intervención de los antiguos cauces o madrevejas, conformadas a partir de la captura de meandros, ha impedido que el río Cauca recupere su equilibrio natural, buscando obtenerlo a partir de procesos de ampliación y profundización de su cauce, que permita obtener una sección de equilibrio después del cambio en la pendiente ocasionado por el corte.

## ➤ TRAMO 2.

El segundo tramo definido a partir de la evolución del fondo del río Cauca corresponde al ubicado entre el río Palo, k100+000, y la desembocadura del río Paila a la altura de la abscisa k330+000, aproximadamente. Este sector corresponde a la respuesta o reacción en búsqueda de equilibrio que presenta el río como consecuencia de la intensa actividad erosiva, tanto vertical como horizontal a la que está expuesta el río a lo largo del tramo anterior debido a la combinación de los factores antes descritos. Predomina a la actividad de depositación, observándose en promedio un levantamiento en del fondo del río durante el periodo evaluado, 2000-2012; esta situación es favorecida por el predominio de pendientes bajas y, en general, tramos con alta sinuosidad. Se observan “levantamientos” del fondo que alcanzan valores de más de 5.0 m; la presencia de simas a lo largo de este sector está restringida a la presencia de extracciones de materiales de arrastre o áreas en donde la movilidad lateral es muy alta como resultado de la presencia de cortes de meandros y la ocupación de estos.

La tendencia observada indica un mayor “levantamiento” del fondo del río en los tramos ubicados aguas arriba de los puentes y, sobre todo, aguas abajo de la confluencia de los ríos principales. La primera se asocia con la disminución de la sección hidráulica en los sitios donde se ubican estas estructuras y, sobre todo, a la fijación de las orillas que impiden un desarrollo natural de la migración de orillas de un canal, lo cual disminuye la energía cinética del fluido aguas arriba, favoreciendo los procesos de depositación de materiales. El segundo factor está relacionado directamente con la alta intervención y poca protección que presentan las cuencas de los tributarios principales del río Cauca a lo largo de la zona de estudio; la magnitud y el número de los procesos erosivos y de remoción en masa que afectan estas cuencas, especialmente en la parte alta, el alto grado de intervención de éstas en su parte baja, la ausencia de rondas de protección sobre sus márgenes, especialmente en los sectores bajos con actividad agro-industrial significativa, han contribuido, entre otros aspectos, al aumento en el transporte de sedimentos por parte de los afluentes, entregando mayor cantidad de sólidos al río Cauca, el cual, como se ha visto a lo largo del presente estudio, presenta un margen de asimilación del cambio muy bajo debido a la alta alteración de sus condiciones morfo-hidráulicas.

➤ **TRAMO 3.**

En este tramo, comprendido entre el río La Paila, k330+000 y la zona de La Virginia, la curva polinómica correspondiente a los datos del perfil de fondo de año 2012 comienza nuevamente a descender hasta ubicarse por debajo de la correspondiente a los datos del año 2000. La dispersión de los puntos del año 2000 es baja en comparación con los del año 2012, el cual presenta alta dispersión relacionada con la presencia de fosas profundas en sectores muy específicos asociadas con actividad minera y con antiguos cortes de meandros.

A partir de la abscisa k385+000 aproximadamente, el perfil del río Cauca se va profundizando de forma continua y muy lineal, indicando un patrón regional asociado con el cambio de pendiente que presenta el río después de La Virginia, en donde se torna muy encañonado, con fuerte pendiente, que genera procesos erosivos remontantes regionales, en el tramo inmediatamente anterior al curso con alta energía cinética y potencial. Esta condición de socavación asociada con procesos naturales se ve favorecida en este tramo por la presencia de actividad minera importante que ha contribuido con la profundización local del fondo del río.

Las mayores alteraciones del fondo del río presentadas a lo largo de este sector, son las siguientes:

- K348+000, 3 km aguas arriba del puente de Guayabal, en la vía Zarzal-Riofrío, probablemente asociado con la presencia de un sistema estructural que cruza la zona en dirección EW.
- Entre el puente de La Victoria y la quebrada Los Micos, en donde se registraron fosas con profundidades cercanas a los 8.0 m.
- K393+500, a la altura de Puerto Toro, con fosas de profundidades hasta de 10 m.

- La fosa del río Risaralda, en La Virginia, con profundidades mayores a 8 m, muy marcada aguas arriba de la desembocadura del río Risaralda.

## **5.6 SECCIÓN A BANCA LLENA**

Se ha querido mostrar de manera gráfica, la variación que presenta cada sección del río Cauca a lo largo de los puntos en donde se realizaron los levantamientos topo-batimétricos, con el propósito de tener un conocimiento de las condiciones geométricas del canal, que permita a su vez tener referencia para una evaluación integral de los parámetros que están influyendo en la evolución de las condiciones morfológicos e hidráulicas del río Cauca a lo largo de la zona estudiada.

Además una diferencia muy marcada entre la geometría de las dos orillas, es un indicativo de un real o potencial desequilibrio en las condiciones de flujo del canal, ya que en la medida que el canal va siendo llenado fluido, la velocidad de las líneas flujo tenderán a tener mayor diferencia, favoreciendo el desarrollo de procesos de socavación más avanzados sobre la margen expuesta a las mayores velocidades. Dentro de los sectores en donde se presenta una diferencia muy marcada entre las dos bancas llenas, se encuentran los siguientes:

- K4+250, con diferencia en banca llena derecha-izquierda de 10 m.
- K15+250, diferencia entre bancas llenas de 8 m.
- K17+250, diferencia entre bancas llenas de 11 m con picos invertidos.
- K353+500, diferencia de banca llena de 9 m, con picos invertidos.

La presencia de diferentes entre banca llenas para cada margen, se limita básicamente hacia la zona sur del tramo estudiado, aguas arriba del Paso de La Balsa.

## **5.7 RELACIÓN ANCHO-PROFUNDIDAD**

Corresponde a una variable que representa la evolución en el tiempo de los diferentes procesos que han afectado la dinámica del río, registrando la relación entre las afectaciones laterales y la movilidad vertical.

Cambios a corto plazo en la relación B/D pueden estar asociados con crecientes o inundaciones del río, mientras que cambios a largo plazo, como es nuestro caso, están más relacionados con alteraciones directas y fundamentales en la descarga y tipo de sedimentos que transporta el río y que han alterado las condiciones morfo-hidráulicas de éste.

No es desconocido que la presencia de presas con el tamaño como la de Salvajina ocasionan la retención de sedimentos que abastecía el río antes de su implantación, alterando las características del fondo del río, su grado de resistencia a los procesos de socavación lateral y de fondo, haciendo el canal mucho más susceptible a ser afectado por agentes internos o externos.

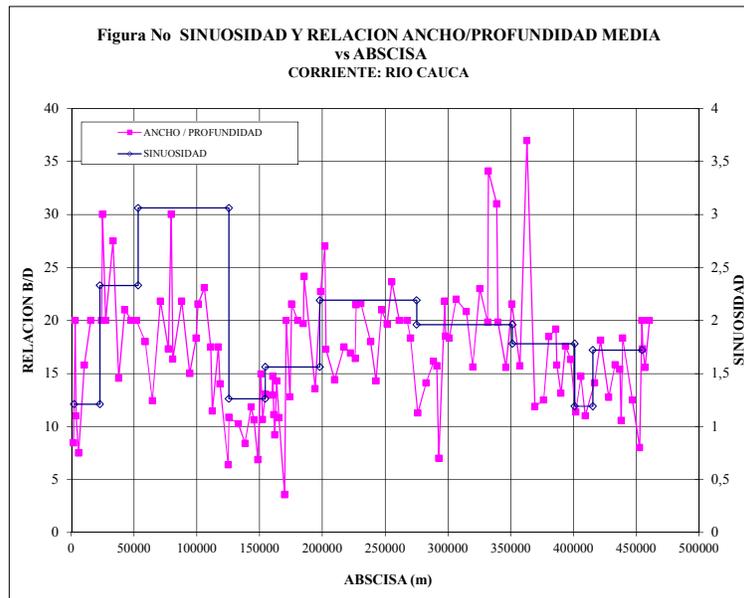
Lo observado a partir de los recorridos efectuados durante el desarrollo del presente estudio refleja claramente esta situación, en donde la presencia de materiales gruesos granulares,

gravas y bolos, está limitado en la actualidad a la zona del río Timba, decreciendo sistemáticamente aguas abajo, ya que éste se constituye en el único proveedor de este tipo de sedimentos; la producción y transporte de materiales de estos tamaños se limita hacia la parte alta de las cuencas, en donde existen no sólo las fuentes y condiciones adecuadas para su producción, sino los ambientes de transporte acorde con los tamaños de estos.

La presencia de gravas mezcladas de manera natural con sedimentos de tamaños más finos sobre el fondo de un canal representa una adecuada protección sobre el fondo de éste, ya que por su propio peso puede alcanzar presiones de consolidación que brinden buen acorazamiento y protección. Por el contrario, la presencia de materiales tipo arenas no es garantía de lechos consolidados, ya que el grado de compactación que puede alcanzar este tipo de partículas no es más adecuado para las condiciones dinámicas de un río como el Cauca, el cual presenta caudales y energías cinéticas altas que superan las condiciones de consolidación de este tamaño de sedimento.

Este cambio en la producción y porcentaje de sedimentos granulares que llegan después de la presa, generan alteraciones en las paredes y fondo del canal, aumentando la relación ancho-profundidad, constituyéndose en un indicador de inestabilidad del cauce a partir de la presencia de agentes externos. En tramos en donde la presencia de gravas y bolos eran significativa, predominan en la actualidad sedimentos con tamaños más finos, arenas y limos, sueltos, de bajo peso unitario, fácilmente erodables, que favorecen los cambios en la morfología del canal del río, que busca ampliar su sección para alcanzar el equilibrio hidráulico que ha perdido a partir de agentes internos o externos. La condición de gradación natural del río Cauca ha sido alterada después de la represa de Salvajina, notándose un cambio brusco en el tamaño y porcentaje de sedimentos, que tienen una relación directa con los procesos de socavación lateral y de fondo, que mide la relación B/D.

La Ilustración 65 muestra gráficamente la relación entre el ancho y la profundidad del río, relacionándolo con su sinuosidad.

**Ilustración 65 Relación ancho-profundidad con la sinuosidad del río Cauca, zona de estudio**

- El valor máximo en la relación B/D, 37, se obtuvo a la altura de la abscisa k362+800, en un tramo curvo, con movilidad lateral baja, aguas abajo de la quebrada La Honda, en los municipios de La Victoria y Roldanillo.
- El valor mínimo de la relación B/D, 3.6, se registró a la altura de la abscisa k170+000, entre el río Mulaló y el Paso de La Torre, en donde el cauce actual corresponde al corte generado tras la captura del meandro; esto dio lugar a la conformación de la madreveja Pelongo, la cual cortó un tramo del río de más de 5 km de longitud. La movilidad lateral para la margen izquierda es muy baja, siendo para la margen derecha del orden de 1.8 m/año; si bien el ancho promedio del cauce en el sector es bajo, 35 m, su profundidad es alta, del orden de 9 m, resultado de la alteración que ha sufrido el cauce por el corte del meandro, el cual ha estado buscando su equilibrio profundizando su fondo; la sinuosidad local es muy baja, alrededor de 1.1.
- El valor promedio encontrado para la relación B/D, fue de 17.
- El ancho máximo de canal activo registrado fue de 170 m, ubicado a la altura de la abscisa k372+800, en un tramo de baja sinuosidad localizado aguas arriba del puente de La Victoria.
- El valor mínimo en el ancho del cauce fue de 32 m, localizado a la altura de la abscisa k170+000, en un tramo muy recto asociado al corte de lo que en la actualidad es la madreveja Platanares.
- El promedio del ancho del cauce fue 110 m.

- La profundidad mínima encontrada fue de 3 m, a la altura de k124+000, en un tramo con alta movilidad sobre la margen derecha, ubicado en la confluencia del río Desbaratado al río Cauca.
- El máximo valor de la profundidad media encontrada fue de 13 m, en el sector aledaño a abscisa k133+000, tramo rectilíneo de muy baja movilidad sobre la margen izquierda y de movilidad alta sobre la derecha.
- El valor promedio de la profundidad del canal fue de 7.1 m.

Los análisis probabilísticos, los reconocimientos de campo y la evaluación de las condiciones morfo-hidráulicas del río Cauca en el sector estudiado muestran una tendencia que indica que para el caso de valores superiores a 20 en la relación B/D, el cauce de éste se presenta en desequilibrio, buscando la estabilidad de canal a partir de procesos de socavación lateral, asociados con márgenes de poco grado de consolidación y en tramos en donde se han presentado capturas de meandros en épocas pasadas y recientes. El río Cauca en estos sectores busca su equilibrio aumentando su sección lateralmente, de tal forma que se compense el cambio abrupto en la pendiente debido al corte y a la presencia de controles litológicos en el lecho de éste, con resistencias altas que impiden el desarrollo de procesos de socavación del lecho. Dentro de los sectores que presentan estas condiciones se encuentran:

- K3+157, relación B/D, 20; puente de Suárez.
- K15+000-k33+000, B/D promedio de 25; presión antrópica, descargas directa de represa de Salvajina, actividad minera de explotación aurífera, tasas de movilidad lateral de moderadas a muy altas.
- K42+500-k51+700, B/D promedio de 20, sector de alta sinuosidad, con capturas de varios meandros, altas tasas de socavación lateral, fondo de río con presencia de gravas consolidadas. Divagación lateral del río significativa.
- K70+000-k88+000, relación B/D, promedio de 20, cauce muy sinuoso, tasas altas de socavación lateral, presencia de meandros abandonados, migración importante de orillas, alta densidad de puntos de extracción minera.
- K100+00-k106+000, B/D, 22, tasas altas de movilidad lateral, sector de alta sinuosidad, presencia de meandros abandonados en ambas márgenes, posibles nuevas capturas de meandros a muy corto plazo.
- K175+000-k202+000, B/D promedio de 22, tramo con cauce rectilíneo, con fuerte control litológico y estructural en las orillas del río, tasas de movilidad moderadas.
- K226+000-k230+000, relación B/D, 21, alta tasas de movilidad lateral, corte de meandros, sinuosidad local moderada.
- K247+000-k267+000, relación BD promedio de 22, alta sinuosidad y movilidad lateral, varias capturas de meandros y alta probabilidad de ocurrencia de nuevos cortes.
- K306+000-k339+0000, relación B/D promedio de 25, alta sinuosidad de cauce, probables cortes de meandros a mediano plazo, alta tasas de movilidad lateral.
- K362+000, zona puntual asociada con presencia de altas tasas de movilidad lateral, presencia de estructuras que controlan el cauce de quebrada La Honda; mayor valor de B/D registrado igual a 37.

- K445+000-k448+000, relación B/D igual a 20, moderada sinuosidad, alta tasa de movilidad lateral, ancho del río superior a 140 m, profundidad media 7 m.

Para el caso de valores bajos de la relación ancho/profundidad, los análisis muestran que los sectores en donde la relación B/D es inferior a 10, el río está buscando su equilibrio profundizando su cauce, registrando presencia de controles litológicos sobre ambos márgenes pero no sobre el fondo de éste, en donde predominan materiales tipo arenas limosas con bajo grado de consolidación. Dentro de los sectores que presentan estas condiciones, se encuentran los siguientes:

- K125+000-k138+000, relación B/D menor de 10, sector rectilíneo, con algunos controles litológicos en los márgenes, alta presencia de puntos de extracción de materiales de arrastre, movilidad lateral baja, menor a 2 m/año.
- K161+000-k170+000, relación B/D menor de 10, cauce rectilíneo, baja sinuosidad, fosas de más de 10 m de profundidad, presencia de extracciones de materiales de arrastre.
- K292+000, sector Bocas de Tuluá, B/D 7, tendencia del río a socavar el fondo del canal para romper hacia el norte en busca del cauce del río Morales, tasas de movilidad lateral muy altas.

Los valores empleados, interpretados y descritos anteriormente corresponden únicamente a la evaluación del río Cauca en la zona de estudio; no deben tomarse como referencias o patrones para otro tipo de cauce o río ya que las propiedades morfo-hidráulicas son específicas y particulares para cada corriente de agua.

Para el caso de los valores de B/D que pueden clasificarse como dentro del rango promedio, entre 10 y 20, la tendencia observada a partir de procesos de movilidad lateral y de fondo, muestran que estos tienen una tendencia a ser típicos o característicos de sectores en donde el río de forma natural ha ido encontrando su equilibrio, observándose un desplazamiento regular de ambos márgenes o de una en algunos casos, aun en tramos donde el cauce presenta giros pronunciados; los procesos migratorios de orillas en estos sectores es sistemático, periódico y persistente en el tiempo, que se ve evidenciado por la ampliación del cauce de manera progresiva y con tasas de movilidad muy definidas y continuas a lo largo de los registros históricos evaluados.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

A lo largo del estudio se ha mostrado cómo las condiciones del río Cauca a lo largo del valle alto han sido afectadas por cambios morfológicos, hidráulicos y morfodinámicos, naturales y antrópicos, significativos, algunos sectores en mayor medida que otros, cambios que en la mayoría de los casos han significado la pérdida de áreas pertenecientes a la dinámica del río mismo y que han sido “recuperadas e incorporadas” para la economía de la región, desconociendo la importancia de estas áreas para el equilibrio morfodinámico, morfológico e hidráulico del río Cauca a lo largo de su valle alto.

Igualmente se observó como la presión antrópica ha “moldeado” el paisaje natural, alterando y desapareciendo geformas naturales asociadas con condiciones de amortiguación de crecientes. Es así como cuerpos de aguas, como la Laguna de Sonso, de vital importancia, no sólo desde el punto de vista biótico sino desde el punto de vista morfológico y morfodinámico, ha sido intervenida de forma acelerada, disminuyendo no solamente el área de su espejo de aguas sino el volumen del área restante, como consecuencia del vertimiento indiscriminado de sedimentos provenientes de actividades agroindustriales que predominan en la zona.

Con preocupación se ha visto cómo, bajo la premisa un desarrollo agro-industrial como fuente de mejoras en la calidad de vida y bajo la bandera de generación de empleo, se ha desarrollado una agro-industria que ha ocasionado un alto deterioro sobre el valle geográfico del río Cauca, causando cambios en las condiciones morfológicas e hidráulicas de éste, alterando sustancialmente el sistema bio-geosférico y contribuyendo con la degradación de la calidad de los suelos debido a la interrupción en el ciclo natural de “fertilidad” de éste, a partir de la proliferación de sistemas de “contención” distribuidos en la mayoría de los casos, sin las evaluaciones o consideraciones técnicas, biológicas y agrológicas, no sólo de un sector específico, sino de todo el entorno, el cual en últimas es el que resulta afectado.

Tanto el desarrollo agrícola legal, como el ilegal, a su vez han generado un alto aporte de sustancias peligrosas, en el último caso hasta tóxicas, que han contribuido no sólo con el deterioro de las fuentes de aguas de la parte alta, sino con las receptoras ubicadas en la parte baja del valle geográfico del río Cauca, de las que nos abastecemos de agua para el consumo humano en la zona plana.

No ha sido fácil medir el daño que estas actividades han ocasionado tanto sobre los afluentes como sobre el propio río receptor y cuál ha sido su grado de aporte o su contribución con el lamentable estado que presenta en la actualidad el río Cauca. Las complejas condiciones sociales, económicas y demográficas de estas áreas, parte altas de las cordilleras, han hecho aún más difícil evaluar el grado de aporte que han generado en la alteración de las condiciones naturales del río, constituyéndose, a su vez, en barreras que no han permitido la recuperación de estas áreas, presentándose más bien como agentes degradadores del medio ambiente, sin el desarrollo de un uso racional que permita no sólo la conservación del medio en estas áreas sino la recuperación de las parte bajas, medios receptores, que se han vistos afectados de manera directa por esta situación.

Es preocupante observar como las cuencas que conforman los principales afluentes del río Cauca presentan avanzados estados de degradación, con pérdida de gran parte de la cobertura vegetal natural, primaria, con alta intervención humana para el desarrollo de actividades agrícolas, algunas ilícitas, que ha conllevado de manera directa e indirecta al desarrollo de procesos dinámicos de alta significación y severidad, en áreas en donde las condiciones morfológicas y geológicas son de por sí adversas, debido a la presencia de rasgos estructurales mayores con actividad reciente y macizos rocosos de pobres condiciones geomecánicas.

Esta situación ha generado desequilibrios sobre el entorno natural de las cuencas, observándose procesos de socavación lateral y de fondo avanzados y críticos, los cuales como resultado han producido un aumento importante en la generación de sedimentos, así como alteraciones significativas en las condiciones hidráulicas de cada uno de éstos. La pérdida de la cobertura forestal de los corredores cercanos a los cuerpos de aguas ha ocasionado la desprotección de márgenes y orillas, haciendo aún más sensibles estos terrenos al desarrollo de procesos erosivos y de remoción en masa, que contribuyen grandemente con el deterioro de las cuencas. Asimismo, la presión de la frontera agrícola en áreas de laderas ha tenido como resultado la pérdida de parte de la cobertura vegetal natural, así como de la parte superior del perfil de suelos, que aumenta el grado de aporte de sedimentos hacia las partes más bajas de la región.

Es preocupante ver el estado de “vasificación” que presenta en algunos sectores el valle geográfico del río Cauca, caso específico de la Laguna de Sonso, en donde se llegaron a identificar varios indicadores de procesos de pérdida de fertilidad debido a la interrupción del ciclo natural propio de ríos de este tipo, que ha traído consigo la construcción de barreras de contención de manera indiscriminada, conformando obstáculos para el adecuado manejo tanto de los aguas lluvias y de escorrentía, como de los flujos y reflujos propios de estas zonas, en donde su paragénesis corresponde a una planicie aluvial asociada con desbordes del río Cauca en sus diferentes periodos de retorno.

La alteración de las condiciones morfológicas e hidráulicas del valle del río Cauca no sólo ha sido el resultado del desarrollo indiscriminado de sistemas de contención; vemos con preocupación cómo a lo largo del periodo histórico evaluado, 1943-2012, la actividad antrópica y el desarrollo agro-industrial ha generado alteraciones sobre los cuerpos de aguas -que durante mucho tiempo fueron los retenedores, controladores y mitigadores de las crecientes del río Cauca- evitando el desborde en zonas más bajas, que desafortunadamente con el correr del tiempo evolucionaron como poblaciones, que son las que en la actualidad presentan alto grado de afectación como consecuencia de las crecientes del río. Sobre la planicie aluvial del río Cauca era recurrente la presencia de ciénagas, lagunas y madrevejas de diversos tamaños y condiciones, que en su momento y de forma natural, el mismo río fue conformando tanto morfológica como hidráulicamente, para que fungieran como vasos receptores temporales que mitigaran y controlaran los desbordes que presentaba y presenta el río Cauca, como resultado de la variedad hidro-climatológica de su cuenca, así como de su diversidad morfológica, litológica y estructural, sin desconocer las actividad sísmica que caracteriza al sur-occidente colombiano y que ha tenido una influencia directa en la modelación del paisaje y en la formación de estos sistemas

lagunares desaparecidos en un alto porcentaje, como consecuencia de la acción antrópica directa no controlada.

Bajo esta perspectiva, el valle geográfico del río Cauca en su parte alta presenta un panorama que, a la luz de los resultados obtenidos en el presente estudio, no es halagador para el futuro cercano, identificándose procesos avanzados de degradación de orillas y fondo del río, ocupación de antiguas áreas de reservas naturales para la mitigación de crecientes, la alteración y rectificación de cauces de drenajes naturales, la implementación de barreras o pantallas que restringen de manera severa el perfil hidráulico o sección del río Cauca y afluentes, disminuyendo a su vez, el aporte de abonos y fertilizantes naturales a los suelos sujetos a degradación continua, a partir de actividades que involucran el paso de grandes maquinarias y equipos que compactan el suelo. Como consecuencia de la integración de varias de estas variables, las condiciones que muestra el valle geográfico del río Cauca en su parte alta deben considerarse críticas, hasta el punto donde se hace necesaria la toma de decisiones que implican un cambio en la mentalidad de aprovechamiento de la oferta que nos presenta esta región, pero siendo conscientes del alto grado de responsabilidad que tiene el hombre, tanto en su recuperación como en su conservación para generaciones futuras.

Desafortunadamente, las soluciones que se han implementado para la solución de los problemas generados a partir de los desbordes naturales del río en épocas de invierno han ido en contravía de las condiciones naturales de la dinámica de éste, resultando más dañino el remedio que la enfermedad. La implementación desordenada y caótica de diques o jarillones de contención, los cuales en la mayoría de los casos sus diseños desconocen las características morfológicas, dinámicas y biológicas del entorno local y regional, han ocasionado daños en algunos casos irrecuperables y poco mitigables, debido a la gasificación que se ha generado sobre el valle geográfico del río.

Como se ha indicado en el estudio, los diques ha ocasionado pérdidas importantes en la sección hidráulica del río Cauca, siendo ésta la causa principal de los deterioros y procesos de socavación de orillas y fondo que presenta el río Cauca. Es preocupante notar cómo hay sectores en donde las tasas de movilidad lateral y vertical superan, por amplio margen, los promedios históricos identificados, favoreciendo las pérdidas totales y definitivas de terrenos agrícolas; esta situación es la respuesta severa del río a la intervención antrópica de las áreas que él, de forma natural, tenía reservadas para cumplir con las funciones de mitigación y control de crecientes; al verse disminuida su sección hidráulica a lo largo de su curso y haber intervención antrópica en las zona determinadas para control de desborde, el río responde con complejos procesos de búsqueda de equilibrio, que conllevan la pérdida total, no recuperable de extensa franjas de terrenos ubicadas hacia las márgenes de este. El papel que juega la socavación de fondo sobre la pérdida de terrenos laterales es significativa, más si se tiene en cuenta que, en la mayoría de los casos, los suelos y macizos rocosos que conforman el fondo de éste son de pobres condiciones geomecánicas y susceptibles a ser afectados por procesos erosivos de todo tipo.

Otro aspecto negativo, resultado de la proliferación e implantación caótica de diques y que se diría nunca se han evaluado sus costos a mediano y largo plazo, corresponde a la pérdida de fertilidad del valle como resultado del aislamiento de los terrenos de las fuentes

de abonos principales que aporta el río en sus periodos de crecientes. Esta fertilización natural ha sido la fuente de vital importancia en los desarrollos agrícolas de valles, no sólo como el del río Cauca sino a nivel mundial como son los valles de los ríos Nilo en Egipto y Mississippi en Estados Unidos; la naturaleza de estos abonos y fertilizantes, su origen natural, son valores agregados que deberían tener en cuenta los que favorecen la construcción indiscriminada de diques de contención. Finalmente, en relación con la presencia de diques de forma indiscriminada, se deben evaluar los costos que está generando este aislamiento de los terrenos y las implicaciones a largo plazo, las cuales ya comienzan a evidenciarse como procesos severos y críticos, tal como se describió a lo largo del presente informe.

No debemos dejar a un lado, la importancia que para la recuperación del río Cauca y de su valle geográfico representan los programas de recuperación de todos sus afluentes. Mientras no se tenga una política integral de manejo de la cuenca del valle alto del río Cauca, las condiciones morfológicas y geológicas adversas de estas cuencas, junto con el inadecuado manejo antrópico que se les ha dado y la falta de programas educativos de prácticas y medidas de control conforme a las circunstancias, todos los problemas de éstas se seguirán viendo reflejados a lo largo del corredor del río Cauca; y, mientras no se desarrollen programas de mitigación, recuperación y control hacia las partes altas de las vertientes, cualquier inversión que se realice en la zona baja será poca para la recuperación de este sector.

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, así como en estudios anteriores, presentamos una propuesta para el manejo de 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 las siguientes áreas.

#### ➤ **ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO MULTIPROPÓSITO (ZAM)**

Bajo esta denominación se incluyen 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 en el presente estudio 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.

A lo largo del presente estudio se identificaron 37 áreas potenciales para el desarrollo y conformación de estas Zonas de Amortiguamiento Multipropósito, las cuales deberán estudiarse con más detalle, especialmente desde los puntos de vista morfológico, morfodinámico e hidráulico.

En la Tabla 6.1 se presenta la relación de las Zonas de Amortiguamiento Multipropósito, ZAM, así como las áreas y los volúmenes estimados de almacenamiento suponiendo diferentes profundidades de laminación; en los Planos C del Anexo 4 se presenta la localización de estas zonas a lo largo del río Cauca en su valle alto.

Tabla 6.1 Zonas de Amortiguamiento Multipropósito en el valle alto del río Cauca

Código	Área (m <sup>2</sup> )	Prof. (m)	Prof. (m)	Prof. (m)	Volumen (m <sup>3</sup> ) (h=1.5m)	Volumen (m <sup>3</sup> ) (h=1.0m)	Volumen (m <sup>3</sup> ) (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
	<b>VOLUMEN TOTAL (m<sup>3</sup>)</b>				<b>186,408,225</b>	<b>124,272,150</b>	<b>62,136,075</b>

### ➤ ZONAS DE EMBALSE NATURAL Y RECUPERACIÓN DE HUMEDALES (ZEN)

Bajo esta denominación se han clasificado 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-hidrológico-dinámico-morfológico del río Cauca y afluentes.

Las ZEN son áreas, junto con otras que no se incluyen en este informe, deben ser declaradas zonas o áreas de protección del río Cauca y dedicadas exclusivamente para su conservación biótica-abiótica, teniendo un uso anexo y complementario como embalses de regulación pequeños, los cuales, de acuerdo con los cálculos iniciales efectuados en el presente estudio, podrían almacenar en total un volumen de agua estimado de 20 Mm<sup>3</sup>. Este volumen sumado al volumen que puede almacenarse en las ZAM podría 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. En la Tabla 6.2 se presenta la relación de las ZEN, incluyendo sus áreas y los volúmenes de agua

que pueden almacenarse en ellas y en los Planos C del Anexo 4 se presenta la localización de estas zonas a lo largo del río Cauca en su valle alto.

**Tabla 6.2 Zonas de Embalses Naturales propuestas en el valle alto del río Cauca**

<b>Código</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
ZEN1	136,764	2.5	410,292
ZEN2	163,651	2.5	409,128
ZEN 3	120,201	2.5	300,503
ZEN4	265,303	2.5	310,835
ZEN5	124,334	2.5	1,451,305
ZEN6	580,522	2.5	1,451,305
ZEN7	207,997	2.5	519,993
ZEN8	371,716	2.5	929,290
ZEN9	126,725	2.5	316,813
ZEN10	33,091	2.5	82,728
ZEN11	65,204	2.5	163,010
ZEN12	214,104	2.5	535,260
ZEN13	628,255	2.5	1,570,638
ZEN14	141,463	2.5	353,658
ZEN15	364,390	2.5	910,975
ZEN16	312,556	2.5	781,390
ZEN17	186,956	2.5	467,390
ZEN18	82,757	2.5	206,893
ZEN19	31,591	2.5	78,978
ZEN20	140,892	2.5	277,370
ZEN21	110,948	2.5	591,098
ZEN22	236,439	2.5	591,098
ZEN23	119,313	2.5	298,283
ZEN24	428,372	2.5	1,070,930
ZEN25	136,346	2.5	340,865
ZEN26	176,892	2.5	442,230
ZEN27	182,022	2.5	455,055
ZEN28	275,698	2.5	689,245
ZEN29	202,983	2.5	507,458
ZEN30	265,464	2.5	507,458
ZEN31	355,827	2.5	663,660
ZEN32	127,597	2.5	889,568
ZEN33	260,240	2.5	318,993
ZEN34	127,372	2.5	650,600
ZEN35	147,338	2.5	318,430
<b>Área Total</b>	<b>7,451,323</b>	<b>Volumen Total</b>	<b>19,862,717</b>

### ➤ **ÁREAS DE MANEJO ESPECIAL (AME)**

Finalmente, se ha querido llamar la atención de otras de dos zonas, que se han denominado en este estudio como Áreas de Manejo Especial, AME; en primera instancia se han identificado dos, pero sabemos que 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 los municipios de San Pedro (en la laguna de El Conchal) y Tuluá (unos pocos kilómetros antes de la confluencia del río Tuluá al río Cauca), en lo que actualmente se denomina zanjón Burrigá, AME -02. La primera ha sido objeto de innumerables estudios, pero como se indicó anteriormente, 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, llegaremos 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

## 7. REFERENCIAS

Aspden, J.A., Nivia, A. y Millward, D. (1985). Mapa Geológico de Colombia, Escala 1:100000, Plancha 279 – Dagua, INGEOMINAS, Bogotá.

Aspden, J.A. (1984). The geology of the Western Cordillera, Department of Valle, Colombia (Sheets 261, 278, 279, 280 y 299) Mission Británica (British Geological Survey), Report 4, Cali.

Breazeale, J. F. y Smith, H. V (1930). Caliche in Arizona (pág. 419-441). University of Arizona: Agricultural Experiment Station Bulletin 131, 15 de abril de 1930.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - Universidad del Valle (2004). Proyecto de modelación del río Cauca, Caracterización Geológica General del cauce del río Cauca, elaborado por Geóloga Olga Patricia Villa Gómez.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2010). Protocolo de Información, Sistema de Información Ambiental, Capa Temática de Geología. Santiago de Cali.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – Universidad del Valle (2001). Proyecto de Modelación del río Cauca. Fase I. Caracterización del río Cauca, Tramo Salvajina-La Virginia. Volumen I

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – Universidad del Valle (2004). Muestreo sedimentológico del material de fondo del río Cauca y principales tributarios, Tramo Salvajina-La Virginia. Volumen II. Cali, Febrero 2004.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (1978). Proyecto de Regulación del río Cauca. Discusión General de Alternativas de Diseño. Cali, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2002). Inventario de Sitios de Extracción de Material de Arrastre en el Departamento del Valle del Cauca, Subdirección de Gestión Ambiental. Informe Técnico 1130-09-028-071-0291-2002. Septiembre 5 de 2002.

De Pedraza Gilsanz, J. (1996). Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid.

El Espectador. Así es Colombia, Colección en 138 fascículos, se consultaron los números 42, 43, 44, 90, y 102. Bogotá, años 1986, 1987, 1988

Gurnell, A. & Petts, G. (Eds.) (1995). Changing River Channels, John Wiley & Sons, Chichester.

Hsieh Wen Shen (1983). Informe de avance sobre problemas de sedimentos relacionados con 1. Degradación abajo de Salvajina, 2. Desviación de caudal a Calima II. 3. Diques para protección contra inundaciones, dirigido a CVC, Cali, Colombia e Integral Ltda., Medellín, Colombia. Noviembre 25 de 1983

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección Agrológica (1980). Estudio Semidetallado de Suelos del Valle Geográfico del río Cauca. Con la colaboración de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca C.V.C. Bogotá, D.E.. Anexo con planos en escala 1:25000 de toda el área plana del valle geográfico del río Cauca.

Maya, M. y González, H. (1996). Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia. Boletín Geológico INGEOMINAS, 35/2-3, 43-57.

Miller, A. J. & Gupta, A. (Eds) (1999). Varieties of Fluvial Form. John Wiley & Sons, 538 pp.

Nivia, A. (1993). Evidencias de obducción en el Complejo Ultramáfico de Bolívar. VI Congreso Colombiano de Geología. Memorias I, pág. 63-79.

Nivia, A. (2001). Memoria Explicativa. Mapa Geológico del Valle.

Padilla, L. E. Un modelo estructural para el Valle del Cauca y sus implicaciones hidrogeológicas y Mineras.

Rapp, C.F. and T.B. Abbe (2003). A framework for delineating channel migration zones. Washington State, Dept. Transportation. [www.ecy.wa.gov/biblio/0306027](http://www.ecy.wa.gov/biblio/0306027).

Rosgen, D. L. (1996). Applied River Morphology. Wildland Hydrology Books, Pagosa Springs, USA.

SCHUMM, S.A. (1993). River Response to Base Level Change: Implications for Sequence Stratigraphy, Journal of Geology, Volume 101, p. 279-294 (traducido).

Schumm, S.A. and Beathard M. R., Geomorphic Thresholds: An Approach to River Management, River Mechanics, páginas 707-723 (Traducido).

Schumm, S. A. & B. R. Winkley (eds), (1994). The variability of large alluvial rivers. New York: American Society of Civil Engineers Press.

Tenjo, S., Castillo, J.M., Padilla, L.E. y Salazar, N. (1977). Hidrogeología del Valle del río Cauca entre el río Sonso y Cartago. Informe CVC 77-16.

Universidad Nacional de Colombia (2001). Ana Cecilia Arbeláez. Facultad de Minas, Posgrado en Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Proyecto de Tesis para optar al título de Magister en Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos: Delimitación y Reglamentación de Zonas Inundables, Aplicación al río San Carlos. Medellín.

Universidad Nacional de México (2010). Código Estratigráfico Norteamericano. Servicio Geológico Mexicano. México.

Vitaliano, D. (1986). Leyendas de la Tierra. Salvat. Capítulo 3, Movimiento lento, páginas 32 a 36.

## **8. ANEXOS**

# **ANEXO 1**

# **INFORME GEOTÉCNICO**

## **ANEXO 2**

### **GRUPO DE PLANOS A**

### **UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**

## **ANEXO 3**

### **GRUPO DE PLANOS B**

# **CARACTERÍSTICAS MORFODINÁMICAS RÍO CAUCA**

## **ANEXO 4**

### **GRUPO DE PLANOS C**

# **LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO MULTIPROPÓSITO, ZONAS DE EMBALSES NATURALES Y ÁREAS DE MANEJO ESPECIAL**