



Estudio de impactos acumulativos proyecto
hidroeléctrico Ituango

Convenio de Cooperación Técnica No. ATN/OC-
13351-CO



ESTUDIO DE IMPACTOS ACUMULATIVOS PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

República de Colombia

Proyecto Hidroeléctrico Ituango

**Convenio de Cooperación Técnica
No. ATN/OC-13351-CO**



BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO

Enero 2016

TABLA DE CONTENIDO

	Pag
12 IMPACTOS ACUMULATIVOS.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
12.1 GENERALIDADES	1
12.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	3
12.2.1 Principios del análisis acumulativo de los impactos	3
12.2.2 Tipos de impactos.....	4
12.2.3 Procesos de acumulación.....	5
12.2.3.1 Análisis espacial	5
12.2.3.2 Análisis temporal	5
12.2.4 Consecuencias generadas	6
12.2.5 Metodologías	Error! Bookmark not defined.
12.2.5.1 Tipos de metodologías	6
12.2.5.2 Pasos a seguir para la evaluación	7
12.3 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	Error! Bookmark not defined.
12.3.1 VECs del Medio Abiótico.	11
12.3.2 VECs del Medio Biótico	11
12.3.3 VECs del Medio Socioeconómico	12
12.4 ETAPAS y ACTIVIDADES para el análisis de los impactos acumulativo.	8
12.4.1 Estudio de alcance y enfoque (SCOPING).	8
12.4.2 Descripción de los VECs.	8
12.4.3 Determinación de las consecuencias ambientales y las medidas de manejo.....	9
12.4.4 Construcción de los indicadores ambientales	9
12.5 EVALUACIÓN DE LOS VCES.....	13
12.5.1 VECs del Medio Abiótico	13
12.5.1.1 Calidad del agua del río Cauca.....	13
12.5.1.2 Dinámica fluvial del río Cauca	34
12.5.2 VECs del Medio Biótico	51
12.5.2.1 Cobertura vegetal	52
12.5.2.2 Ecosistemas acuáticos	55
12.5.3 VECs Medio Socioeconómico-Finanzas municipales por transferencias	58
12.6 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	67
12.6.1 Generalidades	67
12.6.2 Monitoreo y seguimiento a la Calidad del agua y Dinámica Fluvial del río Cauca. Error! Bookmark not defined.	
12.6.2.1 Objetivo	67
12.6.2.2 Descripción de actividades de la medida	67
12.6.3 Monitoreo y seguimiento de coberturas vegetales.	69
12.6.3.1 Objetivos	69
12.6.3.2 Descripción de actividades de la medida	69
12.6.4 Monitoreo de las comunidades hidrobiológicas localizadas aguas abajo de la central 69	
12.6.4.1 Objetivo	69
12.6.4.2 Descripción de actividades de la medida	70

LISTADO DE TABLAS

	Pag
Tabla 12-1. Parámetros para el desarrollo del WQI	14
Tabla 12-2. Calidad del agua de acuerdo al WQI.....	15
Tabla 12-3. Índice de calidad NFS-WQI.....	16
Tabla 12-4. Resultados del monitoreo de línea base para el proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo	16
Tabla 12-5. Segmentos definidos en el Modelo QUAL2Kw. (Origen Magna Sirgas) ...	Error! Bookmark not defined.
Tabla 12-6. Condiciones fisicoquímicas iniciales (Segmentos)	Error! Bookmark not defined.
Tabla 12-7. Condiciones hidráulicas iniciales (Tributarios)...	Error! Bookmark not defined.
Tabla 12-8. Condiciones fisicoquímicas iniciales (Tributarios)	Error! Bookmark not defined.
Tabla 12-9. Resultados calibración de variables	Error! Bookmark not defined.
Tabla 12-10. Escenarios evaluados	Error! Bookmark not defined.
Tabla 12-11. Transferencias a los municipios del embalse proyecto Espíritu Santo.....	60
Tabla 12-12. Transferencias a los municipios del embalse proyecto Hidroituango.....	60
Tabla 12-13. Transferencias a los municipios del embalse proyecto hidroeléctrico Cañafisto	61
Tabla 12-14. Transferencias a los municipios de la cuenca que surte el embalse de los proyectos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo.....	61
Tabla 12-15. Transferencias a las Corporaciones con jurisdicción en la cuenca del río Cauca	66
Tabla 12-16. Coordenadas de los puntos de monitoreo.....	67
Tabla 12-17. Localización de puntos de monitoreo de fauna íctica	70

LISTADO DE FIGURAS

	Pag
Figura 12.1. Diagramas causa-efecto de los impactos directos e indirectos	5
Figura 12.2. Métodos y herramientas para la evaluación de impactos acumulativos.....	7
Figura 12-3. Esquema de segmentación.....	Error! Bookmark not defined.
Figura 12-4. Localización de segmentos y tributarios.....	Error! Bookmark not defined.
Figura 12-5. Resultado de la calibración del caudal	Error! Bookmark not defined.
Figura 12-6. Resultado de la calibración de la temperatura...	Error! Bookmark not defined.
Figura 12-7. Resultado de la calibración del oxígeno disuelto.....	Error! Bookmark not defined.
Figura 12-8. Resultado de la calibración del oxígeno disuelto.....	Error! Bookmark not defined.
Figura 12-9. Resultado de la calibración del ortofosfatos	Error! Bookmark not defined.
Figura 12-10. Resultado escenario remoción del 100% de la biomasa del embalse	Error! Bookmark not defined.
Figura 12-11. Resultado escenario remoción del 75% de la biomasa del embalse	Error! Bookmark not defined.
Figura 12-12. Resultado escenario remoción del 50% de la biomasa del embalse	Error! Bookmark not defined.
Figura 12-13. Resultado escenario remoción del 25% de la biomasa del embalse	Error! Bookmark not defined.
Figura 12-14. Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas arriba del Proyecto Hidroeléctrico Ituango	37
Figura 12-15. Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas abajo del Proyecto Hidroeléctrico Ituango	37
Figura 12-16. Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas arriba del proyecto hidroeléctrico Ituango.....	38
Figura 12-17. Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Ituango	38
Figura 12-18. Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas arriba del proyecto hidroeléctrico Ituango.....	39
Figura 12-19. Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Ituango	40
Figura 12-20. Perfil a lo largo del tramo de estudio con procesos de agradación y degradación	40
Figura 12-21. Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas arriba del proyecto hidroeléctrico Ituango.....	41
Figura 12-22. Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Ituango	41
Figura 12-23. Perfil a lo largo del tramo de estudio con procesos de agradación y degradación	42
Figura 12-24. Variación del lecho en el tramo I en 50 años para el río Cauca.....	43
Figura 12-25. Vista en planta del sector ubicado entre el puente Paso Real y el puente de Occidente.....	43
Figura 12-26. Variación del lecho a 50 años en el tramo II para el río Cauca.....	44
Figura 12-27. Variación del lecho en el tramo I en 50 años, para el río Cauca con el proyecto hidroeléctrico Ituango.....	45
Figura 12-28. Variación del lecho en el tramo II en 50 años, para el río Cauca con proyecto hidroeléctrico Ituango.....	46
Figura 12-29. Variación del lecho en el tramo I en 50 años, para el río Cauca con los proyectos hidroeléctricos Ituango y Espíritu Santo	46

Figura 12-30	Variación del lecho en el tramo II en 50 años, para un nivel medio de operación establecido en la cota de 205 msnm.....	47
Figura 12-31.	Variación del lecho en el tramo III en 50 años, para una nivel medio de operación establecido en la 205 msnm	48
Figura 12-32	Procesos de agradación y degradación a lo largo del tramo II y III.....	48
Figura 12.33.	Localización de los proyectos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo. Coberturas vegetales de los proyectos Cañafisto y Espíritu Santo	53

1 GENERALIDADES

Con el propósito de evaluar los impactos acumulativos que se generan en la cuenca media del río Cauca por la presencia de varios proyectos hidroeléctricos, se realizó un análisis de la información que se presenta en los Estudios de Impacto Ambiental de los proyectos hidroeléctricos Cañafisto¹, Ituango y Espíritu Santo, cuya localización se presenta en la Figura 1-1 .

Además de los tres proyectos incluidos en esta evaluación de estos impactos acumulativos, también están inscritos en el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), los siguientes proyectos sobre el río Cauca, a los cuales se les ha exigido DAA, pero que no han entregado los estudios solicitados.

- Hidroeléctrica Potosí. Localizada aguas arriba del proyecto Espíritu Santo. El 19 de mayo de 2010 fue radicada por parte del IDEA una solicitud de pronunciamiento al MAVDT sobre si es necesario hacer DAA. En la solicitud se argumenta alternativa única porque que no hay opciones de más alternativas a la presentada.

En el Auto 2459 del 30 de junio de 2010, el MAVDT define la exigibilidad de DAA, donde solicita estudiar más alternativas con el objeto de optimizar y racionalizar el uso de los recursos.

- Hidroeléctrica Nuro. Localizada aguas abajo del proyecto Espíritu Santo. El 19 de mayo de 2010 fue radicada por parte del IDEA una solicitud de pronunciamiento al MAVDT sobre si es necesario hacer DAA. . En la solicitud se argumenta alternativa única porque que no hay opciones de más alternativas a la presentada.

En el Auto 2459 del 01 julio de 2010, el MAVDT define la exigibilidad de DAA, donde solicita estudiar más alternativas con el objeto de optimizar y racionalizar el uso de los recursos.

- Hidroeléctrica El Doce. Localizada aguas abajo del proyecto Espíritu Santo. El 2 de diciembre de 2008 fue radicada por parte de HMV – Ingenieros una solicitud de pronunciamiento al MAVDT sobre si es necesario hacer DAA. En el Auto 185 del 09 de febrero de 2009, el MAVDT define la exigibilidad de DAA.

¹ Mediante la Resolución 1291 del 13 de octubre de 2015, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, le negó la licencia ambiental a este proyecto

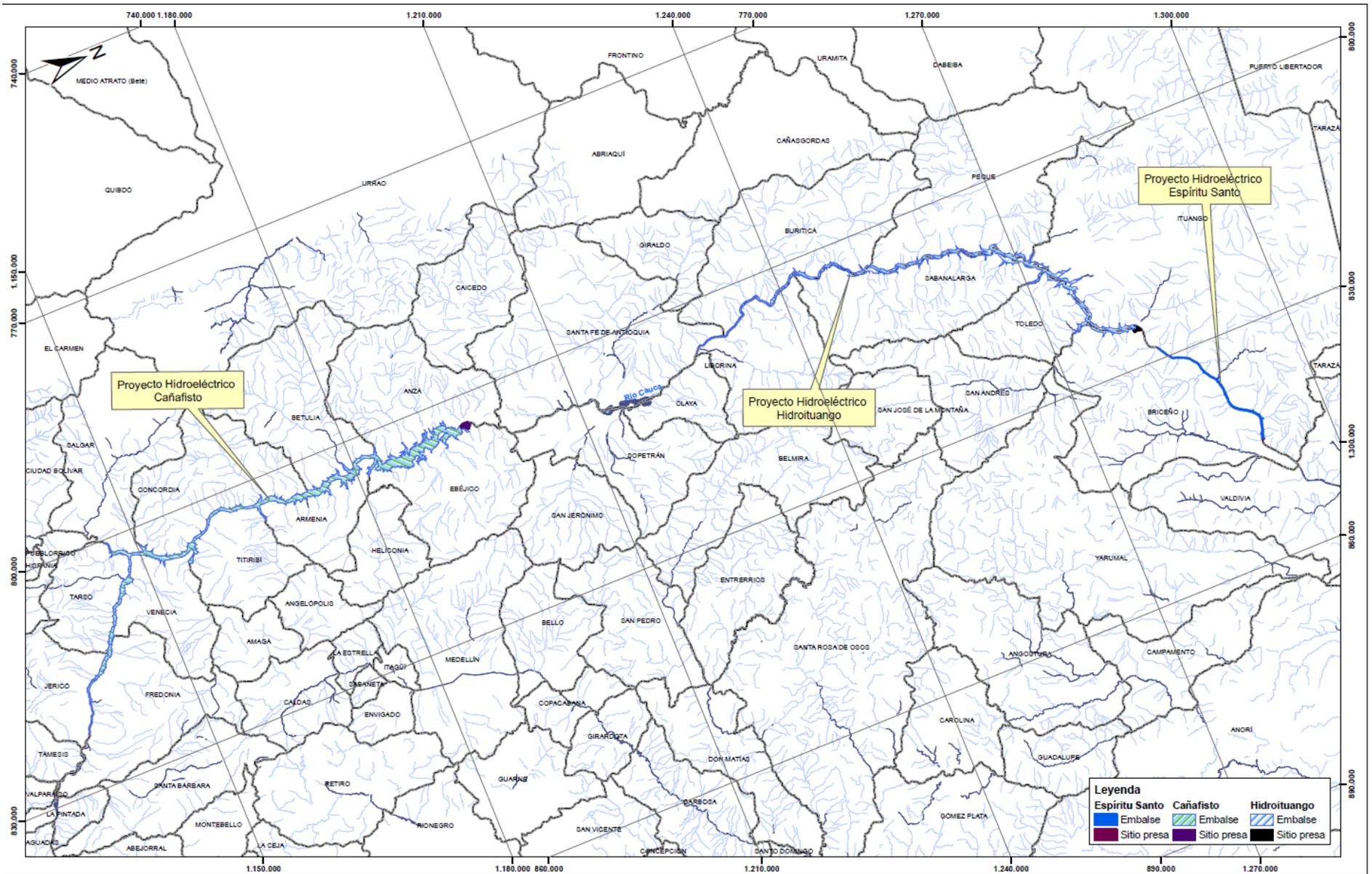


Figura 1-1. Localización de los proyectos hidroeléctricos Cañafisto, Ituango y Espiritu Santo

2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

2.1 PRINCIPIOS DEL ANÁLISIS ACUMULATIVO DE LOS IMPACTOS

El Consejo sobre calidad ambiental de Estados Unidos (Council on Environmental Quality) plantea los siguientes ocho principios para el análisis de los impactos acumulativos:

- **Los impactos acumulativos son causados por el conjunto de acciones pasadas, presentes y futuras razonablemente previsibles.**

Los impactos de una acción propuesta sobre un recurso dado, o ecosistema, o comunidad, incluyen los impactos presentes y futuros añadidos a los impactos que han ocurrido en el pasado. También deben ser adicionados a impactos del pasado, el presente y el futuro causados por otras acciones que afectan el mismo recurso.

Para el presente estudio se analizarán los impactos a los Medios Abióticos, Bióticos y Socioeconómicos ocasionados por actividades en la cuenca como la minería y la explotación pesquera, unidos a los efectos que causarán los proyectos hidroeléctricos Ituango (en construcción), Espíritu Santo (en estudios de factibilidad técnica y económica, y en la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental) y Cañafisto.

- **Los impactos acumulativos son el efecto total sobre un recurso dado, de los impactos directos como indirectos.**

Los impactos individuales de actividades dispares pueden sumar o actuar recíprocamente para causar impactos adicionales no evidentes, cuando se están mirando los impactos individuales uno por uno. Los impactos adicionales, reforzados por acciones sin relaciones a la acción propuesta, deben ser incluidos en el análisis de impactos acumulativos.

- **Los impactos acumulativos deben ser analizados en términos del recurso específico, el ecosistema, y la comunidad que son afectados.**

Los impactos ambientales a menudo son evaluados en la perspectiva de la acción propuesta. El análisis de impactos acumulativos requiere el enfoque del recurso, el ecosistema y la comunidad que pueden ser afectados, y el desarrollo de un entendimiento adecuado de cómo los recursos son susceptibles a ser afectados por los impactos (sensibilidad).

- **El análisis de impactos se debe enfocar sobre aquellos que son realmente significativos.**

Para que el análisis de los impactos acumulativos sea útil en la toma de decisiones, deben ser limitados, mediante un análisis de alcance, a los impactos significativos que pueden ser evaluados. Las fronteras para evaluar impactos acumulativos deberían ser ampliadas, si existe un recurso que es afectado considerablemente, o si el tipo de impacto es de interés para el evaluador.

- **El efecto acumulativo no está limitado con fronteras políticas o administrativas.**

Los recursos típicamente son demarcados según responsabilidades de agencias, corporaciones regionales, autoridades locales u otras fronteras administrativas. Como los recursos naturales y socioculturales por lo general no son tan alineados, cada entidad política en realidad maneja sólo un segmento del recurso afectado o el ecosistema. El análisis de los impactos acumulativos sobre sistemas naturales debe emplear fronteras naturales ecológicas y el análisis de las comunidades debe establecer las fronteras socio culturales reales, para asegurar que se incluyan todos los impactos.

Este enfoque permite darle un manejo sistémico a los componentes del medio que conforman una cuenca.

- **Los impactos acumulativos pueden resultar de la acumulación de impactos similares o de la interacción sinérgica de diversos impactos.**

Las acciones repetidas pueden causar impactos de acumulación a través de la adición simple (más y más del mismo tipo de efecto); así mismo, diversas acciones pueden producir impactos, que interactuando, producen impactos acumulativos mayores que la suma de los impactos.

- **Los impactos acumulativos pueden durar por muchos años, más allá de la vida de la acción que causó los impactos.**

Algunas acciones afectan por un tiempo más que la vida de la acción misma. El análisis acumulativo de los impactos necesita aplicar las mejores técnicas de la ciencia y de pronóstico, para determinar consecuencias potenciales en el futuro.

- **Cada recurso afectado, ecosistema, y comunidad, se debe analizar en los términos de su capacidad para acomodarse a impactos adicionales.**

Los analistas tienden a pensar en términos de cómo se modificarán el recurso, el ecosistema, y a la comunidad, dada las necesidades de desarrollar el proyecto. El análisis acumulativo de los impactos más eficaz se centra en el análisis de lo que es necesario, para asegurar la productividad o la sustentabilidad del recurso.

En otras palabras, se debe identificar los límites o umbrales a los que puede llegar un elemento, para permitirle que se recupere o adapte a las nuevas condiciones originadas por la presencia de una actividad perturbadora.

2.2 TIPOS DE IMPACTOS

Para la evaluación de los impactos acumulativos se debe considerar los siguientes tres tipos de impactos, que se definen de acuerdo a la forma de acumulación:

- **Impacto aditivo.** Es el impacto que no se combina con ningún otro, pero que a través del tiempo, pasado, presente y futuro, van incrementando su valor. Por ejemplo, la calidad de una corriente de agua por el aporte de sustancias contaminantes de varias fuentes, o el ruido existente en una zona por la presencia de varias fuentes de generadoras de presión sonora.
- **Impacto interactivo.** Son impactos individuales que combinados, generan otro efecto diferente al de cada impacto por separado; los impactos no necesariamente son generados por un solo proyecto. Por ejemplo, las actividades erosivas con los procesos de transporte de sedimentos.
- **Impacto indirecto o secundario.** Son causados por una acción, pero sus efectos se presentan más tarde o más lejos del punto donde ésta se presenta, pero son todavía razonablemente previsibles. Los impactos indirectos pueden incluir cambios inducidos en los patrones de uso del suelo, densidad de población o tasas de crecimiento y efectos relacionados con el aire y el agua y otros sistemas naturales, incluyendo los ecosistemas. Se consideran sinónimo de impacto secundario.

La Figura 2-1 es una ilustración de la relación causa-efecto en los impactos directos e indirectos de una acción propuesta. Como el nombre lo indica, los impactos directos son aquellos que son causados directamente por las actividades del proyecto. Los impactos indirectos son causados por otra acción o acciones que tienen relación con el proyecto.

Estas acciones son a menudo referidas como “si no fuera por” y generalmente ocurren un tiempo después o a alguna distancia de la acción original.



Figura 2-1. Diagramas causa-efecto de los impactos directos e indirectos

2.3 PROCESOS DE ACUMULACIÓN

Los tipos de impactos definidos en el numeral anterior se pueden acumular en el tiempo o en el espacio, por lo que es necesario realizar los siguientes análisis:

2.3.1 Análisis espacial

La acumulación espacial ocurre cuando la proximidad entre las perturbaciones es más pequeña que la distancia requerida para eliminarlas o dispersarlas. Por lo tanto, se deben describir las principales consideraciones, por las que un impacto tiene acumulación espacial. Para el análisis espacial del impacto se debe considerar:

- Si el cambio ambiental que se está evaluando, tiene un alcance puntual, local o regional.
- Si las perturbaciones se presentan en un solo punto (concentrada), en varios puntos de la zona de influencia (dispersa), o si se presentan en toda la zona de influencia (continua).
- Se debe determinar el patrón como se está presentando la perturbación o sea la forma geométrica como se presenta la modificación: puntual, lineal o de área.

Con base en los análisis anteriores se determina la **frontera espacial** o sea el espacio geográfico hasta donde se está presentando la perturbación y la existencia de situaciones especiales que potencialicen el cambio:

2.3.2 Análisis temporal

La acumulación temporal ocurre cuando el intervalo de tiempo entre una perturbación y las sucesivas es demasiado pequeño, como para que un sistema o un componente del sistema o un proceso, pueda asimilar o recuperarse de la perturbación. Para analizar este aspecto, se utilizan las siguientes consideraciones:

- Características de acumulación. La acumulación temporal requiere que se consideren los momentos y la frecuencia de la perturbación. Se debe incorporar un horizonte de tiempo suficiente, para descubrir, en el largo plazo, el cambio ambiental incremental y poder visualizar las diferencias. También se deben distinguir los acontecimientos que son permanentes con el tiempo, porque las perturbaciones no siempre son acontecimientos discretos.
- Frontera temporal. De igual modo que en lo espacial, el análisis de las consideraciones de temporalidad del impacto acumulativo, debe producir un escenario de análisis, por lo que se considera importante determinar los Hitos más importantes en el pasado, presente y futuro que definen el horizonte, pasado y futuro, hasta donde se extenderá el análisis. Para definir estos tiempos, se requiere conocer las actividades tradicionales de la zona, información disponible, esquemas de desarrollo, vida útil del proyecto.

Hasta donde se llega con este análisis, depende de la calidad y cantidad de la información. Igualmente se deben determinar si existen acciones o eventos en el tiempo que potencialicen la perturbación.

Además, en la Guía de la Comunidad Europea se sugiere que por la incertidumbre en el desarrollo de una zona, que depende de los planes de desarrollo del gobierno y de posibles proyectos privados, el análisis a futuro no sea mayor a cinco años.

2.4 CONSECUENCIAS GENERADAS

Como se mencionó en el numeral 2.1, uno de los principios de la evaluación de impactos acumulativos, es el de evaluar aquellos impactos que son significativos. Con el fin de definir la significancia, es importante formular hipótesis sobre el tipo de cambio que puede ocurrir, como pueden ser los siguientes:

- **Cambio funcional.** El cambio funcional comprende las alteraciones en procesos como flujos de energía, transporte de sedimentos, flujos económicos, ciclo nutritivo, sucesión; o modificaciones de propiedades como capacidad de asimilación, capacidad de transporte o umbrales.
- **Cambio estructural.** El cambio estructural incluye cambios demográficos, modificación de hábitat, y alteraciones a recursos geofísicos (el aire, el agua, el suelo). Es un análisis esencialmente espacial, en el cual se deben mirar aspectos como la invasión de espacios, la transferencia de flujos fuera de los límites originales y los efectos de fragmentación.

2.5 METODOLOGÍAS

2.5.1 Tipos de metodologías

Para evaluar los impactos acumulativos se tienen dos tipos de metodologías:

- Las que identifican cómo y dónde se presenta un impacto acumulativo o interactivo (SCOPING).
- Las evaluaciones técnicas, que establecen la magnitud del impacto, basados en su intensidad.

Los dos tipos de metodología no son excluyentes, y se pueden combinar en algún momento del análisis. Algunos métodos de análisis, por la manera en que manejan los datos, se pueden clasificar en cualquiera de los dos grupos.

Para definir con cuál de las dos metodologías se trabaja los impactos acumulativos, se debe analizar:

- El tipo de impacto, de acuerdo con la clasificación establecida en el numeral 2.2.
- La disponibilidad y calidad de la información.
- La disponibilidad de recursos (personal, tiempo y dinero).

Dentro de las dos metodologías se identifican 8 métodos o herramientas de análisis, de acuerdo con los criterios anteriores: 4 en los que identifican los impactos acumulativos, 2 en los que se realizan la evaluación técnica para determinar la magnitud del impacto, basados en su intensidad y 2 que se clasifican en cualquiera de las dos metodologías, como se muestra en la Figura 2-2.

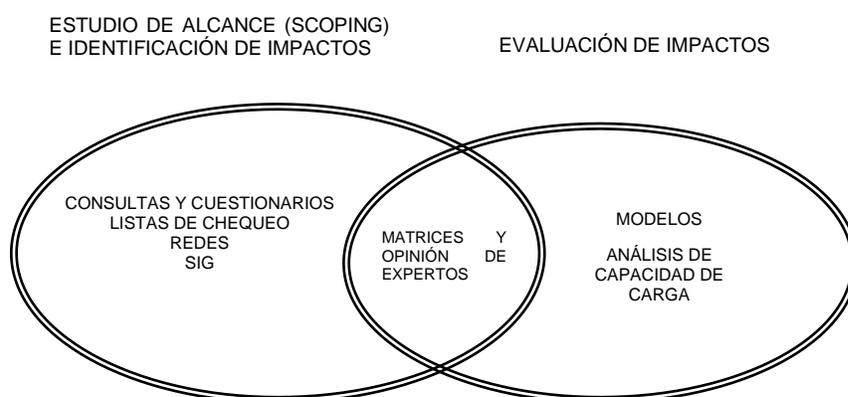


Figura 2-2. Métodos y herramientas para la evaluación de impactos acumulativos

En la práctica, como se puede observar en la figura anterior, los diferentes métodos se pueden combinar con otros métodos, ya que unos identifican cómo y dónde tales impactos ocurrirán, otros evalúan los impactos y algunos son útiles para ambos fines.

Para la ejecución de este estudio se trabajó con matrices de chequeo, superposición de mapas (SIG), sistema de redes para la identificación y opinión de expertos.

2.5.2 Pasos a seguir para la evaluación

Para la evaluación de los impactos acumulativos, se ha sugerido seguir los siguientes pasos:

- Identificación de los Componentes Ambientales Valorados–VEC's- (por sus siglas en inglés) que serán afectados por los proyectos que se consideraron en este estudio, lo cual se puede realizar a través de un panel de expertos, consultas con comunidades, estudios técnicos, impactos identificados en el EIA. Los VEC's se pueden definir como los elementos del ambiente que reciben los efectos que causan las diferentes acciones en el territorio, que pueden ser recursos, ecosistemas o comunidades, entre otros.
- Identificar los proyectos o actividades (pasadas, actuales y futuras propuestos) que podría afectar los VEC's seleccionados.

- Definir la escala espacial y temporal de los VEC's.
- Caracterizar las condiciones actuales de los VEC's seleccionados
- Identificar la significancia de los impactos acumulativos sobre los VECs seleccionados, con base en la selección de unos indicadores, que permitan identificar los cambios que se han ido presentando a través del tiempo y del espacio.
- Formulación de los planes de manejo

2.6 ETAPAS Y ACTIVIDADES PARA EL ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS ACUMULATIVO.

En este estudio se siguieron las siguientes etapas:

- Estudio de alcance (SCOPING)
- Descripción de los VEC's seleccionados
- Evaluación de las consecuencias ambientales

A continuación se describen los objetivos y las actividades que se siguieron en estas etapas.

2.6.1 Estudio de alcance y enfoque (SCOPING).

En una primera etapa de un estudio de impactos acumulativos se recomienda hacer un estudio de alcance y enfoque.

Por definición, el scoping es un proceso consultivo para la identificación y posible reducción del número de aspectos a ser examinados, para seleccionar sólo los aspectos más importantes, que son pertinentes para la evaluación.

El propósito del estudio de alcance es determinar:

- Si los recursos, ecosistemas y comunidades han sido o pueden ser afectadas por acciones pasadas o futuras.
- Si otras empresas o el público tiene planeadas otras acciones que puedan afectar los recursos en el futuro.

Para este estudio, esta etapa se dividió en cuatro actividades:

- Identificar los Componentes Ambientales Valorados en la cuenca del río Cauca (VEC's), que pueden verse afectados por la construcción y operación de los proyectos hidroeléctricos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo.
- Establecer el alcance geográfico para el análisis de los VEC's seleccionados.
- Establecer el marco de tiempo para el análisis.
- Identificar otras acciones que afectan a los VEC's seleccionados. En este paso se identificaron otras actividades o proyectos privados o estatales que pudieran tener influencia en el área e interactuaran con los impactos identificados en los pasos anteriores.

2.6.2 Descripción de los VEC's.

Describir los Componentes Ambientales Valorados dentro de un estudio de impactos acumulativos no es muy diferente a describir la afectación del ambiente por un proyecto específico; sin embargo, el análisis y los datos de soporte deben ser extendidos en términos de la geografía, el tiempo y las interacciones potenciales para los recursos o los sistemas.

Se debe procurar identificar y caracterizar todas las acciones que puedan afectar los VEC's seleccionados.

Las actividades que se ejecutaron en el desarrollo de esta etapa fueron:

- Revisión de información. En este paso se consultó y extractó toda la información necesaria para caracterizar el estado actual de los VEC's seleccionados

El parámetro básico para utilizar la información fue la existencia de ella en varios momentos, lo que permitiría analizar las tendencias o cambios ocurridos en el ambiente a través del tiempo.

Teniendo en cuenta el anterior criterio, se definía como área de estudio la que abarcara la información existente

- Caracterizar las presiones que afectan estos recursos, ecosistemas, y comunidades y su relación con los umbrales reguladores, definidos por las autoridades ambientales competentes o la legislación ambiental vigente. Este paso comprendió básicamente un análisis de las tendencias de evolución de los componentes del ambiente caracterizados en el paso anterior.
- Definir una condición de la línea base para los recursos, los ecosistemas, y las comunidades. Esta es la compilación de los pasos anteriores.

2.6.3 Determinación de las consecuencias ambientales y las medidas de manejo

En esta última etapa se establecieron las consecuencias que se pueden generar en los VEC's seleccionados. Para ello, se realizaron las siguientes actividades:

- Identificar las relaciones importantes entre las actividades, los recursos humanos, los ecosistemas, y las comunidades.
- Determinar la magnitud y la significación de los cambios en los VEC's, a través de indicadores.
- Identificar y diseñar las medidas de manejo para reducir al mínimo, o para atenuar los cambios en los VECs.
- Elaborar un plan de seguimiento y monitoreo.

2.6.4 Construcción de los indicadores ambientales

Para poder visualizar la forma de acumulación y cambios en las condiciones de los VEC's, se utilizó como herramienta los indicadores ambientales, los cuales permiten a su vez hacer perceptible una tendencia o fenómeno que no sea detectable inmediatamente.

Los indicadores también son importantes, ya que pueden orientar la formulación de políticas, al proporcionar una valiosa información acerca del estado actual de los recursos a evaluar y de la intensidad y la dirección de los posibles cambios, subrayando además, los temas primarios.

Para su diseño se tuvo en cuenta la información disponible para evaluar los VEC's; en este aspecto se debe tener en cuenta que en los análisis históricos se puede encontrar que la información del pasado disponible no es equiparable a la generada en épocas más recientes, y que el indicador si permitiera evaluar la acumulación del impacto.

3 ÁREA DE ESTUDIO Y COMPONENTES AMBIENTALES VALORADOS (VEC'S)

Para la definición del área de estudio se tuvieron en cuenta dos criterios:

- La forma como acumula el impacto. Como se mencionó en el numeral 2.3, un impacto acumula de forma espacial y temporal, por lo que el área de estudio depende del tipo de impacto que se está analizando.
- La información disponible. Para establecer si un impacto es acumulativo, se requiere tener una información de las condiciones ambientales de una zona en diferentes épocas, para poder evaluar la forma como se ha comportado a través del tiempo. O tener información precisa sobre las causas de determinados cambios en las condiciones ambientales de una zona, en una misma época.

Esta información, si existe, está relacionada con los estudios ambientales que se deben elaborar para la construcción de algún tipo de proyecto, por ejemplo las centrales hidroeléctricas.

Este criterio fue el más importante para la definición de las áreas de estudio. Sin embargo, fue necesario realizar un ejercicio de depuración y unificación de los niveles de información por cuanto cierta información muy puntual (como de algunos monitoreos ambientales) no servía para efectos de impactos regionales o perturbaciones con amplia distribución espacial.

3.1 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES AMBIENTALES VALORADOS (VEC'S)

Para seleccionar los VEC's que se evaluaron en este estudio de Impactos Acumulativos, se realizaron las siguientes actividades:

- Se revisaron los impactos identificados en los estudios de impacto ambiental de los proyectos hidroeléctricos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo, y se seleccionaron aquellos que pudieran acumular con los tres proyectos, y que cuyas calificaciones cualitativas, estuvieran en el rango de Moderado, Medianamente significativa o mayores.
- Se revisó el programa de información y participación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, donde se realizaron talleres con la comunidad del área de influencia, para identificar los impactos que les generaría la construcción y operación del proyecto hidroeléctrico.

Se compararon los impactos acumulativos seleccionados en el primer paso, con los identificados por la comunidad, para verificar que no faltara alguno de los identificados por la comunidad, que se considerara acumulativo, y del cual existiera información para evaluarlo.

- En el mismo estudio, para la valoración económica de impactos, se utilizó un método de valoración directa basado en la teoría de la Elección Contingente, para lo cual se definieron unos atributos para su valoración, los cuales podían ser afectados por la construcción del proyecto, los cuales fueron validados a través de reuniones con la comunidad del área de influencia del proyecto Espíritu Santo, con las administraciones municipales, con funcionarios de EPM, ISAGEN e ISA, así como con profesores de la Universidad Nacional de Colombia.

Dichos atributos fueron: Actividad económica, actividad comercial, paisaje; fauna, flora y ecosistemas; empleo temporal e infraestructura.

Con base en las tres anteriores actividades, se definieron los siguientes VEC's a evaluar en este estudio:

- Medio Abiótico: Calidad del agua del río Cauca y Dinámica geomorfológica del río Cauca.
- Medio Biótico: Cobertura vegetal y Ecosistemas acuáticos
- Medio Socioeconómico: Finanzas municipales

3.2 ÁREAS DE INFLUENCIA

3.2.1 VEC's del Medio Abiótico.

Para los Componentes Ambientales Valorados del Medio Abiótico, los cuales están relacionados con la calidad del agua y con el río Cauca evaluado en su capacidad para transportar sedimentos, se tomaron las siguientes áreas de estudio:

- Para definir el área de estudio del VEC Calidad de agua del río, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:
 - La calidad del agua del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, que es la central localizada más aguas abajo en la cuenca del río Cauca, depende de la calidad del agua que provenga del proyecto hidroeléctrico Ituango.
 - La calidad del agua del proyecto hidroeléctrico Ituango dependerá de la calidad del agua que le llegue del río Cauca, la cual ya ha pasado por el proyecto hidroeléctrico Cañafisto.

Por lo anterior se tomó como área de estudio, el área de influencia de los proyectos hidroeléctricos Ituango y Espíritu Santo, dado que la calidad del agua que sale del proyecto hidroeléctrico Ituango es el insumo para correr el modelo de calidad desarrollado para el proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, y con el cual se estima la calidad del agua del río Cauca, aguas abajo de este último proyecto, donde se verán los resultados de la construcción y operación de los tres proyectos mencionados.

- Al igual que para el VEC de calidad de agua, para el VEC Dinámica geomorfológica del río Cauca, se toma como área de influencia la de los proyectos hidroeléctricos Ituango y Espíritu Santo, dado que el primero define la capacidad de transporte del río Cauca, del sitio de presa de ese proyecto hacia aguas abajo, hasta la confluencia de los ríos Cauca y Nechí, dado que su embalse funciona como un sedimentador, con el cual se cambia las propiedades dinámicas del río Cauca, hacia aguas abajo.

3.2.2 VEC's del Medio Biótico

Para los Componentes Ambientales Valorados del Medio Abiótico:

- Cobertura Vegetal, cuya área de estudio se definió como las áreas de influencia de los proyectos hidroeléctricos considerados para este análisis de impactos acumulativos: Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo.
- Ecosistemas acuáticos, relacionado principalmente con las especies reofilicas que realizan migraciones a lo largo del cauce del río Cauca. Para este VEC, se definió el área de estudio, las áreas de influencia los proyectos Ituango y Espíritu Santo, la cual llega hasta la confluencia de los ríos Cauca y Nechí.

En el numeral 4.2.2 se explica la razón del por qué no se incluye en el análisis el proyecto hidroeléctrico Cañafisto.

3.2.3 VEC's del Medio Socioeconómico

En el Medio Socioeconómico se seleccionó como Componente Ambiental Valorado: Finanzas municipales por transferencias, cuyas áreas de estudio comprende las áreas de influencia de los proyectos hidroeléctricos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo.

4 EVALUACIÓN DE LOS VCES

4.1 VEC'S DEL MEDIO ABIÓTICO

Los VEC's del Medio Abiótico, están relacionados con el agua, y son la calidad del agua del río Cauca y Dinámica geomorfológica del río Cauca; en este último se evalúa también el régimen de caudales y el régimen de sedimentos.

4.1.1 Calidad del agua del río Cauca

I. DESCRIPCIÓN DEL VEC			
Descripción: El río Cauca en su recorrido hasta la zona del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, recorre 155 municipios, los cuales, en su mayoría, realizan sus vertimientos de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento, que unidas a los vertimientos industriales que se le realizan, modifican la calidad del agua del río Cauca. Además con la construcción de proyectos hidroeléctricos que conforman embalses, también se modificará la calidad del agua, ya que en estos sitios pueden generarse procesos de eutrofización o estratificación en función de la calidad del afluente, las condiciones climáticas, la forma, el volumen y la profundidad del embalse, el tiempo de permanencia del agua; además los embalses cumplen un papel de sistema de tratamiento primario, al funcionar como lagunas de oxidación.			
Relación con otros VEC's: Este VEC también se refleja en los ecosistemas acuáticos y en las comunidades asentadas aguas abajo del proyecto. Además, la calidad de agua también es afectada por la dinámica fluvial del río Cauca, ya que esta última involucra el patrón de transporte de sedimentos y por la tasa de erosión.			
Fuentes de modificación del VEC	Una sola actividad	Múltiples actividades	X
Actividades externas que causan cambios en el VEC			
<ul style="list-style-type: none"> • Las descargas industriales, agropecuarias y domésticas que se presentan en toda la cuenca del río Cauca • Las explotaciones de materiales de construcción y las explotaciones mineras (oro) en el cauce y orillas del río Cauca. 			
II. CARACTERÍSTICAS			
II.1 Proceso de acumulación: (Aditivo o interactivo)			
Aditivo: La calidad del agua se va modificando a medida que se adicionan nuevas cargas contaminantes y no tiene tiempo ni espacio suficiente para recuperarse mediante los procesos naturales de autodepuración. Además los embalses de los proyectos trabajan como sedimentadores.			
Interactivo: La calidad del agua se afecta por la modificación del régimen de caudales que generan los proyectos hidroeléctricos localizados en la cuenca.			
II. 2 Aspectos espaciales			
Ámbito geográfico	Forma de distribución	Configuración	
Regional: la alteración de la calidad del agua modifica los ecosistemas que están relacionados con el río Cauca, como las ciénagas que se encuentran aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo.	Disperso: las descargas de aguas residuales se realizan a lo largo de toda la cuenca.	Lineal: los cambios en el VECs Calidad de agua se refleja a lo largo del cauce del río.	
II.3 Aspectos temporales			
Horizonte de tiempo		Frecuencia	
La calidad del agua en el río Cauca se modifica desde que se inician con los primeros asentamientos humanos que se realizan en su		Permanente: Los aportes contaminantes en la cuenca y los procesos que se presentan en los embalses se manifiestan de forma permanente desde que se inician	

<p>cuenca, dado que se comienzan los vertimientos de aguas residuales, se cambian las geoformas y se modifica la cobertura vegetal, actividades que también generan cambios en la calidad del agua. Estas actividades se continuarán ejecutando en la cuenca del río Cauca, por lo que los cambios en la calidad del agua del río se continuarán dando. En el río Cauca ya se encuentra construido el proyecto hidroeléctrico Salvajina, en su cuenca alta, cuyo efecto en el sector de la cuenca Media no es detectable, por la gran cantidad de vertimientos que se realizan aguas abajo de su descarga.</p>	<p>las actividades que los causan. Y se mantendrán hasta que dichas actividades perduren.</p>
III. INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA EVALUACIÓN	
<p>Para evaluar los cambios que se presenten en el VECs se requiere la siguientes información:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Registros de calidad de agua del río Cauca, a lo largo de todo su trayecto. • Modelos de calidad de agua. <p>Para este análisis, se definió como área de estudio la cuenca del río Cauca comprendida entre las zonas de embalse de los proyectos Ituango y Espíritu Santo, dado que la calidad del agua que sale de la generación del primero, es la información de entrada para correr el modelo de calidad de agua del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo.</p>	

4.1.1.1 Indicador

Para construir un perfil de calidad del río, se utilizará el Índice de Calidad de Agua (WQI) desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos².

Este índice considera nueve parámetros de evaluación, a los cuales se les da un peso relativo, de acuerdo con su importancia en la definición de la calidad del agua. Los parámetros considerados y los pesos definidos se presentan en la

Tabla 4-1. Y el índice se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$WQI = \sum_{i=1}^9 V_i * L_i, \text{ donde}$$

- WQI = Índice de Calidad de agua
- V_i = Peso relativo del parámetro i
- L_i = Valor del parámetro i .

Una vez calculado el índice, la calidad del recurso se clasifica de acuerdo con el rango definido en la Tabla 4-2.

Tabla 4-1. Parámetros para el desarrollo del WQI

Variable	Valor relativo
Oxígeno disuelto (OD)	0,17
Coliformes fecales	0,15
pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	0,10
Nitratos	0,10

² Canter, Larry W., Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, 1999

Fosfatos	0,10
Temperatura	0,10
Turbiedad	0,08
Sólidos totales	0,08
Total	1,00

Tabla 4-2. Calidad del agua de acuerdo al WQI

Tipo	Valor de WQI
Excelente	91-100
Buena	71-90
Regular	51-70
Mala	26-50
Pésima	0-25

4.1.1.2 Diagnóstico de la cuenca

El río Cauca tiene una longitud de 1.350 km y una cuenca hidrográfica 63.300 km² aproximadamente, y atraviesa los departamentos del Cauca, Valle del Cauca, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba, Sucre y Bolívar. Además, unos estudios realizados por la Universidad del Valle (2000), sectoriza la cuenca en los siguientes cuatro tramos:

- El Alto Cauca, desde el nacimiento en el Macizo Colombiano hasta el municipio de Timba, en el límite interdepartamental Cauca – Valle del Cauca, con una longitud de unos 170 km y un descenso de niveles de 4.000 msnm a 1000 msnm. En este sector se encuentra el proyecto hidroeléctrico Salvajina.
- El valle del río Cauca, entre los municipios de Timba y La Virginia (Risaralda), con una longitud de 436 km y un desnivel de unos 100 metros en su recorrido, alcanzando la cota 900 msnm aproximadamente, en el municipio de La Virginia.
- El Cauca Medio o Cañón del Cauca, desde La Virginia hasta la población de Puerto Valdivia del municipio de Valdivia del departamento de Antioquia (124 msnm), tramo con un largo descenso de 400 km a través de cañones estrechos y profundos. En este sector se encuentran ubicados los proyectos hidroeléctricos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo.
- El Bajo Cauca, tramo donde el río abandona el cañón y se abre en una zona de suave topografía, con una longitud de unos 260 km hasta su desembocadura en el río Magdalena.

Los principales vertimientos de aguas residuales se presentan en el tramo comprendido entre Timba y La Virginia, donde se presentan grandes vertimientos industriales provenientes de los ingenios azucareros localizados en el Valle del Cauca, las cuales se caracterizan por su alta carga de soda cáustica. A estos vertimientos se le suman los provenientes de la zona industrial de los municipios de Cali y Yumbo.

Los vertimientos que se realizan en los dos primeros sectores de la cuenca del río Cauca se ven reflejados en los resultados del Índice NFS-WQI que se obtuvieron durante los estudios del proyecto hidroeléctrico Ituango, que permitieron clasificar la calidad del agua del río como Media (ver Tabla 4-3).

Tabla 4-3. Índice de calidad NFS-WQI

Cuerpo de agua	Índice NFS- WQI	
	Valor	Clasificación
Río Cauca- Puente Occidente	55	Media
Río Cauca- Liborina	58	Media
Río Cauca- Sabanalarga	38	Mala
Río Cauca- Puente Pescadero	53	Media
Río Ituango	52	Media
Río Cauca Sitio de presa	46	Mala
Río Cauca abajo descarga	51	Media

Solo se presentan dos puntos con una calificación de calidad de agua de mala, que se explica porque son puntos localizados aguas abajo de la desembocadura de quebradas que reciben los vertimientos de cabeceras municipales: el primero queda inmediatamente aguas abajo de la desembocadura de la quebrada La Niquia, la cual recibe los vertimientos de las aguas residuales del municipio de Sabanalarga, y el segundo aguas abajo de la desembocadura del río Ituango, donde se vierten las aguas residuales de la cabecera municipal de Ituango.

Ese mismo comportamiento se encontró en los Monitoreos realizados para la caracterización de la línea base del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, cuyos resultados se presentan en la Tabla 4-4. Las únicas corrientes que se encontraron de buena calidad, fueron dos afluentes del río Cauca, Sinitavé y El Aro, los cuales se ubican aguas arriba del sitio de presa del proyecto Espíritu Santo.

Tabla 4-4. Resultados del monitoreo de línea base para el proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo

Tramo	Nombre de punto	Estación	ICA-NSF	EVALUACIÓN ICA
Tramo 1	Río Ituango	1	46,68	Mala
	Río Cauca AA río Ituango	2	38,07	Mala
	Q. Sinitavé	3	72,16	Buena
	Sevilla	6	66,51	Media
	Q. El Aro	7	72,61	Buena
	Río Cauca-Sevilla	9	47,49	Mala
	Quebrada la Guamera	10	65,21	Media
	Río Espíritu Santo	11	56,68	Media
	Río Cauca-Achirá (Río Cauca-La Planta)	12	54,26	Media
	Río Cauca-Puente peatonal Puerto Valdivia	13	48,45	Mala
	Río Cauca-Puente peatonal Puerto Valdivia	14	49,09	Mala

Tabla 4-4. Resultados del monitoreo de línea base para el proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo. (Continuación)

Tramo	Nombre de punto	Estación	ICA-NSF	EVALUACIÓN ICA
Tramo 1	Quebrada Valdivia	15	66,33	Media
	Río Cauca-aguas abajo q. Valdivia	16	49,47	Mala
	Río Cauca- Puente la Paulita	17	47,91	Mala
	Río Pescado	18a	65,12	Media
Tramo 2	Río Cauca-Aguas abajo río Pescado	18	48,24	Mala
	Río Cauca-Aguas abajo río Pescado	19	47,42	Mala
	Río Puquí	20	52,38	Media
	Río Cauca-Aguas Abajo río Puquí	21	45,80	Mala
	Río Tarazá	24	54,40	Media

Tramo 3	Río Cauca-Aguas abajo río Tarazá	25	47,00	Mala
	Río Cauca-Aguas abajo río Tarazá	26	45,07	Mala
	Río Cauca - aguas abajo quebrada Corrales	27	44,94	Mala
	Río Cauca - aguas abajo corregimiento Jardín	28	44,17	Mala
Tramo 4	Río Cauca - Caucasia	32	43,15	Mala
	Río Cauca - Caucasia	35	46,94	Mala
	Río Cauca-Margento	36	44,89	Mala
	Río Cauca Rompedero	43	43,00	Mala

4.1.1.3 Resultados de la Modelación

Como consecuencia del llenado de un embalse, la biomasa sumergida, a largo plazo, se transforma por agentes físicos, químicos, biológicos e hidráulicos, generando una diversidad de compuestos químicos que pueden alterar la calidad del agua. Con base en los resultados de la simulación de nutrientes a la salida de la presa del proyecto Hidroeléctrico Espíritu Santo, efectuada mediante la implementación del modelo CE- QUAL – W2 y establecida para los escenarios de remoción del 25, 50, 75 y 100% de la biomasa disponible en la zona de inundación del embalse, se analizan los impactos acumulativos generados aguas abajo del sitio donde se proyectó la construcción de la presa, para lo cual se utilizará el modelo QUAL2Kw. Adicionalmente se evalúa el efecto de la operación del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo al considerar la influencia del caudal ambiental mínimo mensual escogido.

- **Marco teórico**

Las corrientes de agua superficial están expuestas al vertimiento continuo de residuos de diferente naturaleza; estos pueden afectar los ecosistemas acuáticos, la salud pública y el paisaje, limitando los usos y disponibilidad del agua. Esta modelación es una técnica de análisis que reproduce una serie de eventos a través del manejo de ecuaciones matemáticas que simulan el comportamiento de cada variable de calidad de agua en un tramo de interés. Los resultados de la modelación permiten evaluar el grado de contaminación, además de definir los usos del recurso, información clave para tomar decisiones en el contexto ambiental en aras de identificar fuentes de contaminación, estudiar los efectos asociados al vertimiento de aguas residuales (puntuales y difusas), diseñar infraestructuras para el tratamiento de aguas residuales y evaluar la efectividad y eficiencia de las medidas desarrolladas para el control de la contaminación. No obstante, en el contexto del caudal ambiental, la modelación de calidad de aguas permitirá determinar la capacidad de asimilación de la corriente, así como la longitud de influencia del vertimiento del proyecto Hidroeléctrico Espíritu Santo, considerando los caudales ecológicos o ambientales escogidos y la remoción de la cobertura vegetal de la zona de inundación.

- **Marco conceptual de modelación**

Un modelo de calidad de aguas es una herramienta que permite representar las condiciones fisicoquímicas e hidráulicas de un sistema, en este caso de una fuente de agua superficial (el río Cauca); evalúa mediante la simulación de escenarios (p.e Condición Con y Sin Proyecto), el comportamiento de la corriente utilizando como datos de entrada las características hidráulicas, hidrológicas y fisicoquímicas del tramo de interés.

El objetivo principal de la modelación del río Cauca es determinar el estado actual de la calidad del recurso hídrico en el escenario Sin Proyecto, y como a su vez, este recurso es afectado aguas abajo por la construcción de la obra de embalse del proyecto hidroeléctrico

Espíritu Santo. Se consideran constantes las características fisicoquímicas e hidrológicas de los principales tributarios (subcuencas del río Cauca).

Para el cumplimiento del objetivo anterior, se seleccionó el modelo de calidad del agua QUAL2Kw, cuyas ventajas se presentan a continuación:

- Está bien documentado (cuenta con manuales de usuario).
- Es de distribución gratuita.
- Está en formato de Microsoft Excel® lo que facilita el manejo e ingreso de datos.
- Es posible acoplar dentro del algoritmo de cálculo rutinas de análisis de sensibilidad de variables referidas a parámetros numéricos, lo que facilita la calibración del modelo.

• **Protocolo de modelación**

Para desarrollar la modelación de calidad de aguas del río Cauca, se utilizó el protocolo propuesto por Camacho (2011) (ver Figura 4-1).

• **Descripción del modelo QUAL2Kw®**

El QUAL2Kw es un modelo matemático que determina la evolución de las siguientes variables: Demanda bioquímica de oxígeno, Oxígeno disuelto, Alcalinidad, Conductividad eléctrica, pH, Temperatura, Patógenos, Nitrógeno y Fósforo en sus especies orgánicas e inorgánicas

Adicionalmente, el QUAL2Kw incluye las siguientes características:

- Modelo unidimensional. El canal se encuentra bien mezclado tanto vertical como horizontalmente y se modela únicamente en la dirección del flujo.
- Hidráulica en estado estable. Se simula el flujo en estado estable (permanente) y no uniforme.

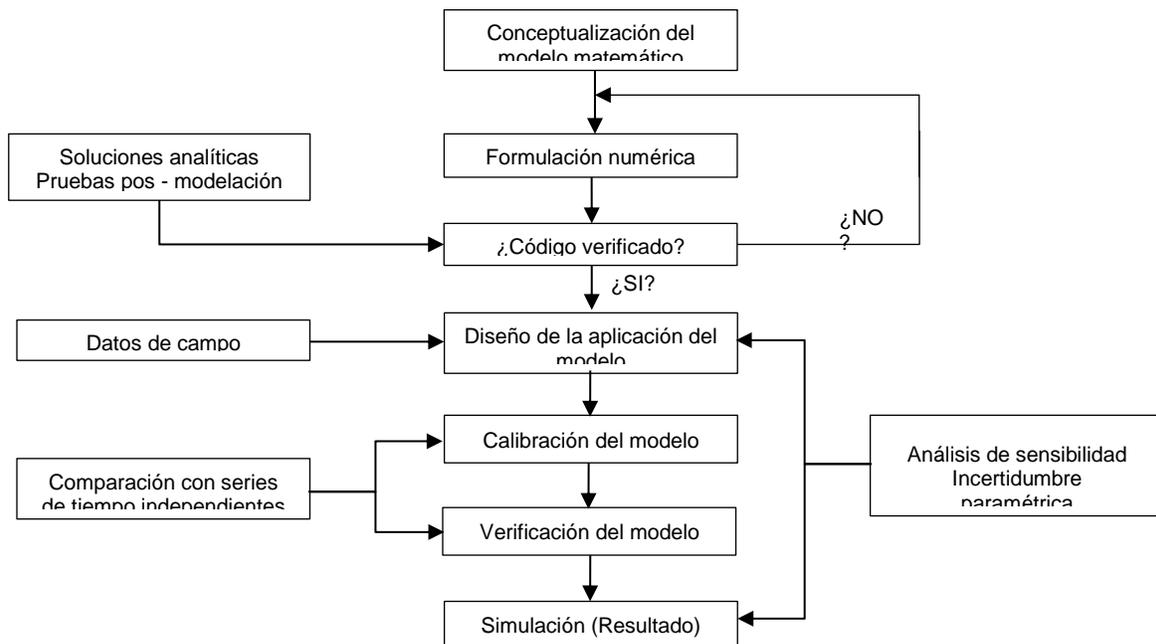


Figura 4-1. Protocolo de modelación (Camacho, 2011)

- Variación diaria del calor. El calor del volumen de agua y la temperatura son simulados como función de aspectos meteorológicos en una escala de variación diaria (24 horas).
- Cinética diaria de la calidad del agua. Todas las variables de la calidad del agua son simuladas en escala de tiempo diaria (24 horas).
- Entradas de calor y de masa al sistema. Se simulan vertimientos y extracciones puntuales y no puntuales
- Anoxia. S&P ajusta la anoxia mediante la reducción de las reacciones de oxidación a cero a bajos niveles de oxígeno.
- Interacciones agua-sedimentos. Los flujos de agua-sedimentos, de oxígeno disuelto y de nutrientes pueden ser simulados. Es decir, el oxígeno (demanda béntica de oxígeno) y los flujos de nutrientes son simulados como función del asentamiento de la materia orgánica particulada.
- Patógenos. Se simula un patógeno genérico. La remoción de patógenos se determina como una función de la temperatura, luz y asentamiento.
- Vertederos naturales y cascadas. La hidráulica de los vertederos y cascadas así como su efecto en la transferencia de gases se incluyen de manera explícita.
- El modelo numérico del Qual2kw, está programado en fortran 90, con una interfaz gráfica programada en *Visual Basic for Applications*.

La corriente principal se segmenta con base en las características hidráulicas del tramo de interés (pendiente, ancho, profundidad). En la interfaz gráfica, se ingresan los datos de calidad, correspondientes a cada componente (corriente principal, tributarios, fuentes puntuales y difusas).

– **Balance de Caudal**

QUAL2Kw resuelve las ecuaciones de flujo en condiciones de estado estable (ver Figura 4-2), para el cual se cumple que:

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i} \quad 1.$$

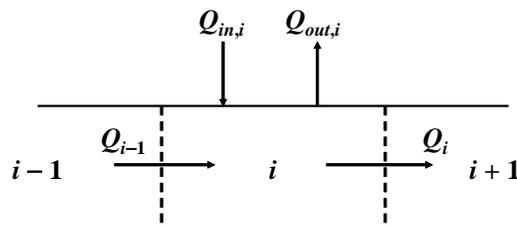


Figura 4-2. Balance de flujo (Pelletier et al, 2006).

Donde Q_i , es el flujo del segmento i al segmento aguas abajo ($i + 1$) en m^3/s , Q_{i-1} es el flujo del elemento aguas arriba ($i - 1$), Q_{in} es el flujo que ingresa al elemento i de las fuentes puntuales y no puntuales, Q_{out} , es el flujo que sale del sistema i como resultado de fuentes puntuales y no puntuales.

- **Características hidráulicas.**

Una vez se define el caudal de cada segmento, la profundidad y velocidad del mismo puede ser calculada utilizando la ecuación de Manning, el cual establece las siguientes consideraciones:

Cada segmento en particular es idealizado como un canal trapezoidal (ver Figura 4-3), bajo condiciones de flujo en estado estable; la ecuación de Manning puede ser expresada como la relación entre el caudal y la profundidad, así:

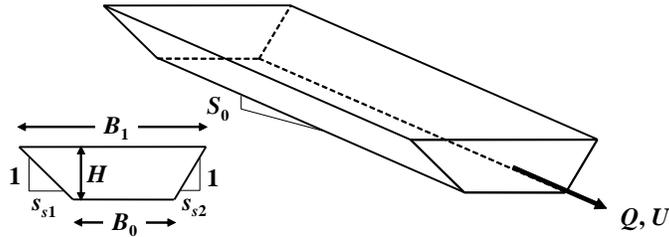


Figura 4-3. Esquema de canal trapezoidal (Pelletier et al, 2006).

$$Q = \frac{S_0^{1/2} A_c^{5/3}}{n P^{2/3}} \quad 2.$$

Donde Q es el caudal en m³/s, S₀ la pendiente del lecho en m/m, n el coeficiente de rugosidad y A_c el área de la sección transversal

De acuerdo al tipo de canal (natural o artificial), se definen los intervalos de variación del coeficiente de rugosidad.

En cada segmento establecido, el modelo numérico resuelve simultáneamente y para cada constituyente de interés, la siguiente ecuación.

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \quad 3.$$

Donde W_i, es la carga externa del constituyente en el segmento i y, S_i se asocia al consumo o generación del constituyente como consecuencia de reacciones químicas y mecanismos de transferencia de masa.

- **Coeficiente de reaireación.**

La saturación de oxígeno en el medio puede ser calculada a partir de la siguiente expresión:

$$\ln o_s(T, 0) = -139.34411 + \frac{1.575701 \times 10^5}{T_a} + \frac{1.243800 \times 10^{10}}{T_a^3} - \frac{8.621949 \times 10^{11}}{T_a^4} \quad 4.$$

Donde T_a = T + 273.15

El efecto de la elevación está definido por:

$$o_s(T, elev) = e^{\ln o_s(T, 0)} (1 - 0.0001148 elev) \quad 5.$$

El coeficiente de reaireación (k , $1/d$) puede ser determinado a partir de correlaciones hidráulicas como una función de la velocidad promedio del fluido (U , m/s) y la profundidad media del canal segmento a segmento (H , m). A continuación se relacionan los principales modelos de reaireación:

- O'Connor-Dobbins (O'Connor and Dobbins 1958)

$$k_{ah}(20) = 3.93 \frac{U^{0.5}}{H^{1.5}} \quad 6.$$

- Churchill (Churchill et al. 1962)

$$k_{ah}(20) = 5.026 \frac{U}{H^{1.67}} \quad 7.$$

- Owens-Gibbs (Owens et al. 1964)

$$k_{ah}(20) = 5.32 \frac{U^{0.67}}{H^{1.85}} \quad 8.$$

Los modelos de reaireación son utilizados con base en los siguientes criterios:

Si, $H < 0,61$ m, usar la fórmula de Owens-Gibbs.

Si, $H > 0,61$ m y $H > 3.45U^{2.5}$ usar la fórmula de O'Connor-Dobbins.

En otros casos usar la fórmula Churchill.

Las cinéticas de reacción anteriormente descritas, fueron establecidas para una temperatura del agua de 20°C, por lo cual el valor calculado debe ser corregido utilizando la siguiente ecuación.

$$k(T_0) = \theta^{T-20} \quad 9.$$

La tasa de sedimentación de acuerdo con Chapra (1997) puede ser estimada en función de la velocidad de sedimentación de la materia orgánica y la profundidad del fluente, a partir de la siguiente expresión:

$$k_s = \frac{V_s}{H} \quad 10.$$

- **Aplicación del modelo QUAL2Kw ®**

QUAL2Kw requiere el pre-procesamiento del siguiente conjunto de datos:

- Condiciones geométricas e hidráulicas del tramo de análisis (segmentación)
- Condiciones fisicoquímicas iniciales
- Parámetros hidrodinámicos
- Parámetros cinéticos
- Datos de calibración
- Tiempos de modelación

En aras de determinar la calidad de agua del río Cauca aguas abajo de la presa del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, se definen las siguientes características, fisicoquímicas, hidráulicas y geométricas del tramo de interés.

- **Geometría del tramo (segmentación)**

El río Cauca fue dividido en 11 segmentos (ver Tabla 4-5) cuyas características hidráulicas se describen en la Tabla 4-6. Las secciones transversales asociadas a cada segmento, fueron calibradas utilizando el modelo hidrológico HEC – RAS, con base en la información recopilada en campo por la empresa SHI S.A.

Tabla 4-5. Estaciones definidas sobre el río Cauca. (Origen Magna Sirgas)

ID	Estación	Nombre del Punto	Coordenadas	
			X (m)	Y(m)
HW	156459.5	Río Cauca-Sevilla	845188	1290608
E1	148563.4	Río Cauca - Achirá	851926	1294592
E2	144572.3	Río Cauca - Puente P	854312	1297800
E3	142920.4	Río Cauca - AA Valdivia	855617	1298774
E4	135710.6	Río Cauca - Puente La Paulita	860372	1303885

Tabla 4-5. Estaciones definidas sobre el río Cauca. (Origen Magna Sirgas). (Continuación)

ID	Estación	Nombre del Punto	Coordenadas	
			X (m)	Y(m)
E5	133632.9	Río Cauca - AA río Pescado	861662	1305267
E6	121767.6	Río Cauca - AA río Puquí	864103	1315775
E7	101763.9	Río Cauca - AA río Tarazá	859838	1330560
E8	87814.4	Río Cauca - AA quebrada Corrales	866960	1339121
E9	71181.8	Río Cauca - AA corregimiento Jardín	872420	1349517
E10	37582.8	Río Cauca - Caucasia	877641	1374055
E11	146.7	Río Cauca-Margento	903581	1380489

Tabla 4-6. Segmentos definidos en el Modelo QUAL2Kw.

Segmento		Localización (DW)	Superficie del Agua		Manning		
Nº	Longitud (km)	km	Inicio (m)	Final (m)	Pendiente (m/m)	Rugosidad, n (m)	Ancho (m)
E0	HW	145.84	---	176	0.00036	0.023	60.53
E1	8.36	137.48	176	155	0.00152	0.034	68.65
E2	4.18	133.30	155	138	0.00034	0.03	70.49
E3	1.63	131.67	138	137	0.000388	0.022	85.65
E4	7.01	124.66	137	125	0.000077	0.009	133.24
E5	2.2	122.46	125	122	0.000113	0.01	144.23
E6	11.78	110.68	122	105	0.000062	0.01	110.96
E7	18.5	92.18	105	74	0.000015	0.005	207.74
E8	12.17	80.01	74	72	0.000135	0.02	238.51
E9	15.14	64.87	72	57	0.000028	0.008	255.62
E10	29.38	35.49	57	42	0.00001	0.008	272.10
E11	35.49	0.00	42	39	0.000063	0.008	286.00

El segmento N° E0 y E11 fueron definidos como condición de frontera tipo *Headwater (HW)* y *Downstream water (DW)*

Los principales ríos y quebradas que confluyen sobre el río Cauca en el tramo de simulación, fueron agrupados en tres tributarios difusos (T1, T2 y T3) considerando la

influencia de los efluentes sobre el caudal de la corriente principal, de acuerdo al esquema de segmentación. Se asumieron las características fisicoquímicas más desfavorables encontradas en campo para representar los tributarios definidos. La caracterización hidráulica de los tributarios T1, T2 y T3, es presentada en la Tabla 4-7.

Tabla 4-7. Características hidráulicas de los tributarios

Tributario	Tramo de Ingreso		Caudal
	Inicio (km)	Fin (km)	m ³ /s
T1	137.48	133.3	190.73
T2	131.67	124.66	159.00
T3	102.18	92.18	108.00

Finalmente, en la Figura 4-4 se muestra la localización de los segmentos y principales tributarios seleccionados para la simulación de calidad de aguas del río Cauca.

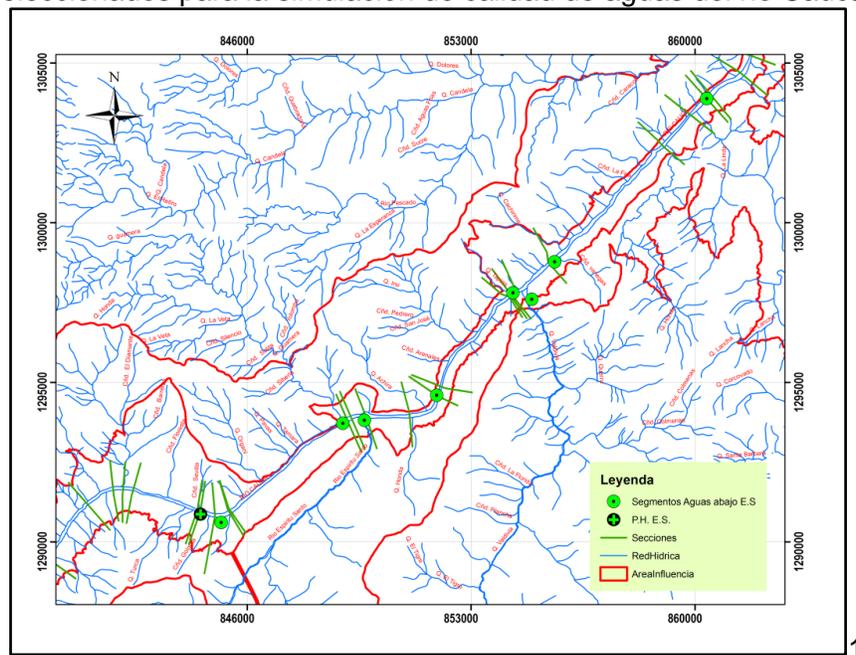


Figura 4-4. Localización de segmentos y tributarios río Cauca.

- Condiciones fisicoquímicas iniciales.

Las condiciones fisicoquímicas iniciales de cada segmento y tributario definido del río Cauca, fueron seleccionadas con base en los monitoreos realizados en el 2015. La simulación incluyó los siguientes parámetros: Temperatura del agua (TA), Oxígeno disuelto (OD), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅, DBO_u), Sólidos suspendidos totales (SST), Coliformes fecales (CF), Nitratos (NO₃), Nitrógeno amoniacal (NH₃), Ortofosfatos (PO₄), Fosforo orgánico (P), Conductividad eléctrica (CE), pH y Alcalinidad total (Alk).

En la Tabla 4-8 y Tabla 4-9 se presenta la información fisicoquímica inicial de los segmentos y tributarios del río Cauca utilizados para la calibración y verificación del escenario Sin Proyecto en el modelo QUAL2Kw.

QUAL2Kw simula la demanda bioquímica de oxígeno en términos de DBO última (DBO_u), por lo cual fue necesario convertir la DBO₅ reportada por Analtec Laboratorios S.A.S (Acreditado por el IDEAM mediante Resolución N° 3168 del 04 de noviembre de 2014).

Para realizar la conversión de DBO₅ a DBO_u (ambas de tipo carbonáceo) se utilizó la siguiente expresión.

$$DBO_u = \frac{DBO_5}{1 - e^{-5k}} \quad 11.$$

Tabla 4-8. Condiciones fisicoquímicas iniciales (Segmentos)

Segmento	T	CE	OD	DBO (Cs)	N -Org	NH ₄	NO ₃	P - Org	PO ₄	pH
N°	°C	µmhos	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	u.s
E0 - HW	26.9	162.0	8.0	3.6	1530.0	190.0	5140.0	466.0	169.0	7.9
E1	27.4	178.7	7.5	3.6	1660.0	190.0	6200.0	446.0	177.0	7.9
E2	27.7	174.8	7.4	3.6	1770.0	190.0	6290.0	430.0	138.0	7.3
E3	23.4	224.0	7.7	3.6	1350.0	190.0	4830.0	672.0	169.0	7.4
E4	26.2	222.0	7.5	3.6	1060.0	190.0	5270.0	579.0	176.0	7.1
E5	27.7	246.0	7.4	3.6	1100.0	190.0	5140.0	586.0	167.0	7.3
E6	27.3	261.0	7.4	3.6	633.0	190.0	3860.0	529.0	149.0	7.2
E7	28.6	156.0	7.2	3.6	414.0	190.0	5270.0	480.0	139.0	7.1
E8	27.8	169.1	7.3	3.6	1690.0	190.0	4040.0	1130.0	161.0	7.3
E9	27.6	195.0	7.1	3.6	1140.0	190.0	3130.0	1000.0	163.0	7.1
E10	29.5	198.1	7.1	3.6	1720.0	190.0	2930.0	878.0	169.0	7.3
E11 - DW	27.7	176.6	6.9	3.6	950.0	190.0	4060.0	1040.0	146.0	7.3

Tabla 4-9. Condiciones fisicoquímicas iniciales (Tributarios)

Tributario	T	CE	OD	DBO (Cs)	N -Org	NH ₄	NO ₃	P - Org	PO ₄	pH
N°	°C	µmhos	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	u.s
T1	25.1	206.4	7.2	3.6	798.0	190.0	2670.0	161.0	45.0	7.5
T2	24.5	132.7	7.6	3.6	208.0	190.0	1870.0	49.0	37.0	6.9
T3	28.0	100.2	6.9	3.6	100.0	190.0	1710.0	129.0	43.0	7.0

Donde k (1/d) es la tasa de degradación de la materia orgánica, la cual oscila entre 0,5 – 0,3 1/d según la composición química de las aguas residuales vertidas en la corriente (Chapra, 1997). Se asumió una tasa de degradación de 0,22 1/d considerando las hipótesis de simulación propuestas por Kannel *et al* (2007), la cual tiene en cuenta la relación DBO/DQO de cada segmento; adicionalmente, esta constante es afectada por el desarrollo de actividades antrópicas en la cuenca del río Cauca como la agricultura y minería, entre otras. La DBO_u está constituida por una fracción disuelta denominada DBO rápida (C_f) y una fracción de degradación lenta (C_s), se consideró una distribución de 94% C_s y 6% (C_f). No fue simulada la materia orgánica particulada (Detritos).

Para calibración del escenario Sin Proyecto (condición actual), se utilizó el algoritmo genético PIKAIA incluido en el modelo QUAL2Kw (Pelletier *et al*, 2006), cuya función objetivo ($f(x)$) se define mediante la siguiente expresión.

$$F(X) = \left[\sum_{i=1}^Q W_i \right] \left[\sum_{i=1}^Q \frac{1}{W_i} \left[\frac{\sum_{j=1}^M O_{ij}}{M} \right] \left[\frac{\sum_{j=1}^M (P_{ij} - O_{ij})^2}{M} \right]^{\frac{1}{2}} \right] \quad 12.$$

Donde O_{ij} = valor observado, P_{ij} = valor modelado, m = número de pares modelados y observados, w_i = factor de peso y q = número de variables de estado simuladas.

El ajuste óptimo de las variables evaluadas, fue determinado a partir del recíproco de la raíz del error medio (RMSE).

- **Calibración del modelo qual2kw**

A continuación se presentan los resultados de la calibración hidráulica y fisicoquímica del río Cauca para el escenario “Sin Proyecto”. En términos fisicoquímicos, se priorizó el ajuste del oxígeno disuelto (OD), seguido de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los nitratos (NO_3) y finalmente, los ortofosfatos (PO_4). El pH y la temperatura del agua fueron calibrados de manera independiente.

- **Calibración de parámetros hidráulicos e hidrodinámicos**

La calibración hidráulica (ver Tabla 4-10), consistió en la determinación del coeficiente de Manning para cada segmento evaluado, esto fue realizado previamente utilizando el modelo hidrológico HEC – RAS.

Tabla 4-10. Resultados de la calibración hidráulica e hidrodinámica.

Segmento	E'	H	W	Ac	U	ka_20
N°	m ³ /s	m	m	m ²	m/s	1/d
E1	462.70	3.85	68.65	264.42	2.62	1.52
E2	636.55	6.54	70.49	461.06	1.92	0.53
E3	166.92	4.52	85.65	386.73	2.29	1.07
E4	794.45	3.56	133.24	474.98	2.20	1.49
E5	236.00	3.22	144.23	463.92	2.25	1.77
E6	406.07	4.57	110.96	507.31	2.06	0.97
E7	130.06	3.30	207.74	685.20	1.68	1.35
E8	513.26	3.61	238.51	860.04	1.34	0.99
E9	163.12	3.19	255.62	816.31	1.41	1.24
E10	521.65	4.20	272.10	1142.48	1.01	0.62
E11	575.89	2.33	286.00	667.16	1.73	2.34

E': Coeficiente Eddy viscosity; H: Lámina de agua; W: Ancho promedio del segmento; Ac: Área de la sección transversal; U: Velocidad promedio del fluido y Ka_20: Tasa de reaireación.

Las curvas de caudales simulados (s) y de campo (c) se muestran en la Figura 4-5. La abscisa 0 y 19,41 km representa las características hidráulicas de la frontera tipo *Headwater* y *Downstream*, respectivamente.

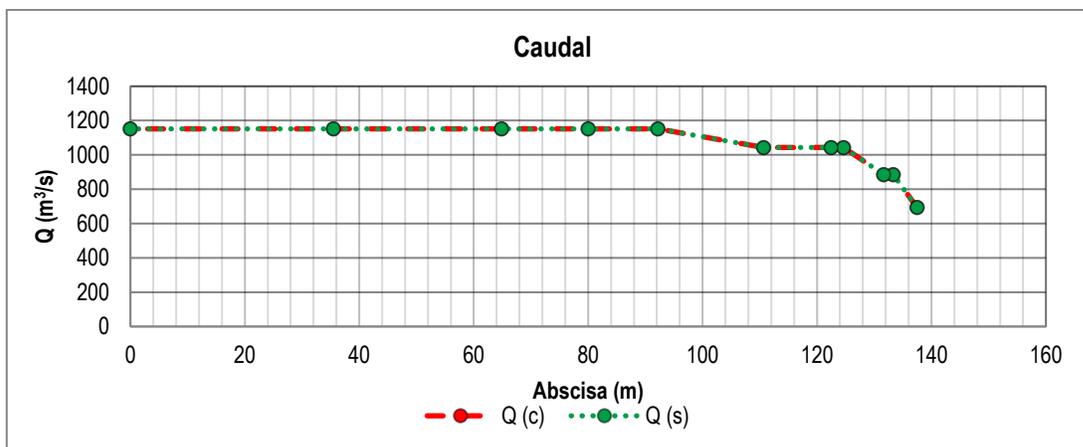


Figura 4-5. Resultados calibración de caudales río Cauca.

- Calibración de parámetros fisicoquímicos

Las constantes de transformación y transporte de las variables de estado evaluadas, se presentan en la Tabla 4-11.

Tabla 4-11. Resultados de la calibración fisicoquímica

DBO (Cs)			
Hidrolisis	0.0143	1/d	k _{dcs}
Oxidación	0.03	1/d	k _{dc}
N - Org			
Hidrolisis	0.27	1/d	k _{hn}
NO ₃			
Desnitrificación	1.75	1/d	k _{dn}
P -Org			
Hidrolisis	0.09	1/d	k _{hp}
Sedimentación	1.59	m/d	v _{op}
PO ₄			
Sedimentación	1.86	m/d	v _{ip}

A continuación se relacionan las curvas de comparación de datos simulados e información de campo correspondiente al escenario Sin Proyecto.

➤ **Oxígeno disuelto.**

Las condiciones de reaeración del tramo simulado favorecen la constitución de ambientes predominantemente aerobios (OD > 4 mg/L), garantizando el desarrollo de especies sensibles a las variaciones de los niveles de oxígeno disuelto (p.e peces). En la Figura 4-6, se muestran los resultados de la calibración del OD. Con en el coeficiente de variación (CV%) existe una diferencia del 6% entre los valores simulados (s) y de campo (c), lo cual permite usar el modelo QUAL2Kw para predecir los efectos de la construcción del embalse del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo sobre los niveles de OD aguas abajo.

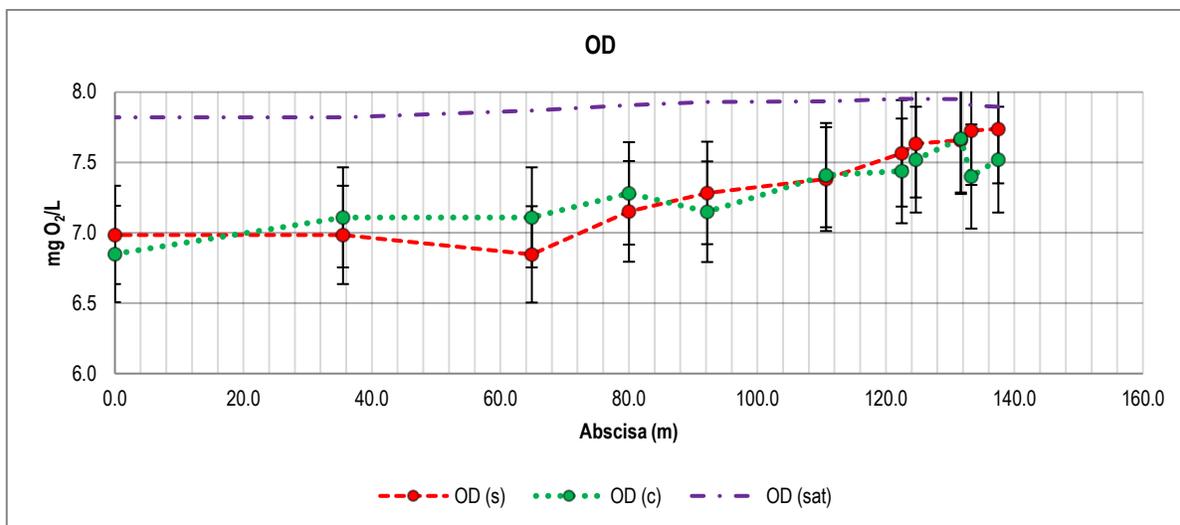


Figura 4-6. Resultados calibración del OD en el río Cauca.

➤ **Demanda bioquímica de oxígeno**

Luego de la calibración de la variable DBO Lenta (C_s), se obtuvo un coeficiente de variación (CV%) del 12 % entre los datos obtenidos en campo (c) y los simulados (s). No obstante la capacidad de predicción del modelo se aproxima al 90% en el último segmento (DW), lo cual permite utilizar el modelo QUAL2Kw para simular los efectos asociados a la construcción de la obra de embalse en este punto. En la Figura 4-7 se muestran los resultados de la calibración. En general la incertidumbre de la medición de la DBO₅ (en todas las estaciones por debajo del límite de detección < 2.49 mg/L), es la principal causa de error en el modelo.

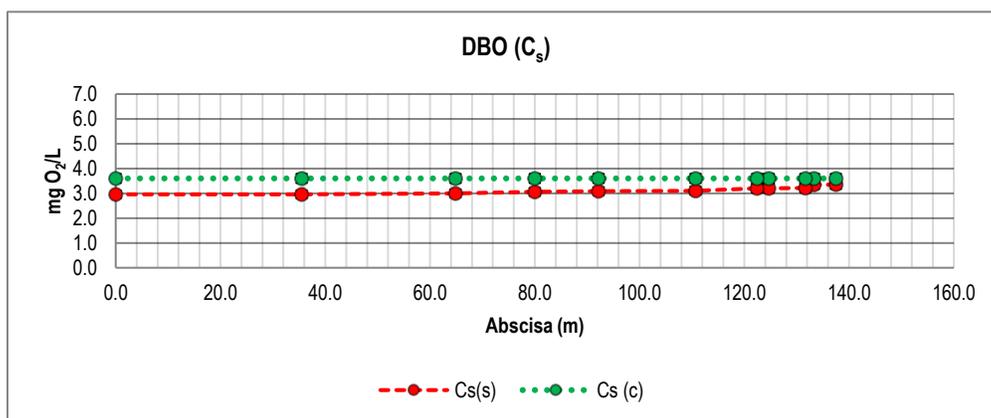


Figura 4-7. Resultados calibración de la DBO en el río Cauca.

➤ **Nitratos**

La calibración de los nitratos (NO₃), presentó un coeficiente de variación (CV%) del 16% entre los datos obtenidos en campo (c) y los simulados (s), lo cual permite utilizar el modelo QUAL2Kw para simular los efectos asociados a la construcción de la obra de embalse en este punto. En la Figura 4-8 se muestran los resultados de la calibración.

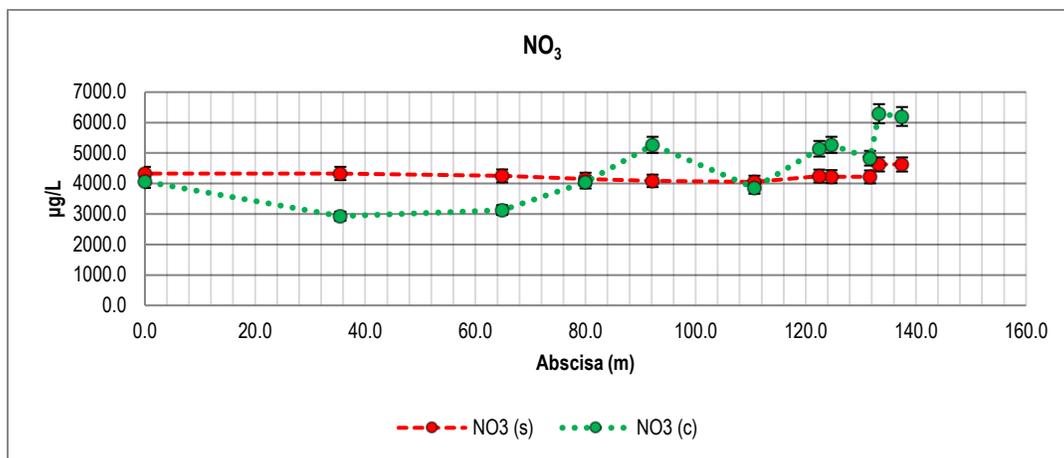


Figura 4-8. Resultados calibración de la NO₃ en el río Cauca.

➤ **Ortofosfatos**

La calibración de la variable PO₄, presentó un coeficiente de variación (CV%) del 18% entre los datos obtenidos en campo (c) y los simulados (s), lo cual permite utilizar el modelo QUAL2Kw para simular los efectos asociados a la construcción de la obra de embalse en este punto. En la Figura 4-9 se muestran los resultados de la calibración.

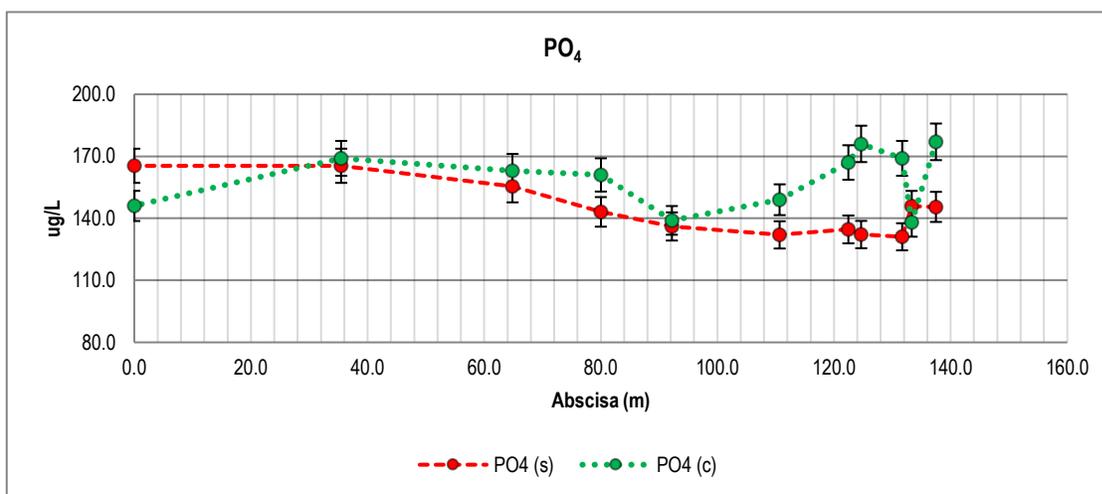


Figura 4-9. Resultados calibración de la PO₄ en el río Cauca.

➤ **Temperatura y pH**

Los resultados de la calibración de la temperatura del agua y el pH del río Cauca se muestran en la Figura 4-10 y Figura 4-11, respectivamente. En ambos casos se obtuvo un coeficiente de variación (CV%) inferior al 2%, lo cual permite utilizar el modelo QUAL2Kw para simular los efectos asociados a la construcción de la obra de embalse en este punto.

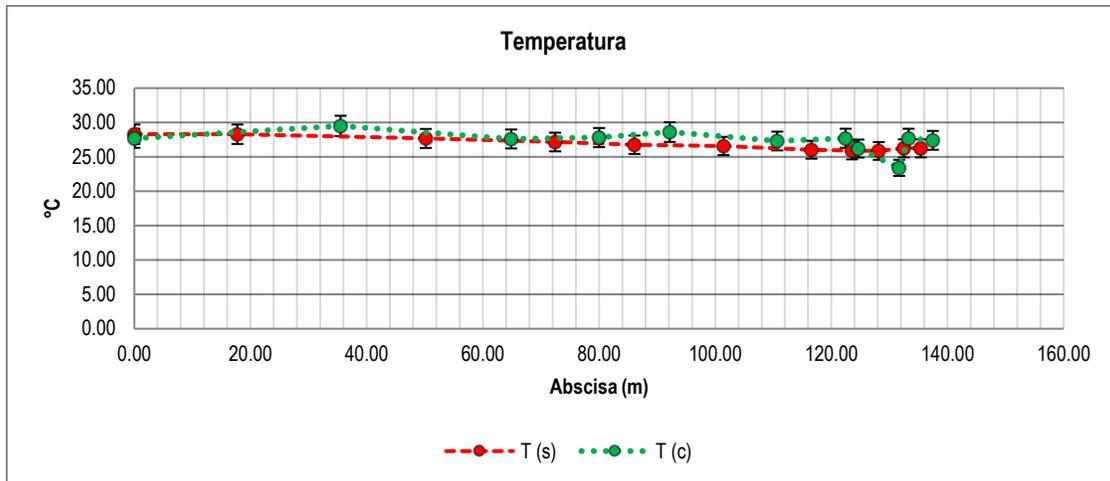


Figura 4-10. Resultados calibración de la temperatura en el río Cauca.

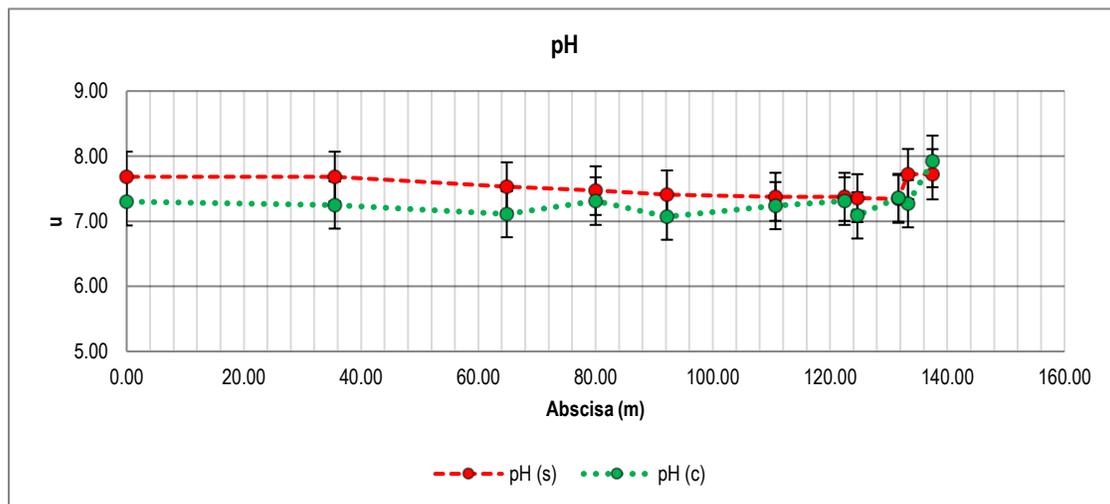


Figura 4-11. Resultados calibración del pH en el río Cauca.

A partir de la calibración del modelo QUAL2Kw en el tramo de interés del río Cauca, se realizó la evaluación de escenarios para determinar la influencia de la construcción de la obra de embalse del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, además de la remoción del 25, 50, 75 y 100% de la cobertura vegetal localizada en la zona de inundación.

- **Evaluación de escenarios**

El análisis de escenarios fue realizado considerando la reducción del caudal del río Cauca como consecuencia de la operación de la central hidroeléctrica Espíritu Santo. Los resultados de la simulación de calidad de aguas del embalse, obtenidos mediante la calibración previa del modelo bidimensional CE –QUAL – W2 en el tramo comprendido entre la salida del proyecto hidroeléctrico Ituango y la estación E0 (río Cauca – Sevilla), fueron utilizados para el análisis de sensibilidad de efectos asociados a la remoción del 25, 50, 75 y 100% de la cobertura vegetal inundable sobre la calidad del agua a la salida del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo (PES). En la Figura 4-12 se presenta el esquema de simulación del embalse y de la corriente del río Cauca.

- Escenario Con Proyecto.

La simulación del escenario Con Proyecto, fue realizada con base en el caudal ambiental mínimo de la condición hidrológica más crítica (años Niño), cuyo valor obtenido fue de 255,6 m³/s. El modelo de calidad QUAL2kw calibrado aguas abajo del sitio de presa del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, se utilizó en la evaluación de escenarios, manteniendo constantes las características hidráulicas y fisicoquímicas de los tributarios definidos entre E0 (Estación río Cauca – Sevilla) y E11 (Estación río Cauca – Margento). En la Tabla 4-12 se presentan las características del *Headwater* para los escenarios Con Proyecto (25, 50, 75 y 100% de remoción de la cobertura vegetal localizada en la zona de inundación), además de las condiciones fisicoquímicas del escenario Sin Proyecto (SP).

Tabla 4-12. Escenarios de simulación: Características del *Headwater*

Escenario	Q	T	CE	OD	DBO (Cs)	N -Org	NH ₄	NO ₃	P - Org	PO ₄	pH
	m ³ /s	°C	µmhos	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	u.s
25%	255.6	26.9	162	8	3.6	1530	190	33020	466	4550	7.9
50%	255.6	26.9	162	8	3.6	1530	190	22010	466	3040	7.9
75%	255.6	26.9	162	8	3.6	1530	190	11010	466	1520	7.9
100%	255.6	26.9	162	8	3.6	1530	190	299	466	56	7.9
SP	694.5	26.9	162	8	3.6	1530	190	5140	466	169	7.9

De la Figura 4-13 a la Figura 4-16, se presentan los resultados de la simulación del caudal ambiental mínimo mensual. La influencia de la construcción de la obra de embalse se evaluó teniendo en cuenta las siguientes variables. OD, DBO (C_s), NO₃, PO₄.

De conformidad con los resultados de la simulación de los niveles de oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, no existen diferencias significativas entre los escenarios de remoción del 25, 50, 75 y 100% de la cobertura vegetal del embalse, considerando el análisis de varianza de un factor y el coeficiente de variación de los datos obtenidos mediante la implementación del modelo QUAL2Kw.

Los niveles de nitratos y ortofosfatos aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, son afectados significativamente por el porcentaje de remoción de la cobertura vegetal del embalse. Con base en el análisis de varianza se puede concluir que no existen diferencias significativas entre el escenario de remoción del 50% de la cobertura vegetal y el escenario Sin Proyecto, al considerar la variable NO₃.

El comportamiento de los ortofosfatos aguas abajo del embalse Espíritu Santo, no presenta diferencias significativas al mediante un análisis de varianza, los resultados de la simulación del escenario de remoción del 100% de la cobertura vegetal y el escenario Sin Proyecto.

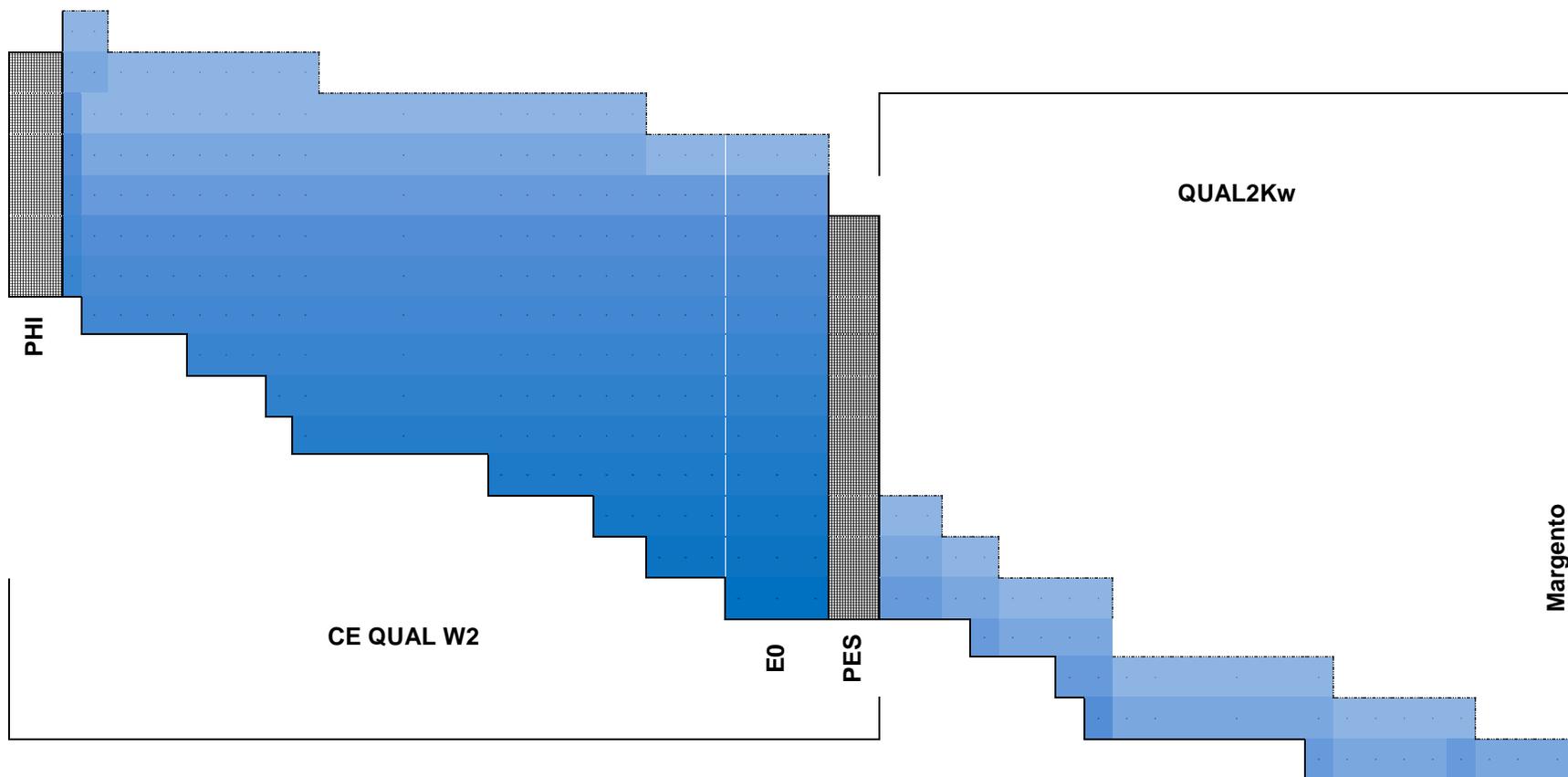


Figura 4-12. Esquema de simulación del escenario Con y Sin Proyecto.

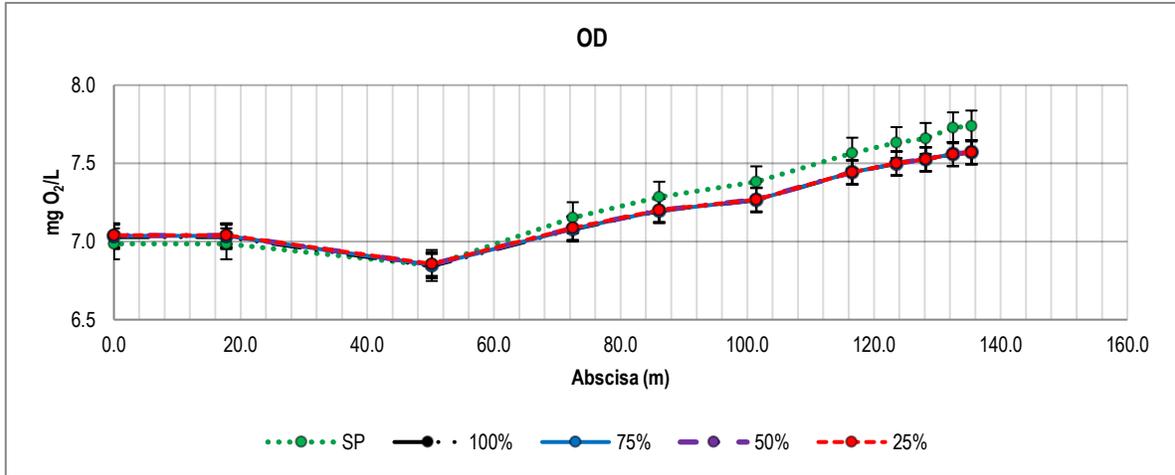


Figura 4-13. Resultados evaluación de escenarios: OD - río Cauca.

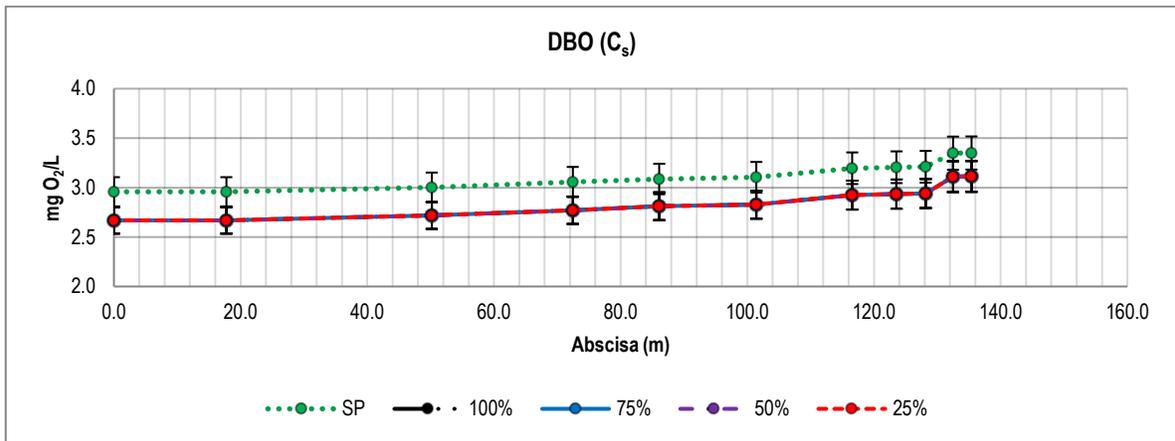


Figura 4-14. Resultados evaluación de escenarios: DBO - río Cauca.

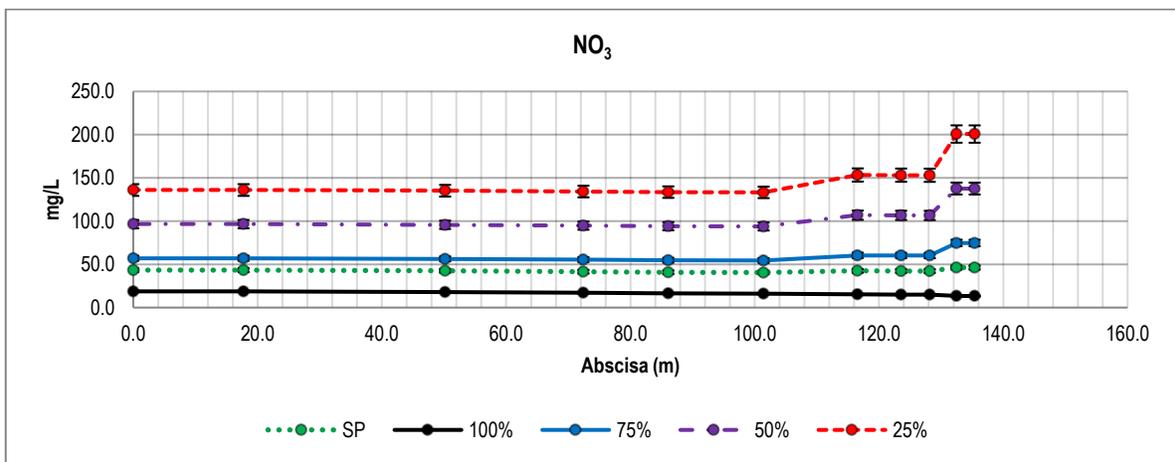


Figura 4-15. Resultados evaluación de escenarios: NO₃ - río Cauca.

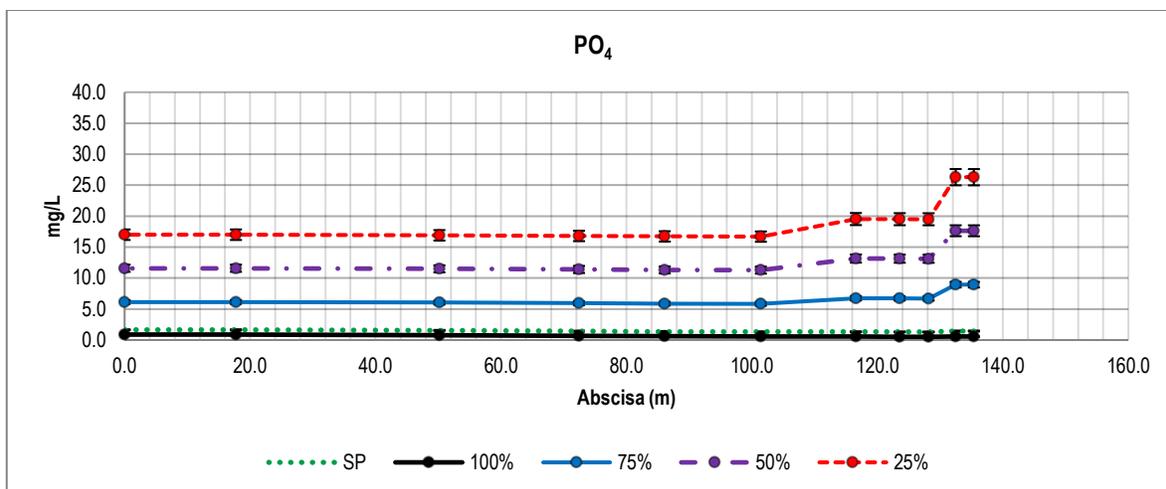


Figura 4-16. Resultados evaluación de escenarios: PO₄ - río Cauca.

A partir de la simulación de calidad de aguas anterior, se evalúa la variación el índice de calidad de aguas WQI, considerando la estación río Cauca – Margento (E11) como punto crítico de comparación. Para el cálculo del índice se tuvo en cuenta la variación del OD, DBO, NO₃ y PO₄, los demás parámetros se asumieron constantes e iguales al medido en campo (E11).

– **Alteración de la calidad de agua.**

Con el objetivo de evaluar los efectos asociados a la construcción de la obra de embalse del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo sobre la calidad de agua del río Cauca, se determinó el índice de calidad WQI considerando los resultados de la simulación del escenario Sin y Con Proyecto.

Para calcular el ICA se realiza un promedio aritmético ponderado entre el valor de calidad (Q) del parámetro i y su respectivo factor de ponderación, como se muestra en la expresión 13.

$$ICA = \sum_{i=1}^n QiWi \quad 13.$$

Donde Qi = valor de calidad del parámetro i (calculado con base en las curvas definidas por la NSF), Wi = factor de ponderación para el subíndice i, de acuerdo a los valores presentados en la Tabla 4-13

Tabla 4-13. Factores de ponderación

Parámetro	Factor de ponderación
Oxígeno disuelto	0.17
Coliformes fecales	0.16
pH	0.11
DBO	0.11
ΔT	0.1
Fosfatos	0.1
Nitratos	0.1
Turbidez	0.08
Sólidos disueltos totales	0.07

En la Tabla 4-14 se presentan los resultados de la evaluación del índice de calidad WQI de la estación río Cauca – Margento (E11) para los escenarios de remoción del 25%, 50%, 75% y 100% de la cobertura vegetal localizada en la zona de inundación del embalse.

Tabla 4-14. Resultados WQI estación Río Cauca – Margento (E11)

Parámetro	Unidad	Escenario				
		25%	50%	75%	100%	SP
Oxígeno disuelto	mg/L	7.04	7.04	7.04	7.04	6.99
Coliformes fecales	NMP/100 ml	6000	6000	6000	6000	6000
pH	u.s	7.69	7.69	7.68	7.68	7.69
DBO	mg/L	2.67	2.67	2.67	2.67	2.96
ΔT	°C	0	0	0	0	0
Fosfatos	mg/L	17	11.58	6.13	0.88	1.65
Nitratos	mg/L	135.97	96.5	57.08	18.72	43.31
Turbidez	UNT	820	820	820	820	820
ICA - NFS		50	50	51	58	52
Calificación		Media	Media	Media	Media	Media

Con el objetivo de establecer las diferencias entre los valores promedios de cada parámetro simulado y la línea base de la condición Sin Proyecto, se realizó un análisis de varianza (ANOVA). Los resultados de la prueba F de Fisher se presentan en Tabla 4-15.

Tabla 4-15. Resultados análisis de varianza (ICA – WQI)

Origen	F	Probabilidad	Valor crítico (F)
μ (25%) = μ (50%)	0.00012	0.99	4.60
μ (25%) = μ (75%)	0.006	0.94	4.60
μ (25%) = μ (100%)	0.242	0.63	4.60
μ (50%) = μ (100%)	0.232	0.64	4.60
μ (50%) = μ (75%)	0.005	0.95	4.60
μ (75%) = μ (100%)	0.174	0.68	4.60

De conformidad con los resultados obtenidos, la remoción de la cobertura vegetal de la zona de inundación del embalse Espíritu Santo, no afecta la calidad del recurso hídrico aguas abajo del sitio de presa, teniendo en cuenta los escenarios de remoción de la cobertura vegetal (25, 50, 75 y 100%), y el caudal ambiental mensual mínimo determinado para el proyecto hidroeléctrico. Se conservan en todos los escenarios evaluados las características fisicoquímicas de la condición sin proyecto (calidad media)

4.1.2 Dinámica geomorfológica del río Cauca

I. DESCRIPCIÓN DEL VECs
<p>Descripción: Al estudiar la dinámica fluvial de un río se habla de un régimen de caudales de la corriente, a la cual está asociado un patrón de transporte de sedimentos, con los cuales se tienen establecido un equilibrio que define a lo largo del cauce, zonas de agradación y degradación, así como sectores donde se presenta socavación de lecho o de las orillas. Con la construcción de proyectos hidroeléctricos que generan embalses, se conforman zonas donde se almacena agua y como tal pueden afectar en mayor o menor grado, los caudales de las corrientes efluentes de los mismos, en función del tamaño y la capacidad del embalse, el tiempo de retención de las aguas, las reglas de operación. Además que los embalses funcionan como sedimentadores, cambiando el equilibrio del río, dado que se modifica su carga de sedimentos.</p>
<p>Relación con otros VECs: La dinámica fluvial está con la Calidad del Agua y con los Ecosistemas acuáticos</p>

Fuentes de modificación del VECs	Una sola actividad	Múltiples actividades	X
Actividades externas que causan cambios en el VECs : La dinámica fluvial del río Cauca también se ve afectada por las actividades de minería que se desarrollan en el cauce del río			
II. CARACTERÍSTICAS			
II.1 Proceso de acumulación: (Aditivo o interactivo) Aditivo: La acumulación se genera espacial y temporalmente por la acumulación de volúmenes de agua y por la regulación de caudales, estas perturbaciones se van adicionando en cada uno de los proyectos. Interactivo: La explotación de aluvión que se realiza en el río Cauca, modifica su dinámica.			
II. 2 Aspectos espaciales			
Ámbito geográfico	Forma de distribución	Configuración	
Regional: la modificación de los caudales y el patrón de transporte de sedimentos, afecta al río Cauca, desde los sitios de los proyectos hidroeléctricos hasta su desembocadura en el río Magdalena	Dispersa: La acumulación se da en cada uno de los proyectos hidroeléctricos existentes en la cuenca	Lineal: el efecto se refleja a lo largo del cauce del río	
II.3 Aspectos temporales			
Horizonte (Marco) de tiempo		Frecuencia	
La modificación de los regímenes de caudales en el tramo medio se iniciará con la construcción de los proyectos hidroeléctricos Ituango, Cañafisto y Espíritu Santo, que también modificará el patrón de transporte de los sedimentos aguas abajo de los proyectos hidroeléctricos.		Permanente: La modificación de los caudales y el régimen de sedimentos será permanente, desde que se inicie la operación del primer proyecto hidroeléctrico.	
III. INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA EVALUACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> • Registro de caudales aguas abajo de los proyectos hidroeléctricos. • Registro de sedimentos aguas abajo de los proyectos hidroeléctricos. • Reglas de operación de los proyecto hidroeléctricos 			

4.1.2.1 Indicador

Para evaluar los cambios que van a ocurrir en el régimen de caudales de la cuenca del río Cauca, aguas abajo de los proyectos, se definieron los siguientes tres indicadores:

- Índice de caudal mínimo: $I_{Qmin} = \frac{Q_{med-min.registrado}}{Q_{med-min.histórico}}$
- Índice de caudal máximo: $I_{Qmax} = \frac{Q_{med-max.registrado}}{Q_{med-max.histórico}}$
- Índice de caudal medio: $I_{Qmed} = \frac{Q_{med-med.registrado}}{Q_{med-med.histórico}}$

Donde

- $Q_{med-med}$ = Caudal medio mensual
- $Q_{med-min}$ = Caudal medio mínimo mensual
- $Q_{med-max}$ = Caudal medio máximo mensual

Para evaluar el cambio en el transporte de sedimentos se utilizará el siguiente indicador:

- $I_{sed} = \frac{\text{Carga de sedimento registrado}}{\text{Carga de sedimento histórico}}$
- Comparación de secciones transversales a través del tiempo

4.1.2.2 Diagnóstico de la cuenca

- **Evaluación del transporte de sedimentos para diferentes escenarios**

La presencia de una obra de retención en un tramo de río (por ejemplo una presa), facilita la sedimentación de los sedimentos transportados, formando un delta que se empieza a generar en el extremo de aguas arriba del embalse y que, con el tiempo, avanza hacia la presa, ocupando progresivamente el volumen “muerto” y también parte del volumen útil del embalse. De acuerdo a lo anterior es importante establecer la forma en que los sedimentos se distribuyen dentro del embalse a medida que transcurre el tiempo, lo cual depende de factores como la regla de operación del embalse, el tipo de sedimentos y la hidrología de la cuenca.

Para obtener una aproximación de la distribución de sedimentos se utilizan modelos numéricos como el HEC-6 (ReservoirSediment Control Applications) o el SRH-1D (Sediment and RiversHydraulics), que fue utilizado en este estudio

La evaluación de escenarios se hace con el objeto de mostrar parcialmente los cambios en el lecho del río Cauca y así poder analizar de forma más detallada la influencia de una determinada estructura.

Esta evaluación de escenarios se hace a partir de la geometría actual, es decir, se consideró la información proveniente de secciones interpoladas, batimetría y restitución del año 2013.

Es importante mencionar que los cálculos hechos con el software SRH-1D, para los procesos de agradación y/o degradación, se realizaron con cuatro ecuaciones de transporte diferentes: Meyer-Peter and Müller's (MPM), Engelund, Parker's Method (1990) usando el método de Einstein para calcular el esfuerzo cortante del material, y Engelund and Hansen's Method (E&H).

- **Línea Base**

La línea base consiste en evaluar el comportamiento de los sedimentos en el tramo de estudio sobre el río Cauca, sin la influencia de los transportes que generan los ríos Ituango y Sinitavé para la condición actual; adicionalmente, no se tiene en cuenta los proyectos hidroeléctricos Ituango y Espíritu Santo. El análisis de este escenario permite estimar en qué zonas del tramo de estudio se presentan procesos de agradación o degradación.

Es importante recordar que para la simulación del transporte de sedimentos en este proyecto, se hizo una migración del software HEC-6 al SRH.

Con el fin de presentar resultados fácilmente observables, el tramo de estudio se dividió en dos partes; la primera comprende el municipio de Santa Fe de Antioquia y el Proyecto Hidroeléctrico Ituango y la segunda inicia en ese proyecto y el municipio de Cauca.

Los resultados obtenidos con los diferentes programas (SRH-1D y HEC-6) son relativamente similares y se presentan en la Figura 4-17 y la Figura 4-18. La información de parámetros utilizados para este modelo, son los recomendados en la literatura técnica general.

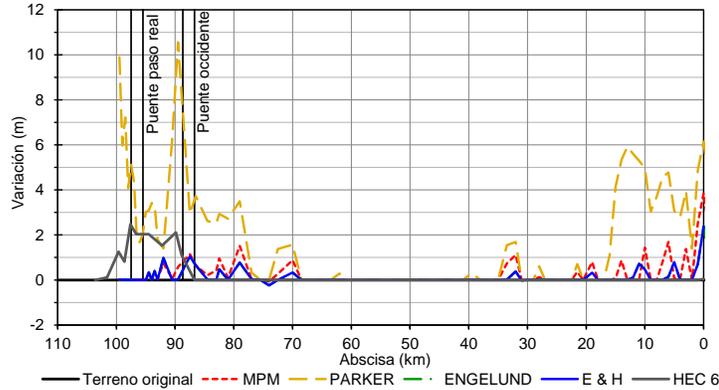


Figura 4-17 Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas arriba del Proyecto Hidroeléctrico Ituango

Nota: La abscisa cero es la presa del proyecto hidroeléctrico Ituango

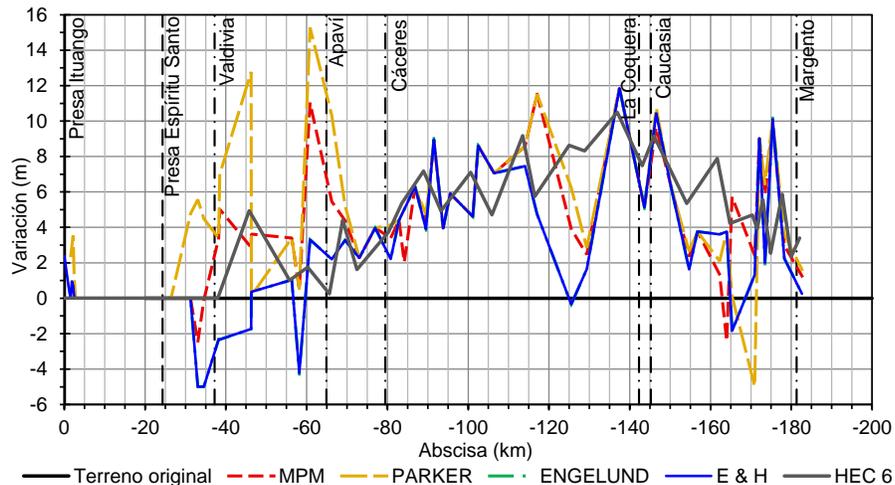


Figura 4-18 Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas abajo del Proyecto Hidroeléctrico Ituango

Es importante mencionar que el software HEC-6, limita al usuario en cuanto la utilización de parámetros de calibración dentro del modelo; respecto al SRH-1D, se cuenta con más grados de libertad para calibración y modelación. Las restricciones utilizadas para el modelo construido con SRH-1D fueron mínimas y de allí se obtuvieron los resultados presentados en la Figura 4-17 y la Figura 4-18. En ellas se evidencia la similitud del comportamiento representado por los dos modelos.

En otro escenario no se consideraron límites en cuanto a los procesos de depositación o erosión en las secciones transversales del cauce; adicionalmente, se utilizaron parámetros diferentes para la depositación y erosión de material a lo largo de todo el tramo de estudio, dependiendo de si el flujo transcurre por una zona lótica o léntica, y los resultados se presentan en la Figura 4-19 y la Figura 4-20

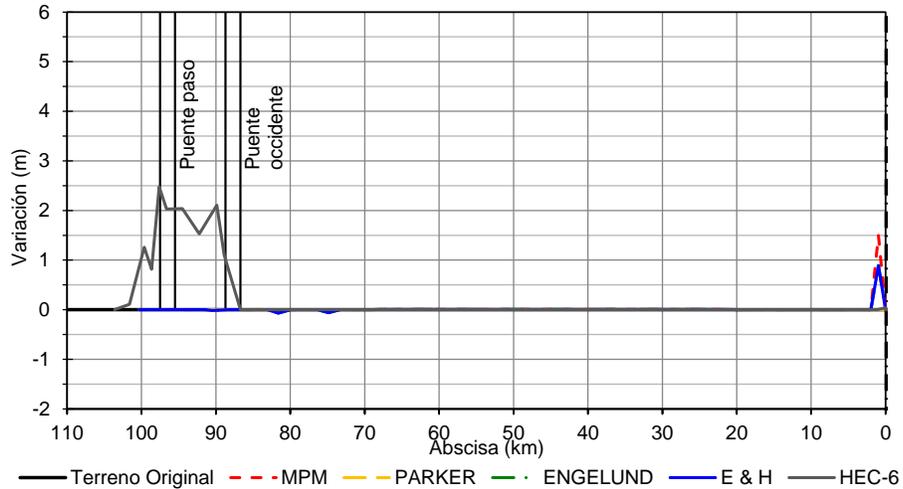


Figura 4-19 Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas arriba del proyecto hidroeléctrico Ituango

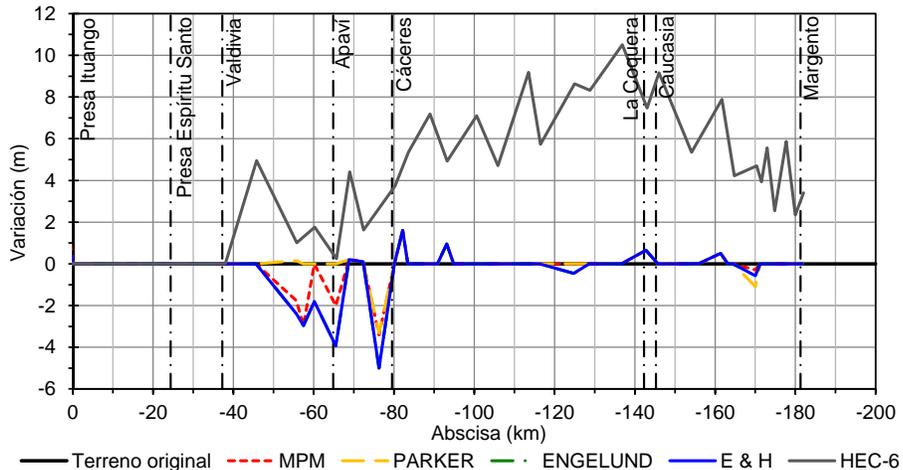


Figura 4-20 Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Ituango

En las anteriores Figuras se puede observar que los resultados obtenidos con el SRH-1D varían con respecto a los del HEC-6, ya que en esta ocasión el fondo del lecho parece más estable en cuanto a los procesos de agradación y degradación. En otras palabras, los ajustes que se hicieron a los parámetros, muestran que el cauce principal del río Cauca tiene una tendencia más admisible, entre los procesos de agradación y degradación, mientras que el HEC-6, tiende a sobreestimar aparentemente los niveles de depositación, hasta el punto de indicar que la elevación máxima de sedimentos cerca al sector La Coquera es del orden de 1 m.

En la Figura 4-20 se puede observar un proceso de degradación que toma valores hasta de 5 m, entre los sectores de Valdivia y Cáceres (km-40 y km-80). El tramo en mención corresponde a una zona meándrica (no encañonada), en donde el río presenta algunos cambios a pendientes más suaves, y por lo tanto la energía se disipa en estos tramos en eventos de socavación, por lo cual es probable que de manera natural, se presenten eventos de incisión del lecho, y erosión en algunas orillas. Adicionalmente, es importante anotar que

hacia aguas abajo de Valdivia, se da la transición de material rocoso en el lecho a material aluvial.

Así mismo, es importante mencionar que aguas abajo del municipio de Cáceres, el modelo estima una tendencia hacia los procesos de agradación, debido a las bajas pendientes.

Hacia aguas abajo, en el km-120 (20 km aguas arriba de la Coquera), el modelo presenta una leve tendencia a generar procesos erosivos muy localizados y de orden de magnitud de hasta un metro, que son debidos a estrechamientos naturales del canal del río Cauca, y por tanto se generan algunas leves aceleraciones y aumento de la capacidad erosiva de la corriente a largo plazo. En ese orden de ideas, es importante mencionar que este fenómeno se presenta en algunos puntos similares hacia aguas abajo, sin embargo, los datos obtenidos mediante simulación, muestran que el río tiene la capacidad de transportar todo el volumen de sedimentos en régimen medio, sin que se presenten fenómenos de agradación o degradación del lecho significativos.

– Línea base con el proyecto hidroeléctrico Ituango

Similar a lo expuesto en la línea base, se hizo una comparación inicial entre los resultados entregados por ambos modelos, sin considerar las restricciones de parámetros durante la construcción del modelo SRH-1D.

En la Figura 4-21 y la Figura 4-22 se puede observar que la tendencia de los resultados entregados por ambos modelos es similar. Sin embargo, aguas arriba del proyecto hidroeléctrico Ituango, se puede observar que el material depositado en el lecho del río tiene una caída abrupta alrededor del km 30 según la herramienta HEC-6, mientras que los resultados entregados por el SRH-1D, muestra que la cuña de sedimentos decrece paulatinamente.

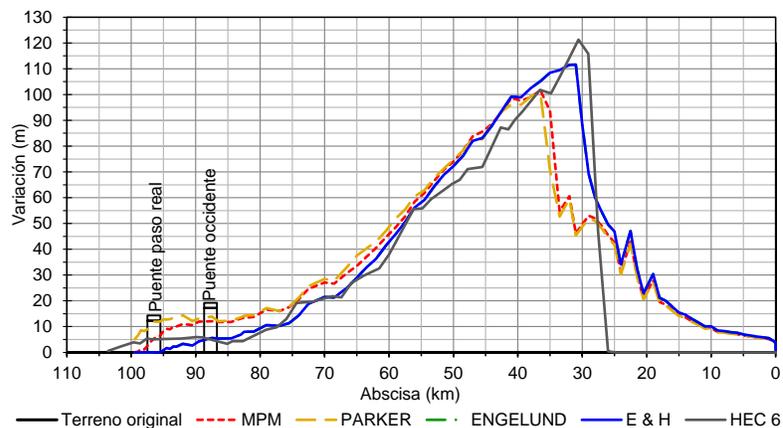


Figura 4-21 Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas arriba del proyecto hidroeléctrico Ituango

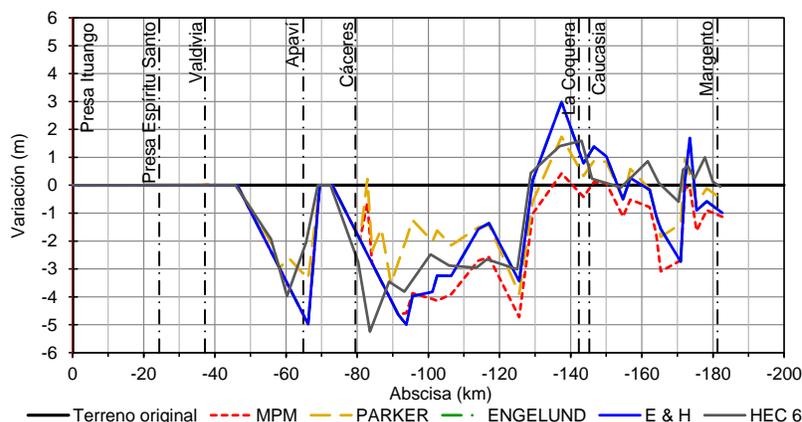


Figura 4-22 Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Ituango

Como se mencionó inicialmente, los resultados presentados en las dos Figuras anteriores y en la Figura 4-23 para el SRH-1D, corresponden a un modelo donde no se tuvieron en cuenta los límites de erosión o depositación, además de que se consideraron los parámetros realmente representativos de cada sector del tramo en estudio.

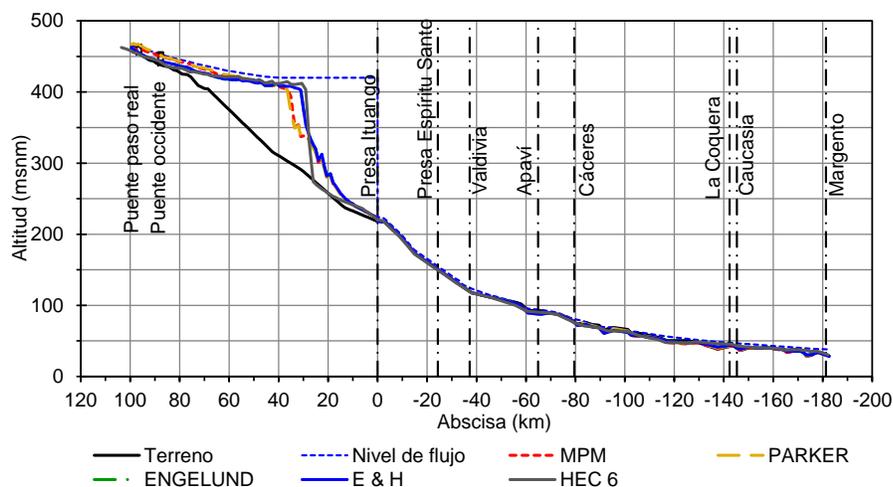


Figura 4-23. Perfil a lo largo del tramo de estudio con procesos de agradación y degradación

De la Figura 4-24 a la Figura 4-26 se observa que la construcción del proyecto hidroeléctrico Ituango tiene un impacto sobre los procesos de agradación y degradación del tramo de estudio, especialmente, aguas arriba del sitio de presa donde se genera una cuña de sedimentos de gran magnitud (ver Figura 4-24). Es importante anotar que aguas abajo del sitio de presa, en la línea base se observaba un cauce que tendía a buscar el equilibrio puesto que los procesos de agradación y degradación se presentaban con una frecuencia y magnitud similar en la zona, mientras que para este escenario (línea base + proyecto hidroeléctrico Ituango), se puede observar que se generarían varios procesos de degradación (ver Figura 4-25).

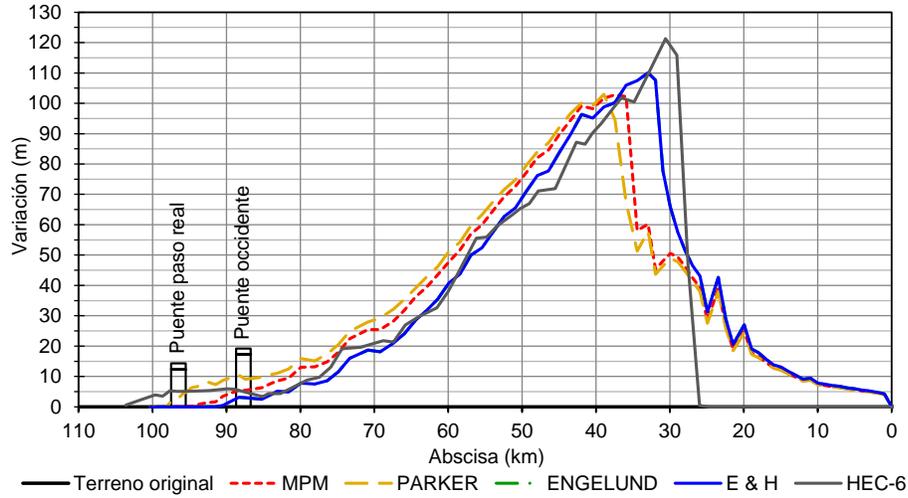


Figura 4-24 Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas arriba del proyecto hidroeléctrico Ituango

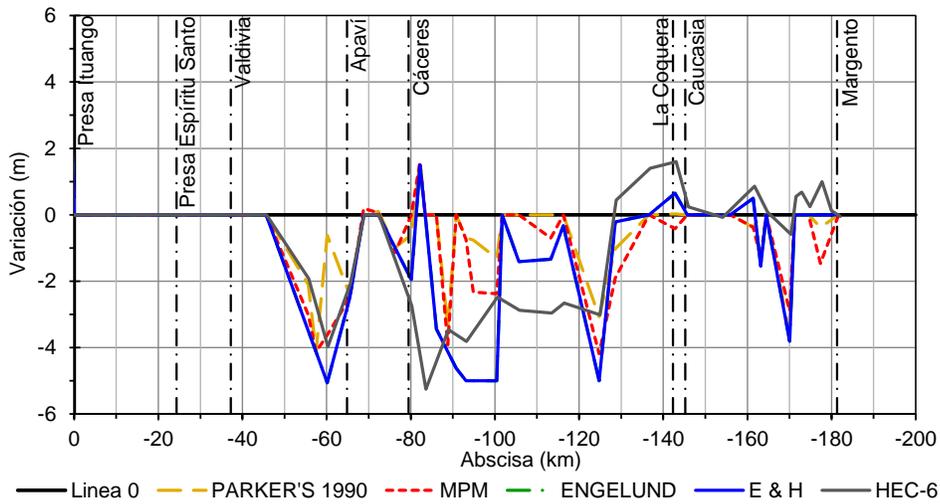


Figura 4-25 Variación del lecho de acuerdo a los procesos de agradación o degradación aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Ituango

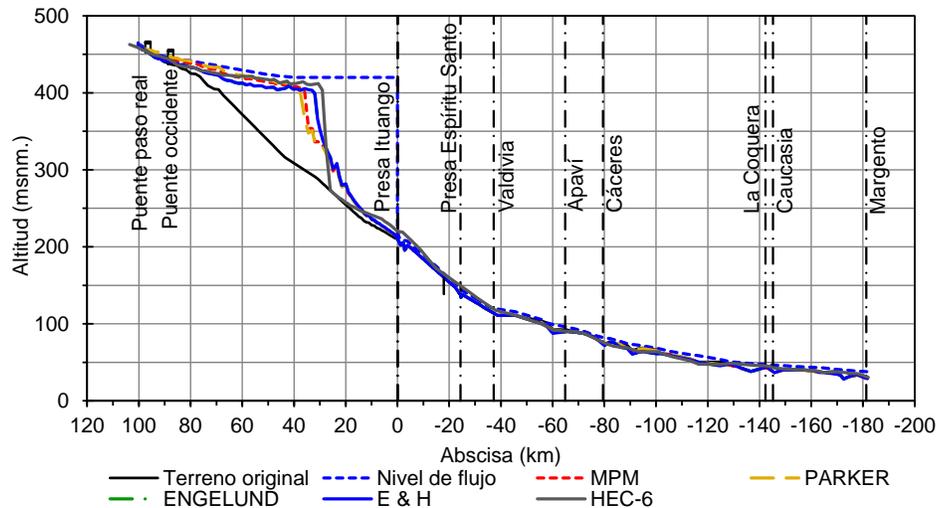


Figura 4-26 Perfil a lo largo del tramo de estudio con procesos de agradación y degradación

La Figura 4-24 permite comparar los resultados entregados por la metodología de Engelund & Hansen y el HEC-6. En ella se puede observar que las curvas de depositación hasta el km 50 son muy similares; sin embargo, después de este punto, los cambios son significativos. Es importante resaltar que la forma tan abrupta como cae la cuña de sedimentos según el HEC-6 tiende a no ser realista, puesto que el material característico transportado por el río Cauca (fino-granular), es propenso a generar cuñas de sedimento con ángulos de reposo bajos, diferente a la verticalidad que se evidencia según los resultados del HEC-6. Si se quiere tener un panorama general de cómo se verían las cuñas de sedimentos a 50 años remitirse a la Figura 4-26.

Aguas abajo del sitio de presa se observa que hay estabilidad en el lecho hasta el km -45. Después de esta zona se evidencian procesos de agradación y degradación, siendo predominantes los últimos.

En el análisis hecho para la línea base del proyecto (ver Figura 4-20) se concluyó inicialmente que el lecho del río aguas abajo del sitio de presa, está en un constante cambio, entre procesos de agradación y degradación. Una posible explicación del proceso de socavación aguas abajo del sitio de presa tiene que ver con que la mayor parte del sedimento es retenido en embalse. Si se admite que tal retención genera un exceso de energía de transporte aguas abajo, el río, al no contar con material en suspensión, tiende a socavar como se puede ver en Figura 4-25 (alrededor del km -45). No obstante de lo anterior, se puede observar que el material que arrastra en estos puntos parece depositarlo más aguas abajo. Este proceso parece similar al de la línea base.

- Línea base (río Cauca, río Ituango y río Sinitavé)

Aguas arriba del sitio de presa (tramo I), se puede observar que predominan los procesos de agradación, especialmente en la zona de puentes y cerca de la zona del Proyecto Hidroeléctrico Ituango (ver Figura 4-27). La máxima variación del lecho identificada en un período de 50 años es del orden de 2 m.

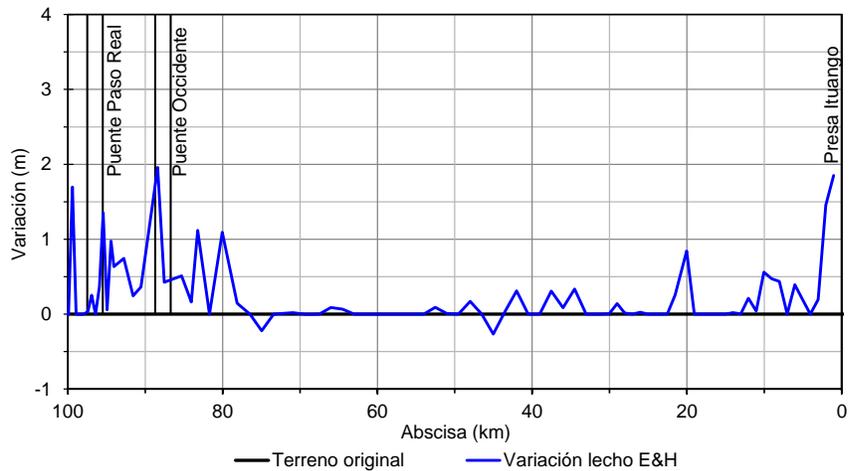


Figura 4-27. Variación del lecho en el tramo I en 50 años para el río Cauca

En la Figura 4-28 se pueden observar tres zonas muy amplias en el río Cauca con un comportamiento trenzado, lo que sugiere que probablemente las velocidades del flujo tienden a ser bajas, y por lo tanto grandes cantidades de material se depositan en la zona. Es importante anotar que el río tiende a estrecharse a medida que se acerca a la estructura de cruce del puente de occidente, sin embargo aguas abajo del mismo, hay unos pequeños sectores donde se puede observar que el río deposita material (ver Figura 4-27).

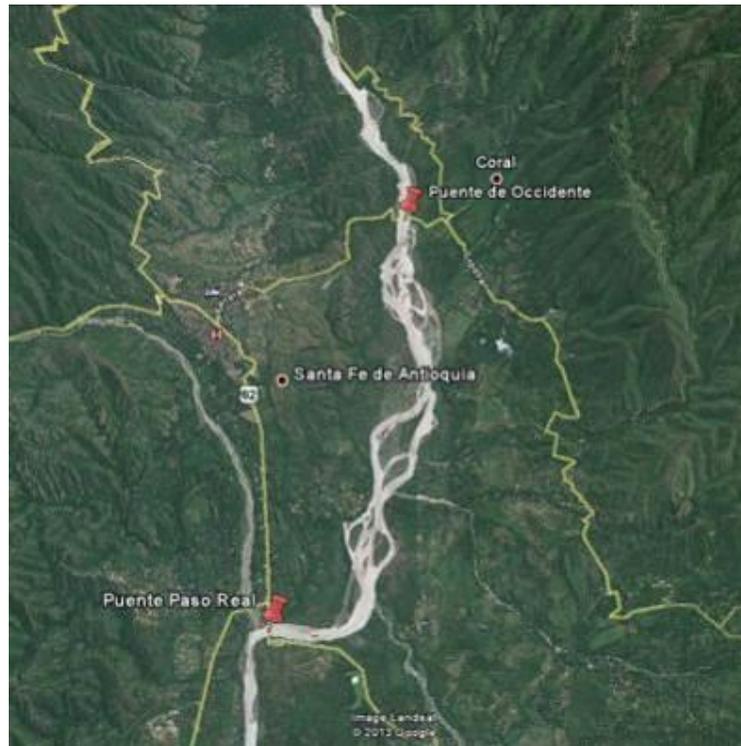


Figura 4-28 Vista en planta del sector ubicado entre el puente Paso Real y el puente de Occidente

Aguas abajo del sitio de presa (tramo II), los resultados sugieren que el lecho del río Cauca en 50 años, bajo este escenario, estaría aparentemente en equilibrio pues no se observan procesos de agradación o degradación (ver Figura 4-29).

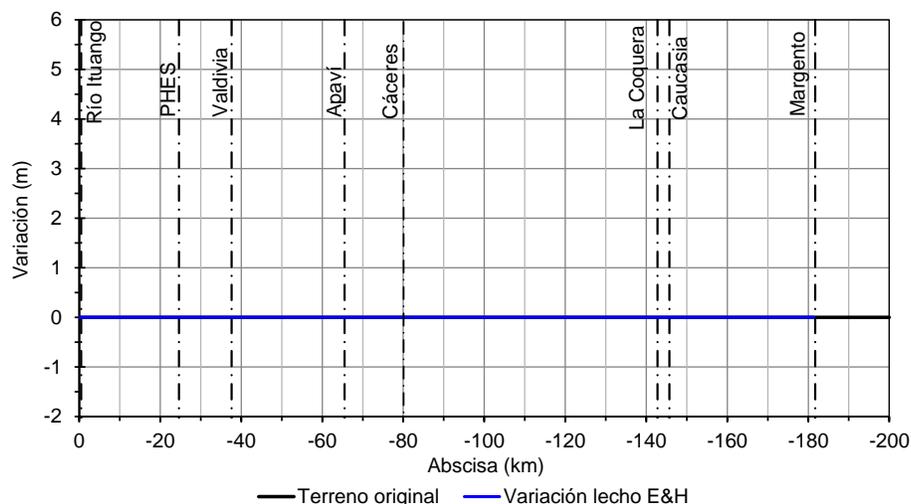


Figura 4-29 Variación del lecho a 50 años en el tramo II para el río Cauca

Es importante mencionar que los resultados obtenidos aguas abajo del sitio de presa del proyecto hidroeléctrico Ituango para este escenario, varían levemente con respecto a la línea base descrita (ver Figura 4-20). Esta última (línea base sin Ituango y Sinitavé), muestra que la capacidad de arrastre de material sólido del río genera algunos procesos erosivos alrededor de la abscisa km -45; sin embargo, aguas abajo, cerca del km -80, se presentan algunos fenómenos locales de erosión y posterior deposición, explicados por la variación de la sección natural del río Cauca.

En términos generales, los aportes de los ríos Ituango y Sinitavé no afectan la capacidad de transporte hacia aguas abajo del sitio de presa del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, pues los aportes de sedimentos de estas corrientes al río Cauca parecen balancear la capacidad de arrastre, con la cantidad de sedimento transportado en suspensión.

- Río Cauca con el proyecto hidroeléctrico Ituango, descarga del proyecto hidroeléctrico Ituango, Río Ituango y Río Sinitavé

Este escenario considera el proyecto hidroeléctrico Ituango y sus descargas al igual que los ríos Ituango y Sinitavé. Para la simulación se utilizó un intervalo de cálculo de 6 horas.

Los resultados obtenidos para el tramo I (ver Figura 4-30) sugieren el posible impacto que genera la entrada en operación del Proyecto Hidroeléctrico Ituango sobre la morfología de la zona de estudio. Las bajas velocidades del campo de flujo, al interior del embalse, ocasionan cambios en la dinámica sedimentaria actual del río Cauca, transformando el tramo en una zona donde dominan los procesos de agradación.

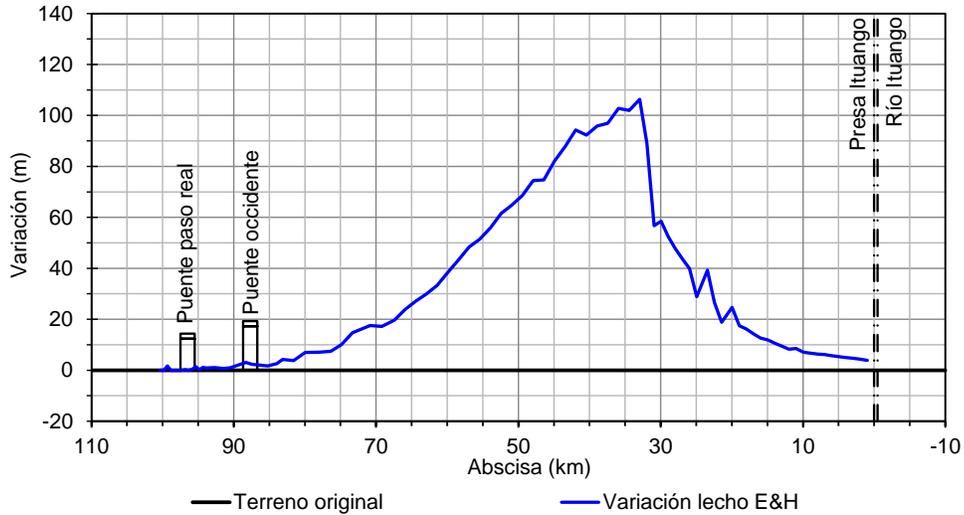


Figura 4-30. Variación del lecho en el tramo I en 50 años, para el río Cauca con el proyecto hidroeléctrico Ituango

Los resultados sugieren que esta nueva dinámica en la zona de embalse ocasiona la formación de un delta de sedimentos con un canal central para la circulación del flujo. Este canal se caracteriza por tener un fondo localizado alrededor de 106 m por encima del lecho actual, mientras que las bancas pueden estar unos 124 m por encima del mismo (ver Figura 4-30). Cabe anotar que la cola de sedimentos del embalse llega hasta los puentes Paso Real y Occidente, generando depósitos con alturas máximas que pueden alcanzar los 4,5 m y 7,5 m, respectivamente. No obstante lo anterior, estos fenómenos de agradación no afectan el normal tránsito de las crecientes a través de las estructuras, puesto que el borde libre que queda disponible para el puente Paso Real sería de unos 7,5 m y para el de Occidente de unos 10 m.

Los resultados muestran que muy seguramente que con la entrada en operación del proyecto hidroeléctrico Ituango, gran parte del sedimento que es transportado a lo largo del río Cauca en la actualidad, será retenido aguas arriba de la presa. Lo anterior sugiere que el río aguas abajo queda con un exceso energético que puede producir algunos procesos de degradación, tal y como se muestra en la Figura 4-31.

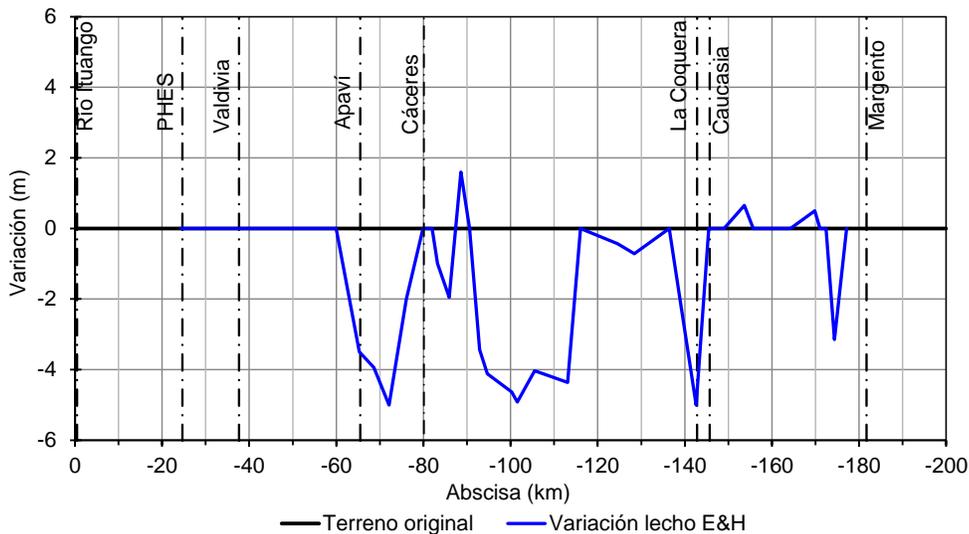


Figura 4-31 Variación del lecho en el tramo II en 50 años, para el río Cauca con proyecto hidroeléctrico Ituango

De lo anterior se pudiera concluir que los procesos erosivos aguas abajo del sitio de presa se incrementarán con respecto a las condiciones actuales, sin embargo, se observa que aguas abajo del km -140 (ver Figura 4-31), cerca del municipio de Caucasia, la profundidad de socavación disminuye, incluso se evidencian algunos procesos de agradación.

- **Río Cauca con embalse proyecto hidroeléctrico Ituango, descarga proyecto hidroeléctrico Ituango, río Ituango, río Sinitavé, proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo y descarga proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo.**

El análisis de este permite estudiar los procesos de agradación y degradación en el lecho del río Cauca, cuando entren en operación ambos proyectos hidroeléctricos.

A fin de tener una mejor apreciación de los procesos de agradación y degradación en el río Cauca para este escenario, los resultados serán presentados en tres tramos; el primero va desde el municipio de Santa Fe de Antioquia hasta el proyecto hidroeléctrico Ituango, el segundo inicia en el proyecto hidroeléctrico Ituango y termina en el Proyecto Hidroeléctrico Espíritu Santo, y el tercero va entre este último proyecto hasta el sector de Margento.

En la Figura 4-32 se puede apreciar que la variación en el delta de sedimentos es similar al que se presentó para el escenario que no contempla el proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo (ver Figura 4-30). De lo anterior se deduce que las obras principales de este proyecto no afecta la hidrodinámica y el transporte de sedimentos en la zona de embalse del Proyecto hidroeléctrico Ituango, y por lo tanto este último es indiferente del nivel de operación medio del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo (205 msnm ó 209 msnm).

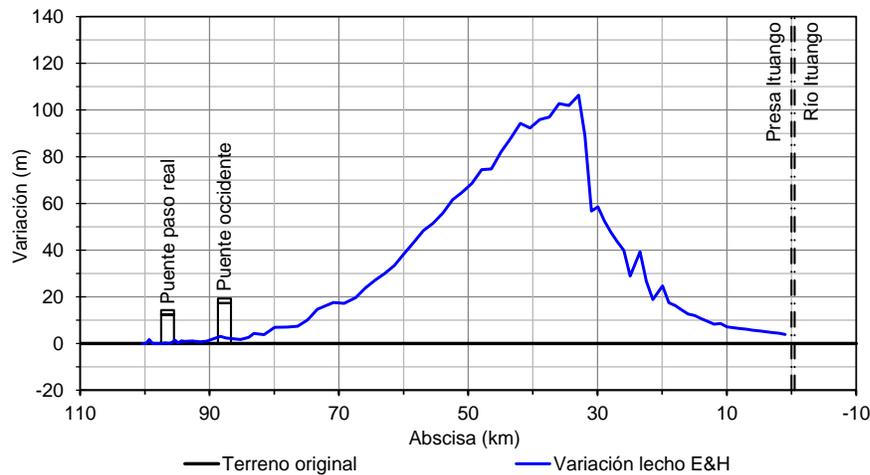


Figura 4-32. Variación del lecho en el tramo I en 50 años, para el río Cauca con los proyectos hidroeléctricos Ituango y Espíritu Santo

En el tramo II, localizado entre el proyecto hidroeléctrico Ituango y el proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo se formaría un delta de sedimentos, producto de la construcción de la presa. El proceso es similar al que se describió para el proyecto hidroeléctrico Ituango, donde las velocidades en la zona decrecen y cambian la dinámica actual del río, ocasionando procesos de agradación en lugar de transportar los sedimentos hacia aguas abajo, como lo hace en la actualidad (ver Figura 4-33).

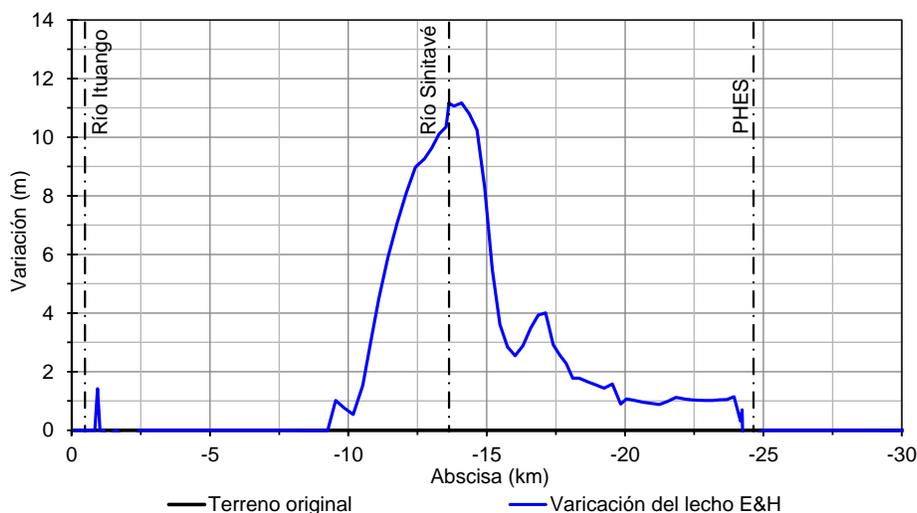


Figura 4-33 Variación del lecho en el tramo II en 50 años, para un nivel medio de operación establecido en la cota de 205 msnm

➤ **Resultados con un nivel de operación de 205 msnm para el proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo**

La altura de la cuña de sedimentos que se genera con un nivel medio de operación de 205 msnm, es a lo sumo de 11,20 m a 50 años (ver Figura 4-33).

Con base en los estudios de transporte de sedimentos hechos para el río Ituango y el río Sinitavé, se conoce que el primero aporta una cantidad de material al río Cauca superior al segundo. En la Figura 4-33 se puede observar un proceso de agradación sesgado hacia la presa del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, y la máxima elevación de la cuña de sedimentos está localizada a mitad del tramo II, específicamente en la descarga del río Sinitavé. La anterior distribución es cierta bajo el panorama, que aguas abajo del río Ituango están localizadas las descargas del proyecto hidroeléctrico ituango, por lo que el flujo genera un proceso de remoción de sedimentos y desplazamiento de la cuña hacia aguas abajo.

Es importante mencionar que el desarrollo de la cuña de sedimentos comienza 9 km aguas abajo de la confluencia entre el río Ituango y Cauca y se extiende por una longitud de 15 kilómetros.

En el tramo III, aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, se observa que predominan los efectos de degradación (ver Figura 4-34), iniciando cerca del km -40 (Valdivia), y alternando con zonas de equilibrio. Cabe anotar que el proceso de socavación se va atenuando a medida que la zona de estudio está más cerca del sector Margento.

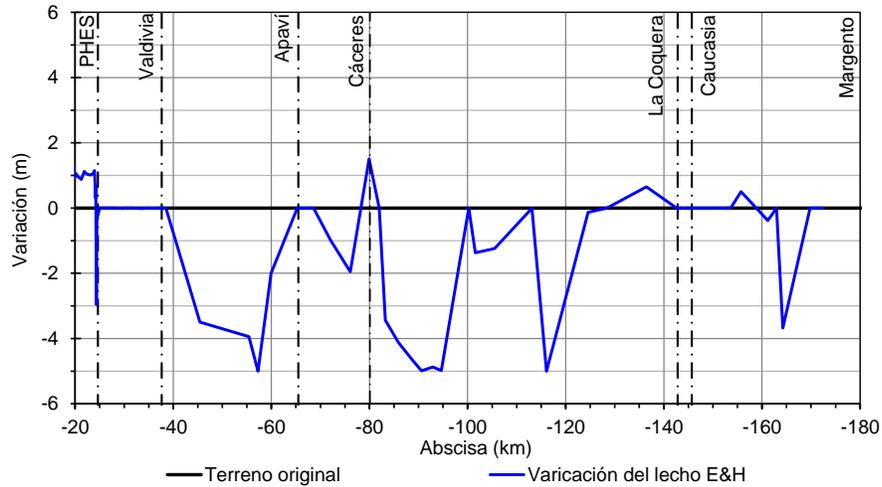


Figura 4-34. Variación del lecho en el tramo III en 50 años, para una nivel medio de operación establecido en la 205 msnm

Los procesos de agradación y degradación representativos de este tramo no difieren significativamente de los presentados en el escenario anterior, en el cual no se consideraba la influencia del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo (ver Figura 4-31 y Figura 4-34), sin embargo, es preciso anotar que los procesos de degradación en este caso empiezan a aparecer antes del km -40, unos kilómetros antes que en el escenario pasado.

En la Figura 4-35 se presenta un perfil a lo largo de los tramos II y III, que muestra los procesos de agradación y degradación en 50 años, para un nivel de operación medio de 205 msnm en el proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, y donde se puede evidenciar el desplazamiento que generan las descargas del proyecto hidroeléctrico Ituango en la cuña de sedimentos, debido a que entre el km 0 y el km -10, no se presentan los procesos de agradación que generalmente hay en las zonas de embalse. Asimismo, se observa que aguas abajo del proyecto, el nivel del lecho está constantemente iterando entre procesos erosivos y estabilidad del mismo.

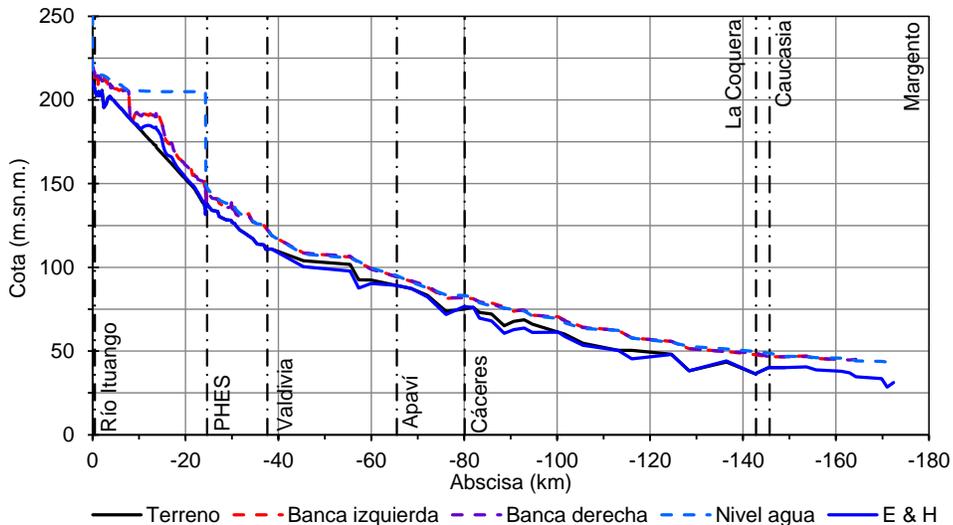


Figura 4-35 Procesos de agradación y degradación a lo largo del tramo II y III.

4.1.2.3 Análisis de resultados

- **Procesos de agradación y degradación en el río Cauca entre los municipios de Santa Fe de Antioquia y Cauca.**

A lo largo del tramo de estudio se pueden evidenciar efectos de agradación y degradación. En términos generales, los sectores que corresponden a los sitios de embalse como el proyecto hidroeléctrico Ituango y el proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo muestran, como era de esperarse, procesos de agradación, mientras que aguas abajo de este último, los efectos son variables, predominando la degradación.

– Agradación

Los procesos de agradación se pueden observar a lo largo de todo el tramo de estudio, pero los de mayor magnitud se detectan en las zonas de embalse, donde la intervención del cauce con las presas de los proyectos es la principal razón de estos cambios.

Los procesos de agradación pueden ser ocasionados, ya sea por la intervención del hombre o por la misma naturaleza; en el primer caso, las intervenciones pueden ser canalizaciones, rectificaciones, embalses, los cambios en el uso del suelo (deforestación y destrucción de cultivos y potreros), entre otros. Las alteraciones más comunes que son producto de la misma naturaleza, obedecen a aspectos como cortes en meandros (rectificación de ríos), que producen un gradiente longitudinal más pronunciado y un aumento en la capacidad de transporte, ocasionando en la zona de degradación, pero aguas abajo surge el proceso contrario, agradación del material; otras causas naturales pueden ser los deslizamientos severos y las avalanchas.

Los resultados obtenidos para el escenario Línea Base (incluye aportes de sedimentos del río Ituango y río Sinitavé), evidencian la existencia de procesos de agradación en el tramo localizado aguas arriba del proyecto hidroeléctrico Ituango, mientras que aguas abajo de éste, el lecho exhibe condiciones de equilibrio, pues no se observa erosión o degradación en el sector.

La entrada en operación del PHI y del PHES supone un cambio significativamente la dinámica actual de los sedimentos del río Cauca, aumentando la magnitud de los procesos de agradación en las zonas de embalse (ver Figura 4-32 y Figura 4-33).

– Degradación

Los procesos de degradación se observan principalmente en el tramo ubicado aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo. Al igual que en los procesos de agradación, los de degradación pueden ser causados por el hombre o por la naturaleza. Los primeros obedecen a situaciones tales como: cortes de meandros, dragados, contracciones del cauce para estructuras de cruce, entre otros. Es importante mencionar que el resultado de una contracción en el cauce puede ser una degradación local, sin embargo ésta se puede extender a lo largo de un tramo considerable.

Para la condición de Línea Base del tramo en estudio, se puede observar que los procesos de degradación detectados son poco significativos. Es importante mencionar que aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, el lecho sugiere poseer condiciones de equilibrio, pues el poder erosivo del río Cauca en esta zona tiene la capacidad de transportar aproximadamente el sedimento que llega al cauce (suministro igual a la capacidad de transporte).

Cuando los dos proyectos entren en operación, la dinámica sedimentaria del río Cauca cambiará tanto aguas arriba como aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo. Los procesos de degradación realmente significativos se presentarán aguas abajo del último proyecto hidroeléctrico (ver Figura 4-34), sin embargo se puede apreciar que en las cercanías

del municipio de Cauca, las profundidades de socavación disminuyen y empiezan a aparecer pequeñas zonas de depósitos de material, lo que indica comienza a recuperar el equilibrio energético capacidad de transporte – material en suspensión.

Los procesos de degradación para el escenario final, difieren de las condiciones actuales, ya que la mayoría del material que es transportado en la actualidad por el tramo de estudio quedaría retenido en los embalses de Ituango y Espíritu Santo, generando una reducción considerable de aporte de sedimentos aguas abajo de estos proyectos. Lo anterior, si se analiza conjuntamente con la capacidad erosiva del río Cauca en el tramo en consideración, sugiere que el río Cauca, aguas abajo de los proyectos, queda con un relativo exceso energético que utiliza para socavar puntualmente aguas abajo.

Como parte del análisis general, a continuación se hace una descripción de los efectos generados en diferentes tramos del río, comparando las condiciones iniciales del cauce (reconocimientos de campo y estudios geológicos), con los resultados obtenidos a partir de la modelación de sedimentos.

➤ **Trayecto 1. Confluencia río Tonusco (km 100+000) – Puente de Occidente (km 86+000)**

Este tramo, ubicado en inmediaciones del municipio de Santa Fe de Antioquia, se caracteriza por ser un cauce trezado con ramales en su interior, que dan lugar al desarrollo de Islas Barrera y favorecen el depósito de material en muchas zonas. Con la entrada en operación del proyecto hidroeléctrico Ituango, se espera que este tramo esté directamente influenciado por procesos de agradación, los cuales crearán zonas de depósitos de mayor magnitud a los actuales. Sin embargo, cabe anotar que de acuerdo con los resultados, se prevé que éstos no alcanzan a afectar la eficiencia de las estructuras de cruce, en cuanto al tránsito de los niveles de flujo.

➤ **Trayecto 2. Puente de Occidente (km 86+000) – Confluencia quebrada La Seca (km 78+100 US): Zona moderadamente amplia.**

En la actualidad, el río transcurre por el fondo de un valle amplio que alcanza amplitudes entre 400 m y 500 m. El cauce presenta una transición de ligeramente sinuoso a rectilíneo, con desarrollo de pequeñas islas barrera. La sinuosidad del río en este trayecto está relacionada con el relieve colinado presente en ambas márgenes, el cual genera en algunos sitios procesos de agradación y otros de degradación. Los primeros, están conformados por playones amplios de material grueso granular (gravas y arenas), especialmente en lugares como las orillas cóncavas de las sinuosidades, así como en los sitios de confluencia de quebradas de orden mayor. Es de señalar que los sitios de erosión se observan en las orillas convexas, cerca de la base de las colinas.

Con los resultados obtenidos de la modelación, se puede observar que este sitio está directamente influenciado por el embalse del proyecto hidroeléctrico Ituango. Las velocidades se estima serán bajas y en la zona solo se presentarán procesos de agradación. Por lo anterior, los procesos de degradación que existen en la actualidad en las orillas convexas, en 50 años de operación del embalse, es altamente probable que no se presenten.

➤ **Trayecto 3. Confluencia quebrada La Seca (km 78+100) – Hacienda Canarias (km - 45+500).**

Este trayecto corresponde a un valle en “V” estrecho, con un fondo que coincide casi exclusivamente con el cauce del río. El patrón es rectilíneo, con una amplitud del cauce entre 70 m y 150 m, exhibiendo una dinámica predominante de erosión y socavación lateral de lecho. Es de mencionar que en algunos sectores se presentan acumulaciones temporales de gravas, que son continuamente removidas y transportadas debido a las crecientes, resaltando que en este sector el río tiene mayor velocidad con respecto a los tramos trezados o meándricos.

Cabe aclarar que este trayecto es muy extenso y dentro de esta morfología se encuentran ubicados los proyectos hidroeléctricos Ituango y Espíritu Santo. Este tramo se dividirá en tres sub-tramos.

Sub-tramo 1. La Seca (km 78+100) – proyecto hidroeléctrico Ituango (km 0+000)

La dinámica que impondrá el proyecto hidroeléctrico Ituango con el embalse, ocasionará la formación de un delta de sedimentos debido las bajas velocidades de circulación al interior del embalse. Por lo anterior, la dinámica sedimentaria que se observa en la actualidad, relacionada con la degradación de las orillas, probablemente se transformará en agradación.

Sub-tramo 2. Proyecto hidroeléctrico Ituango (km 0+000) – proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo (Km -24+035)

Cuando los dos proyectos entren en operación, habrá un pequeño tramo entre ambos, con características muy particulares: canal con aguas reducidas por la derivación a la casa de máquinas del proyecto hidroeléctrico Ituango y aportes líquidos y sólidos del río Ituango. Se espera en este tramo, que las aguas del río Ituango no posean capacidad de transporte significativo (caudal natural río Ituango en canal del río Cauca) y por lo tanto sus aportes sólidos se depositarán prácticamente en su totalidad en este tramo. En el tramo inmediatamente aguas abajo de la descarga del proyecto hidroeléctrico Ituango y hasta donde se mantiene el régimen riverino (inicio de cola del embalse del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo), el río exhibe capacidad energética importante para transportar todo que llegue de los aportes del río Ituango.

Sub-tramo 3. Proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo (km -24+035) – Hacienda Canarias (km -45 + 500)

En este sector el río corre por valle en morfológicamente estrecho en “V” y geológicamente en roca, lo cual podría explicar que hoy se observe un canal muy estable y difícilmente erodable. Por lo tanto, se espera que los efectos de degradación o agradación en los casos con proyecto, no sean muy significativos.

➤ Trayecto 4. Hacienda Canarias (km -45+500) – Sector El Doce (km -50+500).

En la actualidad, este trayecto se caracteriza por ser una zona de agradación conformada principalmente por sedimentos grueso granulares aportados por el río Pquí, las quebradas Nerí y Purí y por el propio río Cauca. Sin embargo, una vez que los proyectos Ituango y Espíritu Santo entren en operación, probablemente cambiarán la dinámica actual del río, pues de forma natural, la hidrología y morfología proporcionan al río una importante capacidad erosiva, y debido al atrapamiento de sedimentos en los embalses de los proyectos mencionados, el río queda con un excedente adicional de energía, lo que va a generar, muy probablemente, que el flujo genere degradación en este tramo de estudio.

Trayecto 5: Sector El Doce (km -50+500)- Margento (km -181+030):

Este trayecto tiene características muy similares luego de 50 años de simulación. En él dominan los procesos de degradación, con salvedades en algunos sectores, en los que se observa que el lecho permanece con las mismas características de elevación actuales.

4.2 VECS DEL MEDIO BIÓTICO

Los Componentes Ambientales Valorados que se considerarán en este análisis son Cobertura vegetal y Ecosistemas acuáticos.

En ecosistemas acuáticos se hace el análisis a partir de la hidroeléctrica Ituango, sin incluir Cañafisto, considerando los siguientes aspectos:

- La fragmentación del ecosistema se genera desde la presa de Ituango, que tal como se describe en la evaluación de impactos de este proyecto, es previsible que tenga efecto en las asociaciones entre las comunidades bénticas, por cuanto ella interrumpirá o disminuirá severamente el aporte de organismos por deriva desde la parte alta del río; adicionalmente se manifiesta que añadirá una nueva alteración a los ecosistemas del río Cauca, porque la conformación del embalse fragmentará la cuenca principal y porque el cambio en las condiciones de flujo podría incidir en algunos aspectos de la calidad del agua.
- En relación con las modificaciones en calidad de agua, la evaluación de impactos del proyecto hidroeléctrico Ituango señala la incidencia que tendrá en esta calidad el paso de un sistema lotico a uno lentic. En este orden de ideas, es en este embalse y su descarga donde estarían acumulando los efectos de los dos proyectos Cañafisto e Ituango y es a partir de la descarga de este último que se acumularían con el proyecto Espíritu Santo los efectos sobre la biota acuática.

4.2.1 Cobertura vegetal

I. DESCRIPCIÓN DEL VECs			
Descripción:			
<p>En el área de influencia de los proyectos hidroeléctricos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo, las actividades tradicionales que se desarrollan en la zona, agricultura, ganadería y minería, han generado modificaciones en las coberturas vegetales, siendo los pastos limpios y arbolados la cobertura principal en el área de influencia de Cañafisto y Espíritu Santo, y pastos naturales y enmalezados en el proyecto hidroeléctrico Ituango.</p> <p>Las coberturas serán modificadas por la construcción de los proyectos hidroeléctricos, ya que requiere remover vegetación para la conformación del embalse, para la construcción de vías, campamentos, montar y mantener el área de servidumbre de las líneas de transmisión, y adecuación de zonas de depósito.</p> <p>Adicionalmente, el establecimiento del proyecto induce cambios en el uso del suelo, ya que usos productivos relacionados con actividades agropecuarias y mineras son desplazados a otras zonas de la región y este desplazamiento produce cambios en las coberturas vegetales boscosas, agrupando en ellas bosques y vegetación secundaria alta, al propiciarse nuevas áreas de ampliación de la frontera agrícola y pecuaria, en especial por la construcción de nuevas vías de acceso.</p> <p>Por otro lado, los proyectos hidroeléctricos analizados conformarán alrededor de los embalses áreas de protección, lo que incrementará la disponibilidad de zonas boscosas, que se constituyen en oferta de hábitat para fauna; conecta fragmentos restaurando funciones del ecosistema relacionadas con el flujo de energía y materia y restituye servicios ambientales asociados con regulación hídrica y protección del suelo.</p> <p>En la Figura 4-36, se muestra la localización de los tres proyectos y las coberturas vegetales de Cañafisto y Espíritu Santo. Para Ituango no se tiene esta información; se señala entonces el área aproximada de ubicación del área de protección del embalse asumiendo un buffer de 100 m a lado y lado del embalse.</p>			
Relación con otros VECs:			
La cobertura vegetal tiene relación con los VECs del Medio Abiótico: Calidad del agua y Dinámica fluvial del río Cauca			
Fuentes de modificación del VECs	Una sola actividad	Múltiples actividades	X
Actividades externas que lo causan:			
<ul style="list-style-type: none"> • Apertura de frontera agrícola y pecuaria • Explotación minera • Extracción de madera • Construcción de infraestructura como: Aperturas de vías departamentales, municipales y particulares. 			
II. CARACTERÍSTICAS			
II.1 Proceso de acumulación: (Aditivo o interactivo)			
Aditivo: La modificación de las coberturas vegetación se va dando temporalmente por la aparición de los proyectos y las actividades que la afectan y espacialmente por superposición de las áreas de influencia.			
II. 2 Aspectos espaciales			
Ámbito geográfico	Forma de distribución	Configuración	

<p>Regional: La modificación cubre el área de influencia de los proyectos hidroeléctricos analizados: Cañafisto Ituango y Espíritu Santo</p>	<p>Continua: Las modificaciones de la cobertura vegetal tienen efectos sobre los elementos que constituyen el paisaje (parches, matriz y corredores) y las relaciones entre éstos están dadas por su distribución a través de la superficie evaluada, que puede corresponder fisiográficamente a unidades de paisaje o subpaisaje.</p>	<p>Área: La configuración se presenta por superficies.</p>
---	---	---

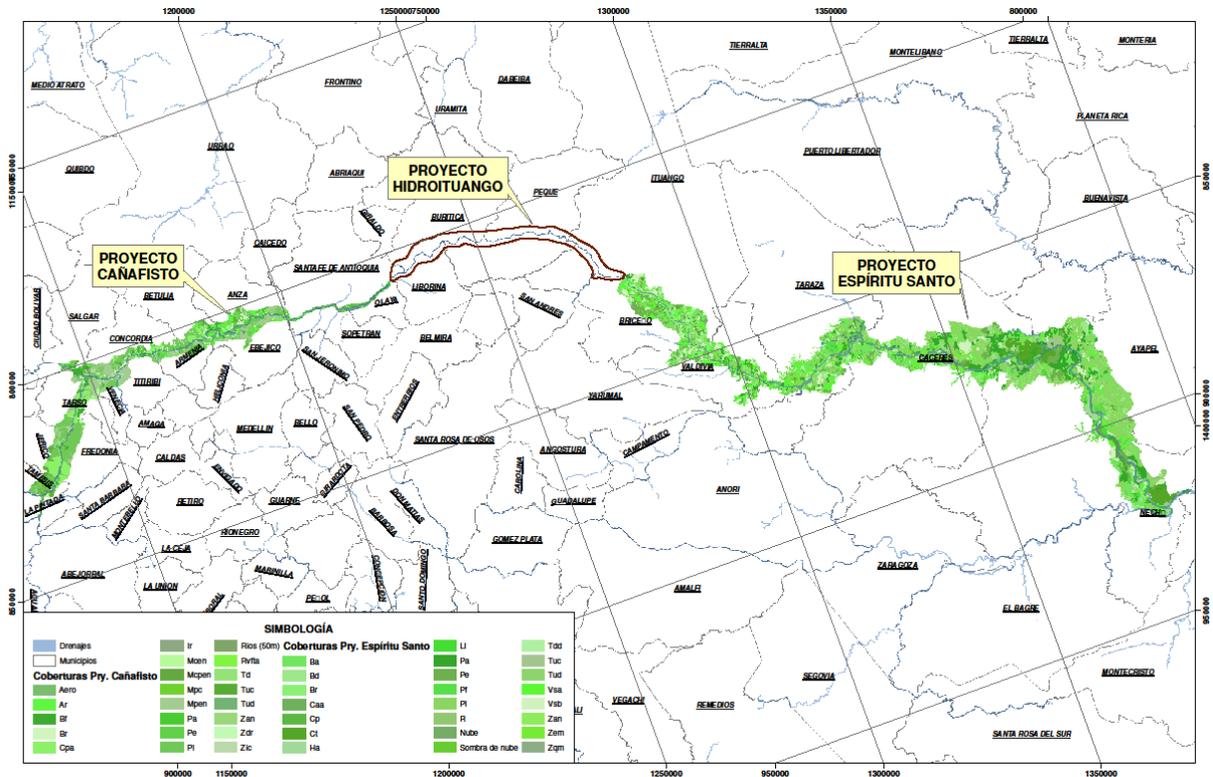


Figura 4-36. Localización de los proyectos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo. Coberturas vegetales de los proyectos Cañafisto y Espíritu Santo

II.3 Aspectos temporales	
Horizonte (Marco) de tiempo	Frecuencia
<p>Los cambios en la cobertura vegetal se han dado en la zona desde que comenzaron los primeros asentamientos en la cuenca media del río Cauca, con la construcción de vías de acceso a los centros poblados ubicados en la zona y con los cambios de uso de suelo que se dio con estos asentamientos.</p> <p>Los cambios en las coberturas vegetales han estado asociados a los sistemas productivos propios de las áreas de influencia de los tres proyectos, Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo, soportados en el sector agropecuario con métodos tradicionales de producción que conllevan al desarrollo de ganadería extensiva para la que se establecen grandes áreas de pastos. Se localizan adicionalmente cultivos de café, caña panelera y en menor escala frijol, cacao, yuca y frutales.</p>	<p>Discreta: Los cambios en la composición de las coberturas vegetales son causados por eventos discontinuos en el tiempo.</p>

III. INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA EVALUACIÓN

Fotografías aéreas, imágenes de satélite, que permitan evaluar los cambios que se han presentado a través del tiempo en las coberturas vegetales de la cuenca media del río Cauca.

Para este análisis se evaluó la información existente en los estudios ambientales de los proyectos hidroeléctricos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo.

4.2.1.1 Indicadores

Como la modificación de la cobertura vegetal afecta a la flora y la fauna terrestre, se definieron indicadores para cada uno de ellos:

Los indicadores con los cuales se evaluará la modificación sobre el VECs de Cobertura Vegetal se obtienen a partir de una fórmula que expresa la relación del área en una cobertura determinada en un año frente al área en dicha cobertura en un año de referencia, así.

- **Indicador para la flora**

➤ *Modificación CVx* = $\frac{CVx \text{ año evaluado}}{CVx \text{ año base}}$, donde

– CVx: Cobertura vegetal evaluada.

- **Indicador para la fauna**

➤ *Relación tamaño medio fragmentos* = $\frac{MPS CV x \text{ año evaluado}}{MPS CV x \text{ año base}}$

➤ *Índice media de forma* = $\frac{MSI CV x \text{ año evaluado}}{MSI CV x \text{ año base}}$

➤ *Relación perímetro/ área* = $\frac{MPARC CV x \text{ año evaluado}}{MPARC CV x \text{ año base}}$

➤ *Media relación fractal* = $\frac{MFRAC CV x \text{ año evaluado}}{MFRAC CV x \text{ año base}}$

4.2.1.2 Diagnóstico de la cuenca

De acuerdo con los estudios ambientales de los dos proyectos hidroeléctricos analizados, en el área de influencia predominan los pastos: en Espíritu Santo 45,08% del total del AII (pastos limpios, pastos arbolados y pastos enmalezados) y 32% en Ituango (pastos naturales y enmalezados).

Al analizar las áreas de influencia directa que serán afectadas por las obras de los proyectos se encuentra:

- En el proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, el 38,71% (144,2 ha) de las zonas afectadas por las obras se encuentra en pastos (limpios, arbolados y enmalezados) y 55,89% en bosques abiertos, riparios y en vegetación secundaria alta (9,62 ha, 161,96 ha y 9,84 ha, respectivamente).
- En el proyecto hidroeléctrico Ituango, se afectan 4.740 ha, de las cuales el 33,3% se encuentran en bosque secundario (1.578 ha); el resto del área de influencia directa se encuentra en la cobertura de rastrojo alto o vegetación secundaria alta.
- En la hidroeléctrica Cañafisto, 9.522 ha se encuentra en pastos arbolados y limpios.

Estos cambios de cobertura estarán compensados por las propuestas planteadas en los planes de manejo de los estudios ambientales analizados, que incluyen las áreas de protección que se conformarán alrededor de cada uno de los embalses:

- En el proyecto hidroeléctrico Cañafisto se compensará la modificación de la cobertura, mediante la recuperación de 18.571 ha, que incluye reforestación y conformación de zonas de protección.
- El proyecto hidroeléctrico Ituango compensará un total de 16.780 ha, distribuidas así: 3.917 ha en Bh-T y 12.869 ha en Bs-T
- El proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, conformará además de la zona de amortiguamiento alrededor del embalse, propone una compensación de 1.654,79 ha, donde se realizará aislamiento de las áreas de interés, para favorecer el avance de la sucesión y el enriquecimiento con especies nativas en zonas de pastos

En conclusión, con los tres proyectos se afectan 4.948,23 ha de bosques y vegetación secundaria alta. Las cuáles serán compensadas mediante 37.005, ha, que representa un incremento de 32.057,56 ha en coberturas boscosas con respecto a las actuales.

4.2.2 Ecosistemas acuáticos

I. DESCRIPCIÓN DEL IVECs			
Descripción:			
<p>En la cuenca de río Cauca se encuentran especies reófilas que realizan migraciones a lo largo de su cauce. De acuerdo con los estudios realizados, en el río Cauca se han identificado especies migratorias: <i>Ichthyoelephas longirostris</i> -Jetudo-, <i>Prochilodus magdalenae</i> -Bocahico-, <i>Leporinus muyscorum</i> -Comelón-, <i>Salminus affinis</i> -Picuda, <i>Triportheus magdalenae</i> -Arenca-, <i>Astyanax caucanus</i> -Tota-, <i>Brycon henni</i> -Sabaleta-, <i>Pseudopimelodus bufonius</i> -Bagre sapo-, <i>Pimelodus grosskopfii</i> -Barbudo-, <i>Pimelodus blochii</i> -Capaz-, <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> -Pintado- y <i>Sorubim cuspicaudus</i> - Bagre.</p> <p>La construcción de las presas de los proyectos hidroeléctricos Ituango y Espíritu fragmentan el curso del río e impiden el desplazamiento de las especies reófilas, lo que genera cambios en el ecosistema acuático del río Cauca.</p> <p>Cabe aclarar que el proyecto Espíritu Santo aprovechará los caudales del río Cauca turbinados en el proyecto hidroeléctrico Ituango y los aportes de agua del área aferente entre la desembocadura del río Ituango y la presa del proyecto y operará a filo de agua, sin variación en su nivel de operación definido en la cota 205 msnm.</p>			
Relación con otros VECs:			
Los ecosistemas acuáticos están relacionados con los VECs del medio Abiótico, Calidad del Agua y Dinámica fluvial del río Cauca			
Fuentes de modificación del VECs	Una sola actividad	Múltiples actividades	X
Actividades externas que lo causan:			
La explotación minera (oro y materiales de construcción) que se realizan en la cuenca baja del río Cauca, afectan el Ecosistema Acuático.			
II. CARACTERÍSTICAS			
II.1 Proceso de acumulación: (Aditivo o interactivo)			
Aditivo: A medida que se van construyendo más presas a lo largo del cauce del río Cauca, la movilidad de las especies reófilas está más restringida.			
II. 2 Aspectos espaciales			
Ámbito geográfico	Forma de distribución	Configuración	

Regional: Los cambios que se pueden presentar en los Ecosistemas Acuáticos son regionales, porque afecta la posible migración de las especies reofílicas del río Cauca	Continua: Las modificaciones se manifiestan a lo largo del curso del río Cauca.	Área: La configuración es lineal.
II.3 Aspectos temporales		
Horizonte (Marco) de tiempo	Frecuencia	
Los cambios en los ecosistemas acuáticos se han venido dando a través del tiempo, por el desarrollo de las actividades mineras a lo largo del río Cauca y por las descargas de aguas residuales, a lo cual se suma la fragmentación que ocasionará la construcción de la presa del proyecto hidroeléctrico Ituango, el primero en la cuenca media del río Cauca	Discreta. Se da cada que se construye la presa de un proyecto hidroeléctrico	
III. INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA EVALUACIÓN DEL VECs		
Para el estudio de la modificación de los sistemas acuáticos se utilizaron los monitoreos realizados en el río Cauca, para los estudios ambientales de los proyectos hidroeléctricos Ituango y Espíritu Santo.		

4.2.2.1 Indicador

Para evaluar los cambios se utilizarán los siguientes indicadores:

- Deterioro de Ecosistemas Acuáticos (DEA) = Riqueza de especies de Peces y Bentos.
- Número de barreras existentes en el río Cauca

4.2.2.2 Diagnóstico de la cuenca

Según los estudios realizados para el proyecto hidroeléctrico Ituango, en el río Cauca se identifican tres tipos de migraciones, de acuerdo con el sector de la cuenca: alto, medio y bajo:

- En la cuenca alta, donde se encuentra el proyecto hidroeléctrico Salvajina, se da una migración corta, longitudinal y durante estiajes; en este sector del río no se da subienda masiva, simplemente se dan picos en el movimiento de peces (sabaleta, pataló, capaz, jetudo o besote, picuda), durante algunos períodos del año, especialmente cuando baja el nivel del agua.

Uno de los picos se da en octubre, período en el cual se observan los peces subiendo lentamente por el centro del río hacia el municipio de Suárez (Cauca), pues el aumento del nivel del agua debido a la operación de la central, los obliga a quedarse en los remansos y recodos del río. Antes de que existiera la presa de Salvajina, los peces continuaban su migración hasta las quebradas limpias próximas al nacimiento del río Cauca; actualmente llegan hasta sitios próximos a la presa de Salvajina, donde realizan desoves en peñascos y pequeñas quebradas de la zona.

Los desplazamientos que realizan los peces en la zona sólo se dan hasta Juanchito, pues el aumento en la contaminación del agua, debida a la entrada de las aguas residuales provenientes de los ingenios azucareros, no les permite continuar aguas abajo, razón que dan los pescadores para explicar que los peces de La Virginia no son los mismos que realizan desplazamientos aguas arriba de Juanchito.

- Otra migración que se da en la cuenca alta, es la que se presenta entre Buga y Tuluá, donde se observa una migración longitudinal y lateral (río-madre viejas y río-afluentes), que ocurre durante crecientes en las épocas de lluvia; para Puerto Bertín, Yotoco y río Frío, no

hay un período específico para la subienda, la única condición para que ocurra es el aumento en el nivel del agua, momento que es aprovechado por los peces para moverse río arriba, ya que aumenta la lámina de agua y hay dilución de la contaminación.

La principal migración, de especies como el bocachico, barbudo y bagre, se presenta en el mes de noviembre, seguida por la que ocurre entre marzo y abril.

Según los pescadores, la reproducción no es muy efectiva, porque cuando vierten las aguas residuales provenientes de los ingenios azucareros después de los desoves, las cuales se caracterizan por su alta carga de soda cáustica, se observan numerosas larvas muertas flotando.

Además según la mayoría de los pescadores, estas descargas, unidas a las que se realizan en la zona industrial de Cali y Yumbo, han sido la causa principal de la muerte masiva de peces en la zona y de la desaparición de especies como la sardinata, beringo y mueluda, y de disminución considerable de la pesca en este sector del río Cauca.

- En la cuenca alta, entre Tuluá y La Virginia, se presenta una migración longitudinal y lateral río-afluentes durante estiajes, y río-madre viejas durante crecientes; según los pescadores, en esta parte del río no ocurre subienda; se dan aumentos en las capturas (de bocachico) cuando se presenta una disminución en el nivel de las aguas en los meses secos.
- En la cuenca media, donde se encuentran los dos proyectos hidroeléctricos analizados y el de Cañafisto, la migración es longitudinal durante estiajes; según los pescadores de la zona, en esta parte del río se presenta subienda de especies como bocachico, barbudo, bagre, bagre sapo) especialmente entre marzo y abril y entre octubre y diciembre. Aproximadamente cada siete años, hay eventos de mayor magnitud, que permite la captura de un alto número de individuos.

De acuerdo con la información disponible, la disminución de la subienda se debe a la presencia de barreras fisiográficas ubicadas entre Santa Fe de Antioquia y la confluencia de los ríos Cauca y Espíritu Santo, sitio en el cual se da la formación de unos saltos (rápidos), que impiden que el bocachico realice su recorrido y pueda atravesar esta zona.

- En la cuenca baja del río Cauca se presenta una migración longitudinal y lateral (río-ciénagas y río-afluentes) durante estiajes, que ocurre entre noviembre y febrero. Las máximas capturas durante los eventos de migración tienen una duración de entre seis y ocho días, fenómeno conocido como fuga, que es un período en el cual pasan grandes cantidades de peces a reproducirse.

La fuga para el río Cauca se caracteriza porque una vez pasa, las capturas disminuyen drásticamente hasta los niveles promedio del año. Según los pescadores, los peces que realizan migración en el bajo Cauca (tolombas-comelón-dorada-bocachico, vizcaína, sabaleta, mayupa-arenca, bagre; doncella, picuda, barbudo, nicuro, jetudo, bagre cazón, sardina y changó), provienen de las ciénagas localizadas aguas abajo de Caucasia (las ciénagas de Ayapel y La Raya), de las cuales una buena parte de los peces sale en dirección al río Magdalena a través del Caño de Loba, y otra hacia el río Cauca, hacia el San Jorge y el río Nechí. Adicionalmente, algunos pescadores mencionaron subienda de raya, viejitos, moncholos y mojarra amarilla, aunque creen que son cortas y las asocian a la oportunidad de aprovechar alimento que van dejando las especies que sí realizan desplazamientos largos.

En este sector se ha presentado una disminución considerable de la pesca, lo cual se puede explicar por los siguientes factores: la presión de gran número de pescadores que se desplazan en busca de la subienda, sumada a la de todos los pescadores asentados en la parte baja del río Cauca; la utilización de aparejos de pesca con ojos de malla muy pequeños y con grandes áreas; la utilización de trasmallos y barrederas de grandes

extensiones; la minería, la deforestación, la extracción de materiales de playa. Sin embargo, los pescadores esperan las llamadas subidas multianuales, que se dan aproximadamente cada seis a siete años, y que generan un aumento considerable en las capturas en relación con otros años.

Por la afectación a la posible migración de peces en el río Cauca por la construcción del proyecto hidroeléctrico Ituango, actualmente en construcción, en su plan de manejo se establece que las rutas alternas para las migraciones serían el río Ituango y el río Espíritu Santo.

El proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo no afectará la ruta hacia el río Espíritu Santo ya que se encuentra aguas arriba de la confluencia de ese río con el Cauca.

4.3 VECs MEDIO SOCIOECONÓMICO-FINANZAS MUNICIPALES POR TRANSFERENCIAS

En el Medio Socioeconómico se seleccionó un Componente de Valor Ecológico: Finanzas municipales por transferencias, cuya área de estudio comprende las áreas de influencia de los proyectos hidroeléctricos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo.

I. DESCRIPCIÓN DEL VEC			
<p>El proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo en operación generará 600 MW. En la etapa de operación o de generación de energía, de acuerdo con el Artículo 45 de la Ley 99 de 1993, el proyecto debe pagar unas transferencias a los municipios de la cuenca del río Cauca y a los municipios donde se encuentra el embalse, además de las Corporaciones que tienen jurisdicción sobre la cuenca, como lo dice el artículo:</p> <p><i>Las empresas generadoras de energía hidroeléctrica cuya potencia nominal instalada total supere los 10.000 kilovatios, transferirán el 6% de las ventas brutas de energía por generación propia de acuerdo con la tarifa que para ventas en bloque señale la Comisión de Regulación Energética, de la siguiente manera:</i></p> <p><i>a) El 3% para las Corporaciones Autónomas Regionales que tengan jurisdicción en el área donde se encuentra localizada la cuenca hidrográfica y del área de influencia del proyecto.</i></p> <p><i>b) El 3% para los municipios y distritos localizado en la cuenca hidrográfica, distribuidos de la siguiente manera:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>– El 1.5% para los municipios y distritos de la cuenca hidrográfica que surte el embalse, distintos a las que trata el literal siguiente.</i> <i>– El 1.5% para los municipios y distritos donde se encuentran en el embalse.</i> <p>La generación de transferencias a los municipios que comparten territorios, así como por la utilización de la cuenca del río Cauca, es considerado un impacto positivo acumulativo.</p>			
Relación con otros VECs:			
Este VEC no se relaciona con otros de la misma dimensión socioeconómica, ni de la física o biótica.			
Fuentes de modificación del VECs	Una sola actividad	X	Múltiples actividades
Actividades externas que causan cambios en el VECs			
<ul style="list-style-type: none"> • La disponibilidad de generación de energía de otras centrales hidroeléctricas • Los tiempos de sequía o de lluvia que disminuyen o incrementan la generación hidroeléctrica. • Políticas de la CREG en cuanto a la reglamentación de tarifas 			
II. CARACTERÍSTICAS			
II.1 Proceso de acumulación: (Aditivo o interactivo)			

<p>Aditivo: En los municipios que son comunes a Espíritu Santo con los proyectos hidroeléctricos de Hidroitungo, Cañafisto, se adiciona el valor de las transferencias por generación de energía.</p> <p>Interactivo: Las finanzas municipales se incrementan para una destinación especial, de acuerdo con las transferencias percibidas por la generación de energía.</p>		
<p>II. 2 Aspectos espaciales</p>		
Ámbito geográfico	Forma de distribución	Configuración
<p>Regional: Las finanzas que son incrementadas por concepto de las transferencias tienen alcance en varias subregiones de Antioquia como la occidente, Bajo Cauca y Norte.</p>	<p>Continua: Las transferencias se dan de manera continua a partir de que las centrales hidroeléctricas estén generando energía.</p>	<p>Área: el cálculo de las transferencias se da por el cálculo de áreas de los municipios que hacen parte del embalse y de la cuenca.</p>
<p>II.3 Aspectos temporales</p>		
Horizonte de tiempo	Frecuencia	
<p>Las finanzas municipales se modifican a partir de la generación de energía de las centrales hidroeléctricas y durante su vida útil o repotenciación que puede llegar hasta los 50 años.</p>	<p>Permanente: Las transferencias por generación que se realizan a los municipios y las corporaciones, se dan de manera permanente durante los años que estén generando las centrales hidroeléctricas.</p>	
III. INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA EVALUACIÓN		
<p>Para evaluar los cambios que se presenten en el VECs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valor de las transferencias por ventas de energía calculadas para cada municipio de la cuenca del río Cauca, de acuerdo con cada proyecto hidroeléctrico. • Valor de las transferencias por ventas de energía calculadas para cada Corporación, de acuerdo con su jurisdicción, en los municipios del embalse y de la cuenca de cada proyecto hidroeléctrico. • Presupuesto base de los municipios que serán beneficiados con las transferencias por las ventas de energía (de la cuenca y del embalse). • Horizonte o vida útil del proyecto incluyendo su fecha de inicio de operación <p>Para este análisis, se requiere información de los siguientes municipios que son comunes a los proyectos hidroeléctricos por embalse y por cuenca.</p>		
Municipio	Proyectos hidroeléctricos comunes a Espíritu Santo	Pertenece al embalse o a cuenca del río Cauca
Ituango	Ituango	Embalse y cuenca
Briceño	Ituango	Embalse y cuenca
<p>Además de los municipios que hacen parte de la cuenca del río Cauca que reciben transferencias por los tres proyectos (Espíritu Santo, Hidroitungo y Cañafisto) y que se muestran en la Tabla 4-19</p>		

4.3.1.1 Indicador

Los indicadores para evaluar este impacto son:

- Para la Corporación:
$$VIC = \frac{\text{total ingresos año con transferencias}}{\text{total ingresos sin transferencias}}$$
- Para los municipios:
$$VIM = \frac{\text{Presupuesto del año con transferencias}}{\text{Presupuesto del año sin transferencias}}$$

4.3.1.2 Transferencias generadas

Las transferencias que generará el proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo se estimas en \$ 16.041 millones de pesos anuales, las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

- **CAR:** \$ 8.034 millones
- **Municipios cuenca hidrográfica:** \$ 4.010 millones
- **Municipios embalse:** \$ 4.010 millones

Los municipios de la cuenca hidrográfica son 155; los municipios que aportan terrenos al embalse son dos: Briceño e Ituango; y las Corporaciones autónomas con jurisdicción en la cuenca hidrográfica son ocho: CRC, CRQ, CVC, CARDER, CORANTIOQUIA, CORPOURABA, CORNARE, Y CORPOCALDAS.

- Municipios que aportan terrenos al embalse.

El embalse del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo se encuentra en los municipios de Ituango y Briceño; el valor de las transferencias por este concepto se presenta en la Tabla 4-16

Tabla 4-16. Transferencias a los municipios del embalse proyecto Espíritu Santo

Municipio	Área en el embalse (ha)	% área del embalse	Valor anual transferencias
Ituango	118,84	49%	\$1.964.900.000
Briceño	122,88	51%	\$2.045.100.000

Para el proyecto hidroeléctrico Ituango, son siete los municipios que aportan terrenos al embalse, entre los que se encuentran Ituango y Briceño, que reciben por este mismo concepto por el proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo. En la Tabla 4-17 se presenta el cálculo de las transferencias estos municipios.

Tabla 4-17. Transferencias a los municipios del embalse proyecto Ituango

Municipio	Área en el embalse (ha)	% área en el embalse	Valor anual transferencias
Ituango	742	20,50	1.815.209.043
Toledo	406	11,20	991.714.423
Sabanalarga	1.068	29,50	2.611.808.055
Buriticá	364	10,05	889.511.113
Briceño	243	6,70	593.170.412
Liborina	107	2,95	260.887.399
Peque	692	19,10	1.691.489.246

Por este mismo concepto, el proyecto hidroeléctrico Cañafisto realizará transferencias a los municipios de Anzá, Armenia Mantequilla, Betulia, Concordia, Ebéjico, Fredonia, Jericó, Salgar, Tarso, Titiribí y Venecia, como se presenta en la Tabla 4-18.

Tabla 4-18. Transferencias a los municipios del embalse proyecto hidroeléctrico Cañafisto

Municipio	Área total (ha)	Participación	valor transferencias
Anzá	844,41	16,16	\$ 856.262.218
Armenia Mantequilla	658,73	12,61	\$ 667.973.696
Betulia	487,07	9,32	\$ 493.906.546
Concordia	663,4	12,7	\$ 672.711.848
Ebéjico	1031,86	19,75	\$ 1.046.349.900
Fredonia	224,12	4,29	\$ 227.270.077
Jericó	130,35	2,49	\$ 132.180.669
Salgar	128,33	2,46	\$ 130.133.343
Tarso	280,07	5,36	\$ 283.998.764
Titiribí	297,56	5,69	\$ 301.741.144
Venecia	479,72	9,18	\$ 486.458.795

- Municipios y distritos de la cuenca hidrográfica que surte el embalse

En la Tabla 4-19 se presentan los municipios que recibirán transferencias, por tener terrenos en la cuenca aportante a los proyecto hidroeléctrico Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo

Tabla 4-19. Transferencias a los municipios de la cuenca que surte el embalse de los proyectos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo

Municipio	Área en la cuenca (km ²)	Porcentaje área de la cuenca	Valor anual de transferencias Ituango (\$)	Valor anual de transferencias Espíritu Santo (\$)	Valor anual de transferencias Cañafisto (\$)
ABEJORRAL	492	1,38	122.282.360	55.338.000	81.820.021
AMAGÁ	85	0,24	21.126.018	9.624.000	14.229.569
ANDES	425	1,19	105.630.088	47.719.000	70.554.945
ANGELÓPOLIS	86	0,24	21.374.559	9.624.000	14.229.569
ANZÁ	251	0,70	62.383.887	28.070.000	41.502.909
ARMENIA	112	0,31	27.836.635	12.431.000	18.379.860
BELMIRA	35	0,10	8.698.948	4.010.000	5.928.987
BETANIA	186	0,52	46.228.697	20.852.000	30.830.732
BETULIA	276	0,77	68.597.422	30.877.000	45.653.200
BOLÍVAR	326	0,92	81.094.491	36.892.000	54.546.680
BURITICÁ	4	0,01	994.166	401.000	592.899
CAICEDO	210	0,59	52.193.690	23.659.000	34.981.023
CARAMANTA	94	0,26	23.362.890	10.426.000	15.415.366
CONCORDIA	239	0,67	59.401.391	26.867.000	39.724.213
EBÉJICO	234	0,66	58.158.684	26.466.000	39.131.314
FREDONIA	248	0,70	61.638.263	28.070.000	41.502.909
GIRALDO	139	0,39	34.547.252	15.639.000	23.123.049
HELICONIA	114	0,32	28.333.718	12.832.000	18.972.758

Municipio	Área en la cuenca (km ²)	Porcentaje área de la cuenca	Valor anual de transferencias Ituango (\$)	Valor anual de transferencias Espíritu Santo (\$)	Valor anual de transferencias Cañafisto (\$)
HISPANIA	56	0,16	13.918.317	6.416.000	9.486.379
JARDÍN	224	0,63	55.673.270	25.263.000	37.352.618
JERICÓ	201	0,56	49.956.818	22.456.000	33.202.327
LA CEJA	52	0,15	12.924.152	6.015.000	8.893.481
LA PINTADA	69	0,19	17.149.355	7.619.000	11.265.075
LA UNIÓN	172	0,48	42.749.118	19.248.000	28.459.138
LIBORINA	6	0,02	1.491.248	802.000	1.185.797
MEDELLÍN	78	0,22	19.386.228	8.822.000	13.043.771
MONTEBELLO	77	0,22	19.137.687	8.822.000	13.043.771
OLAYA	87	0,24	21.623.100	9.624.000	14.229.569
PUEBLORRICO	76	0,21	18.889.145	8.421.000	12.450.873
SALGAR	398	1,12	98.919.470	44.912.000	66.404.654
SAN PEDRO	68	0,19	16.900.814	7.619.000	11.265.075

Tabla 4-19. Transferencias a los municipios de la cuenca que surte el embalse de los proyectos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo. (Continuación)

Municipio	Área en la cuenca (km ²)	Porcentaje área de la cuenca	Valor anual de transferencias Ituango (\$)	Valor anual de transferencias Espíritu Santo (\$)	Valor anual de transferencias Cañafisto (\$)
SAN JERÓNIMO	134	0,38	33.304.545	15.238.000	22.530.151
SANTA BÁRBARA	194	0,54	48.217.028	21.654.000	32.016.530
SANTA FÉ DE ANTIOQUIA	452	1,27	112.340.705	50.927.000	75.298.135
SONSÓN	401	1,13	99.665.095	45.313.000	66.997.553
SOPETRÁN	207	0,58	51.448.066	23.258.000	34.388.125
TÁMESIS	230	0,65	57.164.518	26.065.000	38.538.416
TARSO	122	0,34	30.322.049	13.634.000	20.158.556
TITIRIBÍ	135	0,38	33.553.087	15.238.000	22.530.151
VALPARAÍSO	124	0,35	30.819.132	14.035.000	20.751.455
VENECIA	144	0,4	35.789.959	16.040.000	23.715.948
BELMIRA	18	0,05	4.473.745	2.005.000	2.964.494
BRICEÑO	55	0,15	13.669.776	6.015.000	8.893.481
BURITICÁ	402	1,13	99.913.636	45.313.000	66.997.553
CAÑASGORDAS	21	0,06	5.219.369	2.406.000	3.557.392
ITUANGO	174	0,49	43.246.201	19.649.000	29.052.036
LIBORINA	186	0,52	46.228.697	20.852.000	30.830.732
PEQUE	310	0,87	77.047.829	34.887.000	51.582.187
SABANALARGA	264	0,74	65.614.925	29.674.000	43.874.504

Municipio	Área en la cuenca (km ²)	Porcentaje área de la cuenca	Valor anual de transferencias Ituango (\$)	Valor anual de transferencias Espíritu Santo (\$)	Valor anual de transferencias Cañafisto (\$)
SAN ANDRÉS DE CUERQUIA	213	0,6	52.939.315	24.060.000	35.573.922
SAN JOSÉ DE LA MONTAÑA	137	0,38	34.050.169	15.238.000	22.530.151
SANTA ROSA DE OSOS	73	0,2	18.143.521	8.020.000	11.857.974
TOLEDO	135	0,38	33.553.087	15.238.000	22.530.151
YARUMAL	75	0,21	18.640.604	8.421.000	12.450.873
AGUADAS	476	1,34	118.305.698	53.734.000	79.448.426
ANSERMA	212	0,6	52.690.773	24.060.000	35.573.922
ARANZAZU	146	0,41	36.287.042	16.441.000	24.308.847
BELALCAZAR	111	0,31	27.588.094	12.431.000	18.379.860
CHINCHINÁ	114	0,32	28.333.718	12.832.000	18.972.758
FILADELFIA	204	0,57	50.702.442	22.857.000	33.795.226

Tabla 4-19. Transferencias a los municipios de la cuenca que surte el embalse de los proyectos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo. (Continuación)

Municipio	Área en la cuenca (km ²)	Porcentaje área de la cuenca	Valor anual de transferencias Ituango (\$)	Valor anual de transferencias Espíritu Santo (\$)	Valor anual de transferencias Cañafisto (\$)
LA MERCED	90	0,25	22.368.724	10.025.000	14.822.468
MANIZALES	438	1,23	108.861.126	49.323.000	72.926.540
MARMATO	39	0,11	9.693.114	4.411.000	6.521.886
NEIRA	351	0,99	87.238.025	39.699.000	58.696.971
PÁCORA	260	0,73	64.620.760	29.273.000	43.281.605
PALESTINA	112	0,31	27.836.635	12.431.000	18.379.860
RIOSUCIO	333	0,93	82.764.281	37.293.000	55.139.579
RISARALDA	89	0,25	22.120.183	10.025.000	14.822.468
SALAMINA	373	1,05	92.705.936	42.105.000	62.254.364
SAN JOSÉ	61	0,17	15.161.024	6.817.000	10.079.278
SUPÍA	122	0,34	30.322.049	13.634.000	20.158.556
VILLAMARÍA	429	1,2	106.624.253	48.120.000	71.147.844
VITERBO	121	0,34	30.073.507	13.634.000	20.158.556
BUENOS AIRES	350	0,98	86.989.484	39.298.000	58.104.073
CAJIBÍO	557	1,56	138.437.550	62.556.000	92.492.197
CALDONO	349	0,98	86.740.943	39.298.000	58.104.073
CALOTO	434	1,22	107.866.960	48.922.000	72.333.641
COCONUJO (PURACÉ)	494	1,39	122.779.443	55.739.000	82.412.919
CORINTO	318	0,89	79.036.160	35.689.000	52.767.984
EL TAMBO	364	1,02	90.469.063	40.902.000	60.475.667

Municipio	Área en la cuenca (km ²)	Porcentaje área de la cuenca	Valor anual de transferencias Ituango (\$)	Valor anual de transferencias Espíritu Santo (\$)	Valor anual de transferencias Cañafisto (\$)
JAMBALÉ	220	0,62	54.679.104	24.862.000	36.759.719
LÉPEZ	57	0,16	14.166.859	6.416.000	9.486.379
MIRANDA	187	0,52	46.477.239	20.852.000	30.830.732
MORALES	452	1,27	112.340.705	50.927.000	75.298.135
PADILLA	71	0,2	17.646.438	8.020.000	11.857.974
PAISPAMBA (SOTARÁ)	102	0,29	25.351.221	11.629.000	17.194.062
PIENDAMÓ	181	0,51	44.985.990	20.451.000	30.237.834
POPAYÁN	488	1,37	121.288.195	54.937.000	81.227.122
PUERTO TEJADA	109	0,31	27.091.011	12.431.000	18.379.860
SANTANDER DE QUILICHAO	458	1,29	113.831.953	51.729.000	76.483.932

Tabla 4-19. Transferencias a los municipios de la cuenca que surte el embalse de los proyectos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo. (Continuación)

Municipio	Área en la cuenca (km ²)	Porcentaje área de la cuenca	Valor anual de transferencias Ituango (\$)	Valor anual de transferencias Espíritu Santo (\$)	Valor anual de transferencias Cañafisto (\$)
SILVIA	569	1,6	141.420.047	64.160.000	94.863.792
SUÁREZ	442	1,24	109.855.291	49.724.000	73.519.439
TIMBÍO	62	0,17	15.409.566	6.817.000	10.079.278
TORIBÍO	435	1,22	108.115.502	48.922.000	72.333.641
TOTORO	423	1,19	105.133.005	47.719.000	70.554.945
VILLA RICA	94	0,26	23.362.890	10.426.000	15.415.366
ARMENIA	120	0,34	29.824.966	13.634.000	20.158.556
BUENAVISTA	38	0,11	9.444.573	4.411.000	6.521.886
CALARCÁ	225	0,63	55.921.811	25.263.000	37.352.618
CÓRDOBA	93	0,26	23.114.349	10.426.000	15.415.366
CIRCASIA	92	0,26	22.865.807	10.426.000	15.415.366
FINLANDIA	105	0,29	26.096.845	11.629.000	17.194.062
GÉNOVA	292	0,82	72.574.084	32.882.000	48.617.693
LA TEBAIDA	91	0,26	22.617.266	10.426.000	15.415.366
MONTENEGRO	149	0,42	37.032.666	16.842.000	24.901.745
PIJAO	252	0,71	62.632.429	28.471.000	42.095.808
QUIMBAYA	135	0,38	33.553.087	15.238.000	22.530.151
SALENTO	283	0,79	70.337.211	31.679.000	46.838.997
APÍA	148	0,42	36.784.125	16.842.000	24.901.745
BALBOA	120	0,34	29.824.966	13.634.000	20.158.556

Municipio	Área en la cuenca (km ²)	Porcentaje área de la cuenca	Valor anual de transferencias Ituango (\$)	Valor anual de transferencias Espíritu Santo (\$)	Valor anual de transferencias Cañafisto (\$)
BELÉN DE UMBRÍA	171	0,48	42.500.577	19.248.000	28.459.138
DOSQUEBRADAS	70	0,2	17.397.897	8.020.000	11.857.974
GUÁTICA	100	0,28	24.854.138	11.228.000	16.601.164
LA CELIA	90	0,25	22.368.724	10.025.000	14.822.468
LA VIRGINIA	32	0,09	7.953.324	3.609.000	5.336.088
MARSELLA	149	0,42	37.032.666	16.842.000	24.901.745
MISTRATÓ	86	0,24	21.374.559	9.624.000	14.229.569
PEREIRA	592	1,66	147.136.499	66.566.000	98.421.184
QUINCHÍA	141	0,4	35.044.335	16.040.000	23.715.948
SANTA ROSA DE CABAL	564	1,58	140.177.340	63.358.000	93.677.995
SANTUARIO	206	0,58	51.199.525	23.258.000	34.388.125
ALCALÁ	61	0,17	15.161.024	6.817.000	10.079.278

Tabla 4-19. Transferencias a los municipios de la cuenca que surte el embalse de los proyectos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo. (Continuación)

Municipio	Área en la cuenca (km ²)	Porcentaje área de la cuenca	Valor anual de transferencias Ituango (\$)	Valor anual de transferencias Espíritu Santo (\$)	Valor anual de transferencias Cañafisto (\$)
ANDALUCÍA	157	0,44	39.020.997	17.644.000	26.087.543
ANSERMANUEVO	340	0,95	84.504.070	38.095.000	56.325.377
BOLÍVAR	180	0,51	44.737.449	20.451.000	30.237.834
BUGA	837	2,35	208.029.138	94.235.000	139.331.195
BUGALAGRANDE	450	1,26	111.843.622	50.526.000	74.705.236
CAICEDONIA	150	0,42	37.281.207	16.842.000	24.901.745
CALI	526	1,48	130.732.768	59.348.000	87.749.008
CANDELARIA	296	0,83	73.568.249	33.283.000	49.210.592
CARTAGO	242	0,68	60.147.015	27.268.000	40.317.112
EL ÁGUILA	232	0,65	57.661.601	26.065.000	38.538.416
EL CERRITO	441	1,24	109.606.750	49.724.000	73.519.439
FLORIDA	401	1,13	99.665.095	45.313.000	66.997.553
GINEBRA	267	0,75	66.360.549	30.075.000	44.467.403
GUACARÍ	162	0,45	40.263.704	18.045.000	26.680.442
JAMUNDÍ	582	1,63	144.651.085	65.363.000	96.642.488
LA CUMBRE	30	0,08	7.456.241	3.208.000	4.743.190
LA UNIÓN	112	0,31	27.836.635	12.431.000	18.379.860
LA VICTORIA	260	0,73	64.620.760	29.273.000	43.281.605

Municipio	Área en la cuenca (km ²)	Porcentaje área de la cuenca	Valor anual de transferencias Ituango (\$)	Valor anual de transferencias Espíritu Santo (\$)	Valor anual de transferencias Cañafisto (\$)
OBANDO	201	0,56	49.956.818	22.456.000	33.202.327
PALMIRA	1009	2,83	250.778.256	113.483.000	167.790.332
PRADERA	353	0,99	87.735.108	39.699.000	58.696.971
RIOFRÍO	250	0,7	62.135.346	28.070.000	41.502.909
ROLDANILLO	187	0,52	46.477.239	20.852.000	30.830.732
SAN PEDRO	191	0,54	47.471.404	21.654.000	32.016.530
SEVILLA	550	1,54	136.697.761	61.754.000	91.306.400
TORO	175	0,49	43.494.742	19.649.000	29.052.036
TRUJILLO	217	0,61	53.933.480	24.461.000	36.166.821
TULUÁ	790	2,22	196.347.693	89.022.000	131.623.511
ULLOA	37	0,1	9.196.031	4.010.000	5.928.987
VERSALLES	7	0,02	1.739.790	802.000	1.185.797
VIJES	45	0,13	11.184.362	5.213.000	7.707.683
YOTOCO	337	0,95	83.758.446	38.095.000	56.325.377
YUMBO	229	0,64	56.915.977	25.664.000	37.945.517

- Corporaciones Autónomas Regionales que tengan jurisdicción en el área donde se encuentra localizada la cuenca hidrográfica

Las Corporaciones autónomas con jurisdicción en la cuenca hidrográfica son ocho: CRC, CRQ, CVC, CARDER, CORANTIOQUIA, CORPOURABA, CORNARE, Y CORPOCALDAS. Estas reciben transferencias del 3% de acuerdo con el área de su jurisdicción, cuyo monto se presenta en la Tabla 4-20

Tabla 4-20. Transferencias a las Corporaciones con jurisdicción en la cuenca del río Cauca

Corporación	Área en la cuenca (ha)	% área de la cuenca	Valor anual transferencias Ituango	Valor anual transferencias Espíritu Santo	Valor anual transferencias Cañafisto*
CORNARE	1.117	3,14	555.241.450	\$ 252.267.600	
CORANTIOQUIA	7.739	21,72	3.846.923.528	\$ 744.984.800	
CORPOURABÁ	470	1,32	233.628.900	\$ 106.048.800	
CORPOCALDAS	4.081	11,46	2.028.594.769	\$ 920.696.400	
CRC	7.216	20,26	3.586.949.241	\$ 1.627.688.400	
CRQ	1.875	5,26	932.030.187	\$ 422.588.400	
CARDER	2.469	6,93	1.227.297.350	\$ 556.756.200	
CVC	10.656	29,91	5.296.913.957	\$ 2.402.969.400	

*:Las transferencias del proyecto hidroeléctrico Cañafisto para las Corporaciones Autónomas Regionales es de \$ 10.597.974.000, según la información presentada en el Estudio de Impacto Ambiental, pero no se encuentra distribuida por entidad.

5 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

5.1 GENERALIDADES

Las medidas de manejo para los cambios que se presentan en los Componentes Ambientales Valorados (VEC's), pueden enfocarse en dos direcciones: la primera se dirige al manejo de las actividades que generan cada uno de los cambios; y la segunda, se enfoca a la generación de información que permita obtener conclusiones sobre la naturaleza o comportamiento de los cambios que se están presentando en los VEC's'.

Para los proyectos hidroeléctricos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo, dada la información que hasta el momento se tiene recopilada, con un proyecto en construcción (Ituango), y dos en estudios de factibilidad (Cañafisto y Espíritu Santo), se optó por la alternativa de generar información, con el propósito de poder definir con precisión los cambios que se están presentando en los VEC's analizados.

Por lo anterior, este Plan de Manejo comprende solo los Programas de Monitoreo y Seguimiento, cuyos resultados permitirán establecer si se hace necesario un nuevo programa o extender en duración o cubrimiento, uno de los existentes o planteados en los Planes de Manejo de cada uno de los proyectos analizados. Dichos planes de manejo hacen parte del Plan de Monitoreo y Seguimiento del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Espíritu Santo.

5.2 MEDIO ABIÓTICO - MONITOREO Y SEGUIMIENTO A LA CALIDAD DEL AGUA Y DINÁMICA GEOMORFOLÓGICA DEL RÍO CAUCA

5.2.1 Objetivo

- Evaluar la Calidad del agua del río Cauca aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, para estimar los cambios que se están generando en este sector de la cuenca, y que puedan ser asociados a la presencia de las centrales hidroeléctricas en la cuenca media del río Cauca.
- Estimar los cambios en el régimen del transporte de sedimentos del río Cauca, aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, por la presencia de proyectos hidroeléctricos en la cuenca Media del río Cauca

5.2.2 Descripción de actividades de la medida

Para evaluar la real afectación que se genera en el río Cauca, en cuanto a calidad y a su régimen de transporte de sedimentos, por la entrada en operación de los tres proyecto hidroeléctricos (Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo), en la capítulo 10 del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo se planteó un programa de monitoreo al río en Cauca en 33 sitios que fueron monitoreados para la caracterización de la línea base del proyecto y los cuales se presentan en la Tabla 5-1

Tabla 5-1. Coordenadas de los puntos de monitoreo

Tramo	Código	Nombre	Coordenadas [m]*	
			Este	Norte
Tramo 1	1	Río Ituango antes del río Cauca	825.069	1.281.431
	2	Río Cauca aguas abajo del río Ituango	826.759	1.281.575
	3	Río Sinitabé - Planta de asfaltos	835.197	1.288.263
	4	Quebrada Sevilla	844.492	1.291.376
	5	Quebrada El Aro Aguas arriba	842.179	1.293.321

Tramo	Código	Nombre	Coordenadas [m]*	
			Este	Norte
	6	Quebrada El Aro antes del río Cauca	842.185	1.292.040
	7	Quebrada La Floresta	843.567	1.291.777
	8	Quebrada la Guamera antes del río Cauca	848.990	1.293.715
	9	Río Espiritu Santo antes del río Cauca	849.662	1.293.812
	10	Río Cauca-Achirá (Río Cauca-La Planta)	851.926	1.294.592
	11	Río Cauca-Puente peatonal Puerto Valdivia	854.312	1.297.800
	12	Río Cauca-Puente peatonal Puerto Valdivia	854.312	1.297.786
	13	Río Cauca-aguas abajo de la quebrada Valdivia	855.617	1.298.774
	14	Río Cauca- Puente la Paulita	860.372	1.303.885
Tramo 2	15	Río Cauca aguas abajo del río Pescado (empalme)	861.662	1.305.267
	16	Río Cauca aguas abajo del río Pescado	861.681	1.305.271
	17	Río Cauca aguas abajo del río Puquí	864.103	1.315.775
Tramo 3	18	Espejo de agua Puerto Antioquia 1	861.384	1.322.069
	19	Río Cauca aguas abajo del río Tarazá	859.838	1.330.560
	20	Río Cauca aguas abajo de la quebrada Corrales	866.960	1.339.121
	21	Río Cauca (corregimiento Jardín)	872.420	1.349.517
	22	Espejo de agua quebrada Corrales	866.468	1.337.044
	23	Río Cauca Caucasia (cabecera municipal)	877.641	1.374.055
Tramo 4	24	Río Cauca Caucasia (cabecera municipal)	877.478	1.374.057
	25	Río Cauca-Vereda Margento	903.581	1.380.489
	26	Río Cauca Sector Rompedero	918.269	1.383.303
	27	Espejo de agua Hoyo grande	916.878	1.381.597
	28	Espejo de agua Ciénaga la Corcobada	901.138	1.375.773
	29	Espejo de agua Río Viejo - Changura	877.033	1.379.517
	30	Espejo de agua la Palanca (hacienda Santa Rita)	893.307	1.377.118
	31	Espejo de agua la Ilusión	890.399	1.379.022
	32	Espejo de agua Aguas Pozas	N/A	N/A
	33	Ciénaga Colombia - Rio Man	871.030	1.370.494

En estos puntos, según el plan de monitoreo del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo, se realizará un monitoreo semestral de calidad de agua, cubriendo dos períodos hidrológicos (verano e invierno), en los cuales se evaluarán los siguientes parámetros: Oxígeno Disuelto (OD), pH, Conductividad eléctrica, Temperatura del agua, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos, Sólidos Disueltos, Sólidos Totales, Turbiedad, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Nitrógeno total (NKT), Nitritos (NO₂), Nitratos (NO₃), Amonio (NH₃), Alcalinidad, Dureza, Sulfatos (SO₄), Cloruros (Cl), Fósforo total, Ortofosfatos, Hierro.

Además se plantea que en esos mismos Monitoreos semestrales se realizará un levantamiento batimétrico en 12 secciones transversales, las cuales también fueron levantadas durante la caracterización de la línea base del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo.

Con este monitoreo se espera evaluar periódicamente el efecto que se está generando aguas debajo de los tres proyectos hidroeléctricos (Ituango, Cañafisto y Espíritu Santo)

5.3 MEDIO BIÓTICO

5.3.1 Monitoreo y seguimiento de coberturas vegetales.

5.3.1.1 Objetivos

- Realizar el seguimiento multitemporal a las modificaciones que se presentan en las coberturas vegetales y los usos del suelo de las áreas de influencia de los proyectos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo.
- Determinar las modificaciones multitemporales de los índices de fragmentación de ecosistemas boscosos que ofrecen hábitat para fauna en el área de influencia de los proyectos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo.

5.3.1.2 Descripción de actividades de la medida

Los estudios ambientales de los proyectos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo contemplan dentro de su Programas, el monitoreo a la cobertura vegetal en sus áreas de influencia, por lo que se proponen las siguientes actividades:

- Unificar los monitoreos de Ituango y Espíritu Santo, actualizando la información a una fecha base. Este monitoreo se realizará cada dos años, en los primeros 10 años de operación de los dos proyectos, para luego ampliar la frecuencia a cada cinco años.
- Cañafisto tiene previsto en su plan de manejo la realización de monitoreos anuales hasta el quinto año de operación. Esta información será solicitada a la hidroeléctrica para incluirla en los análisis que se realicen de Ituango y Espíritu Santo.
- Definir para el seguimiento, fuentes de información uniformes, para todos los períodos de evaluación, que permitan minimizar los errores de escala y agrupamientos o denominación de clases de coberturas.

Se propone trabajar con imágenes o fotografías aéreas en resoluciones y escalas que faciliten la identificación de las coberturas definidas en los estudios ambientales de los proyectos hidroeléctricos.

- Evaluar además de las modificaciones en las coberturas vegetales y los elementos del paisaje (matriz, parches y corredores), los índices de fragmentación de los ecosistemas boscosos, incluidos los rastrojos altos, para establecer cambios en la conectividad y los incrementos o decrecimientos de las áreas viables para la fauna.
- Relacionar la información obtenida con la de los monitoreos de fauna y cobertura vegetal, localizando los sitios de muestreo sobre la cartografía que se genere de la evaluación de las modificaciones de las coberturas vegetales, para identificar posibles sitios de interés para ser conservados o para incrementar sus áreas.

5.3.2 Monitoreo de las comunidades hidrobiológicas

5.3.2.1 Objetivo

- Establecer los posibles cambios que se pudieran generar en términos de la variación o afectación de la diversidad de las comunidades hidrobiológicas (Macroinvertebrados, perifiton y peces), como resultado de la construcción y operación de los proyectos Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo.
- Conocer la evolución del ecosistema acuático en el Bajo Cauca, hasta donde llega el área de influencia del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo.

- Conocer la adaptación al nuevo hábitat de las comunidades hidrobiológicas, debido a la presencia de los proyectos hidroeléctricos.

5.3.2.2 Descripción de actividades de la medida

Dado que por la construcción y operación del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo no habrá regulaciones del caudal, sino que mantendrá el régimen establecido por el proyecto hidroeléctrico Ituango, se espera que no haya cambios en la dinámica río aguas abajo, lo que significa que tampoco se presentarán alteraciones significativas en los pulsos de inundación – sequía, en la zona de ciénagas, sino que se conservarán el ciclo definido por el proyecto hidroeléctrico Ituango. Es probable sin embargo, que se presenten algunas modificaciones en la velocidad de la corriente, que conlleven a cambios en la complejidad espacio-temporal del hábitat físico en la cuenca media del río Cauca, aguas arriba de Puerto Valdivia.

Además, la presa del proyecto hidroeléctrico Espíritu Santo constituirá una barrera que impedirá el paso de algunas especies migrantes de peces, a la vez que servirá como trampa para el material orgánico que transporta el río, afectando de esta manera la conectividad biológica existente en el río Cauca.

Para verificar que no se estén presentando cambios en la composición íctica del área de influencia y en sus comunidades hidrobiológicas, se deberá realizar el monitoreo de peces, de macroinvertebrados, perifiton, zoo y fitoplancton, en algunos de los sitios que se monitorearon para la caracterización de la línea base de este proyecto, y los cuales se presentan en la Tabla 5-2

Tabla 5-2. Localización de puntos de monitoreo de fauna íctica

Tramos	Sitios de muestreo		Coordenadas	
			Este	Norte
1	S3	Planta Asfaltos	835390	1287494
	S9	La Guamera	848611	1293992
	S10	La Planta	-----	-----
	S11	Puente peatonal P. Valdivia	853938	1298116
	S12	Aguas Abajo Q	854500	1298364
	S13	Puente peatonal la Paulina	-----	-----
	S14	Río Pescado	-----	-----
	S20	Ciénaga Corrales	866740	1336333

Tabla 5-2. Localización de puntos de monitoreo de fauna íctica. (Continuación)

Tramos	Sitios de muestreo		Coordenadas	
			Este	Norte
3	S23	Ciénaga Colombia (E.A río Man)*	872057	1370517
	S24	Caucasia	877202	1375069
4	S25	Ciénaga Palomar (Colorada)*	9016331	1376754
	S26	Ciénaga Palanca	894725	1376765
	S27	Espejo de agua Pozas	880837	1376831
	S28	Ciénaga la Ilusión	889880	1378979
	S29	Quebrada la Changona	873316	1380718
	S30	Margento	906384	1380520
	S31	Ciénaga Hoyo Grande	914468	1380832
	S32	Rompedero	916026	1384337