CPS No. 1020 DE 2016

APOYO AL DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN PARA EL FORTALECIMIENTO DE LOS PROCESOS DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL EMBALSE DEL QUIMBO

Cumplimiento de la obligación contractual 6

Recopilación, verificación y análisis multitemporal de caudales ecológicos en la descarga del proyecto hidrológico El Quimbo, la calidad del agua y su efecto en el área de influencia

Elaborado por:

Julio Fierro Morales, Geólogo MSc. Geotecnia
Milena Ordoñez Potes, Ingeniera Civil MSc. Geotecnia
Diana Patricia Lozano Zafra, Geóloga MSc. Geoinformación
Ana María Llorente Valbuena, Ingeniera Ambiental MSc. Geomática (a)
Eduardo Quintero Chavarría, Ingeniero Civil MSc. Geofísica (a)
Andrés Castillo, Ingeniero Civil Esp. Recursos hidráulicos
David Aponte, Ingeniero civil MSc. Geotecnia (a)
Erika Cuida López, Geóloga
Angie Ramírez Huerta, Geóloga
Daniela Mateus Zabala, Geóloga
Juan Francisco Díaz González, Geólogo
Javier Valencia, Ingeniero Civil

Con la colaboración de los miembros del Grupo de Investigación Geoambiental TERRAE

José Sebastián Gómez Romero, estudiante de Geología
Jeremy Audrey León, estudiante de Geología
Vivian González Aldana, estudiante de Geología
Xiomara Triana Parra, estudiante de Geología
Nathalia Cerón Espejo, estudiante de Geología
María Alejandra Ramos Gámez, estudiante de Geología

Bogotá D.C, 25 de diciembre de 2016

CONTENIDO

1 REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA HE-TER-1-01 Y EL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) EN LO RELATIVO AL COMPONENTE HÍDRICO: CAUDAL ECOLÓGICO Y CALIDAD DEL AGUA 4

1.1 ANÁLISIS DE LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA (TDR) HE-TER-1-01 EMPLEADOS PARA LA ELABORACIÓN DEL EIA 4

1.1.1 Caudal ecológico 5

1.1.2 Calidad del agua 6

1.2 REVISIÓN Y ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PRESENTADO EN LA SOLICITUD DE LICENCIA AMBIENTAL, Y ELABORADO POR EMGESA - INGETEC EN 2008 7

1.2.1 Caudal ecológico 7

1.2.2 Calidad del agua 8

1.2.3 Línea base de calidad del agua río Magdalena 9

1.2.4 Línea base de calidad del agua principales tributarios del río Magdalena 11

1.2.5 Inconsistencias en la identificación y control de impactos en la calidad del agua 12

1.3 ANTECEDENTES, ACCIONES INSTITUCIONALES Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA 13

1.3.1 Metodologías para la estimación del caudal ecológico y acciones institucionales 14

1.3.2 Evidencias de alteración de la calidad del agua en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico El Quimbo 16

2 ANÁLISIS DE ESTIMACIÓN DE CAUDAL ECOLÓGICO PARA EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL QUIMBO 17

3 REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL (ICA): LIMITACIONES EN EL ACCESO A LA INFORMACIÓN Y EVIDENCIAS EN EL DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA 21

3.1 DIFICULTAD PARA ACCEDER A LA INFORMACIÓN Y MANIPULACIÓN DE DATOS DE MONITOREO DE AGUA 21

3.2 SEGUIMIENTO A LA CALIDAD DEL AGUA DE ACUERDO A LOS MONITOREOS CONTENIDOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL – ICA 21

3.2.1 Monitoreos de calidad del agua disponibles en los ICA: Río Magdalena y tributarios 22

3.2.2 Monitoreos de calidad del agua disponibles en los ICA: embalse 33

3.2.3 Evidencia de impactos ambientales relativos a ecosistemas acuáticos por proyectos hidroeléctricos 35

4 CONCLUSIONES 41

5 RECOMENDACIONES 43

REFERENCIAS CITADAS 44

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO DE AGUA PRIORIZADOS PARA EL PRESENTE INFORME 9
FIGURA 3. CRITERIOS HIDROLÓGICOS Y ECOLÓGICOS PARA LA PROPUESTA DE CAUDALES AMBIENTALES. PROPUESTA METODOLÓGICA PRELIMINAR PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDAL AMBIENTAL EN PROYECTOS LICENCIADOS POR EL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS), COLOMBIA 15
FIGURA 4. ESTACIONES DE LA RED DEL IDEAM DISPONIBLES EN LA ZONA DE ESTUDIO 17
FIGURA 5. SERIE DE CAUDALES MEDIOS DE LA ESTACIÓN PTE BALSEADERO. SERIE DE CAUDALES MEDIOS ESTACIÓN EL PASO DE COLEGIO. 18
FIGURA 6. CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES PARA LA ESTACIÓN PTE. BALSEADERO CONSTRUIDA A PARTIR DE DATOS MENSUALES. 20
FIGURA 7. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO DE AGUA DEL RÍO MAGDALENA Y PRNCIPALES TRIBUTARIOS 23
FIGURA 8. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO DE AGUAS EN EL EMBALSE 34

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. SERIES DE CAUDALES ASOCIADAS A LA ESTACIONES DEL IDEAM EN LA ZONA DE ESTUDIO 18
TABLA 2. RESULTADOS DE PRUEBAS DE CAMBIOS DE MEDIA Y VARIANZA PARA LAS SERIES DE LAS ESTACIONES SELECCIONADAS 19
TABLA 3. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL (ICA) CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA AGUAS ARRIBA DEL EMBALSE 25
TABLA 4. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS PRIORIZADOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA AGUAS ABAJO DE LA DESCARGA. 26
TABLA 5. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS PRIORIZADOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA AGUAS ABAJO DE LA CONFLUENCIA CON EL RÍO PÁEZ 27
TABLA 6. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS PRIORIZADOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA AGUAS ABAJO DEL CAMPAMENTO 28
TABLA 7. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS PRIORIZADOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA AGUAS ABAJO DE LA PRESA (ANTES DE BETANIA) 29
TABLA 8. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS PRIORIZADOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA PARA LOS TRIBUTARIOS MG1, MG4 Y MG3 30
TABLA 9. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS PRIORIZADOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA PARA LOS TRIBUTARIOS MG5, MG6 Y MG7. 31
TABLA 10. IMPACTOS SECUNDARIOS Y PRIMARIOS DOCUMENTADOS EN COMUNIDADES DE PECES POR REPRESAS. FUENTE: ZHONG & POWER, 1996 39

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

1 REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA HE-TER-1-01 Y EL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) EN LO RELATIVO AL COMPONENTE HÍDRICO: CAUDAL ECOLÓGICO Y CALIDAD DEL AGUA

Garantizar el caudal ecológico y controlar las condiciones de calidad del agua son dos de los muchos factores ambientales a tener en cuenta durante el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico. El caudal ecológico, se define como el caudal mínimo requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua[1]. Dada su configuración, los proyectos hidroeléctricos suelen generar impactos negativos sobre los ríos intervenidos y los ecosistemas riparios, por lo que es necesario evaluar el manejo que se le dará al caudal en las distintas etapas (construcción, llenado, operación y desmantelamiento) puesto que una variación abrupta en las condiciones naturales puede generar impactos irreversibles dada la vulnerabilidad de los ecosistemas involucrados.

Por su parte, la calidad del agua se considera un componente altamente susceptible a ser afectado debido principalmente a la acumulación de sedimentos, el aporte de nutrientes y la disminución del oxígeno disuelto por los altos contenidos de materia orgánica en descomposición que son generados una vez el río es represado, cambiando su dinámica de transporte de sedimentos. El manejo de dichos factores es uno de los desafíos en este tipo de proyectos, que de no hacerse terminarían afectando aún más las condiciones de calidad del agua y la vida acuática tanto aguas arriba como aguas abajo de la zona de desviación del cuerpo de agua y la zona embalsada.

Con el propósito de evaluar el manejo de caudales ecológicos y el estado actual de la calidad del agua del río Magdalena, objeto de desviación para la construcción del embalse El Quimbo, fueron evaluados los documentos técnicos disponibles en el expediente LAM4090: Términos de Referencia HE-TER-1-01, Estudio de Impacto Ambiental (EIA), Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA), allegados a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) como parte de las obligaciones de la licencia ambiental y de las cuales ANLA tiene la responsabilidad de hacer seguimiento y control. Además, fueron objeto de revisión los actos administrativos y documentos de seguimiento de entidades de control elaborados en el marco de la licencia ambiental otorgada a la empresa EMGESA para la construcción y operación del proyecto hidroeléctrico El Quimbo.

1.1 ANÁLISIS DE LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA (TDR) HE-TER-1-01 EMPLEADOS PARA LA ELABORACIÓN DEL EIA

Los términos de referencia para la elaboración de estudios de impactos ambiental para la construcción y operación de centrales hidroeléctricas generadoras (HE-TER-1-01) fueron adoptados mediante Resolución 899 de 2008 del Ministerio de Ambienta, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Dicho documento fue empleado por EMGESA para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) presentado para obtener la licencia ambiental para la construcción y operación del proyecto El Quimbo. A continuación se presentan los elementos que fueron considerados en la revisión de los TDR en las temáticas evaluadas: caudal ecológico y calidad del agua.

[1] Resolución 865 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT)

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

1.1.1 Caudal ecológico

En lo que concierne al caudal ecológico e hidrología, en el Capítulo 3 (Caracterización del área de influencia del proyecto) los TDR señalan lo siguiente:

"3.2.4. Hidrología

Área de influencia indirecta

- *Identificar los sistemas lénticos y lóticos.*
- *Establecer los patrones de drenaje a nivel regional.*
- *Identificar el régimen hidrológico y de caudales característicos de las principales corrientes.*

Área de influencia directa

- *Identificar el tipo y distribución de las redes de drenaje.*
- *Describir y localizar la red hidrográfica e identificar la dinámica fluvial de las fuentes que pueden ser afectadas por el proyecto, así como las posibles alteraciones de su régimen natural (relación temporal y espacial de inundaciones).*
- *Realizar el inventario de las principales fuentes contaminantes, identificando el generador y tipo de vertimiento.*
- *Determinar el régimen hidrológico y los caudales máximos, medios y mínimos mensuales, multianuales de las fuentes a intervenir.*
- *(…)"*[2]

Asimismo, el Capítulo 5 (Evaluación Ambiental) los TDR señalan una vez esté implementado el proyecto:

"(…)

- *Impactos generados en el cuerpo de agua por la reducción de caudales y por la variación que sobre los mismos ocasiona la operación del proyecto.*
- *Se deberá establecer el impacto ambiental esperado en las comunidades hidrobiológicas, entre otros aspectos, y hacer un análisis comparativo de los mismos, bajo diversos porcentajes de caudales captados (en lo posible entre el 30 y el 70%), de acuerdo a la relación de áreas de la curva de duración del río.*
- *Se deberá realizar una evaluación hidrogeológica aguas abajo del río objeto de embalsamiento, donde se analizará y concluirá sobre los posibles impactos en los suelos, en el ecosistema y en la productividad del área de influencia por posibles abatimientos del nivel freático, ante la reducción de caudales de la corriente embalsada, como consecuencia de los escenarios propuestos de operación del embalse.*
- *Se deberá realizar un inventario de los cuerpos de agua ubicados sobre el alineamiento de los túneles de conducción y desvío, para los cuales se obtendrán registros de caudales mensuales durante un periodo mínimo de un año, lo cual servirá como referente para la posterior validación de los posibles*

[2] TDR para la elaboración de estudios de impacto ambiental para la construcción y operación de centrales hidroeléctricas generadoras. Pág12-13.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

impactos estimados por desecamiento temporal o permanente de dichos cuerpos de agua por la perforación del túnel; de acuerdo a lo anterior se deberán plantear los respectivos planes de manejo y de monitoreo y seguimiento del comportamiento de dichas corrientes para las fases de construcción y operación.
(…)"[3]

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede evidenciar que los TDR no cuentan con un ítem específico donde se indique de manera clara qué tipo de estudio (metodología) se debe seguir o el plan de manejo que se le tiene que dar al caudal ecológico. Existe una gran incertidumbre asociada a la estimación del caudal ecológico y los estudios requeridos por parte del MADS, donde se sugiere que se evalúe como mínimo el caudal ecológico por tres (3) metodologías distintas[4] y se seleccione aquella metodología que se ajuste mejor al caso de estudio, esto en función de la información disponible.

1.1.2 Calidad del agua

En cuanto al control de la calidad del agua en proyectos de hidroeléctricas se encontró que la información requerida en los Términos de Referencia HE-TER-1-01 empleados para la elaboración del EIA del proyecto, no responden a las características de los impactos generados por este tipo de actividad. Este documento solo presenta una descripción general de las zonas susceptibles a contaminación directa (vertimientos, ocupación de cauce, entre otros) sin considerar que la variabilidad en los parámetros fisicoquímicos del agua en respuesta al cambio drástico en la dinámica de un río al ser represado y embalsado, no son de tipo puntual.

En primer lugar, al cambiar la hidrodinámica del río cambian los regímenes de sedimentación lo cual repercutirá tanto en el embalse como aguas arriba y aguas abajo de este. En segundo lugar, una vez el río es represado el planteamiento de monitoreo debe ser encaminado al comportamiento de un sistema léntico teniendo en cuenta que en estos el flujo vertical de nutrientes, oxígeno, temperatura, entre otros parámetros, cobra una mayor importancia que en un sistema lótico. Y tercero, teniendo en cuenta la fase final de descarga de un determinado caudal al cauce natural del río, es necesario requerir su caracterización detallada puesto que esta ha estado sometida a una serie de procesos biogeoquímicos que han cambiado sus características respecto a sus condiciones iniciales previo a ser represado.

Finalmente se recomienda establecer una metodología de entrega de resultados dentro del programa de monitoreo de calidad del agua; entiéndase análisis de laboratorio, datos de campo, ubicación y nomenclatura de estaciones, en formato digital que permita su trabajo estadístico y análisis de series de tiempo (tablas de Excel). De esta forma será posible realizar un análisis de variabilidad temporal de los parámetros fisicoquímicos más importantes a la hora de ejecutar un proyecto de esta índole.

[3] TDR para la elaboración de estudios de impacto ambiental para la construcción y operación de centrales hidroeléctricas generadoras. Pág 35-36.
[4] Metodología de tipo hidrológico, hidráulico, de simulación de hábitat u holística reconocida científicamente.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

1.2 REVISIÓN Y ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) PRESENTADO EN LA SOLICITUD DE LICENCIA AMBIENTAL, Y ELABORADO POR EMGESA - INGETEC EN 2008

Este capítulo se basa en la revisión y análisis del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) presentado por EMGESA en el marco de la solicitud de licencia ambiental para el proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Dicho estudio, fue elaborado en el año 2008 y aprobado mediante Resolución 899 de 2009. A continuación se presentan las consideraciones más importantes respecto al contenido técnico relativo al caudal ecológico y a la calidad del agua contenidos en el EIA.

1.2.1 Caudal ecológico

En lo relativo al tema de caudal ecológico el EIA presentado por EMGESA-INGETEC (2008)[5] señala lo siguiente:

> "*La descarga de fondo tendrá el propósito de suministrar un caudal mínimo en el tramo del río Magdalena localizado entre la presa y la confluencia del río Páez (del orden de un kilómetro) durante el llenado del vaso del embalse y operación de la central.*
>
> *Para establecer el caudal mínimo, se siguió la recomendación del IDEAM consignada en la Resolución MAVDT 0864 de julio 22 de 2004, el caudal ecológico se puede calcular a partir de la curva de duración de caudales medios diarios o como un porcentaje del caudal medio mensual multianual más bajo.*
>
> *Dado que el único propósito de la descarga que se construirá para el proyecto es el de mantener un caudal mínimo durante el llenado y operación en un tramo corto del río Magdalena (la justificación de este propósito único se amplía en el numeral 5.1.2.1.2) se definió que el caudal ecológico mínimo que manejará la descarga de fondo durante el llenado sea de 36 m3/s, que corresponde al que resulta de aplicar el 25% al caudal medio mensual multianual más bajo del río Magdalena en el sitio de presa (resolución MAVDT 0864 de julio 22 de 2004).*
>
> *La descarga de fondo se localiza sobre la margen derecha de la presa, tiene un alineamiento paralelo al eje del vertedero y descarga por debajo de su deflector, a corta distancia de la salida del túnel de desviación, y se compone de:*
>
> - *Portal de entrada en la cota 605 msnm*
> - *Túnel en herradura pata curva de 2,70 m de diámetro y 449,00 metros de longitud*
> - *Cámara de compuertas que aloja una compuerta radial de h =2,00 m y b =1,50 m, y una compuerta deslizante de guarda de h =2,00 m y b =1,50 m.*
> - *Galería de acceso a la cámara de compuertas, de sección herradura pata recta de 2,50 m de diámetro y 208,00 m de longitud.*
> - *Portal de salida en la cota 586,80 msnm.*
>
> *La descarga de fondo tiene capacidad para manejar un caudal máximo de 42,0 m3/s, para lo cual será necesario controlar la apertura de la compuerta de acuerdo con el nivel del embalse.*

[5] EMGESA-INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

- *Con esta descarga de fondo, se garantiza un caudal de 36,0 m3/s en menos de 48 horas después de realizar el cierre del túnel de desviación e iniciar el llenado del embalse. Se tiene previsto que la descarga comience a suministrar un caudal al tramo aguas abajo de la presa cuando el embalse alcance la cota 608,00 msnm.*

(…)

2.2.2.3Caudal Ecológico

Durante la operación del proyecto, el caudal ecológico de mínimo 36 m3/s (véase sustento en el numeral 5.1.2.1.2) será evacuado en caso de requerirse a través de la descarga de fondo.

(…)"[6]

"*Impactos secundarios: La alteración del régimen natural de caudales no implica alteraciones importantes en la estructura de las comunidades hidrobiológicas, ya que el tramo entre la presa y la confluencia con el río Páez, tendrá disponible durante el llenado un caudal ecológico mínimo de 36 m3/s."*[7]

En el numeral 5.1.2.1.2 se muestra el análisis de caudales a distintas escalas (ciclo horario, diurno y anual) para época húmeda y seca para los escenarios con y sin proyecto, se puede apreciar que una vez implementado el proyecto se mantendrá una descarga constante para las escalas señaladas.

1.2.2 Calidad del agua

El componente de calidad de agua del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) consistió en la presentación de registros de variables fisicoquímicas medidas en el río Magdalena y sus principales tributarios: los ríos Suaza, Loro y Páez y las quebradas Garzón, Yaguilga y Guandinosa. Dichos registros fueron obtenidos en noviembre de 1996 durante la realización de los estudios de prefactibilidad del proyecto, y en marzo y julio de 2007 para la presentación del EIA en 2008. La localización de las estaciones empeladas como línea base en el EIA se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Los reportes para ambas épocas contemplaron la medición de variables fisicoquímicas importantes de estudiar en proyectos de esta índole, como son los contenidos de compuestos de nitrógeno y fósforo asociados esencialmente al exceso de nutrientes, contenido de sales minerales, materia orgánica y de oxígeno disuelto. La variabilidad en el espacio – tiempo de los anteriores parámetros puede ser significativa al cambiar la hidrodinámica del río Magdalena de un sistema lótico a un sistema léntico.

Por lo anterior, y con el propósito de identificar cambios en las condiciones de calidad del agua del río Magdalena y sus principales tributarios en las etapas de construcción, llenado y operación, se presenta a continuación un resumen de las condiciones de calidad del

[6] EMGESA-INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 2.2.
[7] EMGESA-INGETEC. Estudio de impacto ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 5.1 pág 23.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

agua en el tramo del río Magdalena objeto de intervención, encontrados los años 1996 y 2007 y empleados como línea base del EIA elaborado por EMGESA - INGETEC (2008[8]).

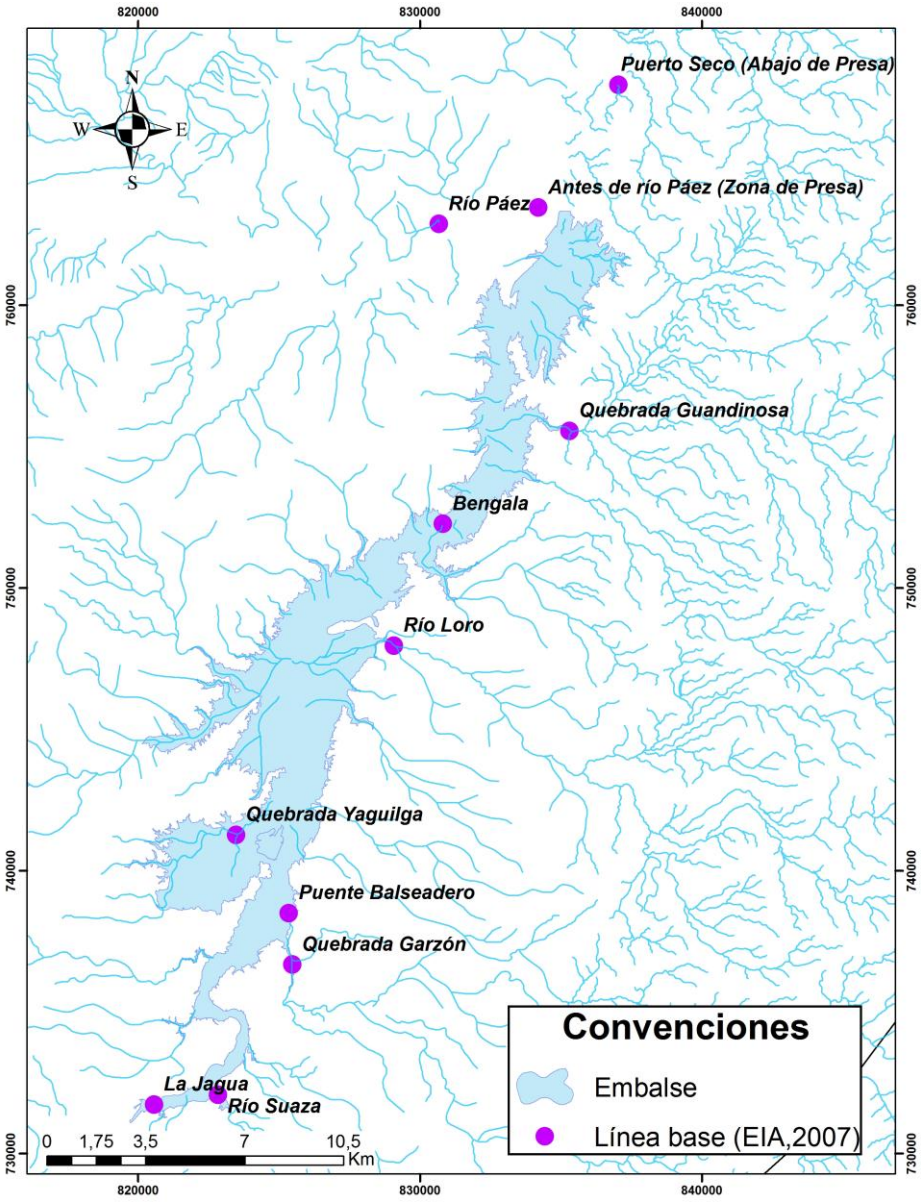

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO DE AGUA PRIORIZADOS PARA EL PRESENTE INFORME. FUENTE: EIA (EMGESA – INGETEC, 2008). ELABORACIÓN PROPIA

1.2.3 Línea base de calidad del agua río Magdalena

De los resultados de los monitoreos realizados en 1996 y reportados por EMGESA - INGETEC (2008[9]) se destacan valores de conductividad con registros entre 88 y 131,6 µS/cm a lo largo del tramo estudiado del río Magdalena. En marzo de 2007, la

[8] EMGESA-INGETEC (2008), Estudio de Impacto Ambiental. Capítulo 3: Caracterización del área de influencia del proyecto. p. 96 – 136.
[9] Íbid

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

conductividad eléctrica presentó un rango de variación de 52,2 a 119 μS/cm y en julio de 2007 estuvo entre 59 y 80,7 μS/cm. Lo anterior indica que en general son registros bajos de conductividad eléctrica que no denotan preocupación alguna por el exceso de sales y sedimentos disueltos que son transportados por el río.

Otro de los parámetros destacados fue el pH el cual reportó en noviembre de 1996 valores entre 7,5 y 8,2, cuyos mayores registros correspondieron al sector de la Jagua y el punto antes de la confluencia del río Páez. En marzo de 2007 se redujo notablemente el pH en Jagua a 7,05, luego se incrementó en Puente Balseadero manteniendo valores semejantes hasta Puerto Seco. En julio de 2007 el rango de variación fue de 7,4 a 7,6. Dicho comportamiento se debe principalmente a la presencia del ion bicarbonato el cual le da la característica alcalina al agua de escorrentía. Cuando el pH está entre 4,3 y 8,3, el dióxido de carbono (CO_2) disuelto en el agua reacciona para formar ácido carbónico (H_2CO_3), el cual finalmente se disocia liberando en el agua iones bicarbonato (HCO_3^-). Esta conversión se completa cuando el pH es igual a 8,3 donde solo estará presente en el agua el ion bicarbonato (McDonald, 2006[10]). Respecto al contenido de oxígeno en el río, ambos periodos (1996 y 2007) muestran buenas condiciones con valores superiores a 6 mg/l.

En cuanto a los iones mayores Ca^+, Mg^+, Cl^-, Na^+ y K^+, entre 1996 y 2007 se evidenció una variación fundamentalmente en el contenido de Ca^+ el cual alcanzó concentraciones hasta siete veces mayor (14 mg/l en la estación Puente Balseadero) de las registradas en el monitoreo inicial. El contenido de dichos iones en el agua reviste importancia en el estudio del impacto a la calidad del agua por construcción de presas para proyectos hidroeléctricos.

Por su parte, los contenidos de compuestos de nitrógeno mostraron reducción de las concentraciones de nitrógeno amoniacal y nitritos entre las campañas de monitoreo de 1996 y 2007 en todas las estaciones evaluadas, y aumento de nitratos durante el 2007. En 1996 el rango de variación del nitrógeno amoniacal fue de 1,1 a 2,1 mg/l, mientras que para el año 2007 se registraron variaciones entre 0,1 y 0,9 mg/l. Los nitritos variaron entre 0,015 y 0,018 mg/l en 1996 y entre 0,002 y 0,014 en 2007, mientras que los nitratos aumentaron su rango de variación desde valores inferiores a 0,5 mg/l durante 1996 hasta 4,5 aguas arriba de la confluencia de río Páez en marzo de 2007.

Respecto al contenido de fósforo en el río Magdalena, que junto con los compuestos de nitrógeno podrían suscitar el crecimiento de macrófitas y otras especies vegetales acuáticas por el exceso de nutrientes, para fósforo orgánico e inorgánico solo presentó lecturas en el año 2007 encontrándose variaciones de concentración de fósforo orgánico entre estaciones no detectables como la de Puente Balseadero hasta 0,19 mg/l en la estación Bengala y de fósforo inorgánico con valores no detectables en la estación Puente Balseadero hasta valores de 0,75 en el mes de marzo de 2007 en la estación de Puerto Seco. En cuanto a los ortofosfatos se encuentran variaciones de valores no detectables a 0,28 mg/l en 1996, mientras que en marzo de 2007 fue de 0,01 a 0,023 mg/l y valores no detectables a 0,12 en julio de 2007.

[10] McDonald, J. (2006). Alkalinity & pH Relationships.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

Finalmente el contenido de sólidos muestra que el río Magdalena ha disminuido la fracción disuelta entre 1996 y 2007. En 1996 se reportó un rango de 83 a 349 mg/l, cuya mayor concentración se presentó en Puerto Seco, aguas abajo de la confluencia con el río Páez, resultado de la carga aportada por éste. Para el 2007, en marzo se obtuvo un rango de 25 a 86 mg/l y en julio de 1 a 38 mg/l. Situación contraria ocurrió para los sólidos suspendidos que presentaron su menor concentración en noviembre de 1996 con un máximo de 328 mg/l aguas abajo del río Páez, mientras que en marzo de 2007 las concentraciones llegaron a 1.659 mg/l en la estación Puerto seco, aguas abajo de la confluencia del río Páez. En julio de 2007, las concentraciones nuevamente se reducen notablemente con valores entre 20 y 93 mg/l.

1.2.4 Línea base de calidad del agua principales tributarios del río Magdalena

Al igual que el río Magdalena, en los monitoreos presentados por EMGESA - INGETEC (2008[11]) en el EIA se destacan los resultados de conductividad, pH, contenido de sales y sólidos, y concentraciones de compuestos de nitrógeno y fósforo.

Los valores de conductividad eléctrica en los tributarios del magdalena variaron de 79,3 a 229,7 μS/cm en el mes de noviembre de 1996. En marzo de 2007, la conductividad eléctrica presentó un rango de variación de 82 a 241μS/cm y en julio de 2007 la conductividad tuvo una variación entre 68,6 y 343 μS/cm. Lo anterior indica que son en general registros bajos de conductividad que no denotan preocupación alguna por el exceso de sales y sedimentos disueltos que son transportados por estas corrientes.

Por su parte el pH reportó en noviembre de 1996 valores entre 7,5 y 8,0 cuyos mayores registros correspondieron al sector de la Jagua y el punto antes de la confluencia del río Páez. En marzo de 2007 los valores reportados fueron 6,8 a 7, y en julio de 2007 el rango de variación fue de 7,3 a 8,2. Dicho comportamiento se debe principalmente a la presencia del ion bicarbonato el cual le da la característica alcalina al agua de escorrentía.

Los iones mayores Ca^+, Mg^+, Cl^-, Na^+ y K^+ mostraron una variación entre 1996 y 2007 fundamentalmente en la concentración de calcio, tal y como ocurrió en el río Magdalena. En noviembre de 1996 las concentraciones reportadas variaron entre 0,4 y 13,7 mg/l. Para el 2007 las concentraciones fueron de 9,5 a 29,1 en marzo y de 8,8 a 26,3 en julio.

Por su parte, los contenidos de compuestos de nitrógeno mostraron reducción de las concentraciones de nitrógeno amoniacal, nitritos y aumento en el contenido de nitratos entre las campañas de monitoreo de 1996 y 2007. El rango de variación en 1996 de nitrógeno amoniacal fue de 1,0 a 2,1 mg/l, mientras que para el año 2007 se registraron variaciones entre 0,035 hasta 0,6 mg/l en marzo y de 0,4 y 1,2 mg/l en julio. Los nitritos variaron 0,016 a 0,024 mg/l en 1996 y entre 0,077 y 0,021 mg/l en las quebradas Garzón y Guandinosa en julio de 2007. Los nitratos aumentaron su rango de variación con valores entre 0,11 y 0,4 mg/l durante 1996 a valores no detectables hasta 0,28 mg/l en la quebrada Garzón en julio de 2007.

En marzo de 2007 se observó una amplia variación en la concentración de fósforo inorgánico entre los cursos de agua estudiados, con valores que van desde 0,03 hasta

[11] Ibíd. p. 96 – 136.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

0,99 mg/l. Para esta época, las mayores concentraciones se presentaron en el río Páez y las quebradas Garzón y Guandinosa. En julio de 2007 se reportaron valores entre 0,08 y 0,23 mg/l. El fósforo orgánico también presentó menores concentraciones en julio de 2007 (desde <0,02 hasta 0,07 mg/l), con poca diferencia entre los puntos de muestreo, a excepción del río Páez donde se incrementó notablemente en julio (0,29 mg/l) y la quebrada Garzón que no presentó concentraciones detectables en marzo.

A partir de la información anterior se concluye que las condiciones fisicoquímicas del río Magdalena a la altura del área de influencia del proyecto hidroeléctrico El Quimbo eran óptimas durante los años evaluados (1996 y 2007) y cumplían con los estándares establecidos por el Decreto 1594 de 1984.

1.2.5 Inconsistencias en la identificación y control de impactos en la calidad del agua

Según el EIA del proyecto elaborado por EMGESA - INGETEC (2008[12]) el área de influencia directa desde el punto de vista de calidad del agua incluye al río Magdalena aguas abajo del sitio de presa y el embalse de Betania, **aspecto que es analizado como impacto potencial del proyecto** durante el llenado y operación. No obstante, en la evaluación ambiental del EIA contenido en el informe de EMGESA - INGETEC (2008[13]) la calificación del impacto potencial en lo que a calidad del agua se refiere es baja, con un valor de 0,72 en una escala de 1 a 10 para el componente específico de: "***Alteración de la calidad de agua del río Magdalena en el embalse el Quimbo, aguas abajo del sitio de presa y del embalse Betania***".

Por lo anterior no se entiende si definido un carácter **potencial** del impacto en la calidad del agua del río Magdalena aguas abajo de la presa, la calificación en la evaluación de impacto sea baja, siendo esto una contradicción. Además, los impactos que recaen sobre la calidad del agua y la vida acuática por proyectos hidroeléctricos han sido ampliamente documentados, y serán descritos brevemente más adelante en el documento algunos estudios que evidencian los impactos ambientales asociados a este tipo de proyectos. Wildi W. (2010)[14] describe que los efectos aguas abajo de la descarga de un embalse son eventuales inundaciones, el transporte masivo de sedimentos y el daño a las comunidades ecológicas. Asimismo, en AIDA (2009[15]), se hace una recopilación de los impactos ambientales registrados en varios estudios de caso de represas en América.

Ahora bien, el EIA del proyecto elaborado por EMGESA - INGETEC (2008) indica que los monitoreos de calidad del agua presentados en la línea base muestran que las aguas del río Magdalena y los tributarios del embalse son de buena calidad. Sin embargo, describe dos situaciones adversas que se podrían presentar: la primera relacionada con el aumento de las concentraciones de nutrientes y materia orgánica en los puntos de descarga en el embalse, que suscitaría el crecimiento de algas planctónicas y macrófitas que una vez se descompongan disminuirán las cantidades de oxígeno disuelto en el agua.

[12] EMGESA-INGETEC (2008), Estudio de Impacto Ambiental. Capítulo 0: Resumen ejecutivo.
[13] EMGESA-INGETEC (2008), Estudio de Impacto Ambiental. Capítulo 5: Evaluación ambiental.
[14] Wildi Walter. (2010). Environmental hazards of dams and reservoirs. NEAR Curriculum in Natural Environmental Science, 2010, Terre et Environnement, Vol. 88, 187 – 197, ISBN 2-940153-87-6
[15] AIDA – Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (2009). Grandes represas en América. ¿Peor el remedio que la enfermedad? Principales consecuencias ambientales y en los derechos humanos y posibles alternativas

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

Y la segunda, se presentará cuando por la operación del proyecto, el nivel del agua baje y en los puntos de entrega de los tributarios queden expuestos sedimentos orgánicos y material flotante generando olores puntuales y condiciones favorables para el desarrollo de larvas de insectos y vectores de enfermedades.

Dichos sedimentos son uno de los elementos de mayor importancia por su manejo dentro del embalse y sus repercusiones aguas arriba y aguas abajo del río Magdalena. La acumulación de sedimentos en la cola del embalse conocido como agradación, es uno de los temas fundamentales en el manejo y control de la calidad del agua. A este respecto, el EIA describe una serie de impactos que se presentan a continuación:

"Los impactos principales que genera la agradación de las colas del embalse son:

- *Cambio en la morfología del lecho aguas arriba del embalse, de las corrientes superficiales que fluyen hacia este*
- *Aumento de los niveles naturales de las corrientes superficiales que fluyen hacia el embalse y por tanto un aumento en la frecuencia de reboses de las corrientes, sobre sus planicies de inundación*
- *Depositación del sedimento transportado por el río sobre nuevas áreas*

Impactos secundarios:

- *Cambio del uso del suelo sobre las áreas donde se depositará el sedimento*
- *Posible acumulación de residuos sólidos arrastrados por el río*
- *Desequilibrio sedimentológico hacia aguas abajo del sitio de presa por retención de los sedimentos en el embalse, lo cual genera una mayor tasa de arrastre y por tanto erosión en el lecho del río aguas abajo de la descarga de la central (…)"*

De lo anterior, es claro que de lo descrito en el EIA como impacto por agradación se da tanto aguas arriba como aguas abajo, en la medida en que existe un cambio en la morfología del lecho del río, se presenta una variación en el transporte de sedimentos y en la hidrodinámica del mismo. Por tanto, no es claro el porqué dentro de la definición de área de influencia directa del proyecto y de lo contemplado en los componentes de alteración de la calidad del agua del río Magdalena solo se contempla aguas abajo del sitio de presa.

1.3 ANTECEDENTES, ACCIONES INSTITUCIONALES Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Para ampliar el espectro de conocimiento relacionado con el proyecto hidroeléctrico El Quimbo y a cómo debieron ser establecidos varios requerimientos técnicos, en este caso particular, garantizar el caudal ecológico y condiciones óptimas de calidad del agua, fueron consultados documentos adicionales que fortalecen el análisis aquí presentado. En lo relativo a caudal ecológico se describen las metodologías de estimación y para calidad del agua se presentan algunos antecedentes documentados que evidencian alteraciones en la calidad del agua del área de influencia del proyecto hidroeléctrico El Quimbo.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

1.3.1 Metodologías para la estimación del caudal ecológico y acciones institucionales

Actualmente existen múltiples metodologías para la estimación del caudal ecológico que pueden ser de tipo hidrológico, hidráulico, simulación de hábitat fluvial y holísticas; en el contexto nacional existen múltiples investigaciones en este tema como las de Camacho, Pinilla & Rodríguez (2013)[16], Parra, (2012)[17] , entre otros.

Tomando como referencia las investigaciones de Camacho, Pinilla & Rodriguez (2013), se plantea una metodología para la estimación del caudal ecológico (la cual recoge el análisis de 31 metodologías aplicadas a nivel internacional) adapatada para el caso colombiano. Se muestran en detalle los criterios minimos para la estimación de caudales ecológicos.

Criterio	Definición	Propuesta
1. Información hidrométrica	Número mínimo de estaciones hidrométricas; tipo de información requerida; nivel de agregación temporal; longitud mínima del registro histórico.	Disponer de dos estaciones hidrométricas, una cercana al sitio de intervención para caracterizar el régimen hídrico, y la otra aguas abajo para analizar el balance hídrico y complementar registros faltantes (Fig. 2). Se sugieren series mayores a diez años de caudales mínimos diarios o medios diarios, que cobijen años húmedos, normales y secos.
2. Consistencia y calidad de la información hidrométrica primaria	Análisis de confiabilidad, homogeneidad y consistencia de los registros hidrológicos disponibles.	Detectar registro disímiles (o no homogéneos) (Tukey, 1977), o puntos anómalos en las series, los los cuales deben removerse. Evaluar confiabilidad de los caudales obtenidos a partir de niveles, y determinar la validez e incertidumbre de la curva de calibración.
3. Variabilidad hidrológica interanual y estacional de la corriente	Mesa *et al.* (1997) y Poveda (2004) han demostrado la importante influencia de fenómenos como El Niño y La Niña, en los regímenes hidrológicos de cuencas colombianas.	Estimar los regímenes mensuales de caudales para las condiciones húmedas (La Niña), promedio y secas (El Niño). Valorar intra-anualmente los períodos húmedos, promedios y secos asociados con la Zona de Convergencia Intertropical. Especificar el patrón: bimodal (zona Andina) o monomodal (Costa Atlántica, Orinoquia y Amazonía). Preservar esta variabilidad en los caudales después de la intervención.
4. Consistencia de la propuesta hidrológica con metodologías de tipo hidrológico de estimación de caudales ambientales internacionalmente aceptadas	Coherencia de la propuesta hidrológica con las metodologías hidrológicas más aplicadas	Garantizar caudales ambientales superiores a los estimados con los índices 7Q10 y Q95 %, los cuales pueden subestimar dichos caudales.
5. Comparación de las características hidrológicas para para las condiciones sin y con proyecto	Análisis de las características hidrológicas de la corriente, para las condiciones sin y con proyecto (series naturales y series hipotéticas o reales después de la intervención-regla de operación del proyecto).	Comparar umbrales de alteración máxima para las condiciones con y sin proyecto a partir de percentiles de la curva de duración de caudales (CDC), la frecuencia de caudales extremos, y los rangos de alteración del régimen hidrológico para los índices incluidos en el *software Indicators of Hydrologic Alteration* (IHA).

[16] Camacho, L. A., Rodriguez, E. A., & Pinilla, G. A. (2013). Propuesta metodológica preeliminar para la estimación de caudal ambiental en proyectos licenciados por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MADS), Colombia

[17] Parra, E. (2012). Modelamiento y manejo de las interacciones entre la hidrología, la ecología, y la economía en una cuenca hidrográfica para la estimación de caudales ambientales. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de minas.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

Criterio	Definición	Propuesta
1. Enfoque comunitario y no específico	Las variables comunitarias son composición, riqueza, diversidad, e interacciones tróficas	Valorar las comunidades bióticas (peces, macroinvertebrados, perifiton, vegetación ribereña) y su integridad ecológica a través de métricas comunitarias.
2. Utilización de variables que integren información de una determinada comunidad	Las métricas que miden de forma agregada la estructura y función se basan en gremios funcionales y grupos tróficos	Medir la cantidad y calidad del hábitat disponible para cada comunidad. La calidad se basará en nutrientes y transparencia para el perifiton, materia orgánica para los invertebrados, nutrientes y agua en el suelo para la vegetación ribereña, y profundidad, velocidad de la corriente, conectividad y oxígeno disuelto para los peces
3. Empleo de las propiedades de sensibilidad o tolerancia de grupos de especies indicadoras (recurriendo a información bibliográfica)	La sensibilidad o tolerancia de los organismos a cambios en la calidad del agua o a variaciones en las condiciones del hábitat, permite conocer el estado del sistema	Identificar y utilizar preferiblemente grupos de especies indicadoras cosmopolitas que se encuentren en muchos ecosistemas de aguas continentales en el mundo
4. El hábitat como base para el desarrollo de las comunidades	El hábitat es el espacio real en donde se da la relación natural entre el ambiente físico y sus habitantes. Los cambios en su cantidad y calidad se reflejarán en la biota.	Evaluar la disponibilidad y calidad del hábitat a través del Índice de Integridad del Hábitat (IIH), para las condiciones con y sin proyecto, utilizando los resultados de caudales ambientales de las fases previas: hidrológica, hidráulica y de calidad del agua.
5. La integridad biótica como medida del estado de salud del ecosistema	Los índices de integridad biótica (IIB) representan la salud y funcionalidad de las comunidades y por tanto el estado general del ecosistema.	Calcular índices de integridad biótica para peces, perifiton, macroinvertebrados y vegetación ribereña, antes del proyecto (para establecer una línea base) y periódicamente una vez se implementen los caudales ambientales estimados.

FIGURA 2. CRITERIOS HIDROLÓGICOS Y ECOLÓGICOS PARA LA PROPUESTA DE CAUDALES AMBIENTALES FUENTE: CAMACHO, L. A., RODRÍGUEZ, E. A., & PINILLA, G. A. (2013). PROPUESTA METODOLÓGICA PRELIMINAR PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDAL AMBIENTAL EN PROYECTOS LICENCIADOS POR EL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS), COLOMBIA

Adicionalmente la Contraloría General de la república (CGR) en 2014[18] se manifestó respecto a las obligaciones ambientales y la construcción actual de hidroeléctricas y particularmente al tema de caudal ecológico en Hidrosogamoso, señalando lo siguiente:

> "*Adicionalmente, la CGR evaluó la metodología empleada para establecer el Caudal Ecológico del Proyecto Hidroeléctrico Hidrosogamoso, el cual según la Resolución 476 de 2000, durante el proceso de llenado debe ser igual a 80m3/s, para esto se tomó como base el documento: "Convenio 004/2007 – Informe final. Metodología para la estimación del caudal ambiental en proyectos licenciados. Realizado por el Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en convenio con la Universidad Nacional de Colombia en el año 2008".*
>
> *En dicho documento, se evidencia que el análisis para establecer el caudal ecológico por parte del proyecto Hidrosogamoso, se realizó únicamente bajo métodos hidrológicos, los cuales no consideran las implicaciones sobre los ecosistemas circundantes y dependientes del Río Sogamoso, dando como resultado un valor inferior al 50% de los Caudales Medios Mensuales – CMM, como se observa en la Tabla 8, y superior al porcentaje establecido bajo Resolución 865 de 2004 del MAVDT del 25% del QMM.*
>
> *En este punto, es necesario mencionar que a pesar que el proyecto tome como valor de caudal ecológico superior al 25% considerado por IDEAM bajo la*

[18] CGR. (2014). Actuación especial autoridad nacional licencias ambientales ANLA-Seguimiento a denuncias ciudadanas para exigir el cumplimiento de las obligaciones ambientales en la actual construcción de hidroeléctricas.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

Resolución 865 de 2004 del MAVDT, esta fracción no se encuentra validada técnicamente, como lo menciona el mismo documento:

"Ciertamente el IDEAM, a través de la Resolución 865 de 2004 del MAVDT propone realizar la estimación del caudal ecológico como el 25% del QMM más bajo. Sin embargo, debe anotarse que esta propuesta no se encuentra reglamentada, validada ni tampoco implementada como para poder evaluar y analizar su efecto sobre los ecosistemas. Adicionalmente, la propuesta del IDEAM se encuentra muy por debajo de otros tipos de metodologías hidrológicas internacionales (…)"[19]

Para la estimación del caudal ecológico en el proyecto hidroeléctrico El Quimbo se puede afirmar que cumple con lo dispuesto con Resolución 865 de 2004; sin embargo, este no es un claro referente para la determinación de caudales ambientales, dado que la metodología seleccionada ("porcentaje de descuento") tiene un alcance general y no se puede cuantificar con certeza los impactos sobre los ecosistemas riparios.

1.3.2 Evidencias de alteración de la calidad del agua en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico El Quimbo

De lo señalado por la CGR (2016[20]) en su informe de auditoría a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) de la vigencia 2015, el control de calidad del agua y de en general, varios componentes ambientales que deben ser objeto de seguimiento y control a través de los Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA) no se estaban realizando. La CGR, señaló un hallazgo relacionado con el "*seguimiento a informes de cumplimiento – ICA*" (H18), que la ANLA no había realizado el seguimiento y evaluación para emitir los conceptos técnicos correspondientes a las ICA 11,12 y 13 presentados por EMGESA. Según este ente control el retraso en el seguimiento es de aproximadamente año y medio.

Además de lo anterior, la CGR en visita realizada en el mes de marzo de 2016, recorrió el sector del embalse donde se localizan las estaciones MG2 (aguas arriba del embalse), MGE1 (aguas abajo - zona de presa) y MG7 (río Páez) y señaló que los monitoreos *in situ* realizados en estos tres sectores presentaron valores de oxígeno disuelto menores a 4mg/l (incumpliendo la norma de calidad – Decreto 1594 de 1984) y pH con valores ácidos (por debajo de 7 unidades). Tales resultados –explica la CGR– difieren con los resultados que venía mostrando el sector antes de la etapa de llenado y operación y que fueron reportados en los ICA 10,11 y 12.

La situación preocupante frente a este hallazgo realizado por la CGR, es que la ANLA no había realizado a tiempo el seguimiento a los ICA 11,12 y 13, como se indicó más arriba, y por tanto, desconocía el comportamiento de la calidad del agua del río Magdalena y sus principales tributarios en el preciso momento en que realizaban el llenado. Sobra decir que es este preciso momento, en que las condiciones de calidad del agua y las medidas para el manejo de la biota acuática deben estar al máximo monitoreadas, pues los

[19] CGR. (2014). Actuación especial autoridad nacional licencias ambientales ANLA-Seguimiento a denuncias ciudadanas para exigir el cumplimineto de las obligaciones ambientales en la actual construcción de hidroeléctricas. Pág 98 y 99

[20] CGR (2016). Informe de Auditoría. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA. Vigencia 2015. Junio de 2016. p.79

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

impactos se ven potenciados una vez cambia la hidrodinámica del río al pasar a un sistema léntico.

2 ANÁLISIS DE ESTIMACIÓN DE CAUDAL ECOLÓGICO PARA EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL QUIMBO

Una vez revisados los TDR y la información para el cálculo del caudal ecológico presentada por (EMGESA-INGETEC, 2008), se procede a realizar el análisis de las series disponibles de la red de monitoreo del IDEAM. Para la zona de estudio se pueden apreciar dos estaciones de interés que corresponden a Pte Balseadero automática (código 21047010) y Paso del colegio (código 21077020).

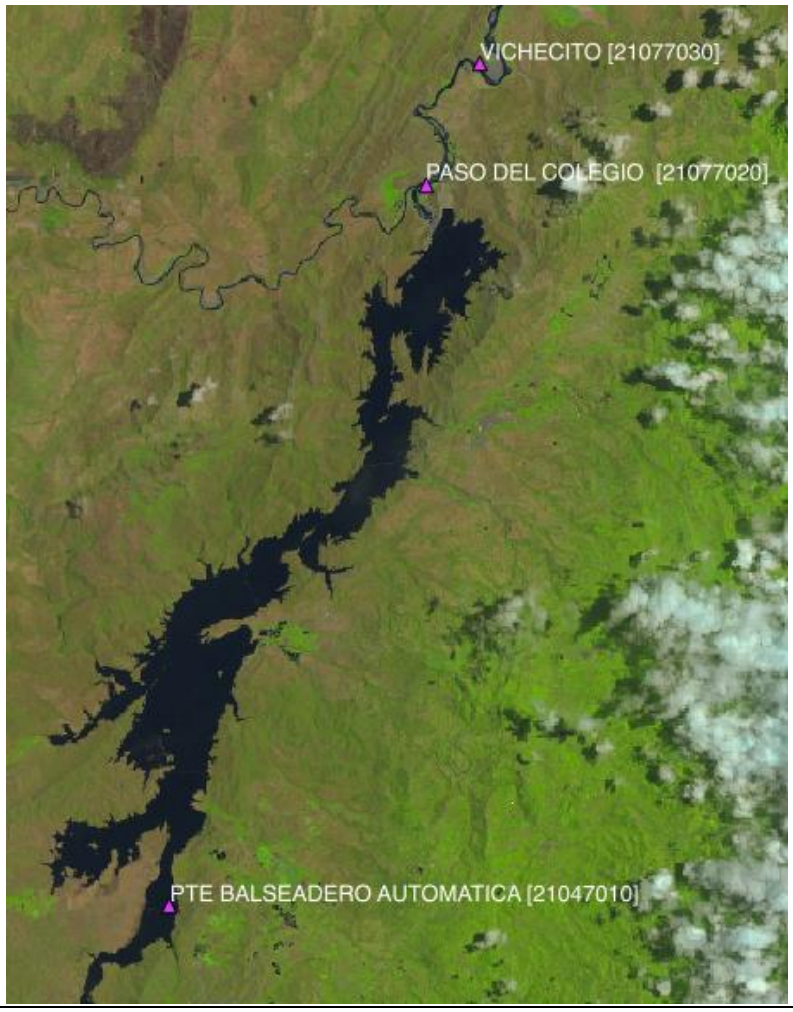

FIGURA 3. ESTACIONES DE LA RED DEL IDEAM DISPONIBLES EN LA ZONA DE ESTUDIO. MODIFICADO DE ASTER LP1 11-18-2015

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

TABLA 1. SERIES DE CAUDALES ASOCIADAS A LA ESTACIONES DEL IDEAM EN LA ZONA DE ESTUDIO

Nombre estación	F.Inicial	F.Final	Longitud (Meses)	Datos faltantes (%)	Media (m3/s)	Desviación Estandar (m3/s)
Pte Balseadero (21047010)	ENE-1966	DIC-2014	588	0.1	220.13	83.69
Paso del colegio (21077020)	ENE-1999	MAR-2015	141	7.1	442.99	165.37

La estación Pte. Balseadero cuenta con una longitud de datos muy buena (mayor a 30 años) y un porcentaje despreciable de datos faltantes. En lo que respecta a la estación Paso del colegio cuenta con una serie corta (longitud 11 años) y una proporción de 12% de datos, por lo que posee una limitación relacionada con el muestreo de procesos a escala multianual.

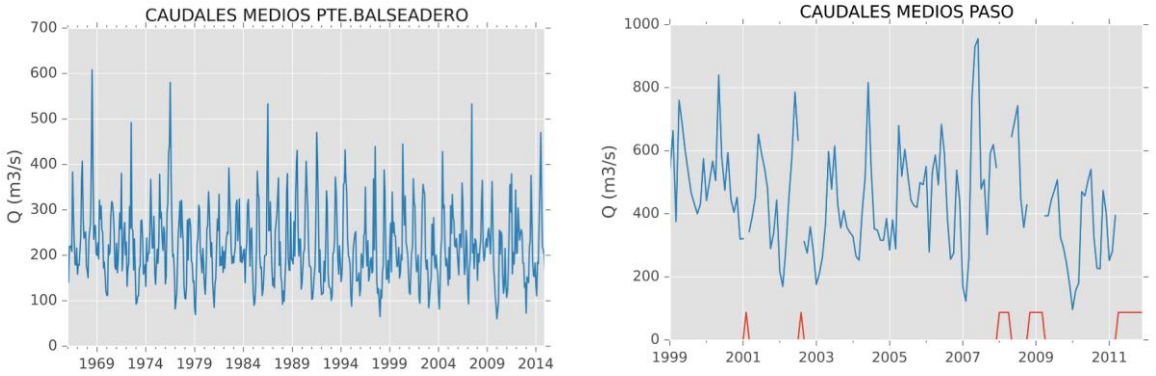

FIGURA 4. SERIE DE CAUDALES MEDIOS DE LA ESTACIÓN PTE BALSEADERO (IZQUIERDA). SERIE DE CAUDALES MEDIOS ESTACIÓN EL PASO DE COLEGIO (DERECHA).

Las series se configuran como el insumo principal para las modelaciones y análisis hidrológicos, para este caso en particular se busca analizar el caudal ecológico en al área de influencia del proyecto El Quimbo. En muchas muchas ocasiones estas series están sujetas a diversas fuentes de errores como fallas en los equipos, cambios de tecnología, reubicación de las estaciones, errores humanos en la toma e interpretación de datos, entre otros. Para la detección de estos errores se pueden emplear técnicas estadísticas que permiten probar homogeneidad (cambios de varianza) y la estacionalidad (principalmente cambios de media) y de esta manera determinar en algún grado la bondad de estas series.

Para la detección de cambios en la media se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon o Mann-Whitney tomando muestras de 120 datos (10 años), donde la media de la muestra 1 (corresponde a los valores de caudal para ti, ti+1, …,ti+n) y muestra 2 (corresponde los valores de caudal para ti,+1 ti+2, …,ti+n+1) . La hipótesis planea la igualdad de medias, donde la media de la muestra 1 es igual ala media de la muestra 2 se afirma que no hay cambios en la media, caso contrario sí se rechaza a hipótesis nula se puede afirmar que existe un cambio en la media; estos análisis se realizaron con un nivel de significancia del 95%.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

Análogamente para la detección de cambios de varianza se realizo el mismo procedimiento usando el estadístico de Bartlett y asumiendo como hipótesis nula la igualdad de varianzas en la muestra 1 y la muestra 2, se muestran los resultados para las pruebas de cambios en la media y en la varianza para las estaciones seleccionadas:

TABLA 2. RESULTADOS DE PRUEBAS DE CAMBIOS DE MEDIA Y VARIANZA PARA LAS SERIES DE LAS ESTACIONES SELECCIONADAS

Nombre estación	F.Inicial	F.Final	Longitud (Meses)	Hipotesis nula para cambio de media	Cambios en la media detectables	Hipotesis nula para cambio de varianza	Cambios en la varianza detectables
Pte Balseadero (21047010)	ENE-1966	DIC-2014	588	APRUEBA	NO	APRUEBA	NO
Paso del colegio (21077020)	ENE-1999	MAR-2015	141	APRUEBA	NO	APRUEBA	NO

Se puede evidenciar que no existen cambios significativos en la media en la varianza por lo tanto es aceptable trabajar con estas series, para los análisis de caudal ecológico únicamente se tendrá en cuenta la estación Pte. Balseadero considerando la consistencia de la serie y que este muestrea únicamente al río Magdalena (corriente de interés) antes de su confluencia con el río Páez.

En lo que concierne a la Resolución 865 de 2004 del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial señala lo siguiente en relación con el caudal ecológico:

> "*El caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua. Existen diversas metodologías para conocer los caudales ecológicos:*
>
> ***Hidrológicas.*** *Se basan en el comportamiento de los caudales en los sitios de interés, para lo cual es necesario el conocimiento de series históricas de caudales.*
>
> ***Hidráulicas.*** *Consideran la conservación del funcionamiento o dinámica del ecosistema fluvial a lo largo de la distribución longitudinal del río, es decir que el caudal de reserva que se deje en los distintos tramos permita que el río siga comportándose como tal.*
>
> ***Simulación de los hábitats****. Estiman el caudal necesario para la supervivencia de una especie en cierto estado de desarrollo.*
>
> ***Mínimo histórico****: El Estudio Nacional del Agua (2.000) a partir de curvas de duración de caudales medios diarios, propone como caudal mínimo ecológico el caudal promedio multianual de mínimo 5 a máximo 10 años que permanece el 97.5% del tiempo y cuyo periodo de recurrencia es de 2.33 años.*
>
> ***Porcentaje de Descuento:*** *El Ideam ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.*
>
> *La autoridad ambiental debe escoger entre las anteriores metodologías de acuerdo con la información disponible y las características regionales particulares*"

Por su parte, EMGESA-INGETEC (2008) para el caudal ecológico señala lo siguiente:

> "*La descarga de fondo tendrá el propósito de suministrar un caudal mínimo en el tramo del río Magdalena localizado entre la presa y la confluencia del río Paez (del*

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

orden de un kilómetro) durante el llenado del vaso del embalse y operación de la central.

Para establecer el caudal mínimo, se siguió la recomendación del IDEAM consignada en la Resolución MAVDT 0864 de julio 22 de 2004"[21]

Con base en el criterio de selección planteado por INGETEC se selecciona la metodología de "porcentaje de descuento" la cual consiste en el cálculo del valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente. Para este propósito se tomó como referencia la serie de la estación Pte. Balseadero, de donde se muestran los resultados obtenidos (Figura 5).

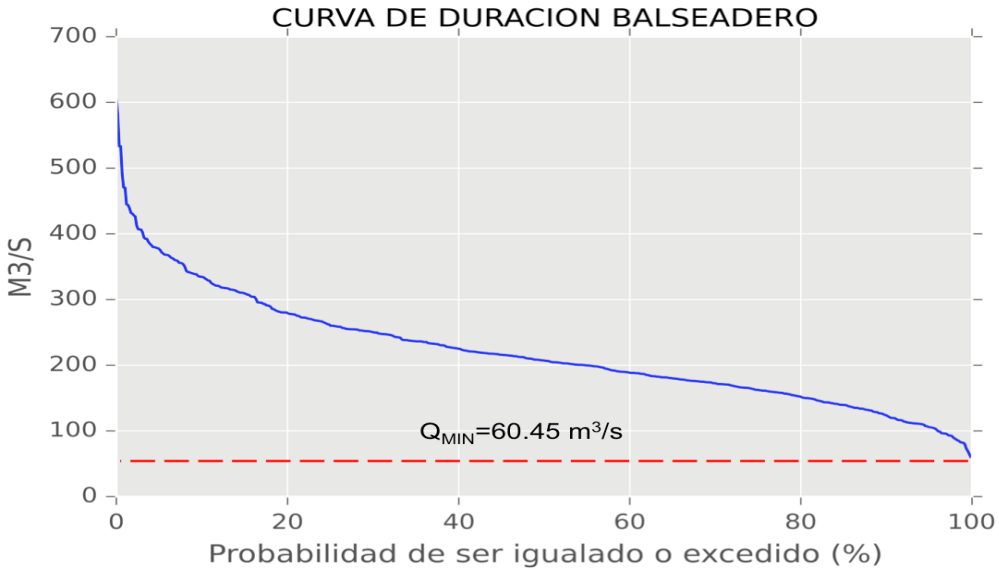

FIGURA 5. CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES PARA LA ESTACIÓN PTE. BALSEADERO CONSTRUIDA A PARTIR DE DATOS MENSUALES.

El caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente corresponde a 60,45 m^3/s por ende el caudal ecológico calculado por esta metodología corresponde a 15,12 m^3/s, por ende los cálculos realizados por EMGESA - INGETEC (2008) cumple con el caudal ecológico mínimo dispuesto por la Resolución 865 de 2004 de MAVDT; acorde con esta resolución para la selección del criterio para la determinación del caudal ecológico se tiene que estar en función de la información disponible y las características regionales particulares, sin embargo en el EIA 2008[22] no se puede apreciar el desarrollo y fundamento técnico asociado para la selección de la metodología.

[21] EMGESA-INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 2.2.
[22] Ibíd

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

3 REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL (ICA): LIMITACIONES EN EL ACCESO A LA INFORMACIÓN Y EVIDENCIAS EN EL DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Los Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA) se consideran como una importante herramienta en el seguimiento y control en cualquier proceso de licenciamiento ambiental. Una vez son identificados los elementos naturales susceptibles a ser afectados y son definidos una serie de planes y programas para su seguimiento y control, la empresa debe allegar los ICA como soporte a dicho seguimiento. Por su parte, la ANLA, en el ejercicio de su misión como autoridad ambiental, debe hacer estricto seguimiento y tomar las medidas sancionatorias si es el caso. A continuación se describen los elementos más importantes identificados en esta revisión, incluidos los datos de calidad del agua disponibles.

3.1 DIFICULTAD PARA ACCEDER A LA INFORMACIÓN Y MANIPULACIÓN DE DATOS DE MONITOREO DE AGUA

Respecto al acceso a la información de monitoreos de calidad del agua y su fácil manipulación para un análisis estadístico representativo, se hace alusión a lo contenido en la Resolución 395 de 2013 que modifica la Resolución 899 de 2009, la cual señala lo siguiente:

> *"Incluir en la presentación y análisis de los resultados de los monitoreos fisicoquímicos e hidrobiológicos, la correlación en el tiempo (tabulación y gráficas), así como el análisis acumulado que permita establecer la tendencia de la calidad del medio en relación con cada una de las variables y la correlación entre las mismas a lo largo de todo el periodo muestreado. Dicha información deberá ser presentada en los próximos ICAs"* [sic]

No obstante lo anterior, dentro de la información disponible en el expediente ANLA 4090, incluidos los ICA, no se encontró información que permita establecer una tendencia clara en la calidad del medio, en este caso particular, el medio hídrico. El análisis acumulado del que habla la Resolución el cual permite identificar tendencias es inexistente, puesto que solo se presenta el comportamiento del periodo correspondiente a la entrega de cada ICA, va en contravía con lo expuesto en la citada Resolución, que da entender la necesidad de un conocimiento generalizado y completo a través del tiempo, lo que requiere del análisis de todos los datos disponibles a lo largo del proyecto.

3.2 SEGUIMIENTO A LA CALIDAD DEL AGUA DE ACUERDO A LOS MONITOREOS CONTENIDOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL – ICA

Pese a la dificultad en el análisis de la tendencia de la calidad del agua en El Quimbo –por la muy distinta frecuencia en el monitoreo de datos tanto en el río Magdalena como en sus tributarios–, fueron consultados los reportes disponibles en los ICA correspondientes a los puntos de monitoreo de aguas superficiales del río Magdalena y sus principales tributarios. Dicha selección, además incluye la comparación con la línea base referenciada en el EIA elaborado por EMGESA – INGETEC (2008). Esta comparación solo se realizó para las estaciones en la que existió coincidencia espacial entre las estaciones de monitoreo empleadas como línea base y las reportadas en la actualidad

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

(solo se presentaron tres casos: estación MG2: *La Jagua*, MGE1: *antes del río Páez* y MGE4: *Puerto Seco*. Lo anterior, con el propósito de analizar los cambios en algunos de los principales parámetros fisicoquímicos reportados en la línea base realizada en 2007 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y las estaciones de monitoreo actual exigidas y señaladas en el Estudio de Impacto Ambiental aprobado mediante Resolución 899 de 2009 (Figura 6). Adicionalmente, se presentan los datos reportados para el control de la calidad del agua del embalse.

3.2.1 Monitoreos de calidad del agua disponibles en los ICA: Río Magdalena y tributarios

La Resolución 899 de 2009, estableció que EMGESA estaba en la obligación de monitorear las aguas del río Magdalena, sus principales tributarios y las aguas del embalse; contemplado en el artículo 10, numeral 4 – Monitoreo y seguimiento. Dichos monitoreos tendrían una periodicidad de dos meses durante la etapa de construcción y tres meses durante la etapa de operación. Las estaciones de monitoreo, tal como lo exige la licencia deben ser representativas de los eventuales impactos producto del desarrollo del proyecto, principalmente sobre la calidad del agua del río Magdalena.

Por lo anterior, fueron definidas una serie de estaciones a lo largo del río Magdalena, de las cuales se destacan zonas importantes como: aguas arriba de la presa (MG2) y aguas abajo del sitio de la descarga (MGE1). La siguiente figura muestra 11 estaciones correspondientes al monitoreo y seguimiento a la calidad del agua del río Magdalena y sus principales tributarios.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

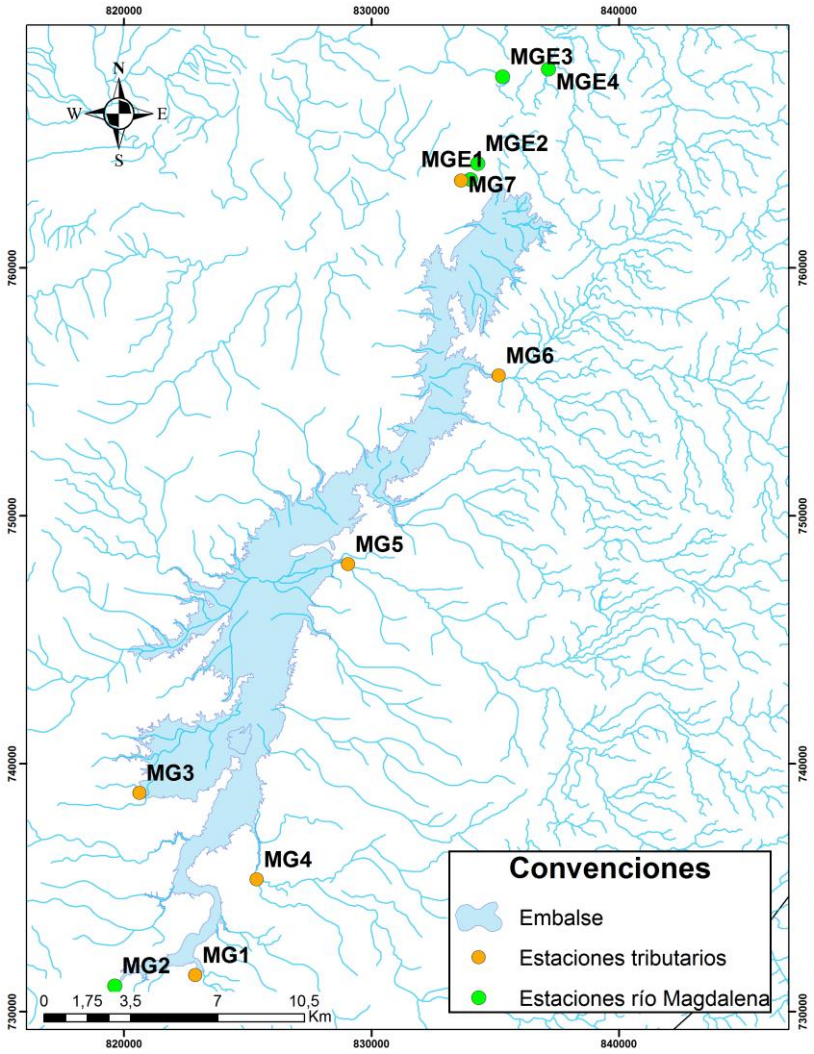

FIGURA 6. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO DE AGUA DEL RÍO MAGDALENA Y PRNCIPALES TRIBUTARIOS. FUENTE: RESOLUCIÓN 759 DE 2015. ELABORACIÓN PROPIA

Debido a la dificultad en el análisis de datos para la identificación de tendencias a lo largo del tramo del río Magdalena afectado por el proyecto, no fue posible realizar un análisis de tendencias que permita ver posibles daños acumulativos por el aumento de contaminantes en el sector del proyecto, especialmente los asociados al contenido de materia orgánica, sedimentos y contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Lo anterior, debido principalmente a que los monitoreos no son coincidentes ni en el tiempo ni en el espacio -lo que impide ver variabilidad de concentraciones en función del tiempo y a la zona como un único sistema. Entiéndase como sistema a la red de quebradas y el tramo del río Magdalena afectado que debería ser analizado en conjunto, situación que no ocurre, pues estos se analizan de forma independiente y desconectada en cada ICA.

Pese a la ausencia de series de tiempo y el limitado número de datos encontrados, fueron identificados los reportes de monitoreos fisicoquímicos disponibles en el expediente y organizados de acuerdo a su ubicación en la zona de influencia de la presa para tener una idea general de la variabilidad en las concentraciones. Las tablas, de la 3 a la 9,

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

presentan el resumen de datos cuyos valores reportados son los rangos y promedios calculados a partir de la información de los ICA (monitoreos al río Magdalena y sus principales tributarios).

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

TABLA 3. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL (ICA) CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA AGUAS ARRIBA DEL EMBALSE

Río Magdalena (La Jagua – EIA 2007)					
Parámetros	**MG2 – Aguas arriba del embalse**				
	Mar-07	**Jul-07**	**Rango**	**Promedio**	***Número de datos total/efectivo**
pH (unidades)	7,05	7,52	6,09 – 8,50	7,54	19
Turbiedad (NTU)	72,3	27,2	2,2 – 980	118,8	17
Oxígeno disuelto (mg O_2/l)	7,40	7,78	4,80 – 9,04	6,65	19
Demanda bioquímica de óxigeno DBO5 (mg O_2/l)	<1	<1	3 – 23	4,8	26/12
Demanda química de oxígeno (mg 0_2/l)	11	18	10 – 79	32,7	23
Sólidos totales (mg/l)	178	84	82 – 1405	222,8	24
Nitrógeno amoniacal (mg N-NH_4/l)	0,48	0,66	0,1 – 1,2	0,3	25/14
Nitrógeno nitritos (mg N-NO_2/l)	<0,006	0,008	0,001 – 10	1,45	25/18
Nitrogeno nitratos (mg N-NO_3/l)	0,87	<0,05	0,11 – 0,21	0,12	25/11
Fósforo inorgánico (mg/l)	0,08	0,08	0,03 – 0,64	0,13	25/17
Fósforo orgánico (mg/l)	0,10	<0,02	0,06 – 0,09	0,06	23/12
Ortofosfatos (mg P/l)	0,11	0,02	0,06 – 0,13	0,09	13/3

*Algunos de los datos fueron descritos como valores relativos (< "valor") de acuerdo al límite de detección empleado por el laboratorio. Por tanto el número total de datos empleados para el cálculo de promedio o lo que se denominó "efectivo" corresponde a los datos absolutos reportados en los ICA.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

TABLA 4. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS PRIORIZADOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA AGUAS ABAJO DE LA DESCARGA

Río Magdalena - Antes del río Páez zona de presa					
Parámetros	**MGE1 – Aguas abajo de la descarga**				
	Mar-07	**Jul-07**	**Rango**	**Promedio**	***Número de datos total/efectivo**
pH (unidades)	7,63	7,41	6,77 – 8,37	7,65	84
Turbiedad (NTU)	180	52,6	8,1 – 4890	464,8	50
Oxígeno disuelto (mg O_2/l)	6,17	8,28	1,36 – 8,35	6,13	45
Demanda bioquímica de óxigeno DBO5 (mg O_2/l)	<1	<1	3 – 6	5	55/3
Demanda química de oxígeno (mg 0_2/l)	26	4	6 – 242	41,5	50
Sólidos Totales (mg/l)	568	53	13 – 5114	587,7	54
Nitrógeno amoniacal (mg N-NH_4/l)	0,13	0,63	0,1 – 0,3	0,2	53/7
Nitrogeno nitratos (mg N-NO_3/l)	4,55	<0,05	0,11 – 0,62	0,32	54/26
Nitrógeno nitritos (mg N-NO_2/l)	<0,006	0,008	0,01 – 0,03	0,01	54/25
Fósforo inorgánico (mg/l)	0,24	0,09	0,07 – 2,61	0,29	46
Fósforo orgánico (mg/l)	0,11	0,02	0,06 – 0,74	0,17	54/39
Ortofosfatos (mg P/l)	<0,02	0,04	0,04 – 0,23	0,07	54/31

*Algunos de los datos fueron descritos como valores relativos (< "valor") de acuerdo al límite de detección empleado por el laboratorio. Por tanto el número total de datos empleados para el cálculo de promedio o lo que se denominó "efectivo" corresponde a los datos absolutos reportados en los ICA.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

TABLA 5. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS PRIORIZADOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA AGUAS ABAJO DE LA CONFLUENCIA CON EL RÍO PÁEZ

Río Magdalena			
Parámetros	**MGE2 – Aguas abajo de la confluencia con el río Páez**		
	Rango	**Promedio**	***Número de datos total/efectivo**
pH (unidades)	6,91 – 8,38	7,73	53
Turbiedad (NTU)	8,3 – 4584	523,4	49
Oxígeno disuelto (mg O_2/l)	3,45 – 8,53	6,20	45
Demanda bioquímica de óxigeno DBO5 (mg O_2/l)	3 – 6	3,7	53/6
Demanda química de oxígeno (mg 0_2/l)	8 – 209	40,3	49
Sólidos totales (mg/l)	34 – 7190	750,5	53
Nitrógeno amoniacal (mg N-NH_4/l)	0,2 – 1,9	0,5	53/6
Nitrógeno nitritos (mg N-NO_2/l)	0,01 – 0,03	0,01	53/19
Nitrogeno nitratos (mg N-NO_3/l)	0,12 – 0,50	0,20	53/21
Fósforo inorgánico (mg/l)	0,06 – 2,61	0,32	54/40
Fósforo orgánico (mg/l)	0,06 – 0,74	0,16	53/32
Ortofosfatos (mg P/l)	0,04 – 0,18	0,07	53/26

*Algunos de los datos fueron descritos como valores relativos (< "valor") de acuerdo al límite de detección empleado por el laboratorio. Por tanto el número total de datos empleados para el cálculo de promedio o lo que se denominó "efectivo" corresponde a los datos absolutos reportados en los ICA.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

TABLA 6. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS PRIORIZADOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA AGUAS ABAJO DEL CAMPAMENTO

Río Magdalena			
Parámetros	**MGE3 – Aguas abajo del campamento**		
	Rango	**Promedio**	***Número de datos total/efectivo**
pH (unidades)	7,2 – 8,38	7,78	53
Turbiedad (NTU)	19,8 – 3870	585,3	48
Oxígeno disuelto (mg O_2/l)	3,79 – 8,40	6,23	45
Demanda bioquímica de óxigeno DBO5 (mg O_2/l)	3 – 4	3,8	53/4
Demanda química de oxígeno (mg 0_2/l)	9 – 121	34,5	48
Sólidos totales (mg/l)	26 – 2837	598,1	53
Nitrógeno amoniacal (mg N-NH_4/l)	0,2 – 2,4	0,6	53/6
Nitrógeno nitritos (mg N-NO_2/l)	0,01 – 0,05	0,01	53/25
Nitrogeno nitratos (mg N-NO_3/l)	0,13 – 0,47	0,22	54/16
Fósforo inorgánico (mg/l)	0,06 – 0,95	0,24	53/41
Fósforo orgánico (mg/l)	0,06 – 0,77	0,17	53/31
Ortofosfatos (mg P/l)	0,04 – 0,14	0,07	54/30

*Algunos de los datos fueron descritos como valores relativos (< "valor") de acuerdo al límite de detección empleado por el laboratorio. Por tanto el número total de datos empleados para el cálculo de promedio o lo que se denominó "efectivo" corresponde a los datos absolutos reportados en los ICA.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

TABLA 7. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS PRIORIZADOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA AGUAS ABAJO DE LA PRESA (ANTES DE BETANIA)

Río Magdalena – Puerto Seco					
Parámetros	**MGE4 – Antes de Betania**				
	Mar-07	**Jul-07**	**Rango**	**Promedio**	***Número de datos total/efectivo**
pH (unidades)	7,59	7,4	7,2 – 8,8	7,85	83
Turbiedad (NTU)	875	87,4	11,4 – 3850	370,7	49
Oxígeno disuelto (mg O_2/l)	6,89	7,52	4,29 – 8,42	6,16	44
Demanda bioquímica de óxigeno DBO5 (mg O_2/l)	13	1	4 – 5	4,3	53/3
Demanda química de oxígeno (mg 0_2/l)	32	10	6 – 153	35,3	49
Sólidos totales (mg/l)	1824	317	18 – 2822	537,8	53
Nitrógeno amoniacal (mg N-NH_4/l)	0,94	0,76	0,1 – 0,3	0,2	53/3
Nitrógeno nitritos (mg N-NO_2/l)	<0,006	0,016	0,01 – 0,03	0,01	54/17
Nitrogeno nitratos (mg N-NO_3/l)	2,33	<0,05	0,11 – 0,49	0,25	53/13
Fósforo inorgánico (mg/l)	0,75	0,11	0,06 – 1,32	0,24	53/41
Fósforo orgánico (mg/l)	<0,02	0,05	0,06 – 0,72	0,19	53/36
Ortofosfatos (mg P/l)	<0,02	0,05	0,04 – 0,18	0,07	53/30

*Algunos de los datos fueron descritos como valores relativos (< "valor") de acuerdo al límite de detección empleado por el laboratorio. Por tanto el número total de datos empleados para el cálculo de promedio o lo que se denominó "efectivo" corresponde a los datos absolutos reportados en los ICA.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

TABLA 8. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS PRIORIZADOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA PARA LOS TRIBUTARIOS MG1, MG4 Y MG3

Parámetros	Tributarios río Magdalena								
	MG1– R. Suaza aguas arriba del embalse			MG4 – Q. Garzón			MG3 – Q. Yaguilga		
	Rango	Promedio	*Número de datos total/efectivo	Rango	Promedio	*Número de datos total/efectivo	Rango	Promedio	*Número de datos total/efectivo
pH (unidades)	6,88 – 8,82	7,66	19	7,13 – 10,09	7,86	20	7,54 – 8,79	8,3	19
Turbiedad (NTU)	9,3 – 392	93,1	19	19,2 – 1554	211,3	18	2,3 – 643	144	18
Oxígeno disuelto (mg O_2/l)	4,36 – 8,11	6,38	18	4,16 – 7,86	6,11	19	4,14 – 8,54	5,89	18
Demanda bioquímica de óxigeno DBO5 (mg O_2/l)	1 – 3	2,27	22/13	2 – 27	8,5	25/24	1 – 9	3,3	23/13
Demanda química de oxígeno (mg O_2/l)	2 – 53	26	27/25	12 – 152	45,2	25	4 – 75	31,6	24/20
Sólidos totales (mg/l)	83 – 2364	307,4	26	100 – 3285	424,1	25	73 – 1042	324,8	23
Nitrógeno amoniacal (mg N-NH_4/l)	0,1 – 0,6	0,2	26/18	0,1 – 2	0,6	25/19	0,02 – 0,4	0,2	23/15
Nitrogeno nitratos (mg N-NO_3/l)	0,05 – 0,25	0,13	26/16	0,11 – 1,24	0,52	26/19	0,05 – 0,62	0,27	23/16
Nitrógeno nitritos (mg N-NO_2/l)	0,01 – 8	0,81	26/20	0,01 – 70	10,9	25/24	0,01 – 17	1,6	23/19
Fósforo inorgánico (mg/l)	0,05 –0,3	0,12	25/17	0,06 – 0,7	0,3	25/19	0,04 – 0,3	0,13	23/14
Fósforo orgánico (mg/l)	0,06 –0,53	0,12	25/15	0,02 – 0,41	0,3	22/16	0,02 – 0,45	0,11	22/13
Ortofosfatos (mg P/l)	0,08 – 0,22	0,15	10/3	0,07 – 0,36	0,17	12/5	0,08 – 0,13	0,11	11/3

*Algunos de los datos fueron descritos como valores relativos (< "valor") de acuerdo al límite de detección empleado por el laboratorio. Por tanto el número total de datos empleados para el cálculo de promedio o lo que se denominó "efectivo" corresponde a los datos absolutos reportados en los ICA.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

TABLA 9. RESUMEN ESTADÍSTICO DE DATOS FISICOQUÍMICOS PRIORIZADOS CONSULTADOS EN LOS INFORMES DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL CUYOS AÑOS REPORTADOS SON ENTRE 2011 Y 2016 EN EL RÍO MAGDALENA PARA LOS TRIBUTARIOS MG5, MG6 Y MG7.

Parámetros	Tributarios río Magdalena								
	MG5 – Q. Ríoloro			MG6 – Q. Guandinosa			MG7 – R- Páez		
	Rango	Promedio	*Número de datos total/efectivo	Rango	Promedio	*Número de datos total/efectivo	Rango	Promedio	*Número de datos total/efectivo
pH (unidades)	7 – 8,7	8,02	20	7,48 – 8,79	8,17	19	6,88 – 8,52	7,80	35
Turbiedad (NTU)	2,6 – 102,4	39,6	18	4,6 – 325	73	18	5,2 – 4310	720,6	30
Oxígeno disuelto (mg O_2/l)	4,02 – 8,81	6,29	18	4,29 – 8,38	6,22	19	4,57 – 8,66	6,45	46
Demanda bioquímica de óxigeno DBO5 (mg O_2/l)	1 – 3	2,8	25/13	1 – 7,5	3,2	25/14	3 – 36	8,8	35/6
Demanda química de oxígeno (mg 0_2/l)	5 – 43	20,5	25/24	6 – 84	29,4	25	10 – 150	48,2	29
Sólidos totales (mg/l)	38 – 348	142,6	25	98 – 1104	225,3	25	32 – 6683	1002	35
Nitrógeno amoniacal (mg N-NH_4/l)	0,02 – 0,7	0,2	25/16	0,1 – 0,5	0,3	25/17	0,1 – 0,6	0,3	35/8
Nitrogeno nitratos (mg N-NO_3/l)	0,05 – 0,41	0,18	25/14	0,11 – 0,49	0,26	25/18	0,14 – 0,59	0,36	35/5
Nitrógeno nitritos (mg N-NO_2/l)	0,01 – 9	0,86	25/10	0,01 – 45	3,65	25/21	0,01 – 0,03	0,01	35/17
Fósforo inorgánico (mg/l)	0,03 – 0,28	0,1	25/15	0,06 – 0,66	0,16	23/16	0,06 – 0,84	0,29	35/23
Fósforo orgánico (mg/l)	0,03 – 0,26	0,08	23/15	0,03 – 0,23	0,09	23/14	0,06 – 1,73	0,29	35/18
Ortofosfatos (mg P/l)	0,07 – 0,10	0,09	12/2	0,08 – 0,22	0,15	10/3	0,04 – 0,18	0,07	35/20

*Algunos de los datos fueron descritos como valores relativos (< "valor") de acuerdo al límite de detección empleado por el laboratorio. Por tanto el número total de datos empleados para el cálculo de promedio o lo que se denominó "efectivo" corresponde a los datos absolutos reportados en los ICA.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

Respecto al comportamiento general en el río Magdalena (tablas 3 a la 7), se observa variabilidad en las concentraciones de materia orgánica, sedimentos y aporte de nutrientes entre la estación aguas arriba del embalse (MG2) y las estaciones localizadas aguas abajo (MGE1, MGE2, MGE3, MGE4). Los datos reportan un comportamiento particular en los valores de sólidos totales entre la estación MG2 y MGE1, cuyos rangos de concentración varían significativamente. Para la estación MG2 los valores están entre 82 y 1405 mg/l (aguas arriba del embalse) y para la segunda estación el rango se amplía significativamente; (13 a 5114 mg/l).

Continuando el análisis aguas abajo se localiza la estación MGE2, que corresponde al río Magdalena después de la confluencia con el Páez. Se observa un importante aporte de sólidos en este tramo pues se reporta un rango de valores entre 13 y 7190 mg/l. Situación contraria la que ocurre en las dos últimas estaciones (MGE3 y MGE4) donde las concentraciones de sólidos baja significativamente antes de la llegada a la presa de Betania. Lo anterior indica que en el río Magdalena aguas abajo del embalse existe una importante concentración de sólidos aportados por la estructura pues ya se vio que los valores aguas arriba son considerablemente más bajos. Además, prueba de este aporte diferenciado de sólidos en este tramo del río, se suman los reportes de línea base en las estaciones MG2 que no superaba los 200 mg/l y la MGE1 no superaba los 600 mg/l; es decir, posterior a la construcción y operación de la presa en estos dos tramos del Magdalena los sólidos totales son **siete y ocho veces más altos**.

Respecto al contenido de DBO y DQO, teniendo en cuenta los datos de línea base y la variabilidad presentada especialmente entre las estaciones MG2 y MGE1, se observa una tendencia al aumento de concentraciones con registros máximos de 242 mg/l de DQO aguas abajo de la presa. En este sitio en particular, la línea base de 2007 para DQO fue de 26 mg/l. La última estación reportada (MGE4) ubicada antes de la represa de Betania muestra como se recuperan las condiciones del río al disminuir los valores de DBO y DQO, lo que implica una reducción en la descomposición biológica y química de la materia orgánica que ha llegado al río, siendo estas condiciones favorables respecto a la disponibilidad de oxígeno.

El contenido de nitrógeno y fósforo muestra incrementos en la zona aguas abajo de la presa (MGE1), en particular el contenido de nitrógeno amoniacal, cuyos valores de línea base son 0,76 y 0,94 y los registros de los seis años analizados mostraron valores máximos de 2,4, es decir, las concentraciones son **tres veces más altas después de la construcción y operación de la presa.**

Asimismo, el contenido de nitritos tuvo alta variabilidad aguas arriba de la presa (MG2), puesto que mostró valores de línea base menores a 0,006 mg/l y, posterior a la construcción del proyecto se han reportado valores máximos de 10 mg/l. Según la EPA (2001) los nitritos en aguas no contaminadas son normalmente bajos, por debajo de 0,03 mg/l. Esto demuestra que antes de la llegada del proyecto El Quimbo, los valores de nitritos correspondían con los valores de aguas no contaminadas.

Los altos contenidos de compuestos de nitrógeno y fósforo generan el enriquecimiento excesivo de nutrientes tanto en el embalse, como en la cola y aguas abajo del embalse. Al existir una concentración excesiva de estos nutrientes se da origen al crecimiento acelerado y voluminoso de algas que impiden la entrada de luz alterando los procesos de fotosíntesis.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

Respecto a los parámetros medidos *in situ,* pH y OD, referentes importantes que dan indicios de la calidad del agua y la posibilidad de vida acuática, se observó lo siguiente: para pH se reportaron datos fundamentalmente alcalinos a lo largo del río Magdalena. Aguas arriba de la presa el rango de datos fue de 6,09 a 8,50 y aguas abajo de la descarga fue de 6,77 a 8,37. Por su parte, el OD, parámetro de gran interés por su relación con la vida acuática y la actividad pesquera de la zona (que se vio fuertemente afectada por el proyecto), se encuentra lo siguiente: aguas arriba de la presa el rango reportado fue de 4,8 a 9,04 mg/l, valores que cumplen con el límite establecido por el Decreto 1594 de 1984, distinto de lo ocurrido **aguas abajo de la descarga donde el rango reporta valores significativamente bajos; entre 1,36 y 8,35**. Aunque en las siguientes estaciones aguas abajo y antes de la represa de Betania se observa una recuperación del contenido de oxígeno del río, es claro el impacto que tiene la descarga de aguas provenientes de la zona embalsada que ya no cuenta con las características de calidad que tiene aguas arriba antes de la represa y que permiten la vida acuática.

Si bien, fue posible identificar los impactos que sobre la calidad del agua tiene la construcción y operación del proyecto El Quimbo con la información disponible, es preciso recalcar en el aspecto de la **representatividad** del monitoreo realizado por EMGESA. Siendo este un monitoreo no adecuado, o al menos fue lo que se identificó en los reportes cuya temporalidad no permite el análisis de tendencias, los formatos de entrega no son adecuados para la manipulación y análisis estadístico de datos, los datos disponibles en el expediente son muy pocos y ante un proyecto de esta magnitud en el río más importante del país es inaceptable tal situación.

Ahora bien, el río Magdalena no es la única fuente hídrica impactada por la construcción del proyecto. A este, se suman otros ríos y quebradas tributarias que fueron inundadas parcialmente y que por ende cambian drásticamente su hidrodinámica. Es el caso de río Suaza y las quebradas Suaza, Garzón, Ríoloro, Guandinosa y Yaguilga, y los impactos que recaen también sobre el río Páez, cuya confluencia con el Magdalena está muy cerca de la zona de presa. Lo observado en el comportamiento de los tributarios es similar a lo descrito para el Magdalena. En general, se observan altos contenidos de sólidos, incluso más altos por momentos que en el Magdalena (como es el caso del río Páez con valores de más de 6000 mg/l). Asimismo, existe una tendencia al aumento y enriquecimiento de compuestos de nitrógeno y fósforo; especialmente de nitrógeno en las quebradas Ríoloro y Suaza, con valores mayores que los reportados en el río Magdalena en el contenido de Nitritos.

En cuanto al pH se observan valores fundamentalmente alcalinos, especialmente en la quebrada Garzón. El OD en todos los tributarios mantuvo valores superiores a 4 mg/l lo que es consecuente con lo exigido en el Decreto 1594 de 1984.

3.2.2 Monitoreos de calidad del agua disponibles en los ICA: embalse

Luego de las obligaciones adquiridas en la Resolución 899 de 2009, respecto a los monitoreos que debían ejecutarse en el embalse durante la fase de llenado y operación, y con las respectivas modificaciones en el numeral 4.1 consignadas en la Resolución modificatoria 759 de 2015, fueron revisados los ICA correspondientes a los años 2015 y 2016. Dichos monitoreos fueron consultados en el informe correspondiente al ICA 14 en el

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

cual se adjunta un documento elaborado por el EMGESA - Daphnia Ltda (2016[23]). El objetivo del monitoreo presentado en este informe fue realizar seguimiento a las condiciones de calidad del agua del río Magdalena durante la fase de llenado, fase que presenta mayores impactos en la calidad del agua y la preservación de la vida acuática. Los registros disponibles corresponden al lapso entre diciembre de 2015 y febrero de 2016. La siguiente figura presenta las estaciones empleadas para el seguimiento de la calidad del agua del embalse.

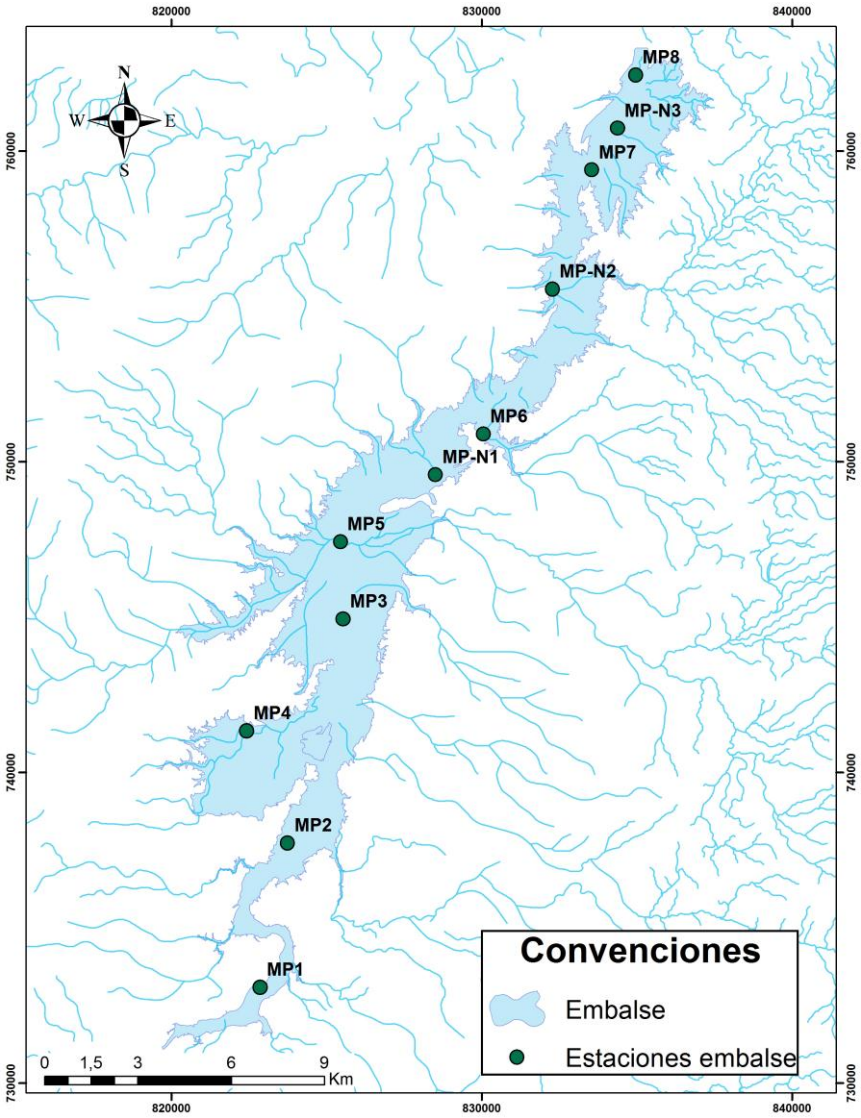

FIGURA 7. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO DE AGUAS EN EL EMBALSE. FUENTE: EMGESA - DAPHNIA LTDA, 2016. ELABORACIÓN PROPIA

[23] EMGESA – Daphnia (2016). Análisis de calidad de agua. Análisis de laboratorio. embalse El Quimbo. Diciembre 2015 – Febrero 2016.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

El monitoreo consistió en establecer la variabilidad de las concentraciones de diferentes parámetros fisicoquímicos medidos sobre la vertical, tanto en punto ubicado sobre el río Magdalena aguas arriba del embalse y en las once estaciones señaladas en la Figura 7. De manera que las muestras tomadas en las once estaciones se establecieron así: tres sectores del embalse para cada punto de monitoreo: superficie, parte media y fondo.

Los datos reportados para las tres zonas medidas en el perfil vertical (superficial, media, fondo) del embalse, muestran una tendencia a la alta en todas las estaciones –sin excepción– para las concentraciones de compuestos de nitrógeno; especialmente nitratos. Este comportamiento diferenciado se presenta a partir de la semana 30, es decir, los monitoreos realizados en el mes de enero de 2016. Se observa como la semanas previas, el contenido de nitratos no superaba los 0,17 mg/l y a partir de dicha semana se reportan concentraciones hasta de 0,63 mg/l. Respecto al contenido de sólidos y carga orgánica, no se observa un comportamiento particular durante este lapso.

En cuanto al contenido de materia orgánica, el documento de EMGESA – Daphnia (2016) señala que hay evidencias de contaminación por materia orgánica en algunas de las semanas monitoreadas. Los niveles altos de DQO observados se presentaron en la semana 25 en el MP4 (fondo), en la semana 29 en el MP7 (fondo); en la semana 32 en el MP4 (fondo); en la semana 33 en el MP2 (Fondo) y MP8 (fondo); y en la semana 35 en el MP1. Los valores reportados corresponden a concentraciones entre 30 y 65 mg/l.

Por su parte, la DBO5, se resaltan cantidades sugieren contaminación (valores superiores a 10 mg/l) en la semana 27 en el MP4 (fondo), en la semana 28 en el MP-N1 (fondo), en la semana 30 en el MP5 (fondo) y MP-N1 (superficie), y en la semana 32 en el MP5 (superficie y fondo) y MP6 (fondo).

Respecto a parámetros *in situ*, como temperatura, pH, y oxígeno disueto –importantes para el conocimiento de la dinámica vertical en el embalse –, no se encontraron registros dentro del documento EMGESA – Daphnia (2016).

3.2.3 Evidencia de impactos ambientales relativos a ecosistemas acuáticos por proyectos hidroeléctricos

El 33% de las especies de peces de agua dulce del mundo, están en peligro de extinción o son vulnerables, y la razón principal es la implementación indiscriminada de represas o embalses. Un significativo pero desconocido porcentaje de crustáceos, moluscos, anfibios y especies de plantas y aves que dependen del hábitat de agua dulce también están extintos o en peligro de extinción. Las descargas de agua fría de la presa afectan considerablemente algunas especies de peces y toda la biodiversidad que depende de las inundaciones naturales. Desplaza animales de ecosistemas y en escenarios extremos estos mueren; afecta humedales, fuentes subterráneas de agua, bosques únicos y la fertilidad de las tierras. Los embalses bloquean por kilómetros el paso de peces, insectos y animales terrestres hacia el río arriba o río abajo. La contaminación del agua en la represa Belem en Brasil generó 300,000 toneladas de carbono expuestos que produjo espuma tóxica y mató a fauna y flora (Castro Soto, 2005).[24]

[24] Castro Soto.G (8 de junio de 2005) *Impacto y Consecuencias de las Represas*. Obtenido de Eco-Portal.net:http://www.ecoportal.net/TemasEspeciales/Agua/Impacto_y_Consecuencias_de_las_Represas

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

En Colombia los estudios de gestión de riesgo se orientan en su mayoría a los desastres naturales. Además, no hay una normatividad clara para la realización de dichos estudios en los casos de rotura de presas, o Planes de Contingencia para embalses ya construidos, en los que no se considera un análisis de riesgo de este tipo por ser un evento accidental.

El análisis de impacto ambiental relacionado con la ruptura de presas se ha realizado con el fin de examinar las consecuencias directas sobre los ecosistemas que se encuentran aguas abajo, evalúa los impactos sobre el agua, fauna, flora, aire y suelos. Algunos de estos siendo la alteración de la estructura ecológica del paisaje, de suelos para actividades agropecuarias, de la dinámica ecológica, de la productividad acuática, ecosistémica terrestre y agropecuaria, la pérdida de oferta de espejo de agua para actividades recreativas, así como la pérdida de biodiversidad. Estas consecuencias son diversas y difícilmente medibles o valoradas económicamente, además de incluir efectos tanto directos e indirectos como de corto o largo plazo (Rodriguez Moreno, 2014[25]).

Con la ruptura de una presa y la salida súbita del agua se consideran impactos primarios directamente sobre la biota del área afectada, y que generan a su vez impactos secundarios principalmente físicos. Algunos efectos son: salida de concentraciones de materia orgánica, gases reducidos, fauna y vegetación acuática que se encontrarían en el área embalsada, la erosión de laderas por alta energía del agua expulsada, afectación de la atmósfera por depositación de sedimento contaminado, arrastre de vegetación, migración y muerte de fauna terrestre o acuática. La combinación de todos estos fenómenos genera además impactos ecosistémicos integrales, como modificación de la geomorfología y del paisaje, alteración del uso potencial del suelo, pérdida de hábitats y disminución de poblaciones de fauna y de flora (Rodriguez Moreno, 2014[26]).

Así mismo, la salida excesiva de sedimentos que se encontraban en el fondo del área embalsada y que son aportados al lecho del río, altera en gran medida las propiedades fisicoquímicas del suelo en el área inundable, la reducción de hábitats acuáticos en la planicie aluvial y cambios en la geomorfología del cauce. Afectando así, el uso potencial del suelo y la dinámica hidráulica del sistema. Se debe tener en cuenta el tamaño de las partículas que salen de la presa, puesto que dependiendo de la granulometría del material el impacto es diferente.

Según Rodríguez (2014[27]) el grado de impacto ambiental ocasionado aguas abajo, posterior a la ruptura de la presa, puede ser dimensionado a partir del análisis de los siguientes parámetros.

En ecosistemas acuáticos:

- *Concentraciones de OD (Oxígeno Disuelto), DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno)* en el agua, estas mediciones brindan información del *IQ (Índice de calidad de agua)* cuyo valor debe tender a cero

[25] Rodriguez Moreno, R. (abril de 2014). Consecuencias ambientales por falla o rotura de presas en el marco del análisis de riesgos. (E. C. Ingenieria, Ed.) Bogotá, Colombia
[26] Op cit
[27] Op cit

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

si se espera que las condiciones antes y después del evento sean similares. Si se presenta un aumento en las concentraciones de materia orgánica e inorgánica en el sistema se podría generar eutrofización del agua, especialmente en la planicie de inundación, un consumo importante de oxígeno disuelto hasta eventuales condiciones de anoxia (con la consecuente afectación directa a los organismos acuáticos) y un eventual aumento excesivo de nutrientes en el suelo, aguas abajo de la presa.

- *Concentraciones de SDT (Sólidos Disueltos Totales), SST (Sólidos Suspendidos totales)* y *SS (Sólidos Sedimentables)*, estas mediciones brindan información del *IQs (Índice de calidad de agua por sólidos)*, cuyo valor también debe tender a cero. Un aumento en cualquiera de estas variables puede generar la eliminación temporal de organismos perifíticos y bénticos por abrasión y colmatación de superficies que son hábitat para estos organismos, en peces la obstrucción de las branquias disminuyendo la capacidad para asimilar oxígeno, entre otros.

- *Espejo (ha)* y *volumen de agua*. El objetivo es determinar si se presenta una disminución en el espejo de agua y volumen de los ecosistemas lénticos presentes aguas abajo de la presa una vez se presente el evento, lo que implica que se reduzcan hábitats acuáticos en las planicies aluviales por causa de la inundación. El eventual incremento de áreas inundadas podría incrementar la productividad biológica; sin embargo, el ingreso de sedimentos con características limnológicas adversas (altas concentraciones de DBO y de compuestos reducidos), tendría un efecto desfavorable.

- *Morfología del cauce*. Se analiza de cambio en la dinámica hidráulica del sistema aguas abajo de la presa, consecuencia de la rotura. Los cambios en la morfología del cauce, tienen repercusiones directas en la oferta de hábitat y microhábitat para los organismos acuáticos, modificando la estructura y composición de las comunidades y por ende la productividad de los mismos.

- *Cambio de régimen de inundaciones*. Tiene consecuencias directas en la productividad ecológica del sistema y por ende de los servicios ambientales, las alteraciones más importantes se relacionan con la variación en el intercambio de organismos y nutrientes entre la planicie de inundación y el río. Un aspecto relevante es la dinámica de las especies ícticas migratorias cuyo ciclo de vida depende en gran medida de este intercambio.

- *Productividad pesquera*. Se establece una pérdida de la productividad acuática como consecuencia de la rotura de la presa; la idea de establecer especies de importancia para este análisis deriva de la posibilidad de tener un incremento en especies generalistas pero que no responden a un uso o valor ecológico o para las comunidades.

En los ecosistemas terrestres:

- *Concentraciones de H_2S en la atmósfera*. Determina si se presenta un aumento en las concentraciones de gas de ácido sulfhídrico aguas abajo de la presa, lo que puede ocasionar malestar en las comunidades por causa del olor desagradable y que

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

en concentraciones elevadas es un tóxico y puede producir efectos serios en la salud humana o muerte en individuos de fauna terrestre

- *Áreas desnudas (ha*). Determina si aumenta la cantidad de áreas desnudas aguas abajo de la presa después del evento, lo que muestra laderas erosionadas y que conlleva a una pérdida de hábitats y alteraciones del paisaje
- *Cobertura vegetal (ha).* Si se presenta una pérdida de coberturas naturales aguas abajo de la presa después del evento, implica la pérdida de hábitats, vegetación y fauna asociada
- Calidad y cantidad de hábitats
- Poblaciones de fauna y flora. Establece la disminución de poblaciones de fauna y flora como consecuencia de la ruptura de la presa
- Fragmentación
- Diversidad Alfa y Beta

Es necesario tomar en cuenta los sucesos ocurridos es numerables embalses y represas a nivel nacional e internacional, donde la ruptura del dique ha generado catástrofes de alto impacto tanto para el medio ambiente como para las zonas urbanas aledañas a la construcción. Los efectos han sido en múltiples ámbitos tales como pérdida de vidas humanas, daños en infraestructura de carreteras y ciudades, pérdida de biodiversidad, pérdida de zonas agricultoras, pérdida de ganado y demás fauna.

Las principales causas de ruptura de presas a nivel mundial son variadas, entre ellas se encuentran lluvias que superan los caudales de diseño, eventos naturales como tifones, negligencia durante la operación o en la construcción, falta de mantenimiento o problemas de orden público, entre otros (Rodríguez Moreno, 2014[28]).

Por otro lado, los impactos ambientales generados por grandes represas no sólo están asociados a una eventual ruptura de la presa. Se han evidenciado grandes cambios en la calidad del agua aguas arriba, aguas abajo y dentro de los mismos embalses como consecuencia del represamiento de grandes ríos y su consecuente cambio abrupto de cuerpo lótico a léntico.

A continuación se presentan algunos casos de grandes represas en el mundo, en las cuales ya se han evidenciado y registrado afectaciones en la calidad del agua y mortandad de peces relacionado con esta.

Zhong & Power, (1996[29]) describen los impactos generados en comunidades de peces en cuatro represas: la represa de Gezhouba en el río Changjiang, la represa de Danjiangkou en el río Han, la represa de Xinanjiang en el río del mismo nombre y la represa Fuchunjiang en el río Qiantang. Los autores identifican tres tipos de impactos relacionados con proyectos de hidroeléctricas, los cuales se clasifican en impactos de primer orden, que son ocasionados directamente por el proyecto (ejemplo: interrupción de ruta de migración por la presa), impactos de segundo orden, los cuales son ocasionados a partir de cambios físicos o químicos en el hábitat de las comunidades de peces (temperatura, solidos totales disueltos, pH, etc.), y por último impactos de tercer orden,

[28] Op cit
[29] Zhong & Power, (1996). Environmental impacts of hydroelectric projects on fish resources in China.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

generados a partir de actores bióticos en el ecosistema, por ejemplo cambio en la disponibilidad de presas o depredadores y parásitos.

De acuerdo con los resultados obtenidos los autores documentan los impactos de primer y segundo orden:

TABLA 10. IMPACTOS SECUNDARIOS Y PRIMARIOS DOCUMENTADOS EN COMUNIDADES DE PECES POR REPRESAS. FUENTE: ZHONG & POWER, 1996

Tipo	Río	Ubicación	Desencadenante	Impacto
Primer orden	Changjiang, Quiantang	Agua arriba	Rio bloqueado	Peces migratorios no pueden acceder a las zonas de desove aguas arriba
Primer orden	Changjiang	Aguas abajo	Turbina dañada, sobresaturación de nitrógeno	Mortalidad aumenta cuando los peces pasan aguas abajo de la presa
Primer orden	Changjiang, Han	Aguas abajo	Río bloqueado	Hábitat de características torrenciales desaparece aguas abajo de la presa
Segundo orden	Han, Quiantang	Aguas abajo	Baja temperatura	Reproducción de peces se retrasa 20-30 días en el río Han y 30-60 días en el río Quiantang; peces de aguas desaparecen aguas abajo de la represa en el río Xinanjiang.
Segundo orden	Han	Aguas abajo	Baja temperatura	Retraso de la reproducción
Segundo orden	Han, Quiantang	Aguas abajo	Baja temperatura y baja velocidad del agua	Peces anándromos disminuyen o desaparecen
Segundo orden	Quiantang	Aguas abajo	Baja temperatura y descarga reducida	Una importante especie de pez anándromo de China se extinguió
Segundo orden	Han, Quiantang	Represa	Baja velocidad de flujo	Peces de hábitat de características torrenciales desaparecen
Segundo orden	Han, Quiantang, Changjiang	Represa	Represamiento	Las zonas de desove en la represa están inundadas
Segundo orden	Quiantang	Represa	Represamiento	Comunidad de peces dentro de la represa se simplifica
Segundo orden	Han, Quiantang	Aguas abajo	Cambio de factores hidrológicos	Reducción de estímulo para el desove

Vidal (2009[30]) recopila los principales impactos ambientales identificados en algunas de las represas más grandes del mundo, de las cuales destacaremos a continuación aquellas con repercusiones en la calidad del agua aguas arriba, aguas abajo y en el embalse e implicaciones en la ictofauna.

[30] Vidal, J (2009). Investigación sobre Estudios de Impacto Ambiental para proyectos de Embalse de agua. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander – Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

Sobre el río Paraná se encuentran las represas de Itaipú (frontera Paraguay – Brasil) y Yacyreta (Paraguay – Argentina), dos de las más grandes del mundo. Algunos de los impactos ya identificados por su construcción es el descenso de la altura de la columna de agua en el cauce del río Paraná, la cual pasó de 4,05 m en 2007 a 2,58 en 2009. Adicionalmente en el 2003 se registró una gran mortandad de peces (sábalos, mojarras, surubíes, dorados y patíes) al parecer por la falta de oxígeno en el agua. Por otro lado, el CONICET[31] establece que estas dos represas destruyeron el 44% del área reproductiva de surubí, impacto reflejado particularmente en la disminución poblacional y de talla de los grandes peces migradores.

En el caso de la represa de Assuan, ubicada sobre el río Nilo en Egipto, se evidenció sedimentación excesiva aguas arriba del embalse, erosión aguas abajo del mismo, desaparición de especies animales que migraban a lo largo del río, destrucción y salinización del Delta del Nilo por la reducción del caudal del río, disminución de la productividad en las pesquerías, emigración de animales marinos al desplazarse la barrera de salinidad y subida del nivel freático de las aguas en los prados cercanos.

[31] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina)

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

4 CONCLUSIONES

- Los términos de referencia para la elaboración de estudios de impactos ambiental para la construcción y operación de centrales hidroeléctricas generadoras (HE-TER-1-01) presentan grandes deficiencias en lo que respecta a la estimación del caudal ecológico puesto que no se puede apreciar ninguna metodología sugerida para la estimación del caudal ecológico.

- Los cálculos realizados por EMGESA-INGETEC (2008) cumplen con el caudal ecológico mínimo dispuesto por la Resolución 865 de 2004 de MAVDT[32], sin embargo no se puede apreciar el desarrollo y fundamento técnico asociado para la selección de la metodología, lo cual genera incertidumbres a la hora de cuantificar los impactos asociados a la calidad de agua y ecosistemas riparos.

- La calidad del agua del río Magdalena y sus principales tributarios está siendo impactada negativamente producto de la operación del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Los reportes de los Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA) evidencian reducciones sustanciales en el contenido de oxígeno disuelto aguas abajo de la presa, aumento en las concentraciones de sólidos en la cola del embalse y aguas abajo de la presa y aumento en el contenido de nutrientes. Esta variabilidad en las concentraciones de oxígeno, sólidos y contenido de nutrientes es significativa y fácilmente identificable al comparar las lecturas después de las etapa de construcción - operación con las reportadas en la línea base.

- El contenido de oxígeno disuelto, parámetro de gran interés por su relación con la vida acuática y la actividad pesquera de la zona (que se vio fuertemente afectada por el proyecto), se encuentra lo siguiente: aguas arriba de la presa el rango reportado fue de 4,8 a 9,04 mg/l, valores que cumplen con el límite establecido por el Decreto 1594 de 1984. Situación distinta ocurre **aguas abajo de la descarga donde el rango reportan datos con un mínimo de 1,36 mg/l**.

- Se observa altos contenidos de sólidos en los tributarios del río Magdalena, incluso más altos por momentos que el mismo río principal (como es el caso del río Páez con valores de más de 6000 mg/l). Asimismo, existe una tendencia al aumento y enriquecimiento de compuestos de nitrógeno y fósforo; especialmente de nitrógeno en las quebradas Ríoloro y Suaza.

- Los reportes de calidad del agua del embalse mostraron indicios de contaminación por materia orgánica y enriquecimiento de nutrientes. Respecto a parámetros *in situ*, como temperatura, pH, y oxígeno disueto –importantes para el conocimiento de la dinámica vertical en el embalse, y el estudio de la variabilidad en las concentraciones de oxígeno durante el llenado–, no se encontraron registros dentro del documento EMGESA – Daphnia (2016).

- Aunque fue posible identificar los impactos que sobre la calidad del agua tiene la construcción y operación del proyecto El Quimbo con la información disponible en los ICA, es preciso señalar que el monitoreo realizado por EMGESA no es **representativo**.

[32] En resolución 865 se disponen diversas metodologías para la estimación de caudal ecológico en función de la información disponible y las características regionales particulares.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

La temporalidad de los reportes no permite el análisis de tendencias, los formatos de entrega no son adecuados para la manipulación, procesamiento y análisis estadístico de datos, y los datos disponibles en el expediente son muy escasos

- Los impactos a la calidad del agua, en particular en el contenido de oxígeno del río Magdalena aguas abajo de la descarga, fueron evidenciados y documentados por la CGR en los informes de actuación especial de represas (2014) y la auditoría a la ANLA (2016). Dichos hallazgos, se sumaron la falta de control de la ANLA en la revisión de los ICA 11,12 y 13, informes que justo coincidieron con el inicio del llenado y operación. De lo señalado por la CGR es que una vez se lleva a cabo la etapa de llenado se presentan cambios en los contenidos de oxígeno disuelto en el río Magdalena aguas bajo de la descarga y se identifican olores ofensivos. Esta disminución en el contenido de oxígeno se evidencia también en los ICA revisados para el desarrollo del presente trabajo. Los valores más bajos reportados estuvieron en un rango de 1,36 y 3,39, lecturas reportadas en diciembre de 2015, fecha cercana al inicio del llenado que se reporta en el mes de julio de 2015.

- La construcción de grandes represas conlleva a una serie de impactos ambientales asociados no solo con la posible ruptura de la presa sino durante la operación de la misma. Uno de los impactos de mayor interés es sobre la calidad del agua, tanto aguas arriba como aguas abajo del embalse. La drástica disminución de oxígeno en el agua, en particular la zona embalsada y la zona de descarga de aguas turbinadas, la acumulación de sedimentos en la cola del embalse y el enriquecimiento de nutrientes, son algunos de los efectos más importantes. Todos estos, fueron documentados en grandes represas alrededor del mundo (Brasil, China y Egipto)

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

5 RECOMENDACIONES

- Se sugiere la implementación de metodologías para la estimación de caudal ecológico en los términos de referencia para la elaboración de estudios de impactos ambiental para la construcción y operación de centrales hidroeléctricas generadoras.
- Implementar un plan de monitoreo sistemático (escala horaria) de niveles, caudales líquidos y caudales sólidos a la entrada y a la salida de la estructura que permita el flujo del caudal ecológico. Lo anterior, para realizar el monitoreo de las condiciones del río en las distintas etapas del proyecto (construcción, llenado, operación y desmantelamiento).
- Se recomienda establecer una metodología de entrega de resultados dentro del programa de monitoreo de calidad del agua; entiéndase análisis de laboratorio, datos de campo, ubicación y nomenclatura de estaciones, en formato digital que permita su trabajo estadístico y análisis de series de tiempo (tablas de Excel). De esta forma será posible realizar un análisis de variabilidad temporal de los parámetros fisicoquímicos más importantes a la hora de ejecutar un proyecto de esta índole.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org

REFERENCIAS CITADAS

- AIDA – Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (2009). Grandes represas en América. ¿Peor el remedio que la enfermedad? Principales consecuencias ambientales y en los derechos humanos y posibles alternativas
- Camacho, L. A., Rodriguez, E. A., & Pinilla, G. A. (2013). Propuesta metodológica preeliminar para la estimación de caudal ambiental en proyectos licenciados por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MADS), Colombia
- Castro Soto.G (8 de junio de 2005) Impacto y Consecuencias de las Represas. Obtenido de EcoPortal.net:http://www.ecoportal.net/TemasEspeciales/Agua/Impacto_y_Consecuencias_de_las_Represas
- EMGESA – Daphnia (2016). Análisis de calidad de agua. Análisis de laboratorio. embalse El Quimbo. Diciembre 2015 – Febrero 2016.
- EMGESA-INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo.
- EPA. (2001). Parameters of water quality Interpretation and standars. Ireland.
- McDonald, J. (2006). Alkalinity & pH Relationships.
- Parra, E. (2012). Modelamiento y manejo de las interacciones entre la hidrología, la ecología, y la economía en una cuenca hidrográfica para la estimación de caudales ambientales. Universidad Nacional de Colombia, Fscultad de minas.
- Rodriguez Moreno, R. (abril de 2014). Consecuencias ambientales por falla o rotura de presas en el marco del análisis de riesgos. (E. C. Ingenieria, Ed.) Bogotá, Colombia
- Vidal, J (2009). Investigación sobre Estudios de Impacto Ambiental para proyectos de Embalse de agua. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander – Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas.
- Wildi Walter. (2010).Environmental hazards of dams and reservoirs. NEAR Curriculum in Natural Environmental Science, 2010, Terre et Environnement, Vol. 88, 187 – 197, ISBN 2-940153-87-6
- Zhong & Power, (1996). Environmental impacts of hydroelectric projects on fish resources in China.

Transversal 15B No. 46 – 16 Of. 506. Tel: 340 24 62. Bogotá D.C., Colombia
info@terraegeoambiental.org