



ANÁLISIS DE AMENAZAS Y RIESGOS DEL PROYECTO EL QUIMBO EN RELACIÓN CON LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL DE SUS ÁREAS DE INFLUENCIA

Elaborado por

Julio Fierro Morales, Geólogo 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, Ing. Civil Esp. Recursos hidráulicos
David Aponte, Ing. civil
Erika Cuida López, Geóloga
Angie Ramírez Huerta, Geóloga
Daniela Mateus Zabala, Geóloga
Juan Francisco Díaz González, Geólogo
Javier Valencia, Ing. 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

Bogotá D.C, noviembre de 2016

ANÁLISIS DE AMENAZAS Y RIESGOS DEL PROYECTO EL QUIMBO EN RELACIÓN CON LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL DE SUS ÁREAS DE INFLUENCIA

CONTENIDO

CONTENIDO	i
INTRODUCCIÓN.....	1
1 OBJETIVOS	4
1.1 GENERAL	4
1.2 ESPECÍFICOS	4
2 ANTECEDENTES DE FALLA DE REPRESAS	5
3 EVALUACIÓN DE LÍNEA BASE	11
3.1 GEOLOGÍA.....	11
3.1.1 Análisis de los términos de referencia.....	11
3.1.2 Análisis del Estudio de Impacto Ambiental – EIA y modificaciones a la licencia	12
3.2 GEOMORFOLOGÍA	30
3.2.1 Análisis de los términos de referencia.....	30
3.2.2 Análisis del Estudio de Impacto Ambiental (EIA)	31
3.3 HIDROLOGÍA.....	36
3.3.1 Análisis y pertinencia de los TDR	36
3.4 CLIMA	46
3.5 HIDROGEOLOGÍA	48
3.5.1 Análisis de los términos de referencia (ANLA)	48
3.5.2 Análisis del componente hidrogeológico del EIA del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo.....	51
3.6 SISMOLOGÍA.....	57
3.6.1 Análisis del Estudio de Impacto Ambiental (EIA)	58
3.7 CALIDAD DEL AGUA	60
3.7.1 Análisis de términos de referencia.....	60
3.7.2 Análisis del Estudio de Impacto ambiental.....	61
3.8 GEOTECNIA	66
3.8.1 Análisis del Estudio de Impacto Ambiental (EIA)	66
3.8.2 Análisis de los informes de diseños para licitación del 2009.....	72

3.8.3	Análisis de las condiciones actuales de obra y requerimientos mínimos necesarios para el correcto funcionamiento.....	79
3.8.4	Túnel de descarga de fondo y túnel de captación y conducción hacia la casa de maquinas.....	85
3.8.5	Conclusiones y recomendaciones	86
4	ANÁLISIS DEL PLAN DE CONTINGENCIA DE EMGESA	88
4.1	CONCLUSIÓN.....	90
5	EVALUACIÓN DE IMPACTOS	91
5.1	EVALUACIÓN DE IMPACTOS EN HIDROLOGÍA	91
5.1.1	Análisis de impacto alteración del Clima.....	91
5.1.2	Plan de manejo del impacto y recomendaciones al PMA.....	92
5.2	EVALUACIÓN DE IMPACTOS HIDROGEOLÓGICOS.....	93
5.2.1	Conclusiones del modelo hidrogeológico presentado por EMGESA – INGETEC (2008)	93
5.3	EVALUACIÓN DE IMPACTOS EN CALIDAD DE AGUA.....	94
5.3.1	Dificultad para acceder a la información y manipulación de datos de monitoreo de agua.....	94
5.3.2	Seguimiento a la calidad del agua de acuerdo a los monitoreos contenidos en los Informes de Cumplimiento Ambiental – ICA	94
5.3.3	Evidencia de impactos ambientales relativos a ecosistemas acuáticos por proyectos hidroeléctricos	102
6	EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	104
6.1	DEFINICIONES	104
6.2	CONFIGURACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE POR FALLA DE LA REPRESA.....	105
6.2.1	Aspectos de amenaza sísmica no considerados por EMGESA	106
6.2.2	Amenaza por falla del dique principal (presa) – Inundación súbita.....	123
6.3	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO Y CONSIDERACIONES ACERCA DEL ESTUDIO DEL ÁREA.....	140
6.4	IMPACTOS POR CAMBIOS DE NIVEL FREÁTICO: CASOS DE ESTUDIO ...	142
6.4.1	Tubificación	142
6.4.2	Cambios en los niveles freáticos e inestabilidad de taludes.....	143
6.4.3	Sismicidad inducida por hidroeléctricas, asociado al flujo preferencial en medios fracturados o calcáreos.	144
6.5	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	145
6.5.1	Exposición	145
6.5.2	Vulnerabilidad física:.....	145



6.5.3	Vulnerabilidad social:.....	145
6.6	CONFIGURACIÓN DEL RIESGO.....	147
6.7	IMPLICACIONES EN LA GESTIÓN DEL RIESGO EN EL TERRITORIO.....	147
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	150

INTRODUCCIÓN

La Corporación TERRAE fue contratada por la Gobernación del Huila para apoyar procesos de planificación territorial en el área de influencia del Quimbo. Dada la centralidad del proyecto en aspectos de amenaza y riesgo para una amplia área del Departamento del Huila, se hace necesario un análisis profundo desde la perspectiva geoambiental de los documentos técnicos remitidos por EMGESA S.A., así como una revisión de la información geológica, geomorfológica, hidrogeológica y geotécnica existente para la zona y aspectos de amenaza y riesgo relacionados con la construcción y funcionamiento de represas en zonas sísmicamente activas.

A nivel internacional, la comprensión del riesgo de desastre asociado a la construcción y puesta en funcionamiento de proyectos hidroeléctricos ha tomado gran importancia como consecuencia de los efectos negativos que en términos sociales, ambientales y económicos representa la falla o el colapso de este tipo de estructura dentro del área de influencia directa del área de inundación como lo demuestra más de 600 fallas registradas desde 1931 hasta fecha por diferentes autores, asociadas principalmente, a deficiencias de exploración y caracterización geológica y morfológicas (procesos de movimientos en masa), desconocimiento del comportamiento de los materiales bajo condiciones de saturación y aceleraciones pico y ausencia de información relacionada con el flujo sub-superficial; lo cual genera deficiencias en los modelos planteados para los diseños y a la falla de las estructuras principales durante su funcionamiento¹.

Dentro de los escenarios más críticos de falla, se estima como el de mayor peligrosidad la falla súbita de la estructura principal de contención, la cual se puede generar como se mencionó anteriormente, por deficiencias en la construcción de la línea base y diseños, o por eventos extremos no esperados, como son lluvias extremas y aceleraciones pico mayores a los registros históricos, lo cual genera un evento de inundación súbita con mínimos tiempos de respuesta (menor a 6 horas) por parte de la población localizada aguas debajo de las represas.

Por tal razón, para el diseño, construcción y puesta de funcionamiento de este tipo de proyectos es fundamental la elaboración de una línea base que permitan conocer en el mayor detalle posible las complejidades del terreno, para garantizar que cada uno de los elementos que componen este tipo de proyecto (presas, diques, túneles y vertederos), responderán adecuadamente las condiciones actuales y futuras a las que se verá enfrentado durante su operación y una vez finalizada su vida útil².

Sumado a lo anterior, existen impactos negativos ambientales relacionados con su construcción, operación y abandono de este tipo de proyectos, los cuales deben ser identificados y monitoreados, con el fin de establecer medidas de compensación, mitigación, corrección y prevención de los posibles impactos negativos generados, razón por la cual, en Colombia son objeto de licenciamiento ambiental Expediente LAM 4090.

¹ Zhang L.M & Jia J.S (2007). Analysis of earth dam failures – A database approach. ISGRS2007 First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk.

² Patrick J. Regan, P.E (2009). An examination of dam failures Vs. Age of Dams. . Managing our water retention system. 29th Annual USSD Conference. Nashville, Tennessee, April 20 – 24.

La principal fuente de información es la entregada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales como parte del proceso de audiencia pública ambiental solicitada por la comunidad y autoridades territoriales EMGESA SA. En ese tipo de proceso, la documentación es de libre consulta y hace parte del expediente de EMGESA del proceso de licenciamiento ambiental.

En el caso particular sobre el cual se desarrolla el presente documento corresponde al proyecto hidroeléctrico “El Quimbo”, localizado en el departamento del Huila, entre las cordilleras Central y Oriental de Colombia, a 70 km al sur de la ciudad Neiva y 12 km del embalse de Betania, en el departamento del Huila, el cual consiste en el represamiento de 2.354'000.000 metros cúbicos del Río Magdalena y Suaza, cubriendo 8.250 hectáreas para la generación de 400 MW, a partir de un sistema integrado por una presa en tierra con cara de concreto de 151 metros de altura, un dique auxiliar con núcleo impermeable de 66 metros de altura, localizado al oriente del cuerpo de presa principal, un túnel de condición y descarga, el cual conduce el agua hacia la casa de máquinas, una estructura de rebosadero y casa de máquinas; con una vida útil del proyecto de 50 años, de acuerdo a datos reportados por la EMGESA³.

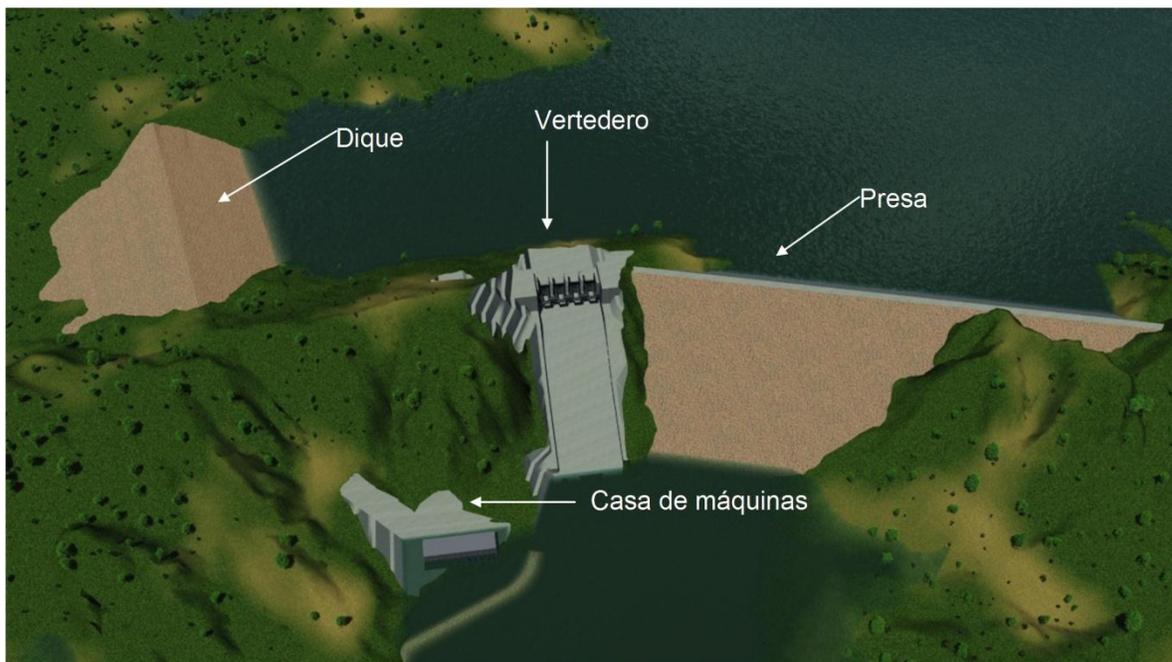


FIGURA 1. ESQUEMA DE LA REPRESA DE EL QUIMBO

Al represar el río Magdalena se formó un embalse que cubre 8586 hectáreas y tiene una altura, en la zona de presa, de 151 metros. Estas condiciones específicas hacen del proyecto hidroeléctrico una obra de gran magnitud (de hecho el Comité de Grandes Represas, ICold por sus siglas en inglés, establece en alturas mayores de 15 metros un índice para definir grandes represas).

Desde su licenciamiento ambiental, en el año 2008, se han presentado múltiples modificaciones como consecuencia de los numerosos y reiterativos requerimientos que se

³ <http://www.proyectoelquimboemgesa.com.co/site/>

han realizado desde la sociedad civil, frente a los estudios realizados de impacto ambiental, censo a la población afectada e impactos generados en términos bióticos no valorizados adecuadamente, dentro del proceso de licenciamiento. Sumado a lo anterior, como consecuencia de hallazgos realizados por parte de entes de control nivel nacional, que han llamado la atención, frente aspectos relacionados con las incertidumbres existentes en términos de amenaza sísmica, estabilidad de las obras, caudal ecológico entre otros, lo cual hace de vital importancia para los sectores involucrados tomar acciones prospectivas para prevenir y mitigar las posibles afectaciones a la población. Especialmente, para las autoridades territoriales al ser estas los responsables de la gestión del riesgo en sus territorios, como lo establece la Ley 1523 de 2012.

En concordancia con lo anterior, por solicitud del Gobernador del departamento del Huila, Carlos Julio González Villa, a continuación se presenta un análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de desastres asociado al proyecto hidroeléctrico “El Quimbo”, en conjunto con la evaluación de los impactos negativos ambientales actuales y futuros, con el fin identificar las debilidades técnicas del proyecto a partir de la documentación que reposa en el expediente ambiental y establecer acciones prospectivas frente a la gestión del riesgo para garantizar el bienestar de los pobladores del departamento del Huila, dentro del área de influencia del proyecto.

El informe está compuesto por 7 capítulos, los cuales siguen una metodología: análisis y evaluación del Estudio de Impacto Ambiental 2009, por el cual se obtuvo la Licencia Ambiental bajo Resolución 0899 de 15 de mayo de 2009 y sus posteriores modificaciones; verificación del cumplimiento de la norma vigente y análisis de referencia técnica – científica internacional, con el fin de establecer las condiciones de riesgo de desastre que se encuentra expuesta la población localizada aguas abajo del proyecto hidroeléctrico “El Quimbo”, así como la identificación de los impactos ambientales generados por el proyecto que deben ser considerados.

Finalmente se realizan las conclusiones y recomendaciones necesarias para asegurar que los riesgos acá contemplados sean evaluados y mitigados a cabalidad por EMGESA.

Los numerales contenidos en el presente informe se enumeran a continuación:

- Capítulo 1 Objetivos
- Capítulo 2 Antecedentes de falla de represas
- Capítulo 3 Evaluación de la línea base
- Capítulo 4 Análisis del plan de contingencia de EMGESA
- Capítulo 5 Evaluación de Impactos
- Capítulo 6 Evaluación de Riesgos
- Capítulo 7 Conclusiones y Recomendaciones

1 OBJETIVOS

1.1 GENERAL

Apoyar las evaluaciones de las condiciones de amenaza y riesgo, así como de los eventuales impactos no considerados alrededor del diseño, construcción y operación de la represa de El Quimbo y sus implicaciones en la planificación territorial de las zonas de influencia directas e indirectas.

1.2 ESPECÍFICOS

Apoyar las evaluaciones de los componentes geosféricos (geología, geomorfología, geotecnia e hidrogeología) de la información remitida por EMGESA y que sirvió de base para el licenciamiento ambiental del proyecto.

Revisar la información internacional sobre protocolos para estudios de diseño y construcción de represas y contrastar con la información pública referente a la represa del Quimbo

Apoyar los análisis de los instrumentos de ordenamiento territorial y su relación con las amenazas y riesgos inducidos por la construcción y funcionamiento del proyecto hidroeléctrico El Quimbo.

2 ANTECEDENTES DE FALLA DE REPRESAS

Una represa pueda fallar cuando la carga supera la resistencia de la estructura, ya sea por excedencia del nivel de agua esperado, por flujo a través del cuerpo de la represa (tubificación), sismos, ataques terroristas, deterioro de las estructuras, entre otros. Por tal razón, a nivel internacional se han realizado extensivos trabajos de investigación de las causas de las diferentes fallas que han presentado la represa durante su construcción y puesta en funcionamiento⁴.

En la actualidad, la seguridad de las represas ha cobrada gran importancia, como consecuencia de los grandes desastres generados por la falla de éstas, que compromete la vida y salud de las personas y la estabilidad económicas y sociales de la población en su conjunto. Ejemplo de esto, se puede mencionar los daños ocurridos por el Huracán Katrina en agosto de 2005 en Nueva Orleans, el cual que generó daños entre 100 y 200 mil millones de dólares y más de 600 muertes⁵.

De acuerdo con Zhang L.M & Jia J.S (2007), las causas más representativas de fallas de represas a nivel mundial son:

Tabla 1. Causas de las fallas (Modificado de MWR 1993)

No.	Causas
1	Excedencia en altura de la presa
	1) Insuficiente capacidad del vertedero
	2) Excedencia de las lluvias críticas de diseño
2	Problemas de calidad
	1) Tubificación en el cuerpo de la presa
	2) Deslizamiento en el cuerpo de la presa
	3) Tubificación en la fundación
	4) Tubificación alrededor del vertedero
	5) Problemas en la calidad del vertedero
	6) Tubificación en las estructuras auxiliares
	7) Calidad de las estructuras auxiliares
3	Mal manejo
	1) Disminuye la capacidad del reservorio por incremento de arrastre de sedimento en temporada invernal.
	2) Pobre mantenimiento y operación
	3) Problemas en la organización de responsabilidades del manejo y operación del proyecto hidroeléctrico.
4	Desastres
	1) Terremotos
	2) Guerra o ataques terroristas
	3) Ruptura de la presa
5	Otros
	1) Obstrucción del flujo en vertedero por deslizamiento en alguna de sus caras
	2) Falla de la presa como consecuencia de la descarga de la presa
	3) Mal manejo de la planeación del proyecto
6	Desconocidas.

⁴ Zhang L.M & Jia J.S (2007) Analysis of earth dam failures – A database approach. ISGRS2007 First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk.

⁵ Seed, et al (2006). *Investigation of the Performance of the New Orleans Flood Protection Systems in Hurricane Katrina on August 29, 2005. Volume I: Main Text and Executive Summary.* National Science Foundation, USA.

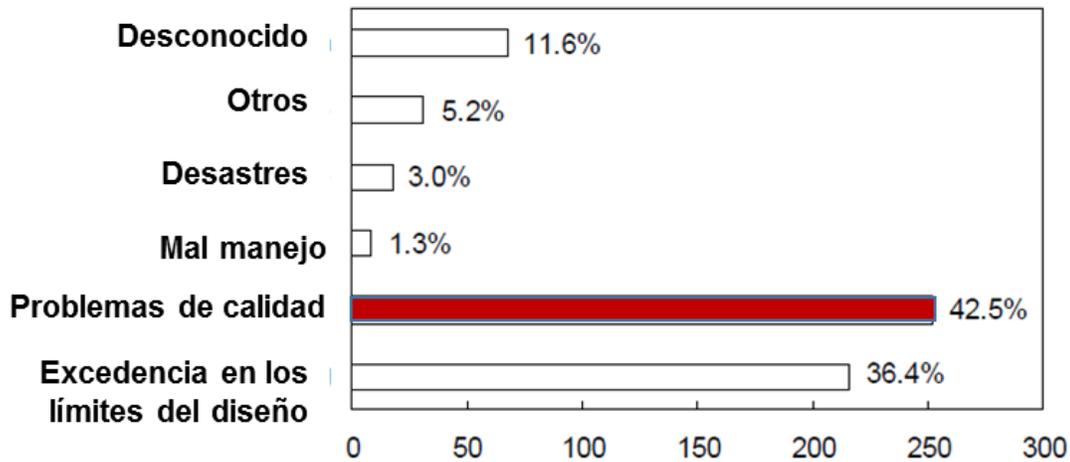


FIGURA 2. PORCENTAJE DE CAUSAS DE FALLAS EN PRESAS EN TIERRA

De acuerdo con lo anterior, los principales problemas se deben a problemas de calidad en los diseños y obras realizadas, esto como consecuencia de insuficiencia de caracterización, así como su caracterización geomecánica, hidrogeológica y geoquímica de los materiales presentes en el área de estudio, lo cual genera problemas de tubificación que se pueden generar en cuerpo de los diques o en la fundación y aceleraciones pico no esperadas las cuales exceden los parámetros de diseño bajo los cuales, las principales obras son construidas⁶.

Adicionalmente, un factor adicional y determinante que produce la falla de la represa es la sismicidad, correlacionado directamente con el volumen del embalse, la profundidad del reservorio y la presencia fallas geológicas, es la sismicidad inducida, la cual se entiende como:

“la ocurrencia (espacial y temporal) de fenómenos telúricos, que tienen un vínculo u origen en la construcción de este tipo de proyectos hidráulicos, la cual se puede generar en otras actividades de origen antrópico, como las labores mineras (extracción a tajo abierto, minas de carbón), y la extracción de petróleo.”⁷

La primeras mediciones sobre sismicidad inducida se realizaron en los años 30 en represas famosas como Hoover (Colorado, Estados Unidos) donde se demostró el vínculo directo entre esta y la producción de movimientos telúricos.

Por otra parte, es importante mencionar según investigaciones realizadas por Patrick J. Regan, P.E (2009), las fallas en las represas pueden generarse en cualquier momento a lo largo de su vida útil e incluso una vez finalizada su vida útil⁸. Por lo tanto, en el caso del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, tanto el dique principal, como la infraestructura auxiliar

⁶ Zhang L.M & Jia J.S. (2007). Analysis of earth dam failures – A database approach. ISGRS2007 First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk.

⁷ Fierro, M. (2009). Represas y terremotos en las cuencas Patagónicas.

⁸ Patrick J. & Regan, P.E (2009). An examination of dam failures Vs. Age of Dams. Managing our water retention system. 29th Annual USSD Conference. Nashville, Tennessee, April 20 – 24.

pueden fallar a lo largo de la vida útil del proyecto de 50 años, o posterior a este, de acuerdo a lo anterior mencionado, como se observa en la tabla siguiente. Se resalta, los mayores porcentajes de fallas registradas:

Tabla 2. Edad de las presas en tierra y sus fallas. Fuente: Zhang L.M & Jia J.S (2007)

Rango de años	Número de casos	Porcentaje (%)
0-1	85	14,3
1-5	96	16,2
5-10	36	6,1
10-20	62	10,5
20-40	58	9,8
40-60	31	5,2
60-80	16	2,7
80-100	7	1,2
100-150	10	1,7
>150	6	1,0
Desconocido	186	31,3
Total	593	100,0

Algunos antecedentes de falla de represas se enlistan a continuación, donde se incluye adicionalmente, los antecedentes, causas de la falla y afectaciones generadas.

Tabla 3. Inventario de fallas en presas⁹.

Año	Nombre	Localización	Antecedente de falla	Causas de la falla	Afectaciones
1928	Presa St. Francis	Estados Unidos	<i>Altura de 200 ft, presa de gravedad - concreto "Poco tiempo después de su primer llenado (...) La literatura técnica menciona que el conglomerado rojizo de la fundación fue afectado por la saturación de agua y perdió la resistencia, entre otros motivos".</i>	<i>Ausencia de ensayos y análisis geotécnicos en condición natural y saturada la fundación (Roger, 2013)</i>	<i>45 millones metros cúbicos de agua, crearon una ola que destruyó la represa y varias localidades. Más de 432 personas perdieron la vida¹⁰.</i>
1941	Huaraz	Perú			Generó más de 6.000 pérdidas humanas y afecto aproximadamente la tercera parte de la ciudad de Huaraz (aproximadamente 23 Kilometro aguas abajo)
1959	Presa Malpasset	Francia	<i>Estructura en arco con 70 m de altura aproximadamente. Falló después del llenado. Deslizamiento de un bloque en la fundación en la margen izquierda causo la falla de la presa.</i>	Ausencia de investigaciones sobre movimiento entre fracturas y las propiedades de permeabilidad relacionadas con la presión (Mello, 1966)	<i>400 muertos, sobre el pueblo de Frejus.¹¹</i>
1963	Presa Vajont	Italia	<i>Estructura tipo bóveda.</i>	Debilidad en el conocimiento de movimiento entre fracturas o discontinuidades rocosas (López, 2014)	Involucró aprox. 300 mil m3 de material de deslizamiento. La ola sobrepasó la presa. Millares de víctimas.
1972	Buffalo Creek	Estados Unidos			118 personas pérdidas humanas, 1121 personas heridas y más de 4.000 damnificados.
1975	Presa Henan	Banqiao, China			Se estimó que más de 85.000 pérdidas humanas y más de 11 millones de personas resultaron directamente

⁹ Kanji M (2016). Estabilidad de presas y taludes condicionados a aspectos geológicos y geotécnicos. XV Colombian geotechnical congress & International specialized conference of soft rocks. Cartagena – Colombia, Octubre 5th – 7th

¹⁰ <http://damfailures.org/case-study/st-francis-dam-california-1928/>

¹¹ https://www.etcg.upc.edu/asg/mr/descargas/MR2012_Tema1b.pdf



Año	Nombre	Localización	Antecedente de falla	Causas de la falla	Afectaciones
1976	Presa Teton	EUA	<i>Presa en tierra construida sobre fundación de roca riolita muy fracturada y tobas, con grietas anchas y hasta de 30m de profundidad.</i>	Tubificación. Existen varias teorías de las posibles fallas entre ellas, fisuramiento del loes del núcleo, asentamientos diferenciales por la forma del valle causando hidrofracturamiento y percolación por las grietas en la roca. También se cree que hubo erosión en el llenado generando tubificación entre las fracturas (Water Power, 2002).	afectadas. <i>Mil millones de dólares.¹² Solo murieron 6 personas, porque se dio una alerta temprana.</i>
1997	Presa Anita	Montana, EUA	La altura de la represa 36 feet, presa tipo dique, construida con materiales excavados.	Presencia de arcillas dispersivas en el cuerpo de la presa, fracturas hidráulicas, deficiencia en el drenaje de la presa. ¹³	<i>Más de 10.000 dólares. No muertes.</i>
2004	Presa Camará	Brasil	<i>Presa en concreto de 55 m de altura, con un vertedero en la parte central.</i>	<p>Ausencia de caracterización geológica – geotécnica del macizo rocoso, lo cual impidió identificar una capa de 30 cm de material blanco (biotita), con una inclinación desfavorable de 30°, la cual falló, la cuando en el año 2004, la altura de la lámina de agua del embalse superó el 2/3 la altura de la presa, generando el movimiento de una capa de gneis (roca), causando la ruptura de la presa por la galería de drenaje.</p> <p><i>Después de la falla se realizó una investigación por parte del Ministerio Público para establecer las causas de la falla, por lo cual se analizó todo el proceso de diseño, construcción y llenado de la presa (Kenji, 2004).</i></p> <p>Encontrándose lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>En la etapa de diseño solo se realizaron 3 sondeos rotativos en la zona de la falla. Pero no se encontró ningún perfil geológico – geotécnico.</i> - <i>Durante la construcción, a pesar que se encontró la capa débil, se continuó con la construcción de presa, considerando que su extensión era limitada.</i> - <i>En la etapa de llenado, en los últimos 3 meses</i> 	- <i>El propietario fue condenado por la justicia por no haber acompañado y monitoreado durante el llenado y por no haber actuado para evitar la ruptura.</i>

¹² http://web.mst.edu/~rogersda/teton_dam/Retrospective%20on%20Teton%20Dam%20Failure.pdf

¹³ (1) FEMA. (2005). Technical Manual: Conduits through Embankment Dams, Best Practices for Design, Construction, Problem Identification and Evaluation, Inspection, Maintenance, Renovation, and Repair. Federal Emergency Management Agency.



Año	Nombre	Localización	Antecedente de falla	Causas de la falla	Afectaciones
				<p>previos a la falla de la presa se observaron diversas anomalías: surgimiento de agua al pie del estribo izquierdo, y transporte de sólidos por los drenes de la galería, lo que conllevó a la proyectista a manifestar una alarma sobre la seguridad de la presa, recomendando bajar el nivel del embalse para investigaciones.</p> <p>En el último mes se incrementaron, así como la continuidad de transporte de sólidos causando taponamiento de la galería (...) el proyectista nuevamente recomendó el abatimiento del nivel agua, sin embargo, sus recomendaciones no se siguieron. Llevando a la falla.</p>	
2005		Nueva Orleans, EU.			Más de 1.000 pérdidas humanas y el 80% de la ciudad quedó inundada).
2008	Presa Apertadinho	Rodonia, norte de Brasil	Presa en tierra, con una altura máxima de 38 m y extensión de 440 m. El diseño inicial se modificó, se elevó la fundación del vertedero. Su construcción terminó en diciembre de 2007. En el momento del llenado se generó tubificación, causando la ruptura de la presa a principios de 2008, generando el vaciado rápido del embalse, fuerte erosión del valle e inundación de la casa de máquinas.	Resistencia en condiciones de saturación, fundación de arenisca poco cementada y friable. Susceptible a la erosión y formación de tubificación. Ausencia de drenes adecuados.	
2008	Zipingpu	China	Presa en tierra con cara de concreto,	Sismo de 7,8 grados en la escala de Richter debido a sismicidad inducida	Agrietamiento de la presa y más de 15.000 pérdidas humanas.

3 EVALUACIÓN DE LÍNEA BASE

3.1 GEOLOGÍA

3.1.1 Análisis de los términos de referencia

Considerando que los lineamientos propuestos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto hidroeléctrico El Quimbo corresponden a los términos de referencia contenidos en la Resolución 1280 de 2006 y a la información requerida por la autoridad en el Auto 515 del 22 de febrero de 2008 y el Auto 2495 del 12 de agosto de 2008, a continuación se realiza una evaluación de las exigencias establecidos por el ministerio.

En la Resolución 1280 de 2006 por la cual se acogen los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para la construcción y operación de centrales hidroeléctricas generadoras se establece que: la caracterización del área de influencia del proyecto debe contener información del medio abiótico, comprendido dentro de este la caracterización del componente geológico para el área de influencia indirecta y directa. En detalle, para el área de influencia indirecta se solicita:

“Describir las unidades litológicas y rasgos estructurales, con base en estudios existentes en la zona y ajustada con información de sensores remotos y control de campo e identificar y localizar las amenazas naturales como movimientos en masa, sismicidad y fallas geológicas activas. Presentar la cartografía geológica detallada (unidades y rasgos estructurales) y actualizada con base en fotointerpretación y control de campo. Debe presentarse un mapa a escala adecuada, de sitios de obras o 1:25.000 de zonas de embalse.” (Subrayado fuera del texto)

Mientras que para el área de influencia directa se solicita:

“Presentar la cartografía geológica detallada (unidades y rasgos estructurales) y actualizada con base en fotointerpretación y control de campo. Debe presentarse un mapa a escala 1:10.000 o mayores.” (Subrayado fuera del texto)

Sin embargo, aun cuando la caracterización geológica se establece como una exigencia, los términos de referencia resultan bastante genéricos y dejan abierta la posibilidad de que el solicitante defina una “*escala adecuada*” de trabajo en el caso de la caracterización del área de influencia indirecta y especifique que características estructurales y de las unidades litológicas deben ser presentadas sin que el ministerio exija unos requerimiento mínimos que deben considerarse en este tipo de proyecto, p.ej. análisis composicional del material, ensayos de porosidad y permeabilidad. Adicionalmente, para la generación de la cartografía en “*escala adecuada*” no se exige una metodología de rigor que defina por ejemplo que aspectos geológicos deben ser evaluados en campo ni la espacialidad de los puntos de control, criterios que finalmente le dan validez al modelo geológico que el solicitante presenta.

En cuanto a la caracterización de las rocas presentes en el área de influencia es necesario precisar la necesidad de realizar ciertos ensayos o análisis de laboratorio con el fin de caracterizarlas con mayor precisión. Por ejemplo plantear un mínimo de análisis petrográficos para la identificación de minerales formadores en las rocas presentes, en el caso de las rocas con partículas con tamaño arcilla (lodolitas) ensayos mineralógicos (por

ejemplo Difracción de Rayos X – DRX) con el fin de identificar minerales de dicha fracción. Adicionalmente complementar estos análisis con ensayos geoquímicos (por ejemplo Fluorescencia de Rayos X – FRX). Respecto a este tipo de análisis se recomienda establecer un mínimo de análisis tanto por unidades identificadas como por el área de influencia en particular.

Con respecto los autos 515 del 22 de febrero de 2008 mediante el cual se dispuso que el proyecto no requiere la presentación de Diagnóstico Ambiental de Alternativas y se establecen términos de referencia específicos para el proyecto y el Auto 2495 del 12 de agosto de 2008, por el cual el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, solicita información adicional del Estudio de Impacto Ambiental, la autoridad no consideró que la empresa debía allegar o modificar la información suministrada del componente geológico.

3.1.2 Análisis del Estudio de Impacto Ambiental – EIA y modificaciones a la licencia

3.1.2.1 Estratigrafía

Del EIA presentado en octubre de 2008 por EMGESA S.A y realizado por INGETEC S.A se puede establecer que las escalas a las cuales se realizó la cartografía y descripción de las unidades geológicas corresponden a 1:75.000 para la caracterización regional en solo una parte de la zona de influencia indirecta y 1:2.000 para la zona de construcción de las estructuras principales. Sin embargo, la empresa no presenta la cartografía geológica al detalle requerido (1:25.000) para toda el área de influencia directa del proyecto incluyendo el vaso del embalse

“El área de influencia directa comprende el vaso del embalse y las zonas de obras (vías de acceso a los sitios de obras, zonas de vías y obras, áreas de campamentos y talleres, así mismo las zonas de préstamo ubicadas en playas y vegas de los ríos Magdalena y Páez, vías sustitutivas), se incluye dentro del área de influencia directa el río Magdalena aguas abajo del sitio de presa y el embalse de Betania, desde el punto de vista de calidad de aguas, aspecto que es analizado como impacto potencial del proyecto, durante el llenado y operación.”¹⁴

En cambio, lo que se presenta a lo largo del embalse es una cartografía 1:75.000 con baja densidad de datos estructurales, poniendo como ejemplo los dos (2) datos de estratificación que amarran la sección geológica B-B, la cual atraviesa cinco (5) unidades geológicas que se supone deben tener comportamientos diferentes.

Desde el punto de vista estructural, en el mapa se presenta incertidumbre en algunas fallas en cuenta a su buzamiento y tipología, como es el caso de la Falla Rioseco que pasa aproximadamente a 1700 m del sitio de presa. Igualmente, se observa la ausencia de datos que indican el rumbo y buzamiento de las diaclasas presentes.

Adicionalmente, el documento no contiene la información metodológica que permita definir con que rigor se realizaron los planos geológicos adjuntos p.ej. para el trabajo de campo, no se reporta ni el total ni la ubicación de las estaciones de control, tampoco los parámetros evaluados en cada una de ellas.

¹⁴ EMGESA - INGETEC. 2008. Estudio de Impacto Ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Resumen ejecutivo, pág. 0-3

Cabe resaltar, que en la información suministrada por la ANLA no se encontró la información correspondiente a los cortes geológicos que normalmente acompañan al mapa y permiten entender como es la disposición de las unidades a profundidad, aun cuando en el Plano PL-EIAQ-15 se presenta la ubicación de dos secciones geológicas.

En cuanto a estratigrafía, para el área de influencia indirecta se presenta una descripción generalizada de las unidades y una columna estratigráfica (figura 3) a escala 1:75.000 de las rocas que afloran en vecindades al proyecto y que en este escrito con base en la información del EIA se resumen como sigue:

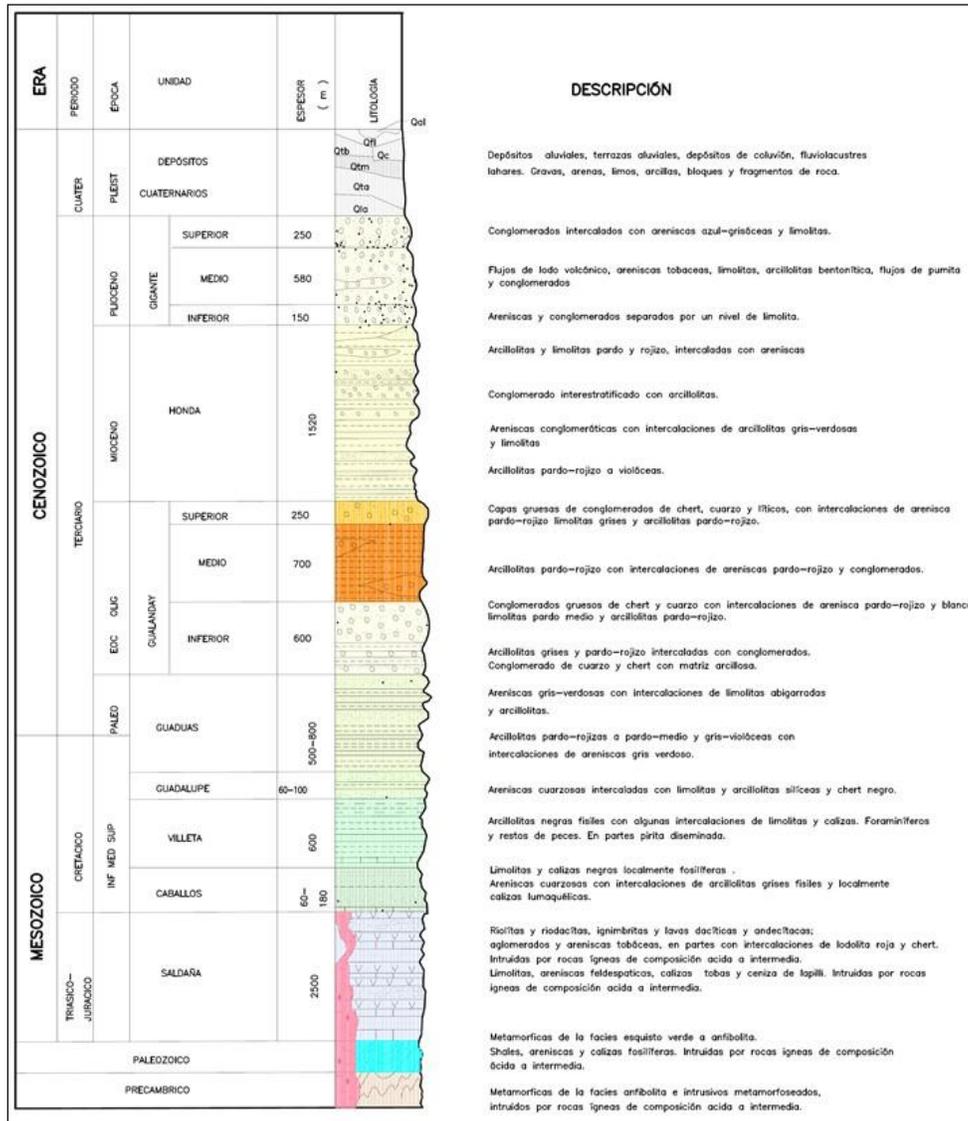


FIGURA 3. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA REGIONAL A ESCALA 1:75.000. FUENTE: EMGESA - INGETEC, (2008).

El área de influencia indirecta está constituida por un basamento Precámbrico de rocas metamórficas de alto grado (migmatitas, neises y granulitas) que afloran en ambos flancos del valle del Magdalena, en algunas zonas recubierto por rocas sedimentarias paleozoicas y en otras cubierto por unidades del Mesozoico representadas por rocas continentales y

marinas del Triásico - Jurásico (formaciones Luisa, Payandé y Saldaña) y rocas marinas del Cretácico (formaciones Caballos, Villeta y Guadalupe).

Por su parte, El Cretácico superior y el Terciario alcanzan espesores de hasta varios miles de metros y se compone de rocas sedimentarias continentales de las formaciones Guaduas, Grupo Gualanday y formaciones Honda y Gigante (o Mesa).

Finalmente, los depósitos cuaternarios de terrazas, abanicos aluviales, conos de deyección y lahares recubren parte de la zona y son afectados en parte por movimientos tectónicos recientes.

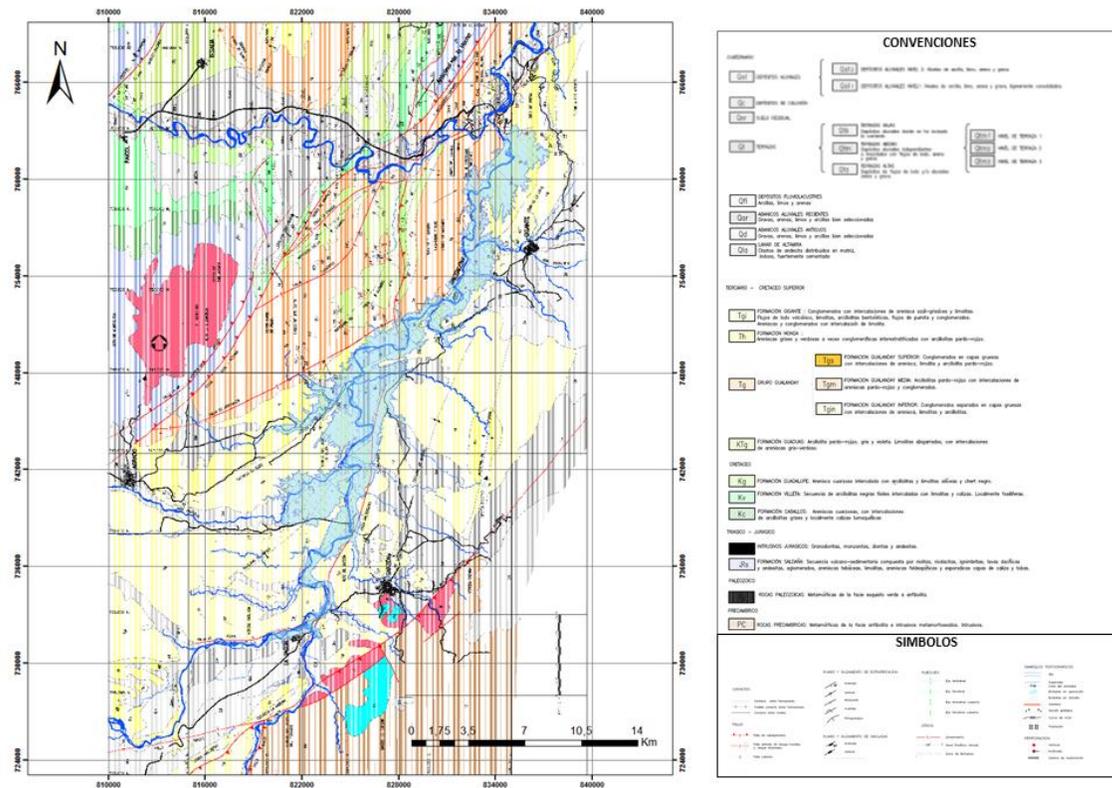


FIGURA 4. MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DEL EMBALSE A ESCALA 1:75.000. MODIFICADO DE EMGESA – INGETEC (2008)

Por otra parte, para el área de influencia directa se establece que:

“En relación con las unidades estratigráficas, en la zona del embalse afloran rocas sedimentarias de las Formaciones Gualanday Superior, Gualanday Medio, Honda y Gigante, así como depósitos cuaternarios que constituyen aluviones, terrazas bajas y medias, abanicos aluviales recientes y el lahar de Altamira.”

A continuación se presenta una recopilación de la información litológica presentada por unidad geológica a lo largo del EIA (EMGESA – INGETEC, 2008), con ella se pretende establecer qué parámetros fueron analizados por unidad y comparar el detalle de la descripción para cada una de ellas.

- **Cuaternario**

Depósitos aluviales (Qal): Los depósitos aluviales recientes o aluviones están conformados por arcillas, limos, arenas y gravas dispuestas en capas de variado espesor y forma, normalmente lenticular, con clara gradación y selección. Se presentan en los planos de inundación del río Magdalena y muchos de sus afluentes formando playones, barras de meandros y barras de punta. En el capítulo 4 del EIA se presentan las descripciones de granulometría, estado de oxidación y espesor de aquellos depósitos aprovechados para la extracción de materiales de construcción y en el capítulo 9 la descripción de las perforaciones en términos de granulometría, plasticidad y composición para el sitio de presa y ataguía, casa de máquinas, rebosadero, dique auxiliar y zona de préstamo 13 y 14.

Terrazas (Qt) - Terrazas bajas (Qtb), Terrazas medias (Qtm): Al margen del error de mezclar conceptos geomorfológicos (terrazas) con aspectos geológicos, se distinguen varios niveles de terraza conformadas por depósitos aluviales que en el capítulo 4 se describen como intercalaciones de capas lenticulares de arena arcillosa, arcilla, arcilla limosa, arena y grava, además se presentan datos de espesor, granulometría y composición de gravas y cantos.

Depósitos de ladera o coluvión (Qc): Conformados por bloques y fragmentos de roca angulosos de diferente tamaño y forma, soportados en una matriz arcillosa. En la caracterización geotécnica de la zona del proyecto en el capítulo 9 se presentan detalles de la composición (chert, cuarzo y arenisca) y consistencia de los depósitos del sitio de presa y ataguía, casa de máquinas y rebosadero

Depósitos fluviolacustres (Qfl): Conformados predominantemente por sedimentos de tamaño arcilla, limos y arenas, transportados por corrientes superficiales que drenan terrenos montañosos susceptibles a la meteorización y depositados en un medio lagunar o de pantano. En el área, estos depósitos se encuentran rellenando cuencas intramontañosas de corta extensión.

Abanicos aluviales recientes (Qar): Compuestos por gravas (cantos rodados, guijarros, guijas y gránulos) arenas, limos y arcillas, estos depósitos *“tienen un gradiente textural vertical y longitudinal del fondo hacia la superficie y del ápice hacia la base del abanico con materiales gruesos, medios y finos respectivamente”*.

Estos abanicos se encuentran principalmente sobre la margen derecha del río Magdalena entre las desembocaduras de los ríos Suaza y Loro aproximadamente y aguas abajo de la desembocadura del río Páez.

Lahar de Altamira (Qla): Compuesto por grandes clastos angulares de andesita distribuidos en una matriz lodosa muy cementada. Se localiza entre las localidades de La Jagua y Altamira, sobre las márgenes del río Magdalena.

- **Terciario**

Formación Gigante (Tgi): Se presenta principalmente a la margen oriental del embalse y corresponde a una secuencia sedimentaria que a la base presenta capas gruesas de areniscas y conglomerados de cuarzo y abundantes cantos de rocas volcánicas, separados por un nivel de limolita. A la parte media se presentan flujos de lodo volcánico,

areniscas tobáceas, limolitas y arcillolitas bentoníticas, flujos delgados de pumita y en menor cantidad conglomerados, son constantes las concreciones calcáreas en las areniscas y la madera silicificada en las arcillolitas bentónicas. Finalmente en el nivel superior se observan conglomerados de cantos de rocas plutónicas y metamórficas procedentes del Macizo de Garzón, intercaladas con areniscas azules - grisáceas y limolitas. El espesor de la secuencia es de 1000 m y en el estudio se presenta únicamente una clasificación cualitativa de la permeabilidad:

“... con permeabilidades muy bajas, por presentar areniscas y conglomerados masivos texturalmente inmaduros y una importante porción de niveles arcillosos. Localmente por efectos del diaclasamiento, esta unidad puede presentar permeabilidad secundaria. En general, estas unidades se consideran como semipermeables)”

Como se ve, las consideraciones sobre las características físicas, que luego van a ser la base para la caracterización geomecánica e hidrogeológica son completamente subjetivas, sin ningún análisis de soporte.

Formación Honda (Th): Se presenta en la zona de construcción del dique auxiliar y sobre sobre ambas márgenes del embalse. Corresponde a una secuencia de areniscas grises y verdosas en ocasiones conglomeráticas y conglomerados interestratificados con arcillolitas y rocas vulcano-clásticas de color pardo rojizo, se reportan también niveles de lodolitas rojizas y abigarradas con intercalaciones de areniscas. El espesor reportado es de 1520 m en la quebrada Guandinoso (Van Der Wiel 1991, en EMGESA - INGETEC, 2008) y en el estudio presentan el dato de conductividad hidráulica promedio y RQD, oxidación y compactación de las muestras extraídas en las perforaciones de la zona de dique auxiliar (granulometría: 58% es arena y el 42% arcillolita) y zona de préstamo 13 y 14.

Formación Gualanday Superior (Tgs): Aflora en el área de construcción de las estructuras principales y sobre ambas márgenes del embalse, se compone de paquetes o capas muy gruesas de conglomerado masivo, separados por capas de arena rojiza y carmelita, limolitas grises y carmelitas y arcillolitas rojizas. En el mapa 1:2000 se logran diferenciar 4 niveles (figura 5) a lo largo de los 250 m de espesor. En el estudio se presenta un valor de conductividad hidráulica promedio y datos de RQD y litología obtenidos de perforación en el sitio de presa y ataguía a la margen derecha e izquierda del río (arena 46 % y conglomerado 51 %, con una intercalación de limolita), túnel de desviación (17% es arena, 18% limolita y 59% de conglomerado) y rebotadero (el 62% es arena, 36% limolita y 2% conglomerado).

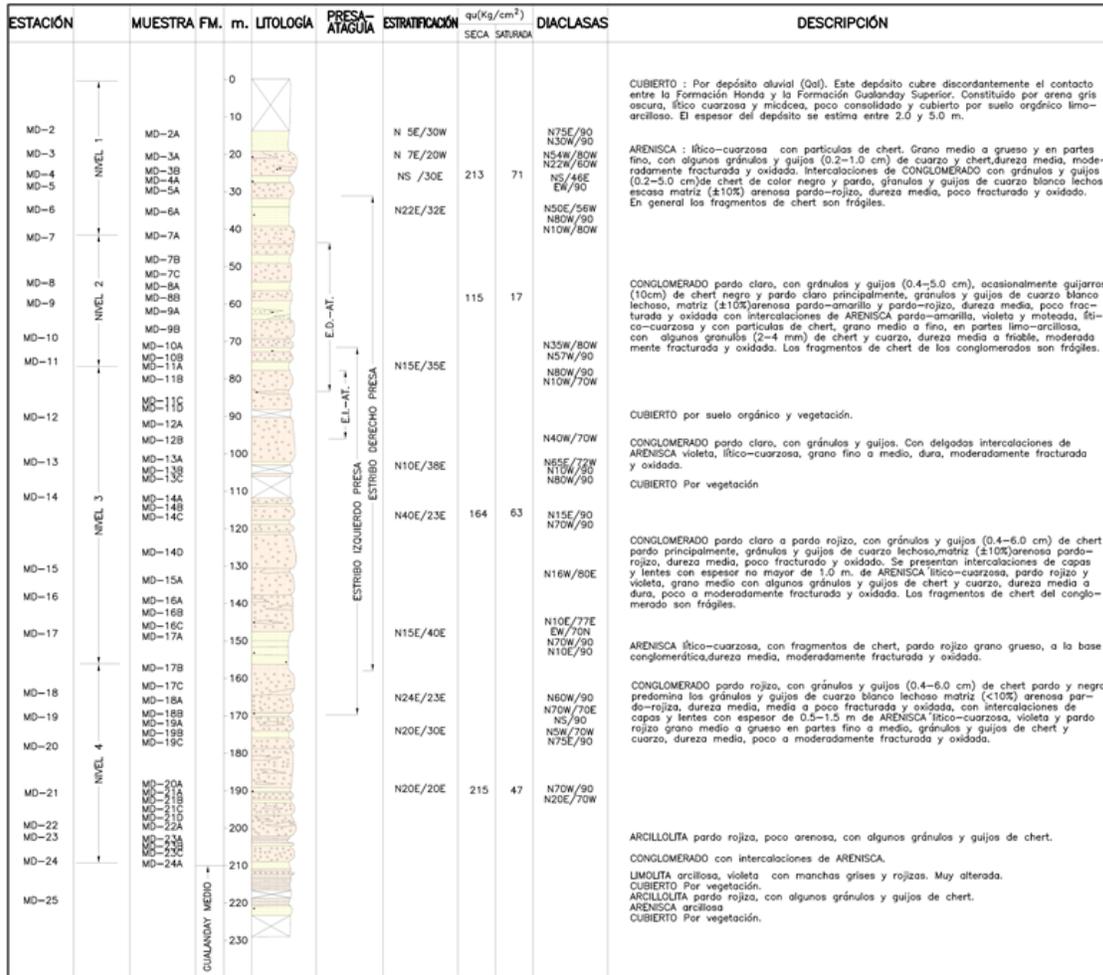


FIGURA 5. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DETALLADA LEVANTADA EN LA ZONA DE CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA A LA MARGEN DERECHA DEL RÍO MAGDALENA. FUENTE: EMGESA – INGETEC, (2008)

Formación Gualanday Medio (Tgm): A la margen derecha del embalse se presenta el Grupo Gualanday indiferenciado en la cartografía 1: 75.000, así como en cercanías a la presa. Esta formación presenta arcillolitas rojizas, areniscas rojizas y carmelitas y capas gruesas de conglomerado masivo en un espesor que se estima puede alcanzar los 700 m. En el estudio se presentan datos de perforación (RQD, granulometría) en la casa de máquinas (49% es arenisca, 23% limolita, 22% conglomerado y 6 % arcillolita) y rebosadero (arenisca 67% y arcillolita 33%).

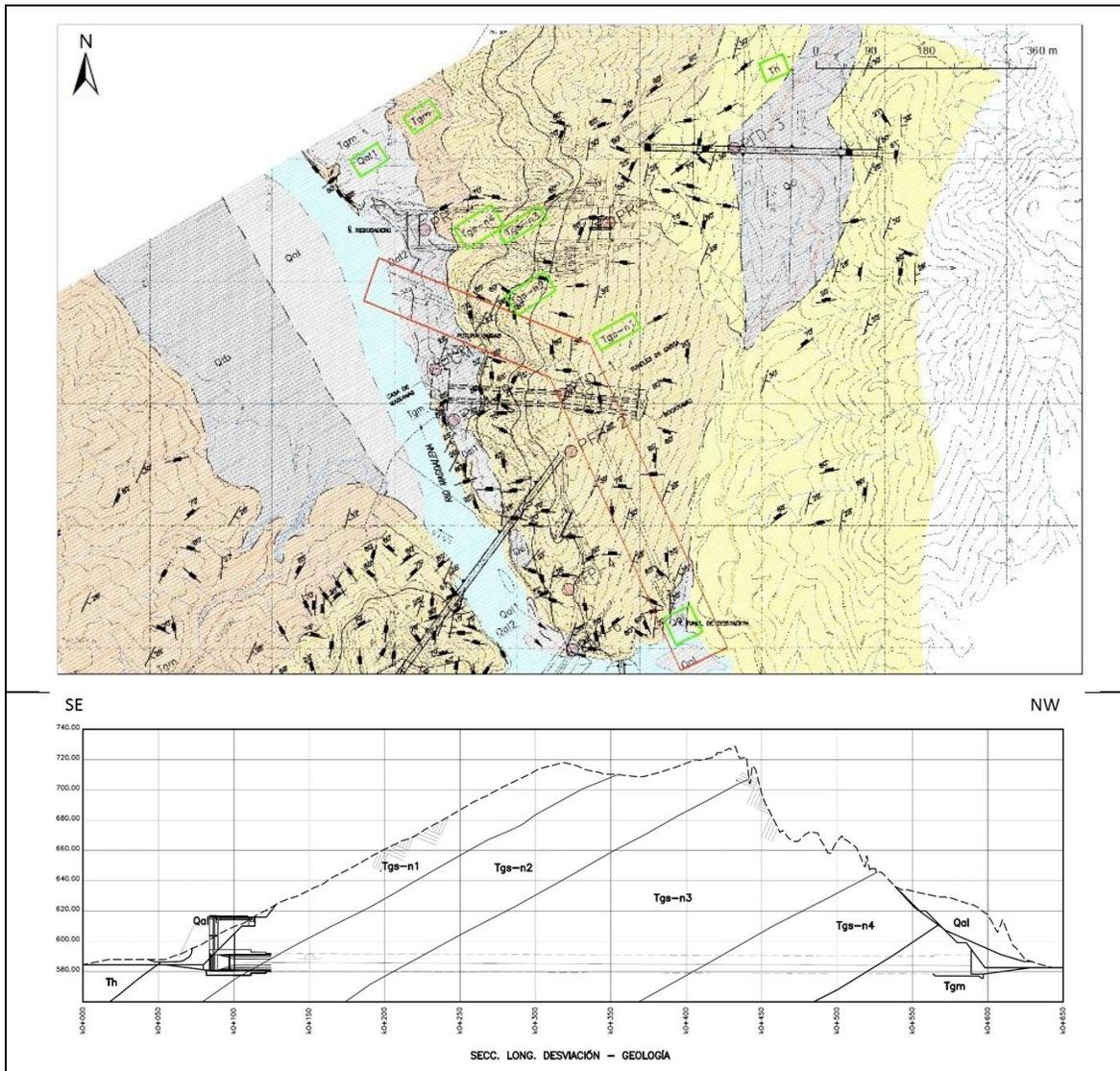


FIGURA 6. MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE OBRAS A ESCALA 1:2.000. EN ROJO EL TÚNEL DE DESVIACIÓN Y EN VERDE RESALTADA LA NOMENCLATURA DE UNIDADES GEOLÓGICAS. FUENTE: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL QUIMBO (OCTUBRE/2008). EL PERFIL SE TOMÓ DEL PLANO ANEXO PL-EIAQ-07. NÓTESE LA PRECARIEDAD DEL PERFIL GEOLÓGICO EN TÉRMINOS DE LA FALTA DE DATOS DE CAMPO EN SUPERFICIE, FRACTURAS O LA INEXISTENCIA DE FALLAS GEOLÓGICAS.

De la revisión anterior se concluye que no se presentan caracterizaciones litológicas del mismo grado de detalle para todas las unidades que afloran a lo largo del embalse. La descripción más completa corresponde a la de la Formación Gualanday superior dado que sobre esta se construyeron las principales estructuras del proyecto, sin embargo para algunas formaciones como Gigante y Gualanday medio, la información suministrada se considera bastante precaria, pues no hay ensayos de campo (martillo Schmidt, penetrómetro de bolsillo, etc.) ni tampoco de laboratorio de ingeniería (compresiones confinadas, triaxiales, cortes directos, etc.). Más adelante se abordarán estas deficiencias, junto con la ausencia de petrografía o petrofísica para definir porosidades en las unidades de areniscas o ensayos mineralógicos en arcillas.

Todas estas omisiones en la caracterización de las unidades de roca y depósitos generarán grandes incertidumbres en los componentes geotécnico e hidrogeológico, los cuales a su vez producen deficiencias en el diseño y construcción que pueden llevar incluso a fallas o accidentes en la represa.

3.1.2.2 Estructural

Es importante tener en cuenta que el componente estructural, que se refiere a los esfuerzos y deformaciones tectónicas que afectan las rocas, es de vital importancia a la hora de hacer el análisis sobre la hidrogeología, geomorfología, aspectos geotécnicos y amenazas sísmicas presentes en la zona de interés, ya que va a dar información relevante con la que se podrá identificar zonas de recarga por fracturamiento, zonas de inestabilidad por la disposición de las diferentes familias de fracturas, cuáles son las fallas que se encuentran activas y que son posiblemente fuentes sísmicas, conocer la dirección más convenientes a la hora de generar nuevos taludes, entre otros.

Por ello, se considera que si este ítem presenta fallencias los demás componentes geosféricos tendrán problemas, tal como lo da a entender Wallace (1975) en Lisle, R., et al. (2011)¹⁵ “La geología básica todavía tiene que venir primero – y si está mal, todo lo que sigue estará probablemente equivocado”

En el EIA se encuentra la descripción de 12 fallas geológicas, de las cuales se considera que siete (7) son las que se encuentran en la zona del embalse o tienen influencia sobre ella. Estas corresponden a las fallas Pitalito-Garzón-Algeciras, Suaza, Balseadero – Matarambo, Jerusalén, Rioseco, La Jagua y Tarquí, definidas como se muestra a continuación (EMGESA - INGETEC)¹⁶:

“Falla Pitalito – Garzón – Algeciras: Es una falla de cabalgamiento de carácter regional, localizada al oriente de la zona de estudio (...) Presenta una orientación general N40-50°E y buzamiento al E (...) Algunos autores la definen con movimiento dextral. La distancia más corta que la separa del sitio de la presa es de 17 km aproximadamente (...) El salto de falla varía entre los 2.500 y 6.000 m, y su edad es terciaria; presenta evidencias de actividad neotectónica. (...) Esta falla es la que presenta el mayor desplazamiento en tiempos recientes (...) Se considera que esta falla presenta actividad media.”

“Falla Suaza: Es una falla inversa de carácter regional, localizada al sur de la zona de estudio, donde presenta orientación general N10-60°E y termina contra la Falla de Pitalito - Garzón - Algeciras; presenta buzamiento fuerte al Este, del orden de los 60 grados; con el bloque oriental levantado y el bloque occidental hundido. El extremo norte del trazo, está separado del sitio de presa por una distancia aproximada de 40 km (...) El salto de falla varía entre 1000 y 6000 m. La edad es terciaria y presenta evidencias de actividad reciente o neotectónica”

“Falla Balseadero – Matambo: Es una falla inversa de mediana extensión que se desprende de la Falla de Pitalito - Garzón - Algeciras (...) En general presenta rumbos de N10-40°E y N-S, con buzamiento fuerte al este de 70-90 grados. El bloque oriental está levantado y el bloque occidental hundido. La distancia más corta al sitio de presa es de 4 km (...) El salto de falla es variable oscilando entre

¹⁵ Lisle, R., Brabham, P., & Barnes, J. (2011). Basic Geological Mapping. Wiley-Blackwell – A Jhon & Sons, Ltd., Publication

¹⁶ EMGESA-INGETEC. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 3, pág. 3.2-9 a 3.2-17

los 200 y 800 m. La edad es terciaria y presenta evidencias de actividad neotectónica (...) Sobre el trazo de esta se encontraron tres evidencias de actividad reciente que muestran desplazamientos hasta de 1,8 metros en un lahar depositado hace 100 000 años. También se encontraron grietas discontinuas en depósitos con edades de 15 000 a 20 000 años. Se considera que esta falla presenta baja actividad”

“Falla Jerusalén: Es una falla inversa de carácter local (...) Se desprende de la Falla de Pital - Betania, en inmediaciones de la población de El Agrado y choca contra la Falla de Balseadero - Matambo en cercanías a la localidad de Río Loro; presenta orientación general N65-75°E, con plano de falla vertical, con el bloque occidental levantado y el bloque oriental hundido (...) El salto de falla varía entre 700 y 800 m aproximadamente: la edad es Terciaria y no se han encontrado evidencias de actividad neotectónica.”

“Falla Rioseco: Es una falla normal, de carácter local (...) transversal al patrón regional de fallas inversas; localizada al norte y nor-occidente de la zona del embalse, con trazo paralelo al curso del río Páez, y cubierto casi en su totalidad por depósitos cuaternarios (...) Presenta orientación general N70°E, plano de falla vertical, con el bloque sur levantado y el bloque norte hundido (...) La distancia más corta que la separa del sitio de presa es de 1,5 km aproximadamente (...) El salto de falla es del orden de 700 m y disminuye paulatinamente hacia el occidente. La edad es terciaria y no presenta evidencias de actividad reciente o neotectónica (...) La falla de Río Seco que se encuentra a unos 2 km del sitio del proyecto (...) Sobre el trazo de esta se encontraron tres evidencias de neotectonismo representadas en grietas sobre depósitos recientes que demuestran que la falla tiene baja actividad en un sector de unos 6 km, localizado en la parte intermedia de su trazo.”

“Falla La Jagua: Es una falla normal de carácter local, localizada al sur de la zona del proyecto y al norte y nororiente de la población de La Jagua (...) presenta dirección general N80-85°E, con plano de falla vertical; el bloque norte está levantado y el bloque sur hundido. La distancia mínima al sitio de presa es de 32 km. (...) su salto de falla es bajo, del orden de 100 m. La edad es terciaria y en la actualidad presenta evidencias de actividad reciente o neotectónica.”

“Falla Tarquí: Es una falla inversa de carácter local, de aproximadamente 28 km de longitud (...) Presenta rumbo general N50°-60°E y buzamiento 70°E. La distancia mínima al sitio de presa es de 40 km aproximadamente (...) El salto de falla es del orden de 2 000 m en la parte sur, y disminuye paulatinamente hacia el norte. La edad es terciaria y presenta evidencias de actividad reciente o neotectónica.”

Estos apartes citados demuestran inconsistencias, incoherencias y contradicciones en un aspecto vital en una represa de las dimensiones de El Quimbo: la sismogeneración. No se entiende como se considera que la Falla de Balseadero, ubicada a tan solo 4 km del sitio de presa, presenta baja actividad si muestra desplazamientos de depósitos del Pleistoceno más tardío (entre otras cosas, que el desplazamiento ocurra en un material antiguo no permite definir de manera directa cuándo dicho desplazamiento se dio pues evidentemente se pueden tener deformaciones muy recientes en rocas antiguas).

Para la Falla de Rioseco, también ubicada muy cercana al sitio de presa (1,5 km), se dice por parte de EMGESA – INGETEC (2008) que no presenta evidencias de actividad reciente o neotectónica y a renglón seguido se dice que se encontraron evidencias de neotectonismo representadas en grietas sobre depósitos recientes, pero más confuso es que la conclusión de lo anterior sea que las grietas “demuestran que la falla tiene baja actividad”. Evidentemente las incoherencias se concluyen con argumentos equivocados y peligrosos que faltan al rigor técnico, pero también a los principios constitucionales de Precaución y Prevención.

No obstante todas las incoherencias, es importante tener en cuenta que de las siete (7) fallas que se encuentran en el área de influencia directa por corresponder al vaso, cinco (5), casi el 71,4%, presentan actividad reciente con evidencias de neotectónica, haciendo que la zona pueda ser considerada con muy alta actividad sísmica. Todo ello se recogerá en el capítulo 7 donde además se demuestra que la clasificación de la Falla de Algeciras que se muestra en los estudios de EMGESA-INGETEC (2008) desconocen los documentos técnicos oficiales y académicos que se han publicado y que el carácter de falla de cabalgamiento no tiene absolutamente ningún soporte, lo cual no solamente implica un problema académico, sino una gran incertidumbre en lo referente a la falla con mayor recurrencia histórica de sismos fuertes en Colombia.

Además de lo anterior, dentro del estudio se encuentran varias inconsistencias, las cuales serán descritas y explicadas a continuación:

- **Información levantada en campo:**

En la información revisada no se encontró la cantidad y la ubicación de los datos estructurales (estratificación, fracturamiento, diaclasas, planos de fallas, entre otros) tomados en la fase de campo que se afirma fue hecha (Cuadro 1.5-1¹⁷ del E.I.A.)

No existe un solo dato de medición de planos de falla reportado en los estudios, lo cual desconoce metodología sugeridas para evaluar la importancia de las fallas geológicas en aspectos de diseño de las presas (ICold¹⁸, 1998; Allen & Cluff¹⁹, 2000; Mahdavian²⁰, 2008; Wieland²¹ et al, 2008)

Estas dudas se refuerzan cuando dentro de las inconsistencias encontradas, se dice que el trabajo de campo geológico y geomorfológico fue realizado (Cuadro 1.5-1) mientras que en el Cuadro 1.5-2²² en donde se hace la relación de los trabajos de campo realizados para el EIA no se menciona.

- **Falta de claridad sobre la distancia a la que se encuentran las fallas**

Se observó que dentro del EIA no es clara la distancia a la que están ciertas fallas con respecto a zona de estudio, ya que se ve en diferentes párrafos una variación de casi 3

¹⁷ EMGESA-INGETEC. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 1, pág. 1-9

¹⁸ ICold (1998). Neotectonics and dams. Guidelines and case histories.

¹⁹ Allen, C. & Cluff, L. (2000). Active faults in dam foundations: An update

²⁰ Mahdavian, A. (2008). Rudbar Lorestan Dam Design and local Faults.

²¹ Wieland, M., Bozovic, A. & Brenner, R. (2008). Dam design - the effects of active faults

²² EMGESA-INGETEC. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 1, pág. 1-10

km para algunas de las fallas, como es el caso de las fallas de Pitalito - Garzón – Algeciras, Rioseco y Pital – Betania.

Como ejemplo, en una primera descripción de la Falla de Algeciras en la página 3.2-9 se menciona que la distancia que tiene con la presa es de 17 km, como se mostró anteriormente. Por otro lado, en la página 3.2-27 se afirma que la falla pasa a 20 km:

“La estructura tectónica más importante del área, la constituye la falla Pitalito - Garzón – Algeciras de unos 220 km de longitud, la cual pasa a unos 20 km al oriente del sitio del proyecto.” (Subrayado fuera del texto original)

Esta falta de claridad puede tener grandes consecuencias, no solo con la Falla de Algeciras, la cual se considera en el presente informe y en otros documentos (Velandia²³ et al., 2002; Chicangana, 2007) como una de las fuentes sísmicas más importantes en toda la zona de afectación del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo, sino con todas las fallas en general, ya que al no tener certeza de al menos cuál es su distancia con el proyecto se puede incurrir en deficiencias respecto a la afectación que pueden tener sobre la presa, llevando a no tomar las medidas necesarias para la mitigación de posibles daños dentro del proyecto. Las implicaciones de estas deficiencias y omisiones se detallarán en el capítulo 7.

- **Ausencia de características de macizo rocoso**

Dentro del EIA se menciona, en repetidas ocasiones, que se hizo el levantamiento de la información de macizo rocoso, como es el caso que se muestra a continuación:

“Debido a las características del macizo rocoso del estribo derecho, con sistemas de diaclasas en varias direcciones que impiden la construcción segura del sistema de túneles y cavernas requerido por una cada de máquinas subterránea, se optó por una casa de máquinas superficial, para cuya construcción se emplazaría una contraataguia temporal”²⁴

“En el sitio de presa además del levantamiento geológico, se realizaron investigaciones del subsuelo consistentes en perforaciones, excavación de galerías, apiques, trincheras y ensayos de refracción sísmica, las cuales sirvieron de base para caracterizar el macizo rocoso donde se localizaron las obras principales del proyecto, (...)”²⁵

Sin embargo, en dentro del documento no se encuentra cuáles fueron los rasgos tenidos en cuenta para la caracterización de macizo rocoso en la zona de estudio.

Por otro lado, en la descripción de los niveles considerados útiles para la extracción de material para construcción, se hace una clasificación de macizo rocoso para el Cuarto nivel de la Formación Gualanday:

²³ Velandia, F., Acosta, J., Terraza, R. y Villegas, H. (2002). The current tectonic motion of the Northern Andes along the Algeciras Fault System in SW Colombia

²⁴ EMGESA - INGETEC. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 0, pág. 0-2

²⁵ EMGESA - INGETEC. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 3, pág. 3.2-1

“Los resultados de las investigaciones indican que los afloramientos de la margen derecha del río Magdalena, principalmente constituidos por areniscas y conglomerados, presentan porcentajes de desgaste altos, mayores del 58%, alta absorción (entre 2,9% y 12%) y gravedad específica Bulk baja (entre 2,115 y 2,464); el contenido de finos es, en general, menor del 10%, no plásticos a ligeramente plásticos. Las areniscas presentaron pérdida total (100%) en el ensayo de solidez con sulfato de sodio, mientras que en el conglomerado el porcentaje de pérdida es algo menor, entre 75% y 87%. Los resultados de las muestras tomadas de la galería GLF-2 son similares, pero el contenido de finos es mayor, entre 17% y 18%. Su resistencia a la compresión inconfiada, deducida de los ensayos de carga puntual es, en promedio, del orden de 18 MPa para los materiales secos (en estado natural); el valor del RQD promedio de los sondeos con taladro y de los registros de las galerías, es del orden del 50%. De acuerdo con los datos anteriores, la clasificación del macizo rocoso efectuada según el criterio de Z. Bieniawski, daría un factor RMR del orden de 47, que corresponde a una roca de características regulares.”²⁶ (Subrayado fuera del texto original)

No obstante, aun cuando se anota por parte de EMGESA – Ingetec (2008) que utilizan la clasificación de Bieniawski, no se mencionan cuáles son las características y el peso dado para las diferentes familias de discontinuidades en este nivel rocoso. Dicho parámetro faltante resulta ser el de mayor peso en esta metodología cuando se evalúan taludes, por lo que se considera que lo consignado en el EIA es incompleto y que la calificación no da ninguna garantía de su veracidad.

La falta de caracterización de macizo rocoso en las unidades y áreas del proyecto y la deficiencia en la información mostrada para los niveles rocosos en los que se pretende explotar material de construcción, llevan a considerar que los cálculos de seguridad que se hayan hecho puedan estar incompletos o tener resultados erróneos, lo cual puede incidir en la estabilidad de cada una de las obras del proyecto, incluida la presa y el dique auxiliar.

3.1.2.3 Rocas y sedimentos como fuentes de material para construcción de obras

Según lo informado por EMGESA – INGETEC en el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo, para la construcción de algunas de las estructuras se utilizaron rocas y depósitos recientes cercanos al área del proyecto:

“Los materiales necesarios para la construcción de la presa, dique y para las obras en concreto del proyecto se ha previsto extraerlos de los depósitos aluviales de los ríos Magdalena y Páez, localizados aguas abajo del sitio de presa. Estos depósitos están conformados por arcillas, limos, arenas y gravas dispuestas en capas lenticulares con fragmentos redondeados principalmente de roca intrusiva.”

(...)

“El diseño del dique y de las Zonas 1B y 3B de la presa ha contemplado que para su construcción se utilicen los materiales provenientes de las excavaciones superficiales y subterráneas que se deben ejecutar para la construcción de las

²⁶ EMGESA - INGETEC. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 4, pág. 4-27

obras. Estos materiales corresponden básicamente a una secuencia de conglomerados con intercalaciones de arenisca y en menor proporción de limolitas arcillolitas, pertenecientes a los cuatro niveles de la Formación Gualanday Superior²⁷

Para ello en el EIA (2008) fueron definidas 10 áreas denominadas *fuentes de materiales* de las cuales se esperaba extraer tanto el volumen de material aluvial (9) como el de roca (1) necesario para estas construcciones. Para la descripción de dichas áreas se realizaron una serie de apiques, trincheras, barrenos y perforaciones en varios de los polígonos definidos para materiales aluviales, sin embargo ni en el documento donde se describen ni en los anexos asociados se encuentra el mapa correspondiente, lo cual dificulta la comprensión del impacto ambiental de una actividad minera asociada al proyecto.

En cuanto a la roca, tan solo se hace una descripción de los 4 niveles que conforman la Formación Gualanday Superior a pesar de que en el capítulo 2 mencionan que el núcleo impermeable del dique auxiliar pretende hacerse con suelo residual de la Formación Honda.

Por otro lado, en el EIA se definieron 8 áreas más denominadas *zonas de préstamo/depósito* como posibles fuentes de materiales, de las cuales no se encuentra descripción alguna. No obstante, mediante resolución 899 del 15 de mayo de 2009 (*por la cual se otorga la licencia ambiental para el proyecto hidroeléctrico El Quimbo*) la ANLA negó el permiso de extracción de materiales de arrastre y cantera ya que para la fecha la empresa no contaba con título minero en las áreas solicitadas.

Posteriormente, EMGESA remitió copia de 6 contratos de concesión minera celebrados entre la empresa y el INGEOMINAS el 29 de septiembre de 2009²⁸. Mediante Auto 2901 ANLA requiere a EMGESA los levantamientos topográficos, análisis de régimen hidráulico y sedimentológicos, entre otros, de las áreas objeto de extracción en cumplimiento de los términos de referencia *HE-TER-1-01*. En respuesta EMGESA remite al ANLA los estudios mencionados previamente y certificado del registro minero del título KI9-08302X²⁹ (que recoge los 8 contratos de concesión inscritos por EMGESA en el área) con vigencia de 20 de octubre de 2009 al 19 de octubre de 2019. En consecuencia, mediante resolución 2766 del 30 de diciembre de 2010 ANLA autoriza 7 áreas de extracción de materiales (5, 6, 9, 10, 11, 12, 14, 15 y 19). Luego, en febrero de 2011 EMGESA presenta estudio para la aprobación de 8 nuevas áreas (7, 8, 13, 14^a, 16, 21, 22 y 23) y la ampliación del área 19³⁰, sin embargo ANLA mediante resolución 971 del 27 de mayo de 2011 autoriza solamente 6 áreas (7, 8, 14^a, 21 y 23) y la ampliación. Finalmente, mediante resolución 12 del 13 de octubre de 2011 y resolución 181 del 28 de febrero de 2014 se autorizaron las áreas denominadas 22 y El Quimbo (1 y 2)³¹. En conclusión fueron en total 16 áreas autorizadas por ANLA para la extracción de materiales aluviales y de cantera para ser usados en las construcciones del proyecto.

²⁷ EMGESA - INGETEC. 2008. Estudio de Impacto Ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 2, pág. 2 -32 y 2-33

²⁸ Radicado ANLA 4120-E1-40218

²⁹ Radicados 4120-E1-115489 y 4120-E1-169431, respectivamente.

³⁰ Radicado 4120-E1-14771

³¹ No fue posible acceder a la copia de estas resoluciones

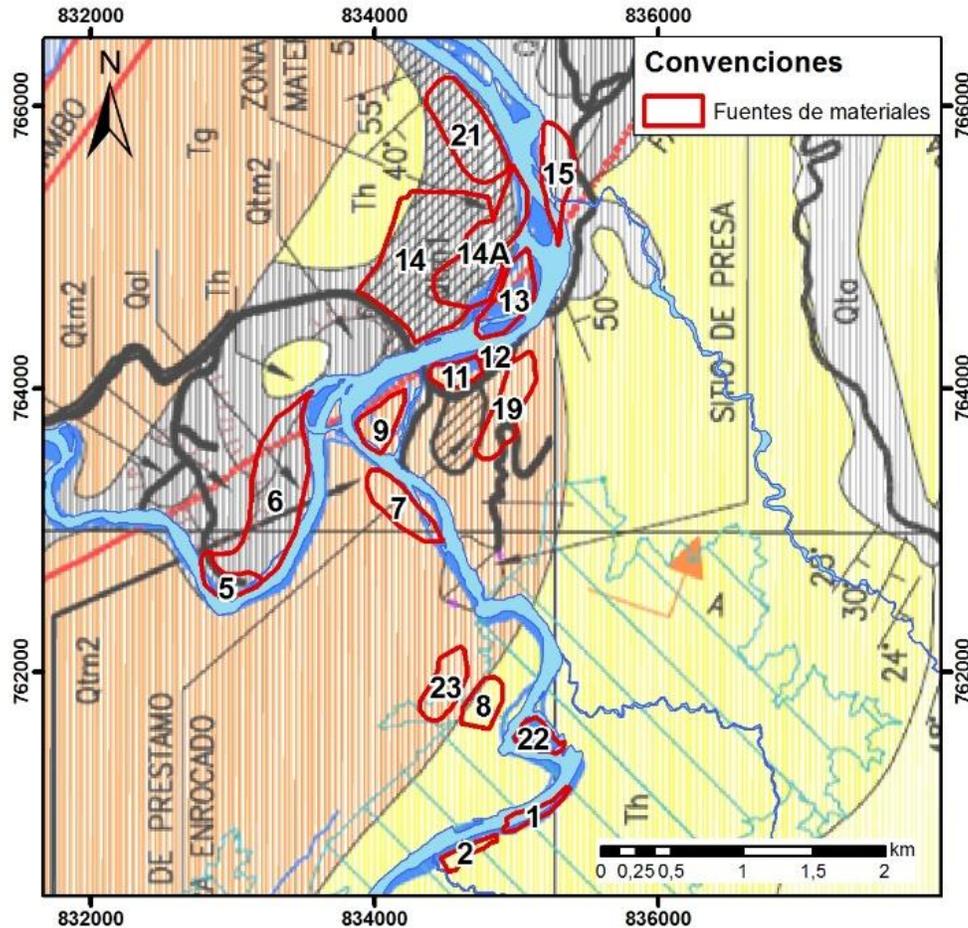


FIGURA 7. ÁREAS DE FUENTES DE MATERIALES UTILIZADOS PARA OBRAS PRINCIPALES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL QUIMBO (ICA No. 14, 2016) SOBRE GEOLOGÍA REGIONAL A ESCALA 1:75.000 (EN EL EIA PRESENTADO EN 2008). ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DE EMGESA - INGETEC.

- **Caracterización de los materiales**

Las áreas explotadas comprendían principalmente depósitos aluviales de los ríos Magdalena y Páez, a excepción de las áreas denominadas 8, 19 y 23 que se encuentran sobre rocas de las formaciones Gualanday Superior y Honda. A la fecha todas las áreas fuentes de material se encuentran cerradas y algunas en proceso de recuperación o, en el caso de las áreas 1, 2, 8, 22 y 23, inundadas por el embalse.

Dada la caracterización dada por EMGESA – INGETEC tanto de los depósitos aluviales como de las formaciones Gualanday Superior y Honda es necesaria la identificación de los minerales arcillosos presentes. Lo anterior dada la gran influencia de algunos minerales arcillosos con propiedades expansivas en el comportamiento mecánico de las estructuras del proyecto.

Los minerales arcillosos son estructuras en hojas que están conformadas por láminas de silicio (Si^{+4}) y aluminio (Al^{+3}) unidas entre ellas por oxígenos o grupos OH (Gaviria &

Sánchez, 2013)³². Dichas estructuras pueden ser de tipo 1:1 con una lámina de silicio y una lámina de aluminio, o de tipo 2:1 con dos láminas de silicio encerrando una lámina de aluminio, teniendo cada una un ancho determinado (d).

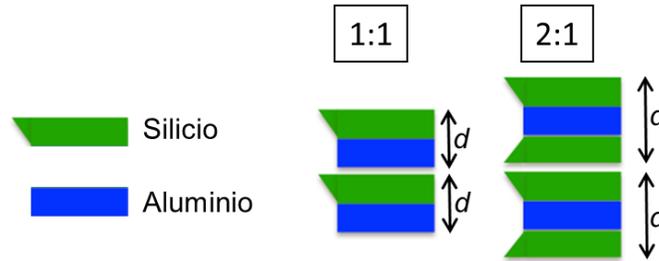
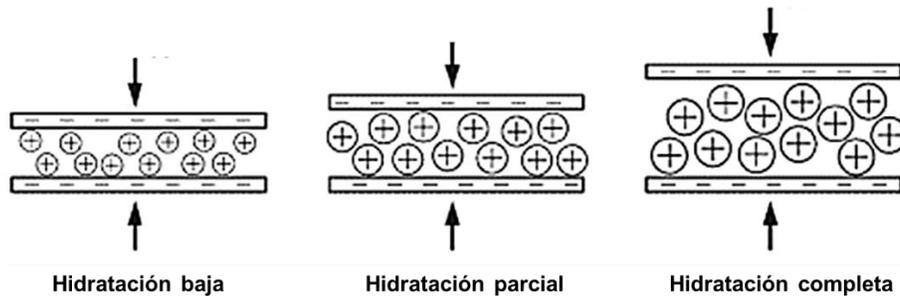


FIGURA 8. ESQUEMAS DE ESTRUCTURAS DE MINERALES ARCILLOSOS TIPO 1:1 Y 2:1. MODIFICADO DE GAVIRIA & SÁNCHEZ, 2013.

Las estructuras tipo 2:1, por desequilibrios iónicos, permiten la inclusión de diferentes moléculas entre las láminas lo cual da origen a una amplia gama de minerales arcillosos de este tipo (Gaviria & Sánchez, 2013). Entre estos minerales se encuentran las denominadas arcillas expansivas las cuales pueden acomodar entre sus láminas cationes hidratados (rodeados de moléculas de agua) incrementando así el ancho de sus láminas (d) (Mitchell & Soga, 2005³³). Entre las más importantes se encuentra la familia de las esmectitas las cuales tienen en sus espacios interlaminares cationes hidratados de sodio (Na) o calcio (Ca) (Gaviria & Sánchez, 2013) de las cuales se destaca en [articular la montmorillonita.

Dependiendo la disponibilidad de agua en el suelo o roca que presenten este tipo de arcillas, la hidratación de los cationes interlaminares irá aumentando lo que implicará incluso un incremento del 10% en el diámetro de los cationes, 10% de aumento en el ancho de las láminas (d) lo cual estaría relacionado con una significativa expansión de los suelos (Nelson *et al.*, 2015³⁴). Precisamente son estos cambios de volumen (aumento por hidratación y disminución por secado) los que pueden generar fallas en las estructuras construidas ya sea por los materiales utilizados o por los materiales sobre los cuales fueron puestas.



³² Gaviria, S. & Sánchez, M. 2013. La geoquímica y la mineralogía de rocas sedimentarias en cuencas hidrográficas de alta montaña tropical. En Aspectos geoambientales Sistema Chingaza – Informe I. Empresa Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB – e Instituto de Estudios Urbanos – IEU - de la Universidad Nacional de Colombia.

³³ Mitchell, J. & Soga, K. 2005. Fundamentals of soil behavior. Tercera edición. John Wiley & Sons, Inc.

³⁴ Nelson, J., Chao, K., Overton, D. & Nelson, E. 2015. Foundation engineering for expansive soils. John Wiley & Sons, Inc

FIGURA 9. AUMENTO DEL ANCHO DE LAS LÁMINAS EN RELACIÓN CON LA MAGNITUD DE HIDRATACIÓN DE LOS CATIONES. FUENTE NELSON, *ET AL.*, 2015.

Dada la importancia de esta información, en el caso del proyecto hidroeléctrico El Quimbo es evidente la ausencia de estudios mineralógicos tanto en el EIA como en los diferentes complementos y estudios técnicos llevados a cabo por EMGESA y que sean de carácter público que permitan la identificación de este tipo de minerales en los materiales que fueron usados para la construcción de la presa, dique auxiliar y demás obras, o sobre los cuales estas mismas estructuras fueron construidas.

Por ejemplo, la zona de *fuentes de materiales* No. 8 se encuentra sobre la Formación Honda y los materiales que de allí se extrajeron fueron usados para la conformación del núcleo impermeable del dique auxiliar, la ataguía, y para el depósito impermeable sobre la cara de concreto³⁵. En cuanto a esta formación, Laguna *et al* (2008³⁶) caracterizó arcillolitas de la Formación Honda en el Tolima determinando que estas tienen de 24 a 64% de montmorillonita susceptibles a expandirse tanto de origen diagenético (durante la formación de la roca) como por meteorización (transformación de minerales existentes en la roca en montmorillonita). Este último puede implicar que el porcentaje de montmorillonita aumente a medida que se meteoriza la roca.

Por otro lado, las áreas No. 19 y 23 se encuentran sobre la Formación Gualanday Superior y a pesar de que el material extraído de cada una fue utilizado para la construcción del contrafuerte del dique auxiliar³⁷ y lleno de presa y dique auxiliar, y para la conformación de las zonas 2B, 3B, 3C, 3D y 6 de la presa de cara de concreto y lleno del dique auxiliar³⁸, respectivamente, tampoco existe caracterización mineralógica de la fracción arcilla de estos materiales. Esto mismo sucede con los depósitos aluviales que también fueron utilizados en cada una de las construcciones relacionadas con el proyecto y que finalmente pueden estar compuestos por sedimentos provenientes de las laderas contiguas (conformadas en parte por Formación Honda), lo cual aumenta aún más la incertidumbre.

Teniendo en cuenta las implicaciones ambientales y sociales que podría tener una falla en la presa, el dique auxiliar o cualquiera de las estructuras principales del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, es necesario hacer la caracterización mineralógica detallada de los materiales usados para su construcción y asentamiento (porcentaje de fracción arcilla, identificación de minerales arcillosos, capacidad de intercambio catiónico, microsonda electrónica, barrido electrónico).

Adicional a esto, con el fin de identificar arcillas expansivas es necesario hacer pruebas de medidas de propiedades físicas como plasticidad, límites de Atterberg, pozo libre y potencial de cambio de volumen (Nelson *et al.*, 2015).

En cuanto a la Formación Honda, en los anexos del documento entregado para la inclusión de nuevas áreas de extracción en febrero de 2011 se encuentran una serie de

³⁵ EMGESA - INGETEC. 2012. Informe de Cumplimiento Ambiental No. 6. Ficha 1ª 7.2.1. Fuentes de materiales en el desarrollo de las actividades del proyecto hidroeléctrico El Quimbo.

³⁶ Laguna, O., Molina, C., Moreno, S. & Molina, R. 2008. Naturaleza mineralógica de esmectitas (noreste del Tolima). Boletín de Ciencias de La Tierra No. 23. Medellín.

³⁷ EMGESA - INGETEC. 2016. Informe de Cumplimiento Ambiental No. 13. Ficha 1ª 7.2.1. Fuentes de materiales en el desarrollo de las actividades del proyecto hidroeléctrico El Quimbo

³⁸ EMGESA - INGETEC. 2015. Informe de Cumplimiento Ambiental No. 11. Ficha 1ª 7.2.1. Fuentes de materiales en el desarrollo de las actividades del proyecto hidroeléctrico El Quimbo

análisis físicos hechos a muestras tomadas de apiques dentro del área 8. Entre estos se encuentra el *Límite Líquido* (LL) y *Límite Plástico* (LP) con los cuales es posible sacar el valor de *Índice Plástico* (IP) a partir de la siguiente relación:

$$IP = LL - LP$$

Los valores obtenidos para las muestras de la Formación Honda presentan valores de IP de 13 a 24 los cuales según Patrone y Prefumo (s.f.³⁹) se encuentran dentro de un grado de potencial expansivo medio a alto. Este tipo de ensayos aparentemente no se hicieron en muestras de la Formación Gualanday Superior y depósitos aluviales, de allí la importancia de complementar con información mineralógica ya que en cada una de las unidades utilizadas existe fracción arcilla que puede llegar a tener los componentes previamente descritos.

- ***Irregularidades en el proceso de aprobación y ejecución de extracción de materiales***

Una de las irregularidades que sale a relucir durante este proceso es la aprobación del área 22 mediante resolución 22 del 13 de octubre de 2011. Ya en la resolución 971 del 27 de mayo de 2011 se había negado el permiso para esta área en particular por la siguiente razón:

De acuerdo con la información evaluada, se pudo establecer que la zona 22 no es una playa, es una isla localizada dentro del cauce del Río Magdalena²³. De los análisis de los regímenes hidráulicos se estableció la necesidad de realizar obras de acceso y de protección contra inundaciones por riesgos crecientes súbitas del río Magdalena.

Para el caso de la zona 22, se cumple la misma condición de las zonas 13 y 16. Esto es que las tres se encuentran ubicadas dentro del cauce del río Magdalena (ya que corresponden a islotes formados por la acumulación de material aluvial de arrastre) y su explotación implicaría una intervención directa de esta corriente de agua por el acceso directo de maquinaria, volquetas y equipos a estas zonas y/o por el cierre temporal de brazos mediante diques para los accesos. Esta actividad alteraría la morfología del cauce generando riesgos en estos sectores, ante posibles eventos de crecientes durante los aproximadamente 4 años de construcción previstos para la ejecución de la presa y obras anexas.

Por esta razón, se considera que no es viable autorizar la extracción de material de arrastre en la zona 22.

Tal y como se menciona en la resolución, el área 13 y 16 había sido negado ya en dos ocasiones por las mismas razones. Aun así el área 22 fue aprobada en el 2011, sin embargo no fue posible evaluar dicha resolución ya que no se encontró en el expediente en este momento, razón por la cual se desconoce qué condiciones pudieron haber cambiado para que ANLA cambiara de opinión.

Por otro lado, a pesar de que ANLA aprobó 16 polígonos para la extracción de materiales de arrastre y cantera, al colocarse dichos polígonos sobre el Google Earth® se observa que aunque todos se encuentran dentro del contrato de concesión mencionado previamente, existen áreas aguas abajo de la confluencia del río Páez y Magdalena que aparentemente fue intervenida para extracción de materiales en particular de cantera

³⁹ Patrone, J. & Prefumo, J. s.f. La acción de los suelos expansivos sobre las cimentaciones. Métodos de prevención y control. Primeras Jornadas de Ingeniería de cimentaciones. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Montevideo.

(roca) dada su localización sobre las laderas y algunas estructuras que se identifican difusamente en la imagen satelital (taludes y bermas). Lo anterior implicaría un incumplimiento por parte de la empresa en relación a los permisos otorgados por ANLA.

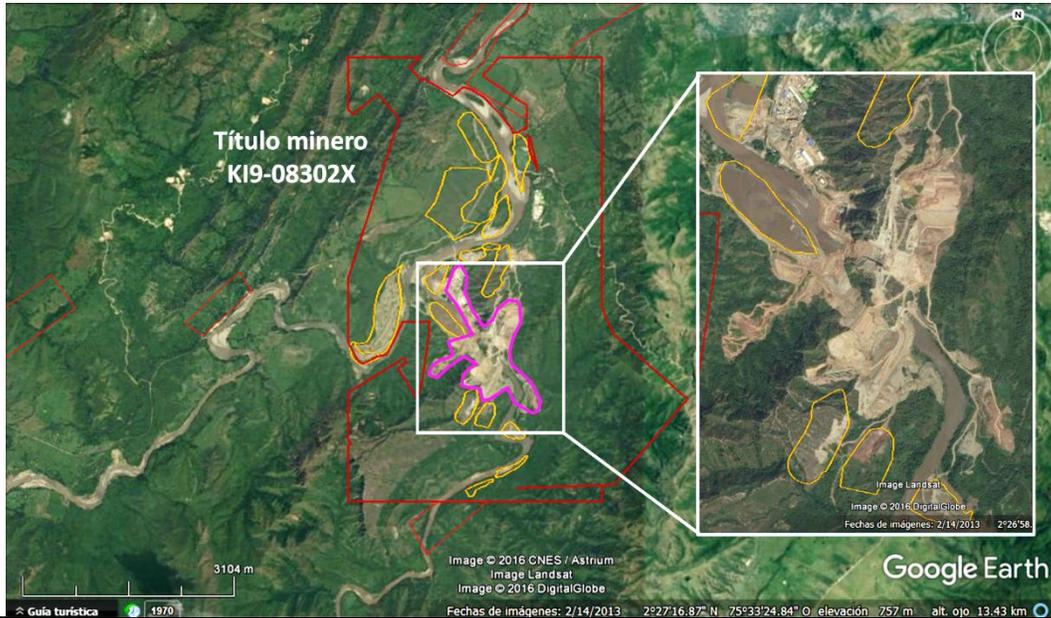


FIGURA 10. ÁREAS DE FUENTES DE MATERIAL (POLÍGONOS NARANJA), ÁREA INTERVENIDA POR FUERA DE ÁREAS AUTORIZADAS (POLÍGONO MORADO) Y TÍTULO MINERO K10-08302X (POLÍGONO ROJO) SOBRE IMAGEN SATELITAL DE GOOGLE EARTH DE FEBRERO DE 2014. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Por último, según la información suministrada en la *Ficha 1ª 7.2.1. Fuentes de materiales en el desarrollo de las actividades del proyecto hidroeléctrico El Quimbo* del ICA No. 14, en la zona no. 8 se extrajo más material del autorizado por la autoridad ambiental (2.000 m³ más).

Tabla 4. Volumen de material extraído de cada una de las áreas de fuentes materiales. Fuente: ICA No. 14 de EMGESA.

Zona	Área (ha)	Cantidad licenciada (m ³)	Cantidad ejecutada a Agosto 2016 (m ³)	Observaciones
5	5,15	270.000,00	127.054,00	Actividad de extracción de material en la zona se encuentra culminada. En proceso de recuperación a través de plan de abandono.
6	40,4	1.800.000,00	1.475.158,00	
7	11,64	540.690,00	518.579,00	
8	7,1	156.911,00	158.911,00	Zona inundada por proceso del lleno de embalse.
9	8	473.356,00	308.255,00	Actividad de extracción de material en la zona se encuentra culminada. En proceso de recuperación a través de plan de abandono.
11	5,5	220.000,00	173.302	
12	1,8	72.000,00	17.139	
13	12,70	1.184.370	515.111,02	
14	73,28	3.600.000,00	2.803.349,00	Actividad de explotación culminada, proceso de adecuación para plan de abandono.
14 A	27,9	1.567.239,00	1.074.030,00	Actividad de extracción de material en la

Zona	Área (ha)	Cantidad licenciada (m ³)	Cantidad ejecutada a Agosto 2016 (m ³)	Observaciones
15	12,36	512.000,00	261.171	zona se encuentra culminada. En proceso de recuperación a través de plan de abandono.
19	14,7	2.000.000,00	1.996.939	Actividad de explotación culminada. En proceso de recuperación a través de plan de abandono.
21	22.84	1.613.987,00	814.421	Actividad de explotación culminada. En proceso de recuperación de área (plan abandono)
22	5,1	318.679,00	317.167	Zona inundada en el proceso de lleno del embalse.
23	9,86	1.963.500,00	1.164.759	
EL QUIMBO (zona 1 y zona 2)	6,0	112.391	109.629	

3.2 GEOMORFOLOGÍA

3.2.1 Análisis de los términos de referencia

Los términos de referencia solamente solicitan la caracterización geomorfológica del Área de Influencia Directa que para este caso es el área que se inundará. Esto es un error, pues como se verá a continuación, la caracterización geomorfológica en términos de morfodinámica del área de influencia indirecta es importante para determinar la vida útil del proyecto, pues es el área de influencia indirecta la que genera el aporte de sedimentos que una vez inundado el embalse va a continuar llegando.

De igual manera, mencionan que la caracterización debe ser hecha a partir de fotointerpretación y campo. Esto último está incompleto pues como se verá más adelante, la fotointerpretación debe ser multitemporal con el ánimo de hacer un inventario de proceso lo más completo posible.

No exigen llevar a cabo el monitoreo de los procesos encontrados, por lo que no se tiene clara la velocidad del movimiento.

La escala solicitada no es la adecuada. 1:25.000 quiere decir que en 1cm se representan 250 metros del terreno, en 250 metros se pueden tener muchos deslizamientos 5 de los grandes (de 50 metros de ancho) o 20 de los pequeños (de 10 metros de ancho). No es posible representar 20 deslizamientos en 1 centímetro de papel.

No exigen hacer una caracterización de dinámica fluvial ni morfológica de las cuencas lo cual es importante a la hora de determinar aspectos de torrencialidad como claramente se ha visto que ocurre en varios de los afluentes del río Magdalena en la zona de estudio como lo son el río La Plata y el río Suaza.

En la evaluación de impactos no se contempla el seguimiento a los niveles freáticos aguas arriba del embalse. Esto es importante ya que un aumento del nivel freático, implica un aumento en la presión de poros y por ende una mayor ocurrencia de procesos morfodinámicos que generarían mayor sedimentación y disminuirían la vida útil del proyecto.

3.2.2 Análisis del Estudio de Impacto Ambiental (EIA)

El presente documento comprende el análisis del componente geomorfológico del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. En la elaboración de un estudio de Impacto ambiental se hace una caracterización de la zona (línea base), a partir de la cual se identifican los impactos que la actividad tendría sobre los elementos bióticos y abióticos presentes en la zona y se plantea una línea de acción al respecto.

La geomorfología es insumo para la zonificación geotécnica y para la caracterización y clasificación del paisaje, todos los cuales son a su vez insumo para el diseño del proyecto y la zonificación ambiental, pero al presentar inconsistencias e incertidumbres, cualquier análisis posterior no tendría un sustento técnico confiable, entonces, ¿Cómo asegurar la vida útil del proyecto? ¿Cómo se va a ejercer alguna acción para prevenir, controlar o mitigar los impactos ambientales que la actividad va a generar sobre el territorio, si la identificación de impactos no tiene el sustento adecuado?

Este análisis describe las inconsistencias e incertidumbres encontradas en la caracterización geomorfológica de la zona.

3.2.2.1 Cartografía geomorfológica.

El propósito de la cartografía geomorfológica es proporcionar información concisa y sistemática sobre las formas del terreno; su origen, los procesos naturales que han ocurrido y los fenómenos naturales activos. En ese sentido los mapas geomorfológicos deben ser herramientas útiles, que permiten evaluar el comportamiento de los terrenos, inventariar los movimientos en masa y sus aplicaciones en la evaluación de amenazas naturales, elaboración de Planes de Ordenamiento Territorial, considerar el desarrollo de obras de infraestructura, y establecer zonificaciones geomecánicas entre otras.

Estos mapas dan información sobre formas del relieve y procesos con énfasis en la morfogénesis y la morfocronología. Incluyen información geológica (Litológica y estructural). Estos mapas contienen la información en orden jerárquico, iniciando con La Morfogénesis, Morfología, Morfometría y Morfocronología y parcialmente Morfoestructura (litología)⁴⁰.

Para la elaboración de un mapa geomorfológico se necesitan al menos la recopilación de información secundaria, mapa geológico, trabajo de campo, análisis de fotografías aéreas o imágenes satelitales, y topografía.

Para la generación del mapa geomorfológico del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, se basaron únicamente en “*interpretación de fotografías aéreas y trabajos de reconocimiento y control de campo*”⁴¹. Luego, al final del documento mencionan la existencia del mapa de pendientes.

Al revisar los mapas presentados, el mapa geomorfológico (anexo PL-EIAQ-19-1) se encuentra en escala 1:75.000 y cubre el área de influencia directa e indirecta, por lo que estaría incumpliendo los términos de referencia que exigen el mapa a una escala de 1:25.000.

⁴⁰ Verstappen, H. & Van Zuidam, R. A. (1992). *El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos*. ITC, 10. Villanueva de Huerva.

⁴¹ EMGESA - INGETEC. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 3, pág. 21-41

Presentan también un mapa de zonas inestables (anexos PL-EIAQ-23-A1 y PL-EIAQ-23-A2), a escala 1:25.000, que cubre solo el área de influencia indirecta y presenta las zonas inestables en conjunto con las unidades geomorfológicas.

Al comparar ambos mapas, en el de detalle se observan exactamente las mismas unidades geomorfológicas, excepto por algunas relacionadas a los depósitos aluviales (terrazas). Lo anterior indica falta de rigor y de trabajo para detallar escalas, pues al aumentar la escala de 1:75.000 a 1:25.000, las unidades previamente definidas pueden ser subdivididas en unidades más pequeñas de acuerdo a características como litología, disposición estructural de los estratos, pendientes y procesos morfodinámicos existentes. Por ejemplo, la unidad Cresta monoclinial puede subdividirse en dos unidades: ladera estructural de cresta monoclinial y ladera de contrapendiente de cresta monoclinial, y dicha subdivisión no se observa en el mapa a escala 1:25.000.

El mapa de pendientes que presentan corresponde únicamente al área de influencia directa, lo cual indica que no fue utilizado para la cartografía de la totalidad del mapa geomorfológico presentado en el anexo PL-EIAQ-19-1.

Finalmente, como se mencionó anteriormente para generar un mapa geomorfológico, se debe usar el mapa de pendientes como insumo. Al comparar el mapa de pendientes con el mapa geomorfológico de los anexos PL-EIAQ-23-A1 y PL-EIAQ-23-A2, se puede ver claramente que los cambios de pendientes, que marcarían límites de unidades no coinciden con los límites trazados en el mapa geomorfológico, lo que indica que metodológicamente el mapa presentado tiene graves errores conceptuales.

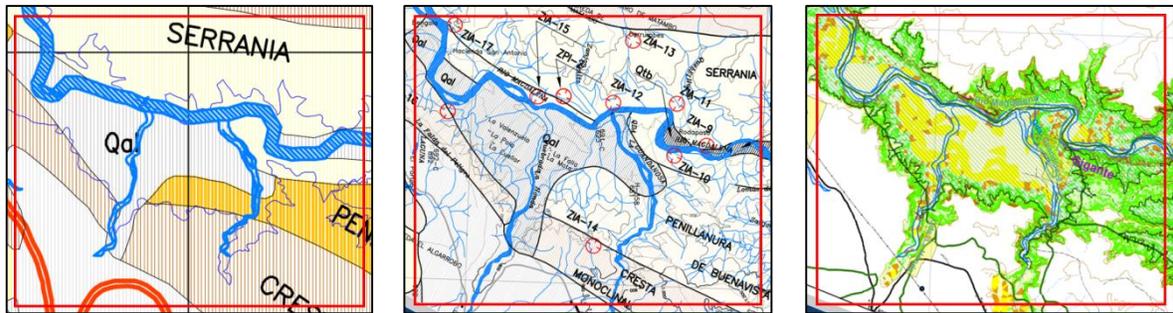


FIGURA 11. DE IZQUIERDA A DERECHA: MAPA GEOMORFOLÓGICO EN ESCALA 1:75.000, MAPA DE ZONAS INESTABLES A ESCALA 1:25.000 Y MAPA DE PENDIENTES. NÓTESE LA CARTOGRAFÍA DE LA UNIDAD “QAL”, DEBERÍA SER MÁS DETALLADO SU TRAZO EN EL MAPA DEL MEDIO Y COINCIDIR CON EL ÁREA EN PÍXELES AMARILLOS DEL MAPA DE PENDIENTES, PERO NO SE HACE.

No es clara la metodología usada para la generación del mapa de pendientes. En el numeral 3.2.3.2.1. referente a suelos mencionan que “*el mapa de pendientes se hizo utilizando cartografía de escala 1: 10.000, con curvas de nivel cada 10 metros*”⁴². Sin embargo, en el numeral 3.2.10.1.5.1 referente a calidad paisajística mencionan que fue “*calculado a partir del modelo digital de elevaciones*”⁴³.

⁴² EMGESA - INGETEC. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 3, pág. 21-41

⁴³ EMGESA - INGETEC. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 3, pág. 21-41

3.2.2.2 Morfodinámica

En este aparte deberían describirse los procesos que modifican el relieve y los agentes que inciden en estos cambios, principalmente aquellos que tienen algún grado de importancia para el área de estudio. Los procesos que deben ir en este aparte consisten en procesos de remoción en masa y procesos erosivos.

En el capítulo de morfodinámica del EIA, presentan:

“resumen de las características de algunos valles de ríos y quebradas, así como volcanes de la Cordillera Central, que aunque se encuentran por fuera de la zona del proyecto, tienen influencia sobre ella, describiendo algunos fenómenos asociados a ellos....Estas descripciones se refieren a los valles de los ríos Páez y su avalancha de 1994, La Plata, Magdalena, Suaza, Timaná y quebradas La Viciosa y Guandinoso; así como los volcanes Nevado del Huila, Puracé, Pan de Azúcar y Coconucos, que son los que tiene incidencia en la zona”⁴⁴.

Lugo, explica que, para el área del proyecto, se han establecido dos sectores *“con base en las cuencas hidrográficas de los ríos Magdalena, Suaza, Timaná, Páez y La Plata, por hacer parte de los ríos más importantes de la región, y porque asociados a algunos de ellos se han presentado fenómenos de remoción en masa, avalanchas o crecientes”*

A la final el capítulo termina siendo un recuento histórico de desastres naturales que han ocurrido en el área, pero sin llegar a ningún análisis específico de como utilizaron dicha información en el diseño de la presa o en caso de que volvieran a ocurrir cuales serían las consecuencias para el proyecto y los impactos ambientales asociados.

Lo más parecido a lo que debería ser un capítulo de morfodinámica es el capítulo de estabilidad. En este se describe el inventario de zonas inestables realizado en la etapa de factibilidad del proyecto durante los años 1995 y 1996, que consistió de 23 zonas inestables activas (ZIA) y dos zonas potencialmente inestables (ZPI) en el área del embalse, desde el sitio de presa hasta la cola del embalse. Con dicha información concluyen que:

“Los fenómenos de remoción en masa serían de poca magnitud por desprendimientos de material y deslizamientos planares (del orden de 600 000 m³). Estos desprendimientos serían lentos y ocurrirían principalmente bajo el nivel de las aguas normales del embalse, además por su gran extensión, la ocurrencia de olas causadas por deslizamientos no sería significativa en el sitio de presa”.

Al analizar las 25 zonas encontradas fue posible evidenciar que el área reportada como afectada para cada punto correspondía a un solo proceso de remoción en masa, por lo que el inventario es un inventario de procesos, y un inventario incompleto.

Como ejemplo de esto se tiene la zona inestable activa 3 ZIA-3, la cual reporta un área afectada de 3200 m² que correspondería al polígono naranja de la imagen de la izquierda en la siguiente figura. Sin embargo, en esa zona hay más de un deslizamiento como se señala en la imagen de la derecha de la siguiente figura en donde cada línea fucsia

⁴⁴ EMGESA - INGETEC. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 3, pág. 21-41

representa la corona de un proceso (antiguo y reciente) y el área afectada total es cerca a los 85.650 m².

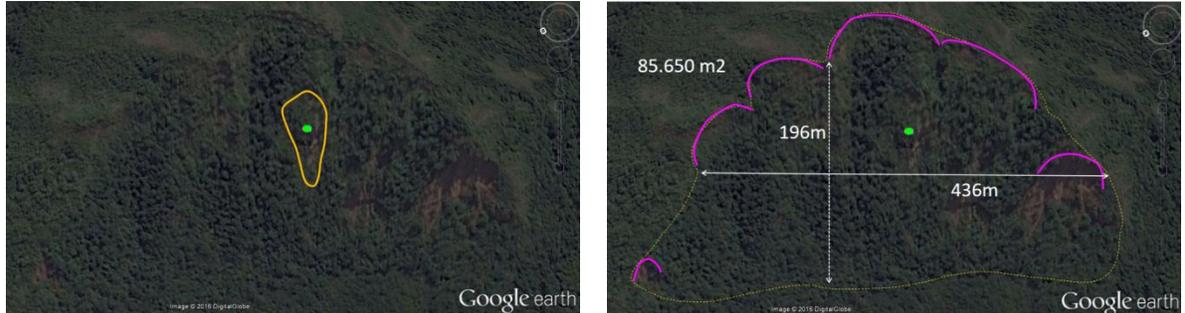


FIGURA 12. ZONA INESTABLE ACTIVA 3 UBICADA EN IMAGEN DE GOOGLE EARTH 2016. A LA IZQUIERDA ÁREA REPORTADA POR EL EIA, A LA DERECHA ÁREA REAL AFECTADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La mejor metodología para generar un inventario de procesos es por medio de un análisis multitemporal de fotografías aéreas o de imágenes satelitales⁴⁵, pues por medio de este se pueden identificar antiguos procesos que actualmente ya están cicatrizados y cubiertos de vegetación.

Lo anterior es de mucha importancia para la zona de estudio, pues estamos en un país tropical en el que la vegetación crece muy rápido y es una zona sísmicamente activa. Y son justamente las lluvias y los sismos los principales detonantes de procesos.

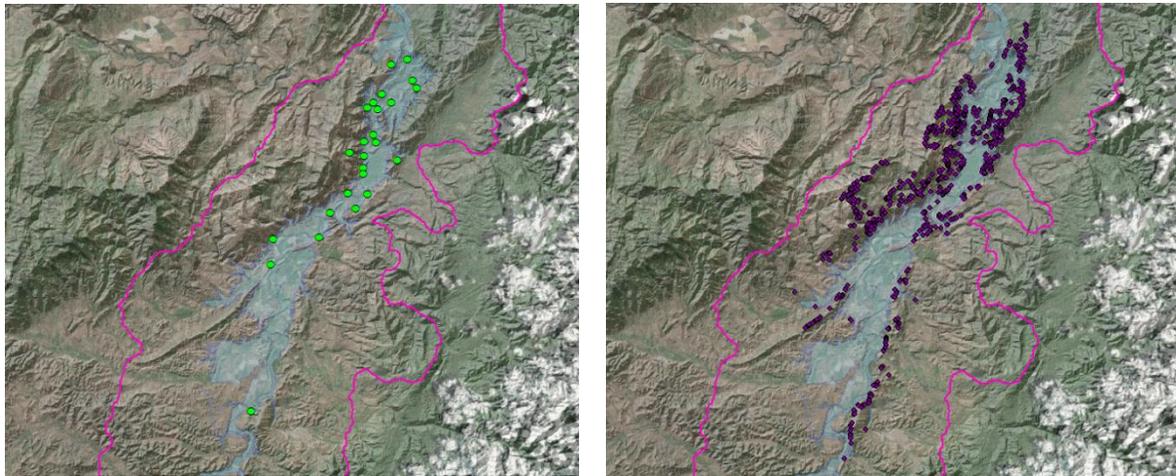


FIGURA 13. A LA IZQUIERDA, INVENTARIO DE ZONAS INESTABLES PRESENTADO POR EMGESA-INGETEC (2008) EN EL EIA. A LA DERECHA EL GENERADO PARA ESTE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Con el ánimo de demostrar el anterior punto, se hizo un inventario de las laderas que dan al embalse por medio de la interpretación de las imágenes satelitales que provee Google Earth que son del año 2016. En este inventario fue posible identificar un total de 893 procesos que incluyen caída de bloques, deslizamientos, flujos de detritos y procesos erosivos como cárcavas en el área de influencia de la zona embalsada, lo cual demuestra

⁴⁵ Galli, M. et al. (2008). Comparing landslide inventory maps.

otra vez las grandes omisiones e irresponsabilidades de EMGESA en sus estudios ambientales.



FIGURA 14. INVENTARIO DE PROCESOS HECHO EN GOOGLE EARTH PARA ESTE ESTUDIO. A LA IZQUIERDA PROCESOS RECIENTES. A LA DERECHA PROCESOS ANTIGUOS YA CICATRIZADOS Y CON VEGETACIÓN.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

De no tener acceso a imágenes satelitales o fotografías aéreas de diferentes años, se puede acudir al Sistema de Información de Movimientos en Masa (Simma), el cual dispone de una base de datos de movimientos en masa ocurridos en el territorio nacional desde 1917 elaborada a partir de información colectada en las entidades locales, regionales o nacionales que registran o atienden las emergencias o realizan visitas técnicas asociadas a la inestabilidad de laderas, como Bomberos, Defensa Civil, Oficina de Gestión del Riesgo del municipio, Oficina de Planeación municipal, corporación autónoma regional, Crepad, gobernación, SINA, SGC-Simma, o a reportes en periódicos, entre otros⁴⁶.

¿Por qué es importante tener un inventario de procesos lo más completo posible? A la hora de diseñar el embalse, es importante cuantificar la cantidad de sedimentos que le llega o podría llegar con el fin de estimar la vida útil del proyecto. Actualmente el embalse está diseñado para una vida útil de 50 años a partir de un inventario de tan solo 25 procesos y un volumen de material movido de 600.000 m³. Dado el inventario que fue posible generar con imágenes de Google Earth es claro que el volumen de material movido está subestimado y por ende es posible que el periodo de vida útil del embalse sea menor debido a procesos de sedimentación.

En las caracterizaciones hechas a los procesos no se indican las posibles causas (sismo o lluvias), así como tampoco se indica el nivel del agua subterránea ni la frecuencia con la que ocurren.

De igual forma al concluir que la mayoría de los 25 procesos quedan debajo del agua luego del llenado del embalse, no plantean ni ejecutan un monitoreo de dichos procesos,

⁴⁶ Servicio Geológico Colombiano (SGC). 2015. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

que como ya se vio son más de 25 procesos y al no monitorearlos no se sabe los impactos del embalse sobre dichas zonas inestables, como por ejemplo una posible reactivación.

3.2.2.3 Dinámica fluvial - Torrencialidad

Con el propósito de identificar la torrencialidad de una cuenca es necesario llevar a cabo su caracterización morfológica en términos de área, longitud, perímetro, ancho, coeficiente de Gravelius, longitud de drenaje, densidad de drenaje, pendiente media del cauce, tiempo de concentración y factores de forma de Horton⁴⁷.

En ningún lugar del documento se hace dicha caracterización morfométrica de las cuencas y microcuencas, así como tampoco se caracteriza la dinámica de cada cauce en términos de su morfología (sinuosidad), caudal, y carga de sedimentos.

Ambas caracterizaciones son importantes a la hora de definir la vida útil del embalse, pues al igual que el inventario de deslizamientos, ayudan a entender el comportamiento de las cuencas que aportan el agua y los sedimentos al embalse.

3.3 HIDROLOGÍA

Con base en lo dispuesto en resolución 0899 de 2008⁴⁸ se adoptan los términos de referencia (TDR) para la elaboración del estudio de impacto ambiental (EIA) HE-TER-1-01⁴⁹, para el presente análisis se realizará la revisión del EIA presentado por EMGESA – Ingetec (2008) para posteriormente evaluar del cumplimiento de lo estipulado en los TDR. Finalmente se realizarán planteamientos en lo que concierne a los requerimientos mínimos para una caracterización representativa y la evaluación de la pertinencia de los TDR desde el ámbito de la hidrología y el clima.

3.3.1 **Análisis y pertinencia de los TDR**

3.3.1.1 Caracterización hidrológica del área de influencia indirecta.

En los TDR para la caracterización del área de influencia del proyecto para el componente de hidrología en el AID⁵⁰ se señala lo siguiente:

“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).*

⁴⁷ Sendra Pablo, 2002. Investigación cuantitativa del transporte de sedimentos no cohesivos en avenidas torrenciales. Aplicación al caso del Arroyo del Partido, Huelva. Universidad politécnica de Madrid Departamento de Ingeniería Forestal Escuela técnica superior de ingenieros de montes.

⁴⁸ Por la cual se otorga la licencia ambiental para el proyecto hidroeléctrico El Quimbo

⁴⁹ TDR para la elaboración de estudios de impacto ambiental para la construcción y operación de centrales hidroeléctricas generadoras.

⁵⁰ MAVDT. (2006). Estudio de impacto ambiental: construcción y operación de centrales hidroeléctricas generadoras HE-TER-1-01. pág 12

- 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. “

Se procede a realizar los comentarios y/o observaciones de los ítems que presentan falencias para la caracterización del AID en el EIA presentado por INGETEC:

- **Identificar el tipo y distribución de las redes de drenaje.**

EMGESA – INGETEC (2008) señalan:

“Según el IDEAM⁵¹, para asegurar una gestión sistémica de manejo de cuencas, se precisa definir tres unidades que orgánicamente conforman el sistema, que son: la región hidrológica, la cuenca propiamente dicha y la microcuenca como unidad mínima básica. Para tal efecto, el IDEAM desarrolló la Codificación de Cuencas para facilitar el ejercicio de ordenación, la sistematización de la información y la concordancia espacial de los modelos hidrológicos que se generen en los ejercicios regionales y locales”.

Este análisis se remite al análisis de orden de las cuencas, subcuencas y microcuencas con base en la zonificación hidrográfica del país definida por el IDEAM.

Sin embargo, en (IDEAM, 2004) en la tabla 4 (alcances técnicos de la caracterización de la cuenca hidrográfica) en lo que corresponde a la sección Hidrografía se enuncia para las parte de actividades: “caracterización de los sistemas y patrones de drenaje” con un producto asociado: “caracterización de los patrones de drenaje presentes en la cuenca hidrográfica en ordenación”.

La actividad realizada por EMGESA – INGETEC (2008) se podría interpretar como la jerarquización de las cuencas hidrográficas, más sin embargo no se evalúa efectivamente el patrón de drenaje de la corriente (p.ej. dendrítico, rectangular, entre otros) igualmente no se puede apreciar caracterización morfométrica de las cuencas (subcuencas y microcuencas) presentes en el AID.

- **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).**

No se puede apreciar desarrollo en lo que concierne a describir y a localizar la red hidrográfica de las fuentes que pueden ser afectadas puesto que no se cuenta con caracterización morfométrica de las cuencas, estimación de pendientes medias de los cauce, clasificación de orden de las corrientes (clasificación de Horton y Strahler) y no se tienen análisis de dinámica fluvial.

Adicionalmente no se tienen registros de caudales provenientes de información primaria (aforos líquidos) y/o secundarias (simulaciones hidrológicas) como una lo cual incumple con los TDR.

⁵¹ IDEAM. (2004). Guía técnico científica para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia.

En lo que concierne a las posibles alteraciones del régimen natural (relación temporal y espacial de inundaciones), EMGESA – INGETEC (2008) consignan:

“Inundaciones río Suaza

Los fenómenos presentados periódicamente, nos indican que el río Suaza se desborda frecuentemente por la margen derecha. Frente al perímetro urbano de Suaza se presenta la inundación de su margen izquierda, anegando el cauce natural de la quebrada Satia en una extensión aproximada a los 100 m aguas arriba de su desembocadura. El caudal que causó esta inundación en el año 1 993 fue de 367 m³/s y se supone que sus periodos de retorno son de 7 a 30 años.

Las inundaciones y los desbordamientos periódicos del río Suaza y de las quebradas Satia, Emaya, Mantagua, Jacué, Agua Cabezas y Anayaco, afectan a las personas, viviendas y cultivos existentes en estos sectores. En el perímetro urbano de Suaza, y en sus cercanías la quebrada Satia y el río Suaza inundaban la antigua carretera al Municipio de Acevedo.

- Inundaciones quebrada Yaguilga

Se han presentado eventos de inundación en la llanura aluvial de la microcuenca de la Quebrada Yaguilga, desde el puente sobre esta misma quebrada (en la vía que conduce a Santa Rosa) hasta límites con el municipio de El Agrado.

El 21 de marzo de 1 999 se presentó un flujo torrencial en la Quebrada Yaguilga, ocasionado por su represamiento a consecuencia de un derrumbe sobre su cauce, provocando la afectación de aproximadamente el 75% de la llanura aluvial”

Con lo anterior no se puede verificar el análisis de frecuencia y de tiempos de retorno asociados con los caudales de inundación, ni el área de inundación asociada con estos eventos.

- **Determinar el régimen hidrológico y los caudales máximos, medios y mínimos mensuales, multianuales de las fuentes a intervenir.**

Partiendo que en la zona de la represa no se cuenta con estaciones limnométricas, EMGESA – INGETEC (2008) han definido lo siguiente:

“Ingetec S.A. realizó en el año 2 006 el estudio de actualización de caudales para el proyecto El Quimbo, para la estimación de los caudales medios, se utilizó la metodología de transposición de registros ya que en el sitio de aprovechamiento no se cuenta con registros históricos de caudales.

Para el cálculo de caudales medios en el sitio del proyecto se partió de la información de caudales medios naturales disponibles en la Estación Puente Balseadero (río Magdalena), Paicol (río Páez), Puente Garcés (río Suaza), Puente Momíco (río Magdalena) y Puente Santander (río Magdalena), también se tuvo en cuenta la serie de afluencias a Betania...

(...) El caudal medio multianual estimado para el sitio de presa es de 235,39 m³/s para el período 1972 – 2005.

El régimen de caudales medios mensuales multianuales, medidos en el sitio de presa, tiene un comportamiento monomodal, como puede observarse en el hidrograma de caudales máximos, medio y mínimos mensuales multianuales, presentado en la figura 3.2.3

Se caracteriza por tener dos periodos de estiaje. El caudal medio máximo tiene un valor de 375,29 m³/s, registrado en el mes de julio, los meses secos comienzan en diciembre y terminan a finales de marzo en el primer periodo, siendo enero el mes más crítico con un valor de caudal medio del orden de 142,57 m³/s. El segundo periodo comienza en septiembre y termina en diciembre.

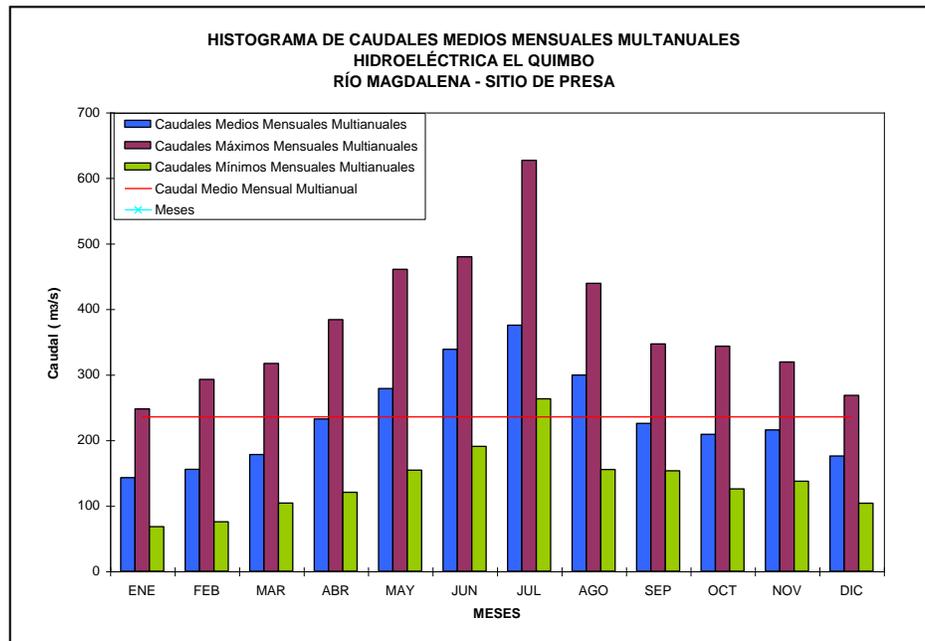


FIGURA 15. CAUDALES MÁXIMOS, MEDIO Y MÍNIMOS MENSUALES MULTIANUALES FUENTE: FIGURA 3.2.3 EMGESA – INGETEC (2008)⁵²

A partir de las series de caudales medios disponibles, se construyeron las curvas de duración de caudales medios mensuales disponibles en los sitios de proyecto, las cuales se presentan en la figura 3.2.4

Respecto a este ítem se tienen las siguientes observaciones:

- Para la estimación de caudales medios, mínimos y máximos en el río Magdalena la altura de la zona de la represa, no se tiene claridad en lo que respecta a los periodos de análisis ni a la resolución temporal (mensual o diaria) de las series de las estaciones Puente Balseadero (río Magdalena), Paicol (río Páez), Puente Garcés (río Suaza), Puente Momico (río Magdalena), Puente Santander (río Magdalena) y la serie de afluencias a Betania.

⁵² EMGESA – INGETEC (2008). Estudio de impacto ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 3.2 pág 93.

- Para la estimación de caudales medios, mínimos y máximos en el río Magdalena a la altura de la zona de la represa, NO tienen análisis de bondad de las series de caudales de las estaciones en mención
- Para la estimación de caudales medios, mínimos y máximos en el río Magdalena a la altura de la zona de la represa, NO se muestra con claridad el procedimiento para la obtención de los caudales medios, mínimos y máximos mensuales
- No se presenta información primaria (aforos líquidos o series de estaciones instaladas) y/o secundaria (simulaciones hidrológica) para el río Magdalena a la altura de la represa, lo cual se considera como algo necesario para estimar con certidumbre los caudales que efectivamente discurren por este punto.
- No se presenta información primaria (aforos líquidos o series de estaciones instaladas) y/o secundaria (simulaciones hidrológica) para el río Suaza, quebrada Patebola, quebrada Los Cocos, quebrada La Colorada, quebrada de Majo, quebrada Las Damas Zanjón de Aguirre y Zanjón de la Sucita lo cual incumple con los TDR.

Se puede concluir la caracterización hidrológica para el AID presentada por EMGESA – INGETEC (2008) presenta serias falencias puesto que incumple con los TDR que se configuran como los requerimientos mínimos para la presentación del EIA. En lo que concierne a las corrientes y sus cuencas asociadas presentes en el AID puesto que NO se presentan a caracterizaciones morfométricas e hidráulicas (caudales máximos, medios y mínimos), por lo tanto se tienen grandes incertidumbres relacionadas con la clara identificación verídica de los impactos ambientales y por consiguiente el plan de manejo.

3.3.1.2 Caracterización hidrológica del área de influencia indirecta.

En los TDR para la caracterización del área de influencia del proyecto para el componente de hidrología en el AID⁵³ se señala lo siguiente:

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.”*

Se procede a realizar los comentarios y/o observaciones de los ítems que presentan falencias para la caracterización del AII en el EIA presentado por INGETEC:

- **Identificar los sistemas lénticos y lóticos.**

Para este ítem se identifican los siguientes sistemas lóticos presentes en el AII por EMGESA – Ingetec (2008):

“3.2.4.1.1.1.1 Embalse de Betania

⁵³ MAVDT. (2006). Estudio de impacto ambiental: construcción y operación de centrales hidroeléctricas generadoras HE-TER-1-01. pág 12

Localización: Embalse artificial, localizado en la zona central del departamento del Huila, en vecindades de los municipios de Yaguará, Hobo y Campoalegre.

Extensión: 7.400 ha, aproximadamente.

Descripción del Sistema: Humedal artificial, construido para la generación de energía “Central Hidroeléctrica de Betania”.

Principales afluentes: Ríos Magdalena, Yaguará y Páez.

Usos: Generación de energía eléctrica, acuicultura por instalación de proyectos piscícolas (mojarra roja y negra)

3.2.4.1.1.1.2 Sistemas lénticos por municipios

- Municipio del Agrado

Sobre la margen derecha de la quebrada Yaguilga, aproximadamente 3 kilómetros antes de la desembocadura al río Magdalena, existe una laguna estacional de aproximadamente 5 hectáreas. Esta laguna solo tiene espejo de agua en la temporada de aguas altas y se seca en su totalidad durante el verano. No se registran en el municipio otros sistemas lénticos de extensiones similares.

- Municipio de Gigante

Por encima de los 2800 – 3310 msnm se encuentra el ecosistema de subpáramo el cual presta invaluable servicios ecológicos, y da origen a tres (3) lagunas donde nacen las fuentes de las quebradas Guandinosa y Rioloro del Municipio de El Gigante y Agua Negra del Municipio de Algeciras. Este ecosistema pertenece al sistema de transición andino-amazónico.

Otros sistemas lénticos presentes en la región, son las lagunas de Miraflores y El Descanso.

- Municipio de Garzón

En el municipio de Garzón se identificaron aproximadamente 23 lagunas naturales las cuales en la mayoría están sin protección vegetal. El mayor número de lagunas se encuentra en la vereda Miraflores...

(...)

- Municipio de Tesalia

La Laguna de Guillo, está ubicada en la vereda Potrero Grande, en el cerro de su mismo nombre, ocupando un área de influencia directa de aproximadamente 8 ha, un área de espejo de agua de 3 ha, se ubica a los 1300 msnm. Esta laguna es utilizada por aves (patos). Tiene una gran belleza natural y se encuentra anclada sobre un sistema montañoso, siendo la cúspide.

Laguna bonita nacedero de la quebrada El Infierno, surte de agua a la vereda el Dave. Los sitios que tienen un potencial Turístico por su belleza natural en el Municipio de Tesalia, son la laguna de Guillo y en las veredas el Moral y el Dave hay pozos de agua cristalina, piscinas naturales y caídas de más de 100 m.

- *Municipio de Pital*

El municipio del Pital tiene gran parte de su territorio ubicado sobre la Serranía Cuchilla de las Minas, considerado como un ecosistema estratégico regional por ser una estrella fluvial de importancia ecológica y de reserva forestal. En ella, igualmente se encuentra parte del territorio de los municipios de Oporapa, La Argentina, Tarqui, y La Plata. Comparte cuencas hidrográficas con los municipios de Tarqui (Q. Lagunilla), Agrado (Q. La Yaguilga), Paicol (Q. El Oso o Q. La Venta)

En todo el Municipio existen alrededor de 135 estanques, los cuales, individualmente tienen un área muy pequeña, razón por la que no se ubican en un mapa. El área promedio de los lagos oscila entre 50 y 100 m², factor que hace que el agua utilizada por ellos sea mínima.

- *Municipio de Altamira*

El sector urbano del Municipio cuenta en su costado Norte con la laguna Natural, que es una atracción turística para quienes visitan el Municipio, hacia el oriente se encuentra la laguna de Chiriaboca, estas dos son las más representativas en la zona.”

Para la identificación de los cuerpos lénticos no se puede determinar la escala de trabajo asociada, lo cual genera grandes incertidumbres asociados a los cuerpos que efectivamente se van a impactar con la implementación del proyecto hidroeléctrico.

Para este ítem EMGESA – INGETEC (2008) identifican los siguientes sistemas lénticos y sus subcuencas presentes en el AII, de la siguiente manera:

Tabla 5. Subcuenca del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Fuente: Cuadro 3.2-9 de EMGESA – INGETEC (2008)⁵⁴

No.	Subcuenca	Área (km ²)	Longitud Cauce ppal (km)
1	Cuenca alta - Río Magdalena	1633	78
2	Río Guarapas	749	57,2
3	Río Suaza	1561	104
4	Quebrada Negra	163	37
5	Río Bordones	435	58
6	6	132	24
7	Río Timaná	239	29
8	8	191	23

⁵⁴ EMGESA - INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 3 pág 3.2-84.

No.	Subcuenca	Área (km ²)	Longitud Cauce ppal (km)
9	9	69	12
10	10	52	8
11	Quebrada El Hígado	94	18
12	Quebrada Garañón	20	8
13	Quebrada La Resaca	26	7
14	Quebrada Las Cuchas	18	7
15	Quebrada Lagunillas	116	22
16	Quebrada Seca	33	15
17	Zanjón El Atillo	21	11
18	Quebrada Las Damas	79	22
19	Quebrada de Garzón	125	27
20	Quebrada de Majo	108	28
21	Quebrada de Jagualito	23	12
22	Quebrada La Yaguilga	217	34
23	Quebrada de Buena Vista	90	20
24	Quebrada Qda Voltezuela	42	18
25	Zanjón de La Resaca	183	30
26	Quebrada La Honda	60	22
27	Quebrada Alonso Sánchez	37	12
28	Quebrada El Granadillo	3	5
29	Quebrada La Turbia	38	11
30	Zanjón de La Sucita	3	4
31	Zanjón de La Cascajosa	8	5
32	Zanjón Muchilero	7	5
33	Quebrada El Pedroso	13	6
34	Zanjón Agua Blanca	14	5
35	Quebrada El Hueco	5	5
36	Zanjón de Aguirre	5	3
37	Quebrada Parebola	11	3
38	Quebrada La Guandinosá	143	29
39	Quebrada El Cedro	3	3
40	Quebrada La Colorada	5	3
41	Quebrada Los Cocos	5	3
42	42	17	5
	Total	6796	

Análogamente que con los cuerpos lénticos no se puede determinar la escala de trabajo asociada, lo cual genera grandes incertidumbres asociados a los cuerpos que efectivamente se van a impactar con la implementación del proyecto hidroeléctrico.

- **Establecer los patrones de drenaje a nivel regional.**

La actividad realizada por EMGESA – INGETEC (2008) para este ítem corresponde a la jerarquización de las cuencas hidrográficas, más sin embargo no se evalúa efectivamente el patrón de drenaje de la corriente (p. ej. dendrítico, rectangular, entre otros) igualmente no se puede apreciar caracterización morfométrica de las cuencas (subcuencas y microcuencas) presentes en el All.

- **Identificar el régimen hidrológico y de caudales característicos de las principales corrientes.**

En lo que concierne a este ítem EMGESA – INGETEC (2008) plantean:

“En el estudio, se realizaron los análisis de precipitación con el fin de determinar tanto la precipitación media necesaria para el cálculo de los caudales medios en los sitios del proyecto como la precipitación máxima asociada a diferentes períodos de retorno, además se determinó la precipitación máxima probable (PMP) para el cálculo de la creciente máxima probable (CMP) en los mismos sitios (mediante modelos lluvia – escorrentía).

Para el estudio hidrológico, se contó con 51 estaciones hidrológicas de la cuenca y 23 estaciones fuera de la cuenca.

Para el cálculo de la precipitación máxima en cada una de las estaciones, se utilizaron los valores de las lluvias máximas anuales en 24 horas y se ajustaron a la distribución de valores extremos de Gumbel, para el cálculo de los valores de la precipitación máxima probable (PMP) se utilizó el método de Hershfield el cual se explica a continuación.

El método estadístico de Hershfield parte de la siguiente relación:

$$PMP = Xn + K.Sn$$

Donde:

PMP: Precipitación máxima probable para una duración determinada (aguacero de diseño)

K: Factor de frecuencia

Xn, Sn: Promedio de los valores máximos anuales de precipitación para la duración seleccionada, y desviación estándar de la serie anual.

Para el factor de frecuencia K se adopta el mayor valor encontrado en los estudios de Hershfield que es de 15. La media y la desviación estándar se ajustan de acuerdo con las curvas propuestas por Hershfield.”

Respecto a lo anteriormente expuesto se tienen las siguientes observaciones:

- Para la estimación de caudales medios, mínimos y máximos asociados con los cuerpos lóticos presentes en el AII estimados mediante modelos lluvia-escorrentía, no se tiene claridad en lo que respecta a los periodos de análisis ni la resolución temporal (mensual o diaria) de las series de precipitación empleados.
- Para la estimación de caudales medios, mínimos y máximos asociados con los cuerpos lóticos presentes en el AII estimados mediante modelos lluvia-escorrentía, NO tienen análisis de bondad de las series de precipitación.
- No se presentan los análisis para la estimación de los valores promedios máximos anuales de precipitación para la duración seleccionada, y desviación estándar de la serie anual
- No se presenta información primaria (aforos líquidos o series de estaciones instaladas) para los cuerpos lóticos presentes en el AII, lo cual se considera como algo necesario para estimar con certidumbre los caudales que efectivamente discurren por este punto.

Adicionalmente EMGESA – INGETEC (2008) señala lo siguiente en cuanto a la información limnométrica disponible en AII y la estimación de caudales medios:

“Para el cálculo de caudales medios en el sitio del proyecto se partió de la información de caudales medios naturales disponibles en la Estación Puente Balseadero (río Magdalena), Paicol (río Páez), Puente Garcés (río Suaza), Puente Momíco (río Magdalena) y Puente Santander (río Magdalena), también se tuvo en cuenta la serie de afluencias a Betania.

A partir de esta serie de caudales medios naturales, se calcularon las series de caudales disponibles en el sitio del proyecto El Quimbo. A continuación se presentan los caudales medios en las estaciones ubicadas sobre las principales corrientes del proyecto (río Magdalena y río Suaza).”

En conclusión no se puede apreciar la estimación del régimen hidrológico y de caudales característicos de las principales corrientes presentes en el AII. A modo de interpretación INGETEC considera como la única corriente importante el río Magdalena más sin embargo no se realiza un análisis específico de por qué esta corriente es la corriente principal. Adicionalmente no se cuenta con estimación de caudales mínimos, medios y máximos lo cual se considera como una falencia.

La caracterización hidrológica para el AID presentada por EMGESA – INGETEC (2008) cumple con los TDR que se configuran como los requerimientos mínimos para la presentación del EIA.

Se puede concluir la caracterización hidrológica para el AID presentada por EMGESA – INGETEC (2008) presenta serias falencias puesto que incumple con los TDR que se configuran como los requerimientos mínimos para la presentación del EIA. Adicionalmente es pertinente. Más sin embargo es pertinente hacer la aclaración que los TDR para hidrología son bastante precarios puesto que no se especifica los requerimientos mínimos

para caracterizar la zona de estudio de manera representativa e igualmente tampoco se tiene claridad respecto a la escala mínima de trabajo.

3.4 CLIMA

En los TDR para la caracterización del área de influencia del proyecto para el componente de hidrología en el AID⁵⁵ se señala lo siguiente:

“Identificar, zonificar y describir las condiciones climáticas mensuales multianuales del área, con base en la información de las estaciones meteorológicas existentes en la región. Determinar la necesidad de instalar equipos permanentes para la captura de información meteorológica y si es el caso, recomendar equipos con sus características, así como la localización de los mismos.

Los parámetros básicos de análisis serán:

- *Temperatura.*
- *Precipitación: media mensual y anual.*
- *Humedad relativa: media, máximas y mínimas mensuales.*
- *Viento: dirección y velocidad de los vientos.*
- *Radiación solar.*
- *Nubosidad.*
- *Evaporación.”*

EMGESA – INGETEC (2008) señalan lo siguiente en cuanto a las estaciones hidroclimatológicas seleccionadas y sus registros disponibles para el AII y el AID:

“En la hoya hidrográfica del río Magdalena hasta la zona del proyecto hidroeléctrico El Quimbo hay 9 estaciones climatológicas ordinarias, 2 estaciones climatológicas completas, 43 estaciones pluviométricas. 17 estaciones limnigráficas y 6 estaciones limnimétricas.

De las 11 estaciones climatológicas ubicadas en la zona que comprende la cuenca del río Magdalena hasta el sitio de presa, están operando en la actualidad solamente 6 estaciones y son las estaciones climatológicas La Betulia en el municipio El Agrado, Zuluaga en el municipio de Garzón, Altamira El Grifo en el municipio de Altamira, Resina en el municipio de Guadalupe, Parque Arqueológico en el municipio de San Agustín y Sevilla en el municipio de Pitalito. De igual forma, las estaciones pluviográficas utilizadas para realizar el mapa de isolíneas de precipitación son El Hatillo, Oporapa, Hornitos, Villa Fátima y Acevedo. En el Plano PL-EIAQ-36

Los parámetros utilizados para la caracterización climatológica en el presente estudio son precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, brillo solar, nubosidad y vientos. En el cuadro 3.2-26 se presenta un resumen de esta información

⁵⁵ MAVDT. (2006). Estudio de impacto ambiental: construcción y operación de centrales hidroeléctricas generadoras HE-TER-1-01. pág 82-83

Con esta información climatológica, se caracterizó el clima de la región a partir de la metodología propuesta por L. R. Holdridge de zonas de vida. La zonificación climática se presenta en el Plano PL-EIAQ-39.

Los cálculos de los balances hídricos climáticos para las áreas propuestas para reasentamientos se hicieron a partir de los parámetros hidrológicos de cada una de las estaciones climatológicas nombradas anteriormente.”

Las estaciones seleccionadas y sus registros por EMGESA-INGETEC (2008) NO tienen análisis de bondad de las series de las estaciones en mención.

Los análisis expuestos por EMGESA - INGETEC para la caracterización de temperatura, humedad relativa, viento (dirección y velocidad), y radiación solar se remiten a un análisis de tipo puntual (ubicación de las estaciones climatológicas), lo que se considera como insuficiente. Para este caso es necesario la espacialización de estas variables para tener una mayor comprensión del funcionamiento del ciclo hidrológico previo a la implementación del proyecto, esto se considera como una falencia puesto que este es un proyecto que tiene como eje articulador el agua y su ciclo.

Para la estimación de la evapotranspiración potencial EMGESA – INGETEC (2008) señalan lo siguiente:

“Para calcular la evapotranspiración potencial en la zona del proyecto, se utilizaron los parámetros de las estaciones climatológicas La Betulia, Zuluaga, Altamira El Grifo, Sevilla, Parque Arqueológico y Resina que cuentan con registros climatológicos como: precipitación, temperatura, humedad relativa, brillo solar y evaporación.

La metodología empleada y explicada a continuación corresponde a la de Thornthwaite, en el 3.2-28, se presenta la formulación de este método.”

Según resolución 865 de 2004 de MAVDT adopta la metodología de Turc, Turc modificada u otra metodología (acorde con las condiciones del proyecto) para el EIA se adopta la metodología de Thornthwaite más no se pueden apreciar las consideraciones para la adopción de esta metodología. Análogamente el análisis se remite a un caso puntual lo cual se considera como insuficiente puesto que se tiene incertidumbre en lo que concierne al comportamiento espacial de la evapotranspiración; se recomienda como mínimo la evaluación por 3 metodologías para estimar la evapotranspiración y de esta manera determinar cuál es la más adecuada acorde con los requerimientos del proyecto.

Para la estimación el balance hídrico EMGESA – INGETEC (2008) señala lo siguiente:

“Para el cálculo del balance hídrico, se involucró la precipitación mensual multianual y la temperatura de las estaciones La Betulia, Zuluaga, Altamira El Grifo, Sevilla, Parque Arqueológico y Resina. Con estos parámetros se calculó la evapotranspiración potencial como se presentó en el numeral anterior. Thornthwaite recomienda que cuando no se cuenta con los valores de capacidad de almacenamiento del suelo o capacidad de campo, se puede tomar un valor igual a 100 mm, como valor pivote.”

Al igual que en los ítems anteriores el análisis de balance hídrico se remite a un caso puntual lo cual se considera como insuficiente puesto que se tiene incertidumbre en lo que concierne al comportamiento espacial y temporal de la disponibilidad de agua superficial. Es necesario hacer hincapié tener conocimiento a nivel espacial y temporal del funcionamiento del ciclo hidrológico previo a la implementación del proyecto, esto se considera como una falencia grave puesto que este es un proyecto que tiene como eje articulador el agua y su ciclo.

En conclusión para la mayoría de los análisis de variables hidrológicas y climáticas se presentan análisis de tipo puntuales, con lo cual no se puede realizar representativa considerando que estas variables son susceptibles a presentar variaciones considerables espacialmente. Para evaluar de manera consistente las variaciones climáticas es necesario una especialización para el AID y el AII.

De igual manera no se realizan análisis de variabilidad climática, cambio climático, modulación climática por fenómenos atmosféricos y/o oceanoatmosféricos (p. ej. ENSO, QBO, entre otros) esto es fundamental para tener conocimiento en cuanto a la comprensión la hidrología local y regional.

3.5 HIDROGEOLOGÍA

En esta sección se hace una análisis del modelo hidrogeológico presentado por EMGESA para la solicitud de licencia ambiental expedida mediante resolución 0899 del 15 de mayo del 2009. En una primera sección se analiza los términos de referencia base del estudio, requerimientos mínimos e impactos a identificar, luego se hace un análisis específico del EIA (EMGESA – INGETEC, 2008) en términos de línea base y capacidad de identificar impactos con el modelo construido. Del análisis se identificó una insuficiencia de información para caracterizar adecuadamente la zona de estudio, con llevando esto a modelo de dudosa calidad y por tanto, muy posible ignorado impactos. Cabe resaltar el intenso fracturamiento evidenciado en la zona de las estructuras que amerita una mejor caracterización en toda la zona en especial en el AII.

3.5.1 Análisis de los términos de referencia (ANLA)

3.5.1.1 Términos de referencia y área de influencia

Los requerimientos de información y evaluación de la autoridad ambiental del orden nacional (hasta 2011 la Dirección de Permisos, Licencias y Trámites Ambientales del Minambiente y hoy ANLA) establece condiciones especiales en cuanto a términos de referencia, mencionados en el concepto técnico 277 radicado el 22 de febrero de 2008 y en el auto 515 de igual fecha. En el componente físico no se presentan mayores modificaciones a los términos de referencia HE-TER-1-01. Pero se resalta en el auto 515 las siguientes consideraciones técnicas con respecto al área de influencia y su relación con la central hidroeléctrica de Betania:

No se considera que el proyecto requiera presentación de Diagnóstico Ambiental de Alternativas, por lo que se hace necesario, que EMGESA S.A. en la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental justifique la selección de la altura de la presa, con base en información técnica de detalle en procura de la optimización del recuro hídrico, la minimización de los riesgos e impactos ambientales negativos y

la maximización de los impactos ambientales positivos considerando el sistema en conjunto con la central hidroeléctrica de Betania, tanto a nivel puntual como a nivel regional. (subrayado fuera de texto)

Pese a esto no se encuentra un análisis en conjunto en el aspecto hidrogeológico del efecto asociado de las dos presas más cuando los dos sistemas se encuentran en cercanías de sistemas de fallas (ver análisis densidad de fracturas). La respuesta de EMGESA en el radicado 4120-E1-29923 del expediente de El QUIMBO, hace alusión a la anotación citada así como se especifica que 25 de marzo de 2008:

EMGESA, como parte integral del estudio de impacto ambiental ha analizado cuidadosamente los aspectos complementarios requeridos por el Ministerio e incluye en documento anexo a este memorial el análisis y explicación puntual de los mismos

En este sentido lo consignado en el EIA se ajusta a los requerimientos del MAVDT y especifica en dicha respuesta que el análisis detallado se encuentra en el EIA. En cuanto a especificaciones los siguientes son los requerimientos dados por los términos de referencia:

Cuando por las condiciones geológicas del área, se identifiquen unidades hidrogeológicas, presentar la siguiente información:

- *Identificar el tipo de acuífero.*
- *Establecer las direcciones de flujo.*
- *Identificar las zonas de recarga y descarga*

La información debe ser presentada en planos a escala 1:25.000 o mayor.

• **Área de influencia directa**

Cuando las condiciones geológicas del área de estudio identifiquen un recurso hidrogeológico potencial de importancia, presentar la siguiente información:

- *Realizar el inventario de puntos de agua que incluyen pozos, aljibes y manantiales, identificando la unidad geológica captada, su caracterización físico-química y los caudales de explotación.*
- *Establecer las unidades hidrogeológicas que intervendrá el proyecto. Igualmente, se deben identificar aquellas unidades que tengan conexión hidráulica con fuentes de agua superficiales.*
- *Evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas por las actividades del proyecto (combustibles, materiales residuales, derrames sustancias tóxicas, entre otros).*

Presentar el mapa hidrogeológico a escala 1:25000 o mayor, localizando puntos de agua, tipo de acuífero, dirección de flujo del agua subterránea y zonas de recarga y descarga.

La anterior información se deberá presentar siempre y cuando se identifiquen unidades hidrogeológicas en la zona. (Subrayados fuera de texto)

Como es evidente, los términos son de carácter general y por ello están sujetos al criterio del profesional y establecen los mínimos, es decir que en ningún momento se especifica un número mínimo de puntos de muestreo o pruebas de caracterización hidráulica o que en el caso de la escala, no se exige una escala de 1:25.000 sino esta o una más detallada si así lo requiere la claridad o la calidad de los mapas presentados.

En ningún caso los términos de referencia permiten que los modelos hidrogeológicos y las decisiones de diseño y construcción de allí derivadas se tomen basadas en descripciones litológicas genéricas e información de referencias bibliográficas, puesto que ello lleva a establecer todo un marco hidrogeológico considerando únicamente opiniones en cuanto a porosidad y disposición estructural de las rocas sedimentarias, siendo este un análisis subjetivo y muy arriesgado en medios altamente fracturados, el cual sería el caso de la zona de estudio si se revisan documentos geológicos o los mismos datos de RQD consignados en el EIA de EMGESA – INGETEC (2008).

De igual forma, se asume que la empresa interesada en el proyecto tiene un grado de conocimiento adecuado en términos de datos de campo y seguimiento de metodologías en función de las condiciones del área de estudio. En otras palabras, si bien se pide la toma de parámetros físicos los términos de referencia permiten al interesado desarrollar la metodología que considere más pertinente.

3.5.1.2 Impactos ambientales

Los términos de referencia no permiten definir a cabalidad los impactos generados por una infraestructura como la de una hidroeléctrica, pero allí entra el supuesto conocimiento de una empresa como EMGESA, de la cual hace parte una transnacional energética como ENEL que debe conocer las implicaciones de un proyecto de este tipo. Además, ya en el territorio colombiano, que presenta una gran complejidad en términos de geología, Hidrosogamoso ha considerado necesario la instrumentación sismológica para el monitoreo de sismicidad inducida.

Los términos de referencia HE-TER-1-01 especifican lo siguiente en términos de impactos asociados al flujo de aguas subterráneas:

- *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 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.

Al igual que la línea base, es obligación del solicitante hacer un control adecuado de todos los posibles riesgos que genere el proyecto, incluso aquellos no registrados en los términos de referencian pero que son de conocimiento de los expertos en las temáticas pertinentes y hacen parte del estado del arte respecto a hidroeléctricas.

3.5.2 Análisis del componente hidrogeológico del EIA del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo

3.5.2.1 Relación con los demás componentes

La primera parte analizada fue la línea base del EIA (EMGESA-INGETEC, 2008) donde en términos hidrogeológicos, la base principal para la construcción del modelo hidrogeológico es la geología y la hidrología de la zona. De las unidades identificadas se debe resaltar que se hace una caracterización en términos de ambiente de formación, edad, granulometría y litificación, sin embargo, no se tiene mención a la porosidad primaria del medio y resulta muy preocupante la inexistencia de un perfil geológico de detalle en la zona del vaso u otra zona diferente al área en donde se ubican las estructuras, más aún cuando en esta zona existe información secundaria de buena calidad en especial la obtenida por Ecopetrol para el estudio de la subcuenca Neiva (secciones sísmicas) y registros de pozo para el sitio, referencias mencionadas en el EIA para la construcción de la base geológica (ver sección 3.1).

En este sentido y en vista de las condiciones hidrológicas de la zona se puede identificar un caudal mínimo de 40 m³/s medio mensual en la curva de duración de caudales ilustrada en la siguiente figura (para un mayor detalle ver sección 3.4), lo cual indicaría un aporte de aguas subterráneas o flujo base, no obstante, en el EIA (EMGESA-INGETEC, 2008) no se ve una relación entre la hidrología y la hidrogeología que es la entrada del modelo hidrogeológico.

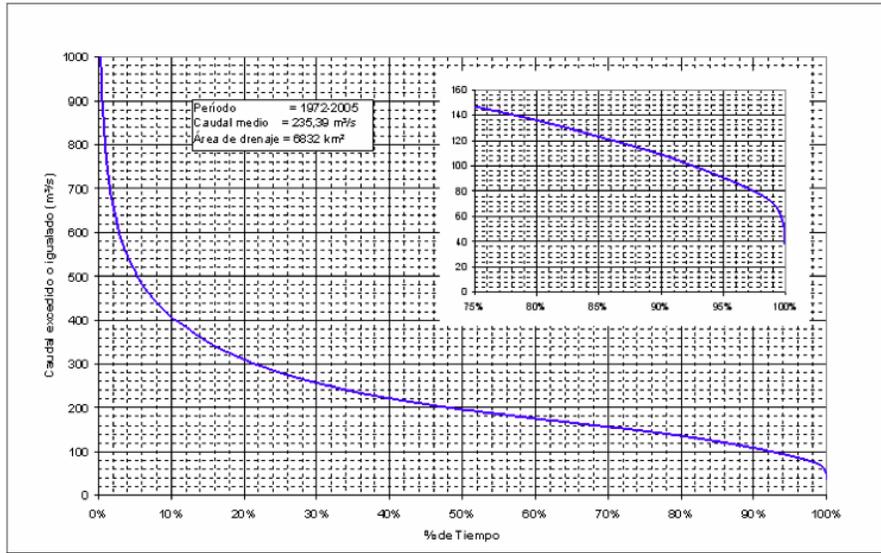


FIGURA 16. CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES EN EL SITIO DE LA ZONA DEL PROYECTO TOMADO DEL EIA HECHO POR EMGESA – INGETEC (2008) FIGURA 3.2.4

Por otro lado, se debe resaltar que la información de discontinuidades, macizo rocoso y permeabilidades, obtenidas de la caracterización geotécnica, se centra exclusivamente en la ubicación de la presa (recuadro amarillo siguiente figura) y no hay ninguna mención a mediciones en el vaso. Sitio en el cual se tendrá ahora una cabeza hidráulica de 150 m.

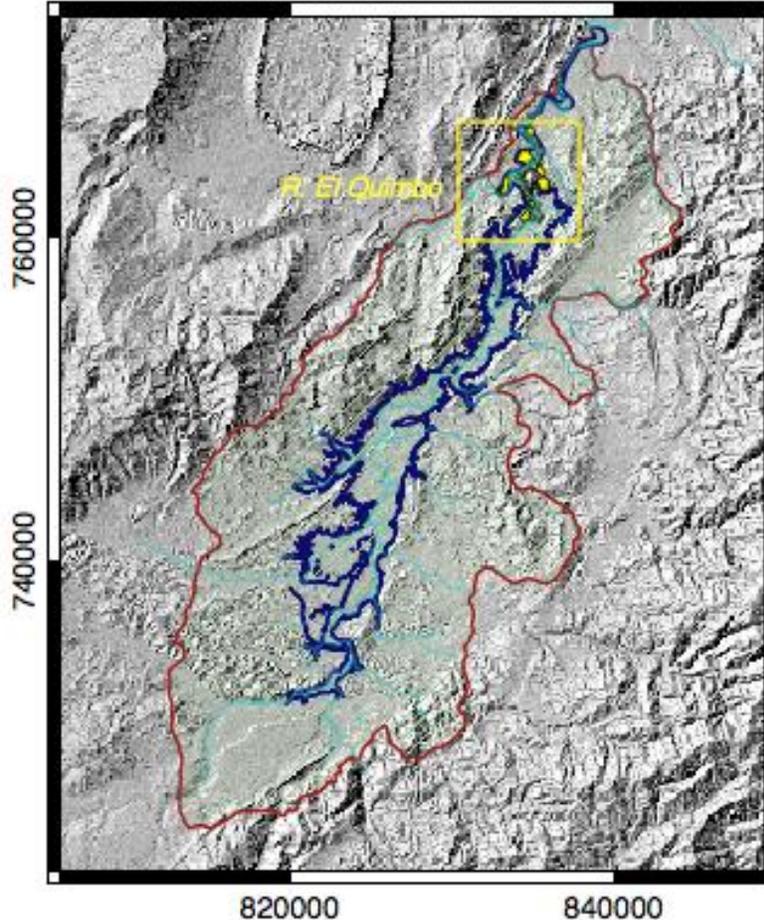


FIGURA 17. UBICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS, PRESA, DIQUE, ATAGUÍA CON RESPECTO AL AII Y AID.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.5.2.2 Hidrogeología e información hidráulica de base

El EIA (EMGESA-INGETEC, 2008) y otros estudios presentados como EMGESA-INGETEC (2013)⁵⁶ señalan lo siguiente en cuanto a la fuente de información con la que se construye el modelo hidrogeológico:

La caracterización hidrogeológica del área donde se localiza el Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo se establece fundamentalmente con base en información geológica, razón por la cual esta se presenta de forma general, cubriendo lo que se denomina área de influencia indirecta, sin entrar en una caracterización del área de influencia directa, que requiere además de la información geológica detallada, el conocimiento o determinación de parámetros hidráulicos, que permita clasificar los diferentes niveles litológicos según su aptitud para almacenar y transmitir agua. La información geológica sin embargo, permite inferir de manera conceptual y preliminar, que en la zona no se cuenta con niveles acuíferos que contengan recursos hídricos subterráneos importantes.

⁵⁶ EMGESA-INGETEC. (2013). Informe para la sustracción de reserva forestal de la Amazonía-sector Montea Reasentamiento, Volumen 1-1.

De igual forma en cuanto a permeabilidades se menciona por parte de EMGESA-INGETEC, (2008):

Se definen cuatro unidades hidrogeológicas de la zona del proyecto, con base en información geológica y algunos datos de permeabilidad, siguiendo los conceptos y recomendaciones de Lohman S. W. et al (1970). Las unidades hidrogeológicas establecidas, se presentan en el Mapa Hidrogeológico (Plano PL-EIAQ-34.1).

Posteriormente, en EMGESA-INGETEC (2013)⁵⁷ se puede leer:

Como no se cuenta con una base de datos de permeabilidades, niveles freáticos, ni piezométricos de la zona, se elabora un mapa hidrogeológico conceptual a partir del estimativo de permeabilidades relativas y por ende del potencial acuífero relativo de las unidades litoestratigráficas diferenciadas en la cartografía geológica plasmada en el mapa geológico general, cuya base corresponde a la plancha geológica 366-Garzón de INGEOMINAS (1998). Además de clasificar las unidades litoestratigráficas con base en su potencial acuífero, se indica para el caso de los acuíferos, su calidad de libre, confinado o semiconfinado, teniendo en cuenta la información geológico-estructural de la zona. (Subrayado fuera de texto)

De tal forma que la mayoría de las unidades presentes en la zona no cuenta con mediciones de propiedades hidráulicas, sin embargo, se identifican en el EIA (EMGESA-INGETEC, 2008) dos tipos de acuíferos porosos sección (3.2.7.2.1) conformados principalmente por:

Acuíferos en depósitos Aluviales (Ap-Qal), Acuíferos en terrazas aluviales (Ap-Qt), Acuíferos en depósitos Fluviolacustres (Ap-Qf) y Acuíferos en abanicos aluviales (Ap-Qa).

Ninguno de los acuíferos mencionados presenta un dato de capacidad de infiltración o propiedades hidráulicas del medio, siendo este uno de los más afectados, posiblemente relacionados con procesos morfodinámicos. En lo cuales no se han llevado a cabo pruebas hidráulicas o de caracterización hidráulica. Por otro lado se señala los acuíferos fisurados de la zona (sección 3.2.7.2.2. del EIA (EMGESA-INGETEC, 2008) entre los que se encuentran el acuífero fisurado de Guadalupe (Af-kg) y el Acuífero fisurado Caballos. En este caso, los datos de caracterización hidráulica para la formación Guadalupe son tomados de referencias ubicadas en la sabana de Bogotá, lo cual no tiene ningún rigor si no se han tomado datos petrográficos, petrofísicos, geofísicos que soporten esas inferencias.

Finalmente, en cuanto a las capas semiconfinadas (Sección 3.2.7.2.3.1. del EIA (EMGESA-INGETEC, 2008) se encuentra las capas semiconfinantes Gigante, Honda y Gualanday. Se realizaron pruebas hidráulicas y caracterización de macizo rocoso en la Formación Gualanday, obteniendo valores de permeabilidad del orden de 10^{-6} m/s, mientras que para el caso de la formación Honda se tienen valores de conductividad hidráulica de 10^{-7} a 10^{-9} m/s. Sin embargo, para el caso de la Formación Gigante, que es la unidad que constituye la mayor proporción del vaso del embalse, no se tiene ningún indicio de las características hidráulicas y resulta alarmante que no se lleven a cabo

⁵⁷ EMGESA-INGETEC. (2013). Informe para la sustracción de reserva forestal de la amazonía-sector Montea Reasentamiento, Volumen 1-1.

caracterizaciones de macizo rocoso en el área de influencia indirecta y que esas omisiones se basen en las opiniones del profesional en hidrogeología que considera que su capacidad de infiltración es baja (sin un solo dato de sustento) y en una descripción geológica precaria, como se detalló en el numeral anterior. .

En el caso de las capas confinantes (Sección 3.2.7.2.4.) entre las que se señalan las unidades Guaduas, Villeta, Saldaña, rocas intrusivas Jurásicas, rocas Paleozoicas y Precámbricas, no se presenta ningún análisis de las características hidráulicas o de porosidad y se omiten o desconocen los estudios del sector petrolero en esta cuenca sedimentaria. En estas capas al igual que las semi-confinantes resultan claves en un estudio detallado de macizo rocoso.

Es de resaltar que el paradigma de las unidades geológicas impermeables ha sido dejado atrás luego del gran avance del conocimiento en los medios fracturados, así como en los modelos de fracturas discretas (DFN) muy diferentes de los modelos continuos típicamente modelados con códigos basados en discretización de un medio continuo (MODFLOW) (Pardo, 2012)⁵⁸. Este es uno de los temas más álgidos especialmente en la evaluación de los impactos ambientales generados por las represas y la modelamiento de estabilidad. Como ilustración, la conductividad hidráulica de una fractura⁵⁹ con abertura menor a 0,1mm, o muy cerrada de acuerdo con la caracterización de la ISRM (International Society for Rock Mechanics), puede ser del orden de 10^{-3} m/s y el de un medio continuo con baja a muy baja conductividad del orden de 10^{-7} a 10^{-10} m/s. Esta diferencia, en órdenes de magnitud, es similar a considerar la velocidad de una persona que camina (1m/s) con respecto a la velocidad de la luz (3×10^8 m/s).

Adicionalmente, la caracterización del medio con pruebas Lugeon, resulta en valores muy locales y en vista de la heterogeneidad – anisotropía del medio, asociada a los valores de RQD y orientación de fracturas, es necesario la ejecución de ensayos de mayor duración con seguimiento en pozos de monitoreo, para de esta forma poder estimar todas las propiedades hidráulicas (conductividad y almacenamiento) e interacción entre capas (Singhal & Gupta, 2010)⁶⁰.

3.5.2.3 Zonas de recarga, descarga y direcciones de flujo.

En cuanto a las **zonas de recarga** (sección 3.2.7.3. EIA) (EMGESA – INGETEC, 2008) se tiene lo siguiente:

Para la zona de influencia del proyecto en general, se define áreas de recarga para los acuíferos porosos, acuíferos fisurados y capas semiconfinantes. Se diferencia una tercera área donde la recarga es mínima o no se presenta recarga, donde afloran las capas confinantes o impermeables (Ver Mapa PL-EIAQ-34.1).

La referencia que se cita corresponde al mapa de unidades geológicas y la interpretación de la zonas de recarga es en sí cualitativa a partir de las unidades hidrogeológicas y su ubicación espacial. No hay datos de capacidad de infiltración del subsuelo, tampoco hay validación de zonas de recarga por cruce con otra información como por ejemplo:

⁵⁸ Pardo (2012), Optimización de un modelo de flujo en un medio fracturado, usando teoría de percolación, Universidad Nacional de Colombia.

⁵⁹ Estimación basada en ley cubica o placas paralelas (Singhal & Gupta, 2010)

⁶⁰ Singhal , B., & Gupta, R. (2010). Applied hidrogeology of fractured rocks. Springer

morfometría, unidades geológicas, deformación tectónica, unidades geomorfológicas, suelos y coberturas vegetales. Este cruce de información temática mediante SIG es apenas una de las primeras aproximaciones, pero en el caso del estudio de EMGESA – INGETEC, 2008, ni siquiera este análisis de susceptibilidad a la recarga es llevado a cabo. En el caso de las **zonas de descarga** la información es precaria, no se entiende la relación del inventario de puntos con la estimación de las zonas de descarga, y no se tiene información de hidrogeoquímica e isotopía o cruce con el inventario de puntos para definir las. Mejores aproximaciones necesitan de monitoreo de isótopos, hidrogeoquímica y pruebas de infiltración, siendo estas últimas de particular interés en los acuíferos porosos (Fetter, 2001)⁶¹.

Finalmente las direcciones de flujo son estimadas de la siguiente forma por EMGESA – INGETEC, 2008:

Las direcciones de flujo en los acuíferos de la zona se establecen de manera conceptual, atendiendo fundamentalmente a aspectos estructurales, en especial a la disposición de los flancos de los pliegues anticlinales y sinclinales que afectan la secuencia de rocas sedimentarias donde se encuentran los acuíferos fisurados y las capas semipermeables.

En los acuíferos porosos, las direcciones de flujos normalmente son perpendiculares y en dirección hacia las corrientes superficiales de agua adyacentes o que interceptan los depósitos cuaternarios en los cuales se encuentran. En los acuíferos fisurados y en las capas semipermeables, las direcciones de flujos tienden a ser paralelas o coincidentes con las direcciones de buzamiento de las secuencias de estratos en las cuales se encuentran, sin descartar, que también pueden presentar flujo de agua hacia niveles más profundos, siguiendo trayectorias aproximadamente verticales.

Similar a las zonas de recarga y descarga, al no contar con piezómetros, caracterización hidrogeoquímica e isotopía o un modelo conceptual hidrogeológico primario de buena calidad, no permite estimar las direcciones y energía del sistema. Y En vista de la caracterización dada a las diferentes unidades sería necesario por ejemplo para el caso de las unidades semiconfinadas determinar el coeficiente de goteo de estas unidades y el grado de conexión que existe entre cada una de las unidades del modelo hidrogeológico, lo cual no es estimable solo conociendo la disposición estructural de las capas y muy precario con pruebas tipo Lugeon (restricciones con respecto a dirección). En efecto, la descripción dada es inútil ya que no concluye en algún modelo tangible.

Es de señalar que en las condiciones actuales del conocimiento el estudio de las direcciones de flujo en especial de los flujos a través de fracturas son claves para entender los impactos generados por el llenado de presas, particularmente en la sismicidad inducida o desencadenada, y en el estudio de tubificación de presas.

⁶¹ Fetter (2001), Applied hydrogeology, Prentice hall.

3.5.2.4 Conclusiones del modelo hidrogeológico EIA (2008)

En el componente hidrogeológico no se presenta ningún modelo del subsuelo o perfil del terreno de escala regional y local que permita pasar de un modelo escrito a un modelo conceptual y eventualmente a un modelo numérico con capacidad de predicción de los abatimientos y las direcciones de flujo. En muchos casos la descripción meramente cualitativa de los fenómenos se ve afectada por la subjetividad del profesional, incrementado la posibilidad de ignorar impactos o subestimarlos por completo. Además, se basa en un componente geológico absolutamente precario en términos de información sobre porosidad o de análisis de fracturamiento (solamente se tienen pocos datos sobre las fracturas en los registros de perforación) o de la comprensión de la deformación tectónica.

No se ve ninguna relación con los demás componentes, es decir, si bien en geotecnia se realizaron numerosas líneas de refracción (con mínima capacidad de detección de variabilidad lateral) y exploración geotécnica (Anexo 3.2.4 del EIA de EMGESA-INGETEC, 2008), esta nunca se tiene en cuenta para el desarrollo y construcción del modelo hidrogeológico, en el mismo sentido la hidrología realiza estimaciones de la infiltración que se da en el AII y AID, pero no se hace mención ni se conocen los detalles de los resultados del modelamiento hidrológico siendo este la entrada de un posible modelo hidrogeológico ya que establece los escenarios de modelación.

Por estas razones, de lo consignado en el Estudio de Impacto Ambiental realizado por EMGESA – INGETEC (2008) se puede concluir que no se tiene ningún conocimiento respecto a los niveles freáticos ni piezométricos, ni a las zonas de recarga y descarga, ni la relación entre las aguas subterráneas y la estabilidad en el sector del vaso, ni los caudales que puedan presentarse en los túneles de desviación ni de descarga. Tampoco se conoce de ningún modelo hidrogeológico ni red de flujo en la zona de presa, lo cual puede repercutir en no considerar aspectos tan importantes en una represa como la eventualidad de grandes deslizamientos gobernados por los cambios en los niveles freáticos en las zonas embalsadas (que a su vez puede producir tsunamis en el vaso) o en la predicción de tubificación dentro del cuerpo de la presa, en la interfaz presa-fundación o en las rocas de la fundación.

3.6 SISMOLOGÍA

Teniendo en cuenta que los sismos se producen cuando los esfuerzos que actúan sobre una roca exceden cierto valor crítico para que se presente un fallamiento (Wang & Manga, 2010)⁶², es de vital importancia tener claro cuáles son las fallas cercanas a la zona de estudio y cuáles serían sus afectaciones dentro de esta.

Además, sabiendo que los cambios en la presión hidráulica de una zona puede inducir⁶³ o desencadenar⁶⁴ sismos, se debe tener en cuenta cuáles serían los efectos en la actividad sísmica y tener un amplio conocimiento del comportamiento sismológico en el caso de los

⁶² Wang, C.-y., & Manga, M. (2010). Earthquakes and water. Lecture Notes in Earth Sciences (114), 113-225.

⁶³ Se entiende por sismo inducido cuando los procesos hidrológicos juegan un papel fundamental en el cambio de los esfuerzos de la zona, según la definición de Wang & Manga, 2010.

⁶⁴ Se entiende por sismo desencadenado cuando los cambios hidrológicos agregan una pequeña contribución al esfuerzo que generó un sismo. Esto según la definición de Wang & Manga, 2010.

niveles de un cuerpo de agua cambien, como es el caso de la creación de un nuevo embalse.

A nivel regional, “Las numerosas evidencias de neotectonismo que se encuentran a lo largo de las trazas de fallas que enmarcan el proyecto, evidencian la liberación de esfuerzos tectónicos a que está sometido en la actualidad el valle superior del Magdalena” (EMGESA - INGETEC)⁶⁵

Como se mencionó en el apartado de Geología Estructural de este informe, según la información suministrada por EMGESA – INGETEC en el EIA, en la zona del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo y alrededores se encuentran siete (7) fallas, de las cuales cinco (5) presentan evidencias de actividad neotectónica, estas fallas son la Falla de Pitalito – Garzón – Algeciras, Falla Suaza, Falla Balseadero – Matambo, Falla La Jagua y Falla Traquí, encontrándose a una distancia entre 4 y 40 km.

Para efectos de este trabajo, se mencionaran las falencias y omisiones encontradas en el Estudios de Impacto Ambiental hecho en octubre de 2008 y se hará un análisis de la actividad sísmica registrada por la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) identificando la frecuencia de eventos sísmicos y aumento y disminución de sismos con una magnitud y profundidad determinada.

3.6.1 Análisis del Estudio de Impacto Ambiental (EIA)

3.6.1.1 Falta de especificación sobre la metodología que se utilizó para clasificar la actividad de las fallas

En la descripción de cada uno de las fallas presentes en la zona de estudio, mostrado en el ítem 3.2.1.1.5.4 Sismología del EIA, se hace una calificación cualitativa sobre la actividad de estas, clasificándolas en fallas con actividad alta, media y baja. Esta clasificación fue utilizada para cinco (5) fallas en la zona de estudio: Falla Pitalito – Garzón – Algeciras, Falla Balseadero – Matambo, Falla de Rioseco y Falla Pital – Betania.

Sin embargo, en ningún lado se explica cuál es la metodología ni los parámetros utilizados para hacer esta clasificación, llamando la atención que para la Falla de Algeciras, la cual presentes notables evidencias de neotectonismo y se encuentra relacionada a diferentes eventos sísmicos, se le asigne un grado **medio** de actividad:

“La estructura tectónica más importante del área, la constituye la falla Pitalito - Garzón – Algeciras de unos 220 km de longitud, la cual pasa a unos 20 km al oriente del sitio del proyecto. Esta falla es la que presenta el mayor desplazamiento en tiempos recientes, el cual se estima en unos 25 m medidos en un depósito aluvial depositado hace unos 100 000 años, el cual se encuentra localizado al occidente el municipio de Algeciras, cerca al Batolito Tigoanza. Se considera que esta falla presenta actividad media.”⁶⁶. (Subrayado fuera del texto original)

⁶⁵ EMGESA - INGETEC. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 3, pág. 3.2-17

⁶⁶ EMGESA - INGETEC. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 3, pág. 3.2-17

Es curioso, como en el mismo párrafo se señala que la gran actividad que tiene, desplazando depósitos cuaternarios, se clasifique como una falla de actividad media, sin hacer ninguna aclaración sobre las razones que llevaron a esta conclusión.

3.6.1.2 Calificativo de la importancia de las fallas de la zona como fuentes sísmicas

En el cuadro 3.2-2 se presenta algunas de las características de las fallas de la zona de estudio y cercanías que han presentado alguna evidencia sobre su actividad reciente. En esta tabla se relaciona la distancia a la que se encuentran del proyecto, la profundidad promedio de falla y una clasificación cualitativa sobre la importancia que tienen como posibles generadoras de eventos sísmicos.

Cuadro 3.2-2 Fuentes sísmicas para el Proyecto El Quimbo

Fuente sísmica	Distancia Proyecto (km)	Profundidad (km)	Calificativo de importancia
Falla Suaza	40	100	0.9
Falla Balseadero-Matambo (1)	2	100	1.0
Falla Pital-Betania	7	100	0.8
Sistema Pitalito-Garzón-Algeciras	18	100	0.7
Falla La Plata-Chusma	35	30	0.6
Falla Moras (2)	76	30	0.5
Falla Romeral	110	100	0.4
Zona de Benioff	150 (3)	500	0.3

FIGURA 18. CUADRO SOBRE LA CLASIFICACIÓN DE LAS FALLAS COMO FUENTES SÍSMICAS EN EL PROYECTO EL QUIMBO. EN ROJO SE RESALTA LOS DATOS DE LA FALLA PITALITO-GARZÓN-ALGECIRAS. FUENTE: MODIFICADO DE EMGESA - INGETEC ⁶⁷

En ningún lado se explica cómo fue que llegaron a este resultado final, ni cuales fueron los parámetros y pesos utilizados para esta calificación.

Además de esto, llama la atención que se califique con 0,7 el Sistema de Pitalito – Garzón – Algeciras (conocido como Falla de Algeciras) el cual, según las características mostradas en el EIA, es una de las fallas más cercanas al proyecto (a 18 km) y a la cual le relacionan 60 eventos, con sismos de magnitud máxima de 7,0 y un β de 0,948, incluyendo el sismo de 18 de noviembre de 1827. Con todo ello, extraña que el calificativo de importancia para una de las principales fuentes sismogénicas de Colombia, ubicada en el campo cercano de sismogeneración sea sub-valorada como fuente de amenaza para el proyecto. Se reafirma la alta incertidumbre que se tiene sobre la metodología utilizada para hacer estas clasificaciones, aspecto que será reforzado en el capítulo 7 con los detalles históricos de los sismos de 1827, 1834 y 1967, todos ellos relacionados con la Falla de Algeciras (Velandia et al., 2002).

3.6.1.3 Cantidad de eventos sísmicos utilizados

En el apartado “3.2.1.1.5.4.5 *Parámetros sismológicos de cada fuente*” del EIA se menciona que se utilizaron 361 eventos sísmicos hasta 1995, “*presentados en un área de 200 km de radio con centro en la presa del proyecto Quimbo.*”⁶⁸

⁶⁷ INGETEC-EMGESA. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 3, pág. 3.2-18

No se encuentra aclaración del porque se utilizan los datos hasta 1995 ni si hacen algún filtro (profundidad o magnitud) en los eventos registrados, ya que esta información no corresponde a la obtenida en el catálogo de eventos sísmicos por la RSNC, la cual indica que a enero 1 de 1995 la cantidad de eventos sísmicos a 200 km del proyecto corresponde a 515, mientras que los reportados a octubre 1 de 2008 corresponden a 2791 eventos.

Con lo anterior queda claro que la información utilizada para el análisis de la amenaza sísmica es incompleta, por que dicho análisis no es tomar como verídica ni acertada, conllevando a diferentes incertidumbres y errores a la hora de estimar las implicaciones y efectos que tendría el proyecto.

3.7 CALIDAD DEL AGUA

3.7.1 Análisis de términos de referencia

En lo relacionado al control de la calidad del agua en proyectos de hidroeléctricas se encontró que la información requerida no responde a las características de los impactos generados por este tipo de proyectos. Solo se presenta una descripción general de las zonas susceptibles a contaminación directa (vertimientos, ocupación de cauce, entre otros) sin considerar que los cambios fisicoquímicos en consecuencia al cambio drástico de dinámica de un río no son de tipo puntual.

En primer lugar, al cambiarse la hidrodinámica del río cambian los regímenes de sedimentación lo cual repercutirá tanto en el embalse como aguas arriba y aguas debajo de éste.

En segundo lugar, una vez el río es represado el planteamiento de monitoreo debe ser encaminado al comportamiento de un sistema lenticó teniendo en cuenta que en estos el flujo vertical de nutrientes, oxígeno, temperatura y demás cobra una importancia mayor 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 ésta ha estado sometida a una serie de procesos biogeoquímicos que han cambiado sus características respecto a sus condiciones iniciales previo a ser represada.

Finalmente se recomienda establecer una metodología de entrega de resultados dentro del programa de monitoreo de calidad del agua, entendiéndose análisis de laboratorio, datos de campo, ubicación y nomenclatura de estaciones, en formato digital que permita su trabajo estadístico y análisis (tablas de Excel).

⁶⁸ INGETEC-EMGESA. (2008). Estudio de Impacto Ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Capítulo 3, pág. 3.2-19

3.7.2 Análisis del Estudio de Impacto ambiental

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.

Los reportes para ambas épocas contemplaron la medición de variables fisicoquímicas importantes de estudiar en proyectos de esta índole, como lo 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 etapa de construcción, llenado y operación, se presenta a continuación un resumen de las condiciones de calidad del agua en el tramo del río Magdalena objeto de intervención, encontrados los años 1996 y 2007 empleados como línea base del EIA elaborado por EMGESA - INGETEC (2008⁶⁹).

3.7.2.1 Línea base de calidad del agua río Magdalena

De los resultados de los monitoreos realizados en 1996 y reportados por EMGESA - INGETEC (2008⁷⁰) se destacan valores de conductividad con registros entre 88 y 131,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a lo largo del tramo estudiado del río Magdalena. En marzo de 2007, la conductividad eléctrica presentó un rango de variación de 52,2 a 119 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en julio de 2007 estuvo entre 59 y 80,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 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, 2006⁷¹).

⁶⁹ EMGESA-INGETEC (2008), Estudio de Impacto Ambiental. Capítulo 3: Caracterización del área de influencia del proyecto. p. 96 – 136.

⁷⁰ *Ibid*

⁷¹ McDonald, J. (2006). Alkalinity & pH Relationships.

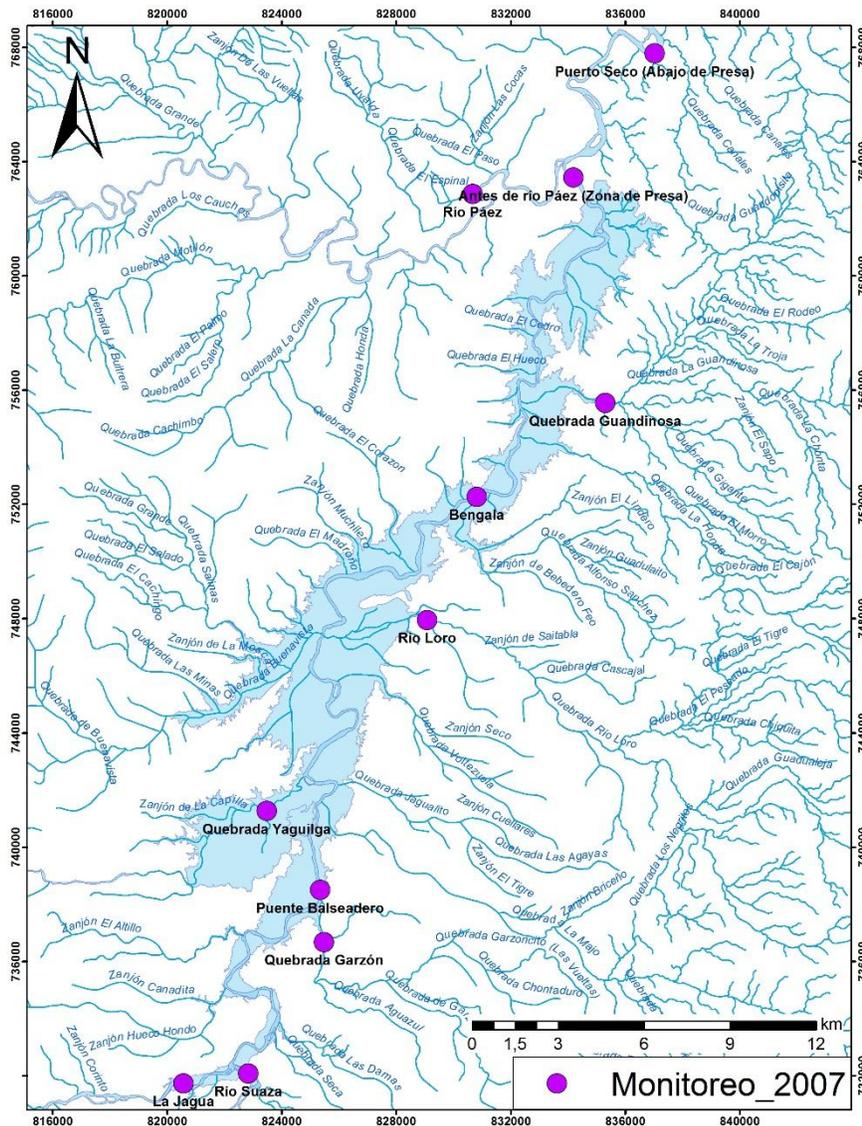


FIGURA 19. LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE AGUA SUPERFICIAL REALIZADO EN 1996 Y 2007 PARA LA LÍNEA BASE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

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.

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.

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

Al igual que el río Magdalena, en los monitoreos presentados por EMGESA - INGETEC (2008⁷²) 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes de noviembre de 1996. En marzo de 2007, la conductividad eléctrica presentó un rango de variación de 82 a 241 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en julio de 2007 la conductividad tuvo una variación entre 68,6 y 343 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 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.

⁷² EMGESA-INGETEC (2008), Estudio de Impacto Ambiental. Capítulo 3: Caracterización del área de influencia del proyecto. p. 96 – 136.

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 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.

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

Según el EIA del proyecto elaborado por EMGESA - INGETEC (2008⁷³) 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 (2008⁷⁴) 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)⁷⁵ 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

⁷³ EMGESA-INGETEC (2008), Estudio de Impacto Ambiental. Capítulo 0: Resumen ejecutivo.

⁷⁴ EMGESA-INGETEC (2008), Estudio de Impacto Ambiental. Capítulo 5: Evaluación ambiental.

⁷⁵ 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

comunidades ecológicas. Asimismo, en AIDA (2009⁷⁶), 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. 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*
- *Deposición 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 porque 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.

⁷⁶ 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

3.7.2.4 Ausencia de monitoreos exigidos en la licencia ambiental

En lo consultado en el expediente 4090 en la ANLA, no se encontró información relativa a la obligación consignada la Resolución 899 de 2009 respecto al monitoreo de la calidad del agua en el embalse una vez inicia la actividad de llenado y posterior operación. El monitoreo exigido se basa en la medición *in situ* de transparencia, oxígeno disuelto, temperatura, pH, conductividad, tomando registros a distintas profundidades. Además, exige la realización de muestreos para analizar sólidos totales, suspendidos, disueltos, turbiedad, CO₂, DOQ, DBO, carbono orgánico, cloruros, sulfatos, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, hierro total, dureza en calcio, dureza en magnesio, dureza total, sodio, fósforo orgánico, fósforo inorgánico, fosfatos, potasio, grasas y aceites, alcalinidad, acidez, coliformes totales y fecales. Tal ausencia de información no permitió determinar las condiciones de calidad del agua del embalse durante el llenado y el tiempo que lleva en operación.

3.8 GEOTECNIA

3.8.1 **Análisis del Estudio de Impacto Ambiental (EIA)**

El Estudio de Impacto Ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo tiene como objetivo general se centraba en el análisis de los diferentes componentes ambientales y los recursos que demandará la construcción y operación del proyecto. Todo con el fin de optimizar y racionalizar los usos de los recursos y lograr su viabilidad mediante la obtención de la Licencia Ambiental otorgada por el ministerio de Medio Ambiente.

Bajo este contexto, el presente numeral pretende evaluar cuatro (4) capítulos en particular, ya que tocan los temas relacionados con geotecnia de forma directa o tangencial y que se consideran de vital importancia para asegurar el cumplimiento de los objetivos planteados por EMGESA S.A. en el EIA. Los tres capítulos son los siguientes:

- Capítulo 3: Caracterización del área de influencia del proyecto
- Capítulo 8: Programa de seguimiento y monitoreo
- Capítulo 9: Análisis de riesgos y plan de contingencia durante la construcción y lineamientos para la operación
- Capítulo 10: Plan de Abandono y restauración final para las áreas que son intervenidas de manera directa por el proyecto.

3.8.1.1 Análisis de la caracterización del área de influencia del proyecto – EIA Cap. 3

El capítulo 3 del estudio de impacto ambiental, realiza una descripción de las áreas de influencia del proyecto. Específicamente en lo que se refiere al medio ABIÓTICO se tocan los siguientes temas que de forma particular son resorte de los análisis de geotecnia.

En el numeral 3.2.7.8 correspondiente al análisis de la vulnerabilidad de la contaminación de acuíferos hace una descripción muy somera de la influencia de distintos agente frente a los acuíferos. Pero no se tiene modelación alguna, si ningún análisis hidrogeológico que identifique, cuantifique y evalúe la existencia o no de éstos cuerpos de agua subterránea.

Es absolutamente necesario, previo a cualquier evaluación, cuantificar y caracterizar lo que será foco de estudio. Es decir, antes de cualquier análisis hay que tener información de campo y laboratorio respecto a los acuíferos de la zona de estudio.

Ahora bien, solo en función de la naturaleza de los acuíferos antes del llenado del embalse, de su caracterización y demás, es que se puede evaluar la afectación o no de éstos y ya que el estudio no presenta esta información, no puede llegar a las conclusiones a las que llega.

En el numeral 3.2.8 de geotecnia se presentan la cantidad de perforaciones ejecutadas. Se mencionan que para la evaluación de las características del subsuelo de un proyecto que está compuesto por, un cuerpo de presa principal de 150 metros de altura, de un dique auxiliar, de la casa de máquinas, de un túnel de desviación, de un túnel de captación y transporte del agua hacia la casa de máquinas y demás obras complementarias se realizaron 16 perforaciones, 20 líneas de refracción sísmica, tres apique, una trinchera y dos galerías de exploración. El siguiente cuadro referencia la cantidad de exploración del subsuelo realizada.

Tabla 6. Exploración del Subsuelo-Datos. Fuente: Capítulo 3.2.8 del EIA

Exploración	Número
Sondeos	16
Líneas de Refracción Sísmica	20
Apiques	3
Trinchera	1
Galerías	2

En el numeral 3.2.8.5 del presente documento se describe la zonificación geotécnica encontrada en la zona. La misma describe cuatro sitios de interés o zonas homogéneas.

En todos los casos analizados, se caracterizó el RQD de los sondeos como malo o muy malo. Lo anterior deja ver la necesidad de ensayos de detalle que permitan cuantificar la permeabilidad, no solo como un valor general para toda una formación sino para el caso puntual de las discontinuidades. El valor del RQD que se encontró muestra que la roca se encuentra muy fracturada y que la permeabilidad por discontinuidades podría ser importante su análisis.

3.8.1.2 Análisis de la evaluación ambiental – EIA Cap. 5

En el capítulo 5, donde se enumeran y analizan los diferentes impactos ambientales que se podrían generar y que estarían relacionados de forma directa con la estructura de presa y con las obras asociadas a esta solo enumeran uno, a saber:

Generación de inestabilidad y erosión en el borde del embalse, a este impacto lo califican como muy bajo. En este punto se hace evidente que no se analizaron todos los posibles impactos que se podrían generar, cambio en el régimen de los acuíferos producto de la tabla de agua que de forma artificial se ha dispuesto, procesos de inestabilidad aguas abajo de la presa.

Tampoco se tuvo en cuenta la posibilidad de la falla de la presa, así este análisis tuviera una calificación baja. Es decir que no se han evaluado las afectaciones que este evento podría tener en el entorno.

Ahora bien, respecto al impacto ambiental que se identificó “Generación de inestabilidad y erosión en el borde del embalse” en el Estudio de Impacto Ambiental (EMGESA – INGETEC, 2008) se presenta la siguiente fotografía asociada a la margen izquierda del río Magdalena en la zona de presa. Dicha foto muestra un claro efecto erosivo al tener discontinuidades abiertas, discontinuidades que según se ve en la fotografía presentan aberturas de más de 1.0 metros.



FIGURA 20. EROSIÓN MARGEN IZQUIERDA DE LA ZONA DE PRESA. FUENTE: EIA DE EMGESA- INGETEC, 2008.

Hay que destacar que en la presa de Betania, localizada aguas abajo de la presa de El Quimbo, se han presentado fuertes procesos erosivos en la parte baja del vertedero. Es por tal motivo que se considera que el único impacto ambiental asociado a procesos de estabilidad que podrían afectar a la presa está mal evaluado, no contemplan análisis detallados y solo se limitan a una escueta descripción que adicionalmente está fuera de foco y carece de evidencia tangible que lleven a las conclusiones acá mencionadas.



FIGURA 21. PROCESOS EROSIVOS EN LA PARTE BAJA DEL VERTEDERO EN LA PRESA BETANIA. ADEMÁS DE LOS CAUSADOS POR LA SOCAVACIÓN DEL AGUA QUE CAE POR EL VERTEDERO, TAMBIÉN ES MUY FUERTE LA EROSIÓN INTERNA (TUBIFICACIÓN) DE LAS ROCAS DE LA FORMACIÓN GUALANDAY. FUENTE: NOTAS DE CLASE JULIO FIERRO MORALES – GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA.

3.8.1.3 Análisis del Plan de Monitoreo – EIA Cap. 8

En el numeral número ocho, referido al Estudio de Impacto ambiental, se presenta el Plan de seguimiento y monitoreo del proyecto. En este plan de monitoreo se listan los siguientes numerales, los cuales serán foco de estudio y análisis.

- Numeral 8.1.1 Monitoreo de emisiones atmosféricas, calidad del aire y ruido
- Numeral 8.1.2 Seguimiento y disposición de residuos sólidos domésticos e industriales
- Numeral 8.1.3 Monitoreo y seguimiento a la disposición de excedentes de excavación
- Numeral 8.1.4 Programa de monitoreo del clima en los alrededores del embalse
- Numeral 8.2.1 Programa de monitoreo y seguimiento de cobertura vegetal y hábitat terrestre
- Numeral 8.2.2 Programa de monitoreo de fauna silvestre
- Numeral 8.2.3 Monitoreo del embalse y cursos de agua superficiales durante la construcción, llenado y operación
- Numeral 8.2.3 Programa de monitoreo y seguimiento para el control de micrófitos acuáticos y residuos vegetales flotantes.

Es claro que en los numerales antes listados, el foco de estudio es el medio físico que corresponde al área de influencia del proyecto, no obstante, en éstos no se hace referencia al seguimiento de procesos de inestabilidad en las laderas adenañas al embalse, ni superficiales, ni las que producto del aumento de la tabla de agua quedarán bajo la cota de inundación se puedan generar. Lo anterior es importante para definir la cantidad de sedimentos que podrían llegar al embalse, afectando el volumen total del agua embalsada, la calidad de ésta y en el mismo sentido la durabilidad del funcionamiento de la obra civil.

Al no contemplar el monitoreo sistemático y constante de posibles focos de inestabilidad en las laderas ni de procesos de remoción en masa, se está obviando las afectaciones

que éstos podrían tener sobre la infraestructura que da funcionamiento al proyecto hidroeléctrico, adicionalmente, no se están contemplando los impactos ambientales que estos podrían tener, ni los riesgos que acarrearán que deslizamientos se presenten sobre el vaso del embalse, que en casos de estudio se han presentado y han generado catástrofes asociadas a descuido en el análisis de dichos procesos.

En el mismo sentido, no se encuentra enumerada la instrumentación que debería disponerse sobre las obras que conforman el embalse, a saber:

- Cuerpo de la presa principal
- Cuerpo del dique auxiliar
- Galerías de captación y descarga de fondo
- Vertedero
- Casa de Máquinas

Esta información debió ser dispuesta de forma explícita en el plan de manejo, pues debido a que las presas son estructuras que deben ser constantemente monitoreadas, ya que sobre ellas recaen aproximaciones considerables, variación de parámetros, condiciones geológicas complejas y demás incertidumbres, que en cuyo caso, la única forma de control es la verificación constante y sistemáticas de las deformaciones, presiones de poros y, en general, del comportamiento de las estructuras proyectadas.

3.8.1.4 Análisis del Plan de Contingencia – EIA Cap. 9

La amenaza se define como el peligro latente o factor de riesgo extremo de un evento en particular, en cuyo caso, si éste evento ocurriera podría afectar a un sistema en particular. Las centrales hidroeléctricas, debido a su envergadura no solo se ven avocadas a la influencia de diferentes fuentes de amenaza, de origen natural o antrópico, sino que también, por sí solas son un foco de amenaza para diferentes medios naturales o antrópicos.

En el numeral 9.1.1 Identificación de amenazas se hace una descripción somera de las posibles fuentes de amenazas que producto del proyecto se genera y que el proyecto en sí mismo genera. Este numeral destaca lo siguiente:

“Se debe considerar también que el proyecto puede generar amenazas a su entorno como las referidas a fallas estructurales (falla de presa) y a fallas técnicas (fallas en mecanismos de control y operación de compuertas del rebosadero)”
(subrayado fuera de texto)

Al tener en cuenta lo anterior, es evidente que el plan considera la posibilidad de la falla del cuerpo de presa y de las otras estructuras que componen el sistema del embalse, pero, en este documento en ningún caso se evalúan las áreas de influencia de una posible falla de la presa. No se cuantifica la amenaza del rompimiento del cuerpo de presa aguas abajo, lo cual incluye los efectos sobre el embalse de Betania.

En el capítulo 9.1.1.1 llamado Amenazas exógenas agrupan las consideraciones de las posibles fuentes sismogénicas que podrán afectar la zona las obras proyectadas. Identifican el sistema conformado por la Falla Pitalito-Garzón-Algeciras de unos 220 km de longitud, como el sistema más importante. No es para menos, se han presentados sismos considerables, asociados de forma específica a la Falla de Algeciras.

Por lo anterior es importante destacar, que debido a las fuentes sismogénicas identificadas y a los análisis de aceleración sísmica que se presentan en el numeral en cuestión y que se resumen a continuación, que en los diseños correspondientes a las estructuras, como diques, cuerpo de presa, casa de máquinas y túneles de conducción se haya usado a cabalidad dicha recomendación, es decir, que la aceleración A_a para los diseños, en ningún caso sea inferior a 0,4 g.

El uso adecuado del valor de A_a adoptado permite que la afirmación dispuesta en el numeral 9.1.1.2.2.5 Consecuencias que pueden ocasionar la falla de la presa, sea válida:

“La presa del proyecto El Quimbo tiene criterios de máxima seguridad para minimizar el riesgo de falla por cualquier evento natural. El cuerpo de la presa resistiría, sin registrar ningún daño estructural, el sismo con período de recurrencia de 1 en 1000 años (sismo máximo creíble – MCE), y sismos mayores los asimilaría con algunos daños estructurales pero sin fallar. Además, contará con sistemas seguros de manejo y monitoreo de infiltraciones, y con un vertedero capacitado para el tránsito de la creciente máxima probable (CMP), en condiciones seguras”.

“Las áreas más sensibles a la avalancha que generaría una falla en la presa, corresponden a la presa de Betania, y al área comprendida desde el sitio de presa hacia aguas abajo afectando poblaciones concentradas y dispersas localizadas en las márgenes del río Magdalena”.

De utilizar valores de aceleración menores significa que los periodos de retorno que corresponden a la estabilidad de la presa se vean reducidos y la recurrencia mencionada, entre 1 y 1000 años, aplicaría para el presente estudio.

No obstante lo anterior, es importante mencionar las grandes incertidumbres respecto a la sismogeneración en el país (CGR⁷⁷, 2014) y que los estudios tectónicos incluidos en el EIA (EMGESA – INGETEC, 2008) son precarios y prácticamente inexistentes, con lo cual la seguridad de la obra ante eventos sísmicos sigue estando en duda.

Siguiendo, en el numeral 9.2.4.3.4.1 correspondiente al Plan de contingencia para sismos, en ningún momento se mencionan la evaluación de la afectación del fenómeno hacia las obras, no se presentan planes para la identificación de posibles fallas futuras debido a las afectaciones ocasionadas por el evento. No se hace referencia a la obtención de los datos de la instrumentación que deberá estar dispuesta sobre las obras que conforman el sistema del embalse. A todas luces el numeral es somero y muy escueto respecto a las implicaciones que un sismo podría tener en una estructura de la importancia de una presa.

3.8.1.5 Plan de abandono y restauración final – EIA Cap. 10

El proyecto hidroeléctrico está diseñado para una vida útil de 50 años, todo en función de los sedimentos que aporta la cuenta tributaria. Es posible que con obras complementarias

⁷⁷ CGR (2014). Informe de actuación especial – AT No. 31. Seguimiento Función de Advertencia. Principio de Precaución y Desarrollo Sostenible, posibles riesgos Hidrocarburos No Convencionales.

se pueda aumentar la vida útil del proyecto, pero todo se ejecutará en función del desarrollo del mismo durante su ejecución.

Debido a esto, tras el cumplimiento de la vida útil, se deberán asegurar las condiciones para que las instalaciones y demás obras no sean un foco de riesgo latente en la zona y que el no seguimiento de éstas durante el tiempo no se convierta en una problemática para la comunidad ni para el entorno.

No obstante lo anterior, el plan que en el capítulo 10 se propone carece de la evaluación detallada de la actividad sísmica que producto del embalse se generó durante el tiempo de ejecución. No se proyectan estudios de análisis para la evaluación de la degradación de las obras como la presa o el dique auxiliar que debido al paso del tiempo se pudieron ver afectadas y que podrían significar un riesgo latente.

Si tras la operación de la hidroeléctrica, se plantea el descenso de la lámina de agua del embalse, no se evaluaron las afectaciones en las laderas aledañas, procesos erosivos que las podrían afectar, procesos de remoción en masa producto del descenso de la lámina de agua ni demás afectaciones.

Es necesario que estos análisis se incluyan ya que el embalse, de forma clara ha cambiado las condiciones del entorno y estas nuevas variables deberán ser cuantificadas y evaluadas a la luz del riesgo.

3.8.2 Análisis de los informes de diseños para licitación del 2009

Este numeral tiene como objetivo la revisión de la siguiente información y análisis de los siguientes informes.

Tabla 7. Informes de diseños para licitación evaluados

Documento	Nombre	Código
1	Memorando de Diseño Presa Cara de Concreto	PHEQ-DEST-DOC-0128
2	Memorando de Diseño Estructural de Túnel de Desviación	PHEQ-DEST-DOC-0054
	Memorando de Diseño Geotécnico de Túnel de Desviación	PHEQ-DGEO-DOC-0034
3	Memorando de Diseño Geotécnico del Dique	PHEQ-DPLA-DOC-0180

El énfasis central de este análisis es la evaluación de la cantidad y calidad de la exploración del subsuelo, de los análisis de las estructuras necesarias para el funcionamiento del Embalse del Quimbo, a saber, presa, dique, casa de máquinas, túneles de desvío, todo enfocado a geotecnia.

3.8.2.1 Documento 1: Memorando de Diseño Presa Cara de Concreto- PHEQ-DEST-DOC-0128

- **Exploración del Subsuelo**

En el documento no se presentan perforaciones, líneas de refracción sísmica ni otros mecanismos que se consideren pertinentes para la obtención de muestras y parámetros de las unidades de roca y suelo.

- **Parámetros Geomecánicos**

El documento no presenta soportes de los parámetros geomecánicos que se utilizaron en los análisis presentados. Tampoco menciona el origen de dichos parámetros.

- **Conclusiones y Recomendaciones**

- No se encuentran los análisis de flujo de agua y presiones sobre la estructura proyectadas.
- No se presentan las presiones que bajo el plinto se podrían presentar, tampoco se presenta la justificación de las barras de anclaje que se proyectan para la unión entre el plinto y la unidad de roca.
- Es claro que tanto el plinto como la cara de la presa deberá ser de concreto, no obstante no se presentan las características mecánicas del material, tampoco se mencionan las condiciones necesarias para la impermeabilización de éstas estructuras.

3.8.2.2 Documento 2: Memorando de Diseño Estructural de Túnel de Desviación- PHEQ-DEST-DOC-0054 y Memorando de Diseño Geotécnico de Túnel de Desviación- PHEQ-DGEO-DOC-0034

El túnel tiene una longitud de 488,68 metros, adicionalmente la obra requiere de una ventana de construcción de 51,24 metros. Las dimensiones del túnel corresponden al uso que se le va a dar y está en función de los requerimientos de caudal que se necesitan. Bajo estas condiciones, para el túnel de desviación se fijó un radio de excavación de 6.0 metros de altura con sección en herradura.

Debido a que la obra que se proyecta es de mayor complejidad, es necesario que se cumplan con las condiciones mínimas de estabilidad de las entradas y de la galería proyectada.

El presente capítulo recopila las caracterizas de la estructura a las que llega la consultoría. Dimensiones de las obras, geometrías adoptadas, consideraciones y recomendaciones finales.

- **Exploración del Subsuelo**

La exploración del subsuelo que se utilizó para la obtención de muestras y de parámetros consintió en un sondeo de 40 metros de profundidad y la realización de cuatro (4) líneas de refracción sísmica. Se considera que esta cantidad de exploración es a todas luces insuficiente, no obstante debido a que la obra ya se ejecutó es necesario que se haya cotejado la información acá suministrada con la realidad.

- **Ensayos de Laboratorio**

Los ensayos de laboratorio que se presentan en el estudio se enumeran en el siguiente cuadro.

Tabla 8. Relación de ensayos de laboratorio-Túnel de Desviación

Tipo	Cantidad
Límites	4
Granulometría	4
Compresión Inconfinada	7

Carga Puntual	2
Peso Unitario	14

Como es evidente, el informe se realizó sin ensayos de resistencia al corte entre discontinuidades, en un medio a todas luces dominados por las diaclasas y la estratificación. Y los ensayos se centran principalmente en la cuantificación del peso unitario de los materiales. Esta condición va en concordancia con la escasa exploración del subsuelo realizada.

- **Análisis y Cálculos Realizados**

Hay tres análisis que debieron ser considerados para el dimensionamiento final de las estructuras propuestas. El primero correspondiente al flujo de agua subterránea tras la apertura de la galería y en el mismo sentido, el flujo de agua tras el llenado del embalse. El segundo análisis consistió en la determinación de las posibles fallas que se podrían generar y las deformaciones esperadas tras la construcción de las obras requeridas. El último es relacionado con los portales, estos portales deberán ser protegidos para evitar cualquier proceso de inestabilidad que pueda afectar el túnel.

Respecto al primer análisis requerido, no se presentan comentarios al respecto. De los otros dos si hay información y a continuación se comenta.

- **Análisis de Estabilidad de la Excavación-Bloque Crítico**

El análisis de estabilidad e la excavación se realizó en función de un análisis de discontinuidades, determinando los bloques que se podrían formar producto de la intersección entre discontinuidades y el alineamiento del túnel. La siguiente tabla resume los bloques definidos como críticos y los factores de seguridad sin obras y con obras.

Tabla 9. Bloques críticos, dimensiones y soportes requeridos

Obra	Bloque	Factor de Seguridad	Presión de Soporte (ton/m ²)	Volumen (m ³)	Factor de Seguridad Final
Túnel de desviación	0001	0,00	27,0	386,0	1,50
	0111	0,00	1,0	1,7	1,50
	0001	0,17	2,0	7,1	1,29
	0101	0,98	4,0	148,3	0,48
Ventana de Construcción	1001	0,00	1,0	0,6	1,50
	1011	0,00	1,0	1,6	1,50
	1111	0,00	17,0	76,3	1,50
	0011	0,73	1,0	6,9	0,75

Respecto a las deformaciones esperadas, se observa que las mayores se esperan se presentan en el piso del túnel, siendo estas últimas de 100 cm como máximo en las zonas más fracturadas.

Tabla 10. Deformaciones esperadas en el túnel

Tipo de Terreno	Tipo de Roca	Deformaciones máximas (cm)
-----------------	--------------	----------------------------

		Techo	Paredes	Piso
I	Sana	3	2,6	4
II	Poco Fracturada	4,2	4,2	6
IIIA	Fractura	3,9	4,55	15
IIIB	Fractura alterada portales	6	9	28
IIIB	Zonas de esfuerzo	15	15	100

- **Conclusiones y Recomendaciones**

- Se considera insuficiente la cantidad de exploración del subsuelo realizada, no obstante, ya que la obra ya fue ejecutada es importante verificar si el único sondeo realizado es representativo para toda la zona del túnel.
- En el mismo sentido la cantidad de exploración de ensayos de laboratorio se consideran insuficientes, y de igual forma a lo comentado anteriormente, es importante que se haya realizado la verificación de los parámetros geomecánicos acá adoptados.
- En este sentido no se pueden realizar mayores comentarios ya que la base central de los análisis, los ensayos de laboratorio y exploración del subsuelo son insuficientes.

Ahora bien, debido a que se plantearon obras de control y límites en las deformaciones que se esperan en las estructuras proyectadas se solicita la verificación de lo siguiente:

- Que el espaciamiento de pernos y sus longitudes de los mismos cumplan con lo presentado en el informe en cuestión.
- Que el revestimiento tenga los espesores mínimos requeridos en el presente informe.
- Que se presenten los datos del seguimiento de los límites en las deformaciones acá presentados, toda vez que éstas son un indicador del buen funcionamiento de la obra.
- Que los taludes de las entradas tengan las características de inclinación acá previstas y que los materiales que afloren correspondan con los que en el informe se presentan.

3.8.2.3 Documento 3: Memorando de Diseño Geotécnico del Dique- PHEQ-DPLA-DOC-0180

- **Exploración del Subsuelo**

La exploración del subsuelo corresponde a cuatro sondeos, uno realizado en la fase previa a dicho informe y tres más realizados durante los procesos de los diseños.

Adicional a dichos sondeos se ejecutaron nueve (9) líneas de refracción sísmica⁷⁸. De forma complementaria, y con el objetivo de caracterizar las unidades de roca en función de sus características hidráulicas, se realizaron ensayos de permeabilidad por el método Lugeon; al igual que sucedió con las líneas de refracción sísmica, no se presentan los soportes de la ejecución de dichos ensayos, solo se muestran los resultados obtenidos.

• **Análisis y Cálculos Realizados**

La estructura foco de estudio correspondió al Dique Auxiliar, que junto con la presa, represan el agua del río Magdalena y forman el embalse. Dicha estructura corresponde principalmente en la disposición de materiales granulares compactados, en el centro de los cuales se encuentra un material cuyas propiedades hidráulicas limitan el flujo de agua a través de ella generando una zona donde el nivel freático generado por la tabla de agua se ve mermado, haciéndolo descender hasta alcanzar los filtros de la parte baja. En función de estas características el estudio debido dar respuesta a las siguientes condiciones:

- Análisis de la capacidad portante del suelo de fundación y cuantificación del factor de seguridad en función de las cargas esperadas tras la disposición de los materiales que conformarán el dique.
- Análisis de las presiones de poros que se generarán producto del flujo de agua a través de la estructura, indicando los límites permisibles y la instrumentación necesaria para la verificación de los mismos.
- Análisis de la estabilidad general del cuerpo del dique. Lo anterior debido a que la estructura estará conformada por materiales antrópico es necesario que se aseguren las propiedades de los materiales y que los mismos se analicen teniendo en cuenta los factores de seguridad mínimos esperados.
- Proponer la instrumentación necesaria para el seguimiento de la estructura propuesta, tipo de instrumentación, localización sugerida, intervalos de medidas, límites permisibles, y señales de alerta.

De las anteriores condiciones, el informe correspondiente no presenta análisis de la capacidad portante del subsuelo frente a las cargas esperadas. No presenta los análisis esfuerzo deformación, a saber, análisis de asentamientos inmediatos y debidos a las deformaciones típicas de los rellenos.

Ahora bien, ya que los análisis realizados deben obedecer a la determinación lógica y sistemática de los parámetros geomecánicos que en los modelos se utilizan, el informe adolece de la información necesaria para llegar a las conclusiones finales si a parámetros geomecánicos se refiere, ya que:

- No se realizan ensayos a muestras inalteradas (ensayos triaxiales)
- No se analiza la resistencia al corte en discontinuidades
- No se realizan ensayos para la determinación de los parámetros de los materiales que conformarán la presa. El estudio en cuestión se fundamenta sobre información secundaria, bibliografía y descarta de tajo la obtención de parámetros reales de los materiales que conformarán el cuerpo del dique.

⁷⁸ En los documentos revisados no se encontraron los soportes ni las metodologías para la ejecución de dichos ensayos.

• **Análisis de Estabilidad**

En los análisis de estabilidad realizados sobre el cuerpo del dique se utilizan tres materiales, a saber:

Tabla 11. Propiedades de los materiales presentados en el informe para el análisis de estabilidad del cuerpo del Dique

Material	Y(kN/m ³)	C (kPa)	Phi(°)
Espaldones	22	Phi(°) = [30-45 ⁷⁹]	
Núcleo	20	50	20
Roca	23	90	30

Las propiedades que se presentan en la anterior tabla corresponden a las propiedades de la unidad de roca sobre la cual se cimentará la estructura. Dichos parámetros fueron producto de los ensayos de campo y de laboratorio que sobre dichas muestras se realizaron. No obstante lo anterior, los valores de cohesión y ángulo de fricción para el cuerpo del dique fueron adoptados, es decir, no se realizaron ensayos para validar la información consignada en la bibliografía mencionada en el informe.

En concordancia con lo anterior, usando dichos parámetros se obtuvo el valor del factor de seguridad para tres casos o escenarios. El primero de ellos para la etapa final de construcción, donde no se analiza la influencia del sismo ni del agua sobre la estructura. El segundo caso corresponde al análisis del desembalse rápido. El último caso analizado es bajo la influencia del sismo. Los valores del factor de seguridad obtenidos para el Dique se presentan a continuación.

Tabla 12. Factores de seguridad obtenidos para la estabilidad del Dique

Caso	Tabla de Agua Arriba	Tabla de Agua Abajo
Final de Construcción	1.75	1.93
Desembalse Rápido	1.24	1.51
Con Sismo	1.00	1.01

Ya que en los análisis del factor de seguridad no se presentan las propiedades finales utilizadas en los modelos, se construyó un modelo siguiendo los planos anexos a dicho informe. El modelo usa los mismos parámetros presentados en el informe, pero respecto a las propiedades de los espaldones, se usa 30° como media y se hace variar dicho valor formando una curva que unifica el valor del factor de seguridad. Se analiza el factor de seguridad obtenido teniendo en cuenta lo siguiente:

- Se analizan 50 000 superficies de falla circulares en cuyo caso se selecciona la que menor factor de seguridad arroja.
- Habiendo elegido la superficie de falla crítica se hace variar el valor del ángulo de fricción de los espaldones, partiendo de 30° hasta 45°.
- El análisis se repite para el espaldón aguas arriba y aguas abajo.
- El agua se simula como una lámina de agua estática.
- Se analizan cuatro condiciones o escenarios: Sin Agua y Sin Sismo, Sin Agua y Con Sismo, Con Agua y Con Sismo.

⁷⁹ El informe relaciona estos datos a la tabla 7-6 donde en función de los esfuerzos normales arrojan un valor de ángulo de fricción que varía entre 30 y 45°.

Los valores del factor de seguridad obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 13. Valores del factor de seguridad obtenidos para el presente análisis⁸⁰

Condición	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Sin Agua-Sin Sismo	1,4	2,4	1,5	2,5
Sin Agua-Con Sismo	0,9	1,6	0,9	1,5
Con Agua-Con Sismo	0,9	1,6	0,7	1,2

De lo anterior se puede observar que es necesario que se analicen las propiedades de los materiales que actualmente conforma el Dique, toda vez que la variación del factor de seguridad es significativa para cada caso propuesto en los diseños.

• **Conclusiones y Recomendaciones**

- En términos generales la exploración del subsuelo se considera suficiente, no obstante es necesario que se adjunten los soportes de los ensayos realizados en campo: Líneas de fracción sísmica y ensayos de permeabilidad
- No se presenta un análisis de capacidad portante satisfactorio, no se presentan los factores de seguridad correspondientes ni los análisis de deformaciones esperados.
- Los análisis de estabilidad de la obra deberán ser revisados, toda vez que tras un análisis preliminar, los factores de seguridad acá obtenidos no corresponden a los mínimos esperados.
- Es necesario la determinación de los parámetros reales de los materiales que se encuentran en obra y el cálculo de la estabilidad de la obra en función de éstos.
- En el estudio se mencionó la existencia de la siguiente instrumentación sobre la obra en cuestión, a saber:
PHEQ-PDA-GEOSUP-PL041
Celdas de carga para el análisis de asentamientos: 17 celdas en total.
Inclinómetros: 3 inclinómetros en total.
PHEQ-PDA-GEOSUP-PL042
Mojones para mediciones topográficas: 19 aguas arriba, 20 en la cresta y 21 en el espaldón aguas abajo.
Mojones topográficos en los estribos: 10 distribuidos de forma homogénea.

Es necesario que se evalúe la información proveniente de dicha instrumentación, toda vez que se tienen incertidumbres de fondo respecto de la estabilidad de la estructura bajo los eventos límites analizados.

⁸⁰ Los valores acá dispuestos son el producto de los análisis realizados por el equipo de trabajo a cargo de la revisión de los estudios. Los soportes se presentan en el anexo correspondiente a la revisión del documento con código **PHEQ-DPLA-DOC-0180**

3.8.3 Análisis de las condiciones actuales de obra y requerimientos mínimos necesarios para el correcto funcionamiento

El proyecto hidroeléctrico El Quimbo corresponde una obra de gran envergadura. Su área de influencia no solo se limita al área correspondiente al embalse, sino también a todas las zonas que podría afectar si no funcionara de forma correcta.

Por lo anterior es que se hace necesario que en cualquier situación previsible el proyecto sea seguro y su estabilidad, en ningún caso, se vea comprometida. Siguiendo estos lineamientos, el proyecto debió cumplir a cabalidad con los requerimientos mínimos que la normativa vigente solicitaba, sin que éstos los limitara para la ejecución de análisis adicionales, si la complejidad y el nivel de importancia del proyecto así lo requerían.

En términos generales el proyecto está conformado por cinco (5) grandes obras que en su conjunto son la esencia del proyecto hidroeléctrico y que el mal funcionamiento de alguno de estos elementos pondría en grave riesgo el funcionamiento del Quimbo. Las obras se enumeran a continuación.

- Cuerpo de Presa. Presa tierra con núcleo impermeable con cara de concreto
- Dique auxiliar hecho de tierra con núcleo impermeable
- Túneles de Descarga de Fondo y de Captación y direccionamiento hacia la casa de máquinas

3.8.3.1 Cuerpo de presa de tierra y núcleo impermeable

El cuerpo de la presa comprende lo que sería la obra más importante del complejo hidroeléctrico El Quimbo. Es por tal motivo que se tienen que tener en cuenta las siguientes condiciones para que se asegure su estabilidad y correcto funcionamiento.

En los numerales anteriores, más específicamente en el numeral donde fue analizado el capítulo de Geotecnia del EIA se mostró que para toda la obra se realizaron solamente 16 sondeos que permiten inferir una deficiencia en la caracterización de los materiales.

En el numeral de geotecnia no se mencionan ensayos regionales para la caracterización de acuíferos ni modelos detallados de flujo de agua subterránea. Solo se mencionaron ensayos puntuales y sobre ciertas unidades específicas.

Esto deja ver que no se conoce el flujo de agua bajo el cuerpo de presa ni como éste puede afectar la estabilidad de la misma.

La presa como cualquier obra de infraestructura debe cumplir con tres análisis primarios. El primero de ellos correspondiente a la capacidad portante de los materiales de fundación, el segundo corresponde a los análisis de estabilidad que sobre el cuerpo de la presa se deben realizar, se debe asegurar que los factores de seguridad para la presa se ajusten a las condiciones sismotectónicas de la zona. El tercer análisis es el correspondiente a la cuantificación de deformaciones que se deben tolerar debido a las cargas generadas por el embalse y debido a las fuerzas dinámicas que de forma natural se pueden presentar.

Sumado a lo anterior, y siendo que esta condición en particular es la base del estudio de los embalses, se debe evaluar el flujo de agua subterránea bajo el cuerpo del embalse y dentro del cuerpo de presa, ambos factores con el objetivo de descartar procesos como el de tubificación.

En el estudio de impacto ambiental se menciona el estudio detallado de amenaza sísmica que para el proyecto se realizó, en este se define un valor de aceleración A_a que deberá ser adoptado en los diseños y que corresponde al periodo de retorno recomendado para asegurar la estabilidad de la presa.

3.8.3.2 Dique auxiliar de tierra y núcleo impermeable

De forma similar a los comentarios realizados para la estructura de presa, el dique auxiliar debe corresponder a una obra con las más altas especificaciones.

Tomando las descripciones de geometría que en el EIA se encuentran, se realizó una simulación de la estabilidad del cuerpo del dique. El modelo usa los mismos parámetros típicos, ya que en el EIA no se presentan, pero respecto a las propiedades de los espaldones, se usa 30° como media y se hace variar dicho valor formando una curva que unifica el valor del factor de seguridad. Se analiza el factor de seguridad obtenido teniendo en cuenta lo siguiente:

- Se analizan 50 000 superficies de falla circulares en cuyo caso se selecciona la que menor factor de seguridad arroja.
- Habiendo elegido la superficie de falla crítica se hace variar el valor del ángulo de fricción de los espaldones, partiendo de 30° hasta 45° .
- El análisis se repite para el espaldón aguas arriba y aguas abajo.
- El agua se simula como una lámina de agua estática.
- Se analizan cuatro condiciones o escenarios: Sin Agua y Sin Sismo, Sin Agua y Con Sismo, Con Agua y Con Sismo.

Los valores del factor de seguridad obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 14. Valores del factor de seguridad obtenidos para el presente análisis (Este trabajo)

Condición	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Sin Agua-Sin Sismo	1,4	2,4	1,5	2,5
Sin Agua-Con Sismo	0,9	1,6	0,9	1,5
Con Agua-Con Sismo	0,9	1,6	0,7	1,2

De lo anterior se puede observar que es necesario que se analicen las propiedades de los materiales que actualmente conforma el Dique, toda vez que la variación del factor de seguridad es significativa para cada caso propuesto, es de vital importancia que se realicen ensayos de campo para la cuantificación de las propiedades de los materiales y la validación de los modelos de estabilidad.

Los modelos analizados se presentan en las siguientes figuras

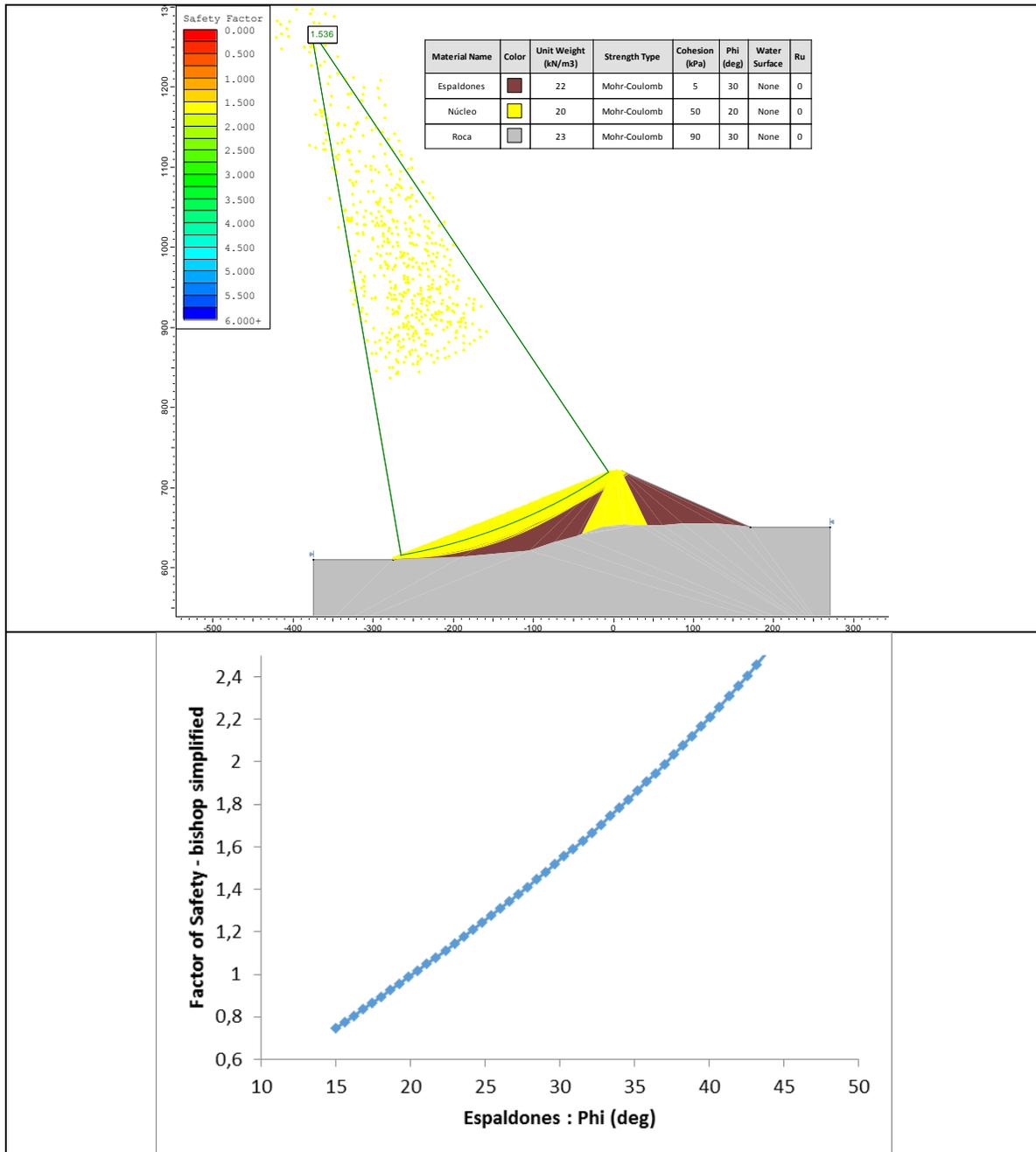


FIGURA 22. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DIQUE AUXILIAR – CARA AGUAS ARRIBA – ANÁLISIS SIN AGUA Y SIN SISMO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

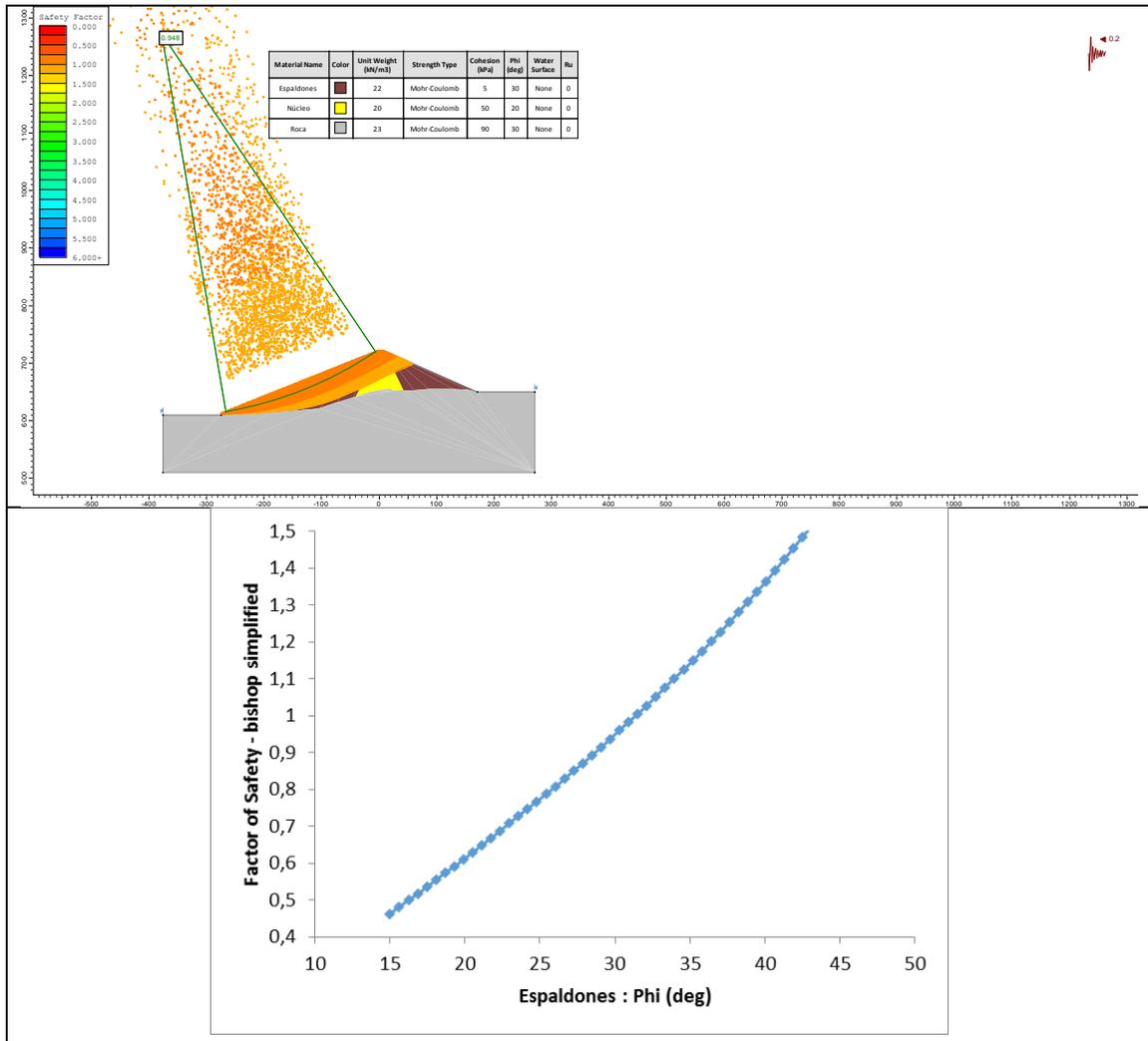
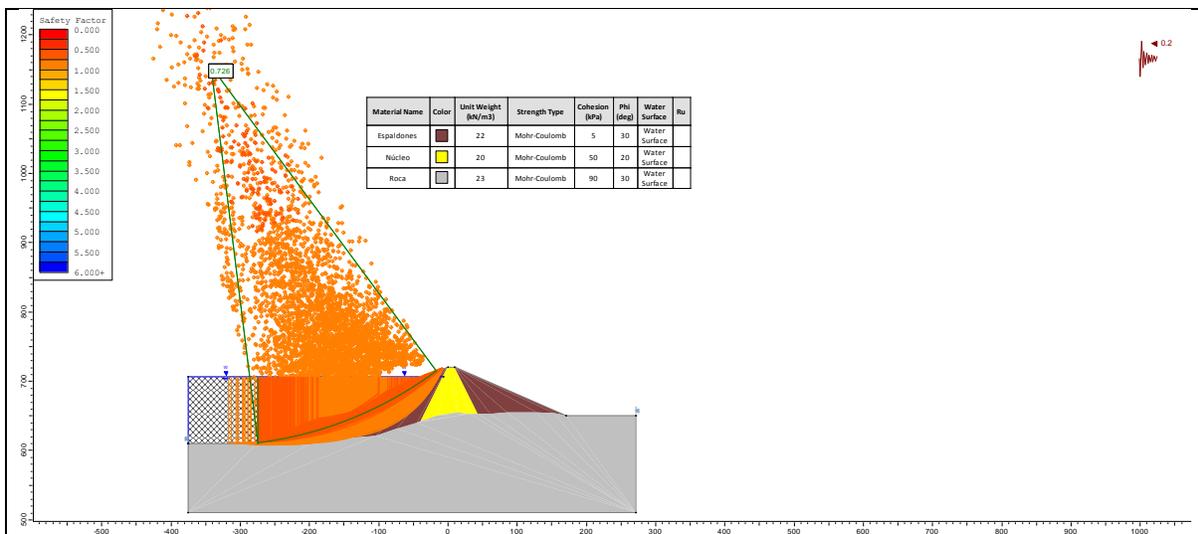


FIGURA 23. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DIQUE AUXILIAR – CARA AGUAS ARRIBA – ANÁLISIS SIN AGUA Y CON SISMO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



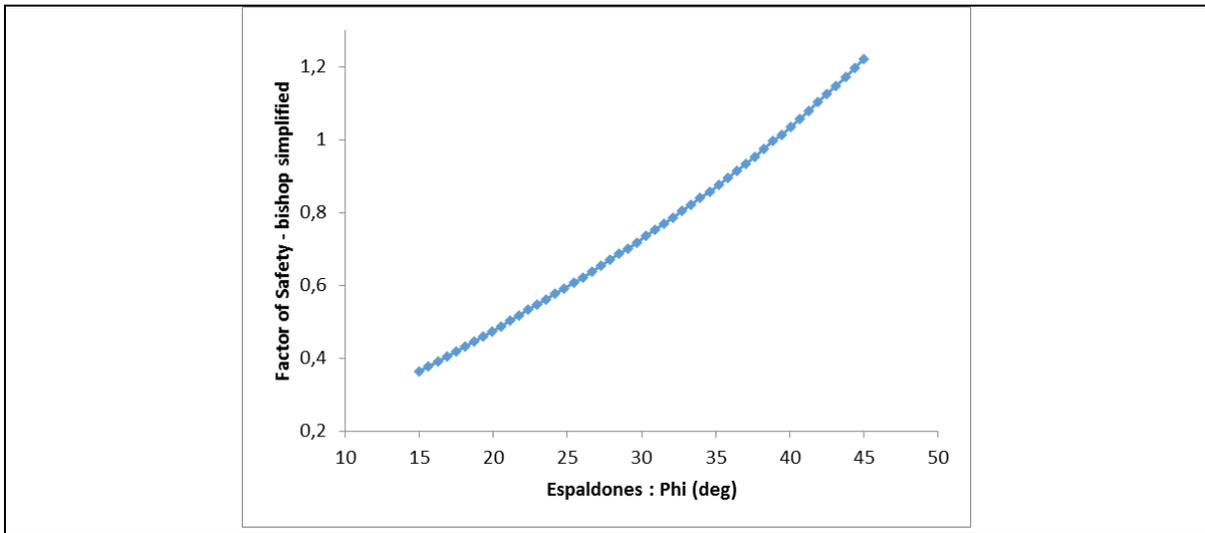


FIGURA 24. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DIQUE AUXILIAR – CARA AGUAS ARRIBA – ANÁLISIS CON AGUA Y SIN SISMO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

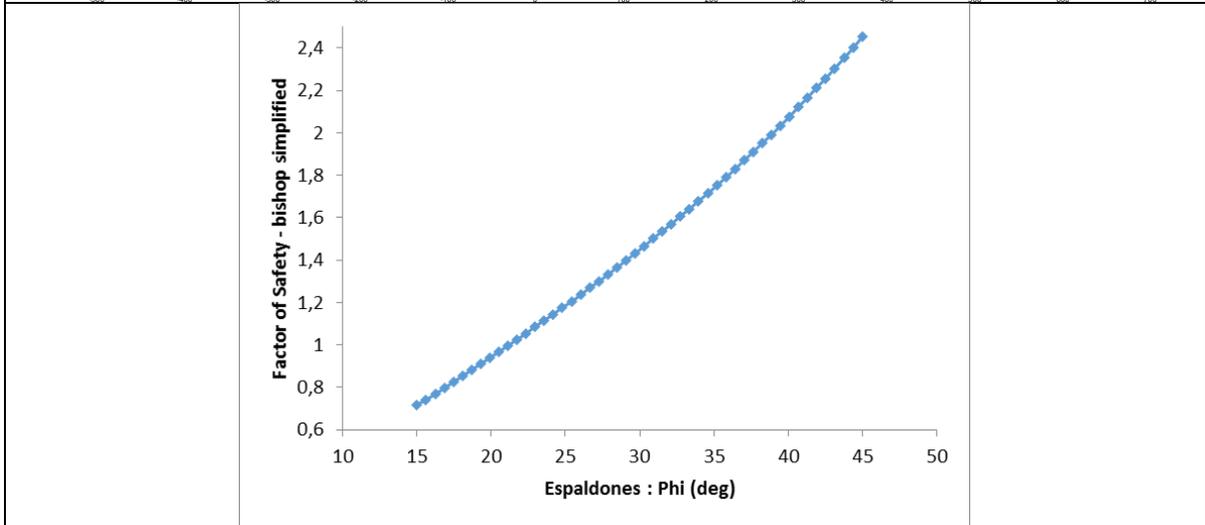
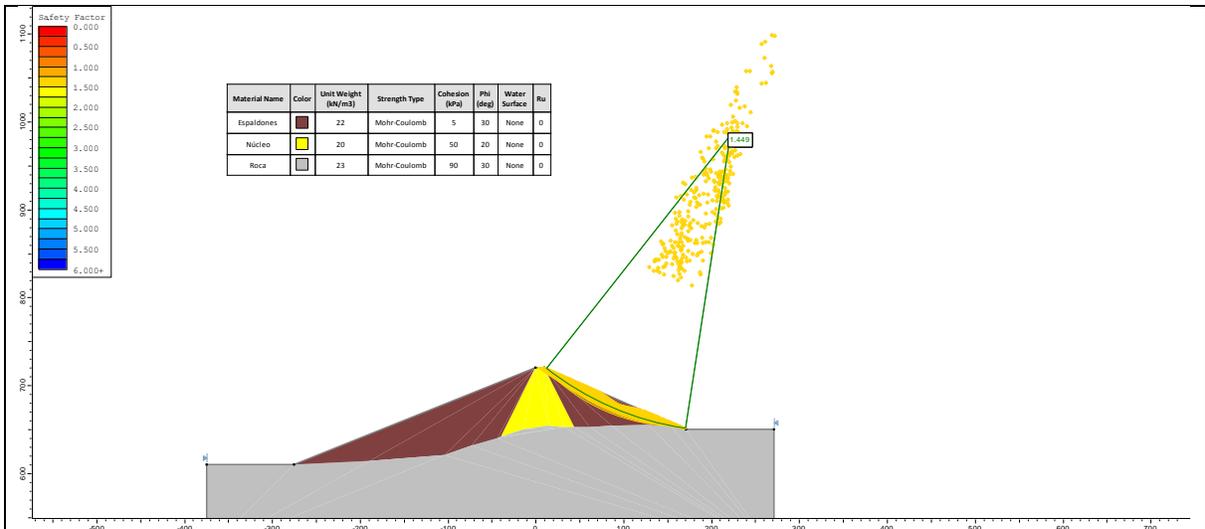


FIGURA 25. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DIQUE AUXILIAR – CARA AGUAS ABAJO – ANÁLISIS SIN AGUA Y SIN SISMO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

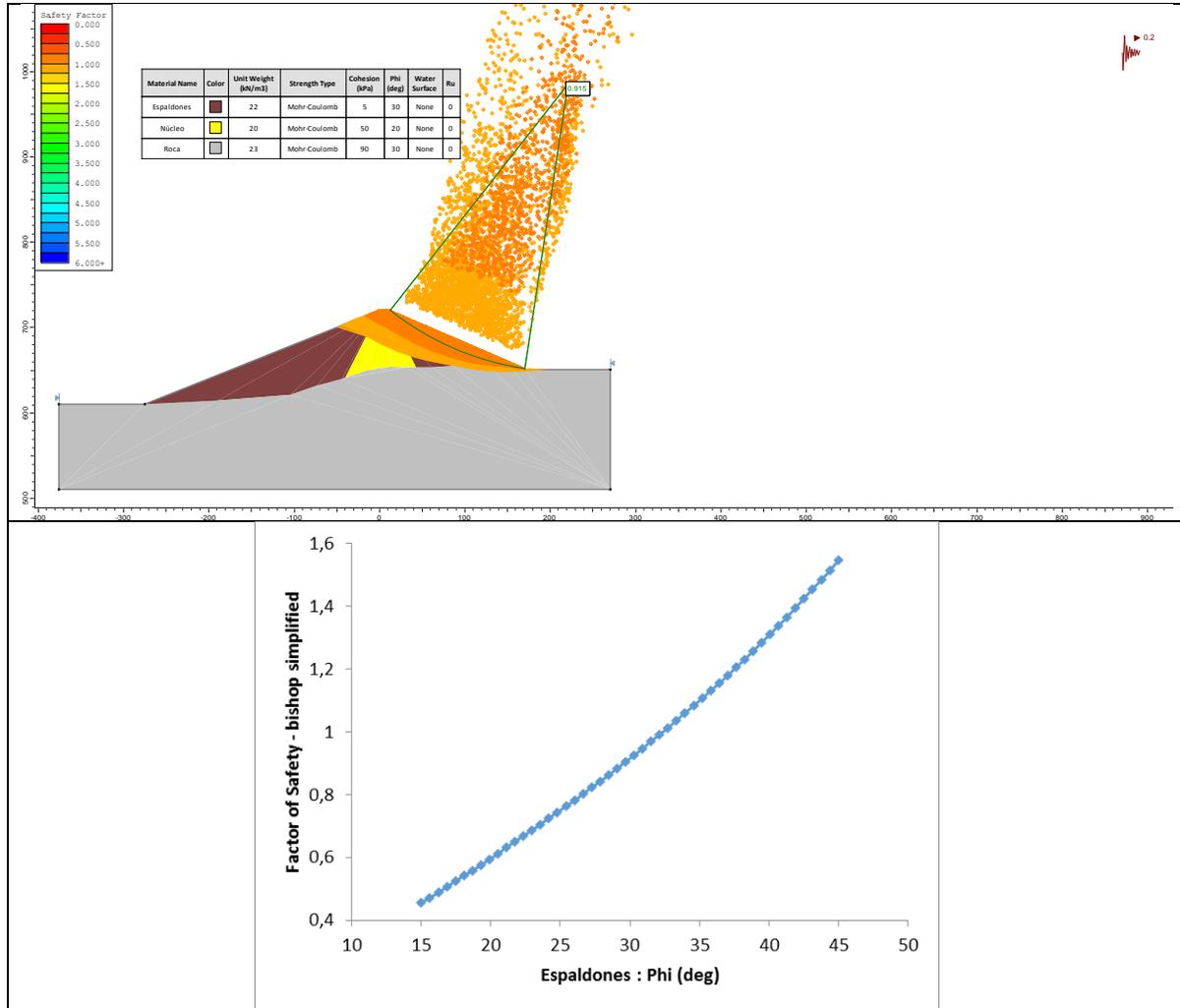


FIGURA 26. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DIQUE AUXILIAR – CARA AGUAS ABAJO – ANÁLISIS SIN AGUA Y CON SISMO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

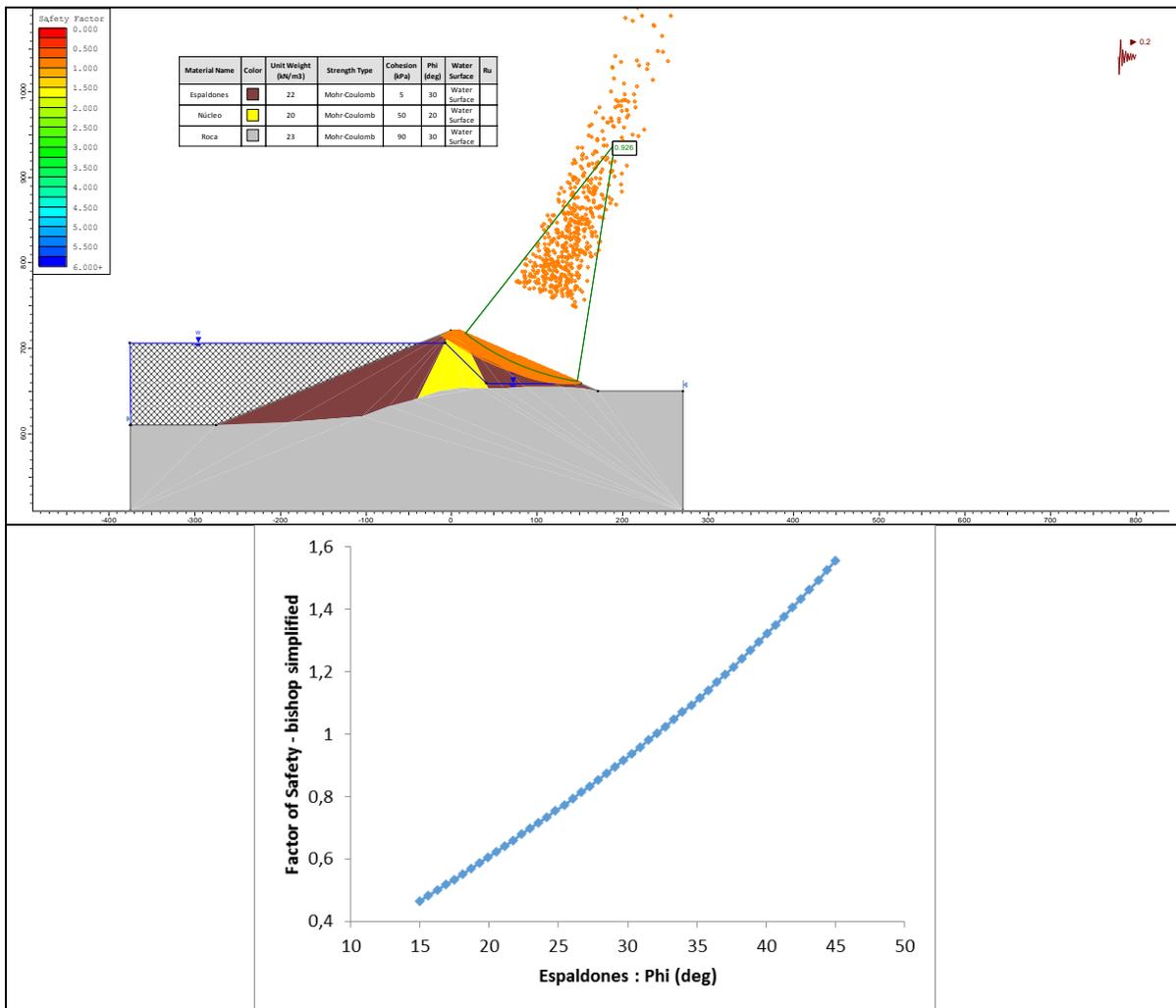


FIGURA 27. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DIQUE AUXILIAR – CARA AGUAS ABAJO – ANÁLISIS CON AGUA Y CON SISMO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.8.4 Túnel de descarga de fondo y túnel de captación y conducción hacia la casa de maquinas

El túnel tiene una longitud de 488,68 metros, adicionalmente la obra requiere de una ventana de construcción de 51,24 metros. Las dimensiones del túnel corresponden al uso que se le va a dar y está en función de los requerimientos de caudal que se necesitan. Bajo estas condiciones, para el túnel de desviación se fijó un radio de excavación de 6,0 metros de altura con sección en herradura.

Debido a que la obra que se proyecta es de mayor complejidad, es necesario que se cumplan con las condiciones mínimas de estabilidad de las entradas y de la galería proyectada.

El presente capítulo recopila las características de la estructura a las que llega la consultoría. Dimensiones de las obras, geometrías adoptadas, consideraciones y recomendaciones finales.

Hay tres análisis que debieron ser considerados para el dimensionamiento final de las estructuras propuestas. El primero correspondiente al flujo de agua subterránea tras la apertura de la galería y en el mismo sentido, el flujo de agua tras el llenado del embalse. El segundo análisis consistió en la determinación de las posibles fallas que se podrían generar y las deformaciones esperadas tras la construcción de las obras requeridas. El último es relacionado con los portales, estos portales deberán ser protegidos para evitar cualquier proceso de inestabilidad que pueda afectar el túnel.

En los documentos correspondientes al estudio de impacto ambiental, no se tocan los temas relacionados con las afectaciones a acuíferos debido a estas excavaciones que se generaron. Estas estructuras deberían asegurar la estanqueidad de las paredes que lo conforman, de forma tal que no se generen flujos preferentes ni hacia adentro de los túneles ni hacia afuera de las obras.

3.8.5 Conclusiones y recomendaciones

- Los proyectos hidroeléctricos y más específicamente, el proyecto del Quimbo se enmarcan dentro de la normativa vigente que rige a todas las obras de infraestructura que se lleven a cabo en el país. Por tal motivo, si bien la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales emite un decreto donde enumera unos mínimos a cumplir, éstos por si solos no se consideran suficientes para el cumplimiento de la normativa colombiana. Adicionalmente se deberán cumplir todas las especificaciones que la Norma Sismo Resistente – NSR 98 preveía para este tipo de obras.
- En este sentido, el proyecto hidroeléctrico está constituido por cinco estructuras que se consideran neurálgicas para el funcionamiento del mismo. Estas obras deberán cumplir a cabalidad con la normativa respecto de la exploración del subsuelo, ensayos de laboratorio realizados para la caracterización de los materiales y análisis mínimos requeridos. En los numerales donde se evalúa la complejidad de cada una de las estructuras se generaron unas cuantías mínimas, que al compararlos con las que se encuentran en los documentos entregados a la Agencia nacional de Infraestructura, no cumplen en ninguna medida los mínimos requeridos para este tipo de obras.
- En la información que se cuenta actualmente, también se observa la ausencia de análisis de algunos parámetros requeridos por la normativa y que tanto el diseñador debió contemplar, como el constructor exigirlos a la hora de contratar los estudios correspondientes.
 - No se presentan los análisis de capacidad portante del dique auxiliar
 - No se presentan los análisis de capacidad portante de los materiales de fundación en la zona de presa.
 - No se presentan los modelos de flujo de agua subterránea en medios fracturados, toda vez que es evidente que la permeabilidad secundaria domina el flujo en este tipo de medios fracturados.
 - No se presentan los análisis de flujo de agua subterránea para los túneles que se requieren. No se presentan los modelos de pérdidas de agua por infiltración ni tampoco de aporte a acuíferos.
 - No se presentan los análisis de flujo dentro el cuerpo de la presa ni de cómo éstos serán controlados, no se presentan los caudales esperados

debido al flujo de agua interno y si éstos podrían generar procesos como tubificación

- No se presentan las protecciones en el Plinto contra el flujo de agua subterránea, características de intrusiones de concreto o de una pantalla impermeable para impedir el flujo.

Solicitudes

1. Los análisis de estabilidad del cuerpo de presa y del dique. En estos análisis deberá mostrarse de forma explícita la geometría de las estructuras, parámetros de diseño, aceleración sísmica utilizada para los análisis. También debe ser explícito en el modelo la forma como se simuló el flujo de agua subterránea dentro del cuerpo de presa y bajo éste.
2. Los análisis de capacidad portante y deformaciones asociadas a las cargas generadas de la estructura de presa y del dique auxiliar
3. Análisis de estabilidad de los taludes adyacentes a la casa de máquinas y las obras de mitigación que el diseñador propuso así como la condición actual de dichas obras. Espaciamiento, longitud de pernos, inclinación y distribución.

4 ANÁLISIS DEL PLAN DE CONTINGENCIA DE EMGESA

El plan de contingencia⁸¹ presentado por EMGESA – INGETEC (2008) se plantean amenazas de tipo hidrológico. Para la etapa de operación se identifica la amenaza por crecientes, en dicho documento se plantea lo siguiente:

“La creciente o inundación de tipo torrencial (inundación súbita) es la producida por ríos de montaña y originada por lluvias intensas. Algunas de las subcuencas dentro de la zona del proyecto tienen pendientes fuertes donde el aumento de los caudales se produce cuando la subcuenca recibe la acción de las tormentas durante determinadas épocas del año, por lo que suelen ser repentinas y de corta duración”⁸².

Para la estimación de caudales máximos, EMGESA – INGETEC (2008) plantean:

“La estimación de caudales máximos e hidrogramas de creciente para el proyecto El Quimbo se hizo a partir de registros de caudales máximos instantáneos en la estación Puente Balseadero mediante la distribución de valores extremos de Gumbel. La forma del hidrograma se dedujo de la máxima creciente registrada por el limnógrafo en Puente Balseadero, finalmente se le adicionó el caudal base correspondiente a cada periodo de retorno”⁸³.

Los valores obtenidos de caudales máximos y volúmenes de crecientes máximos en 24 horas con diferentes periodos de retorno se presenta en el Cuadro 9.1.8.”

Tabla 15. Caudales máximos y probabilidades de excedencia en el sitio del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Fuente: EMGESA – INGETEC (2008). Revisión 01, Cuadro 9.1.8.

Periodo de retorno (Años)	Caudal máximo (m ³ /s)	Volumen máximo (hm ³)
5	1857	190
10	2106	215
25	2423	243
50	2657	265
100	2889	287
500	3427	337
1000	3658	359
10000	4425	427

Para el escenario de amenaza hidrológica en la zona de la represa y obras complementarias, la creciente asociada corresponde a un periodo de retorno de 100 años y una probabilidad de excedencia anual de 0,01% y la probabilidad de excedencia de 100

⁸¹ EMGESA – INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental de proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Revisión 01, Capítulo 14

⁸² EMGESA - INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental de proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Revisión 01, Capítulo 09, pág 13.

⁸³ EMGESA - INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental de proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Revisión 01, Capítulo 09, pág 14.

años de 63%, lo cual corresponde a un caudal de 2,889 m³/s. Se plantean las siguientes medidas de contingencia asociadas a las crecientes e inundaciones⁸⁴:

“Medidas de contingencia

- ▶ *En caso de ser afectados por inundación y dependiendo de su magnitud se comunicará a las autoridades del caso (oficina de prevención y atención de desastres de Neiva, CAM, etc.) y se impedirá el paso de personas y vehículos por la zona afectada mediante su adecuada delimitación y señalización. En caso de ser necesario se evacuarán las personas que se encuentren en peligro.*
- ▶ *Si la inundación taponó o destruyó cunetas de vías, canales y/o zanjas de coronación de taludes estos deberán ser recuperados, ya sea reconstruyéndolos o dándoles mantenimiento.*
- ▶ *Si la inundación desestabilizó algún talud, se iniciarán las obras de reconfiguración cuidando de no causar un mayor deslizamiento.*
- ▶ *En caso de que se haya producido un deslizamiento de grandes proporciones a causa de la creciente o inundación, se dará aviso inmediato a CAM y CREPARDH para coordinar las actividades del caso, las cuales debe incluir el destaponamiento inmediato de cuerpos de aguas y vías para tránsito vehicular y evacuación de personal o comunidades presentes en el área de influencia.”*

En lo que respecta a las amenazas de origen endógeno se identifica la falla de la presa a lo cual EMGESA – INGETEC (2008) señalan:

“Se define como falla de presa al colapso o movimiento de parte de la presa o su fundación con la imposibilidad de retener el agua del embalse. Una falla origina la liberación de grandes cantidades de agua poniendo en riesgo personas o propiedades hacia aguas abajo.”⁸⁵

De igual manera también se identifican las posibles causas que podrían desencadenar la falla de la represa.

Adicionalmente EMGESA – INGETEC (2008), en relación a las consecuencias que pueden ocasionar la falla de la represa:

“La presa del proyecto El Quimbo tiene criterios de máxima seguridad para minimizar el riesgo de falla por cualquier evento natural. El cuerpo de la presa resistiría, sin registrar ningún daño estructural, el sismo con período de recurrencia de 1 en 1000 años (sismo máximo creíble – MCE), y sismos mayores los asimilaría con algunos daños estructurales pero sin fallar. Además, contará con sistemas seguros de manejo y monitoreo de infiltraciones, y con un vertedero capacitado para el tránsito de la creciente máxima probable (CMP), en condiciones seguras.

⁸⁴ INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental de proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Revisión 01, Capítulo 09, pág 64.

⁸⁵ INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental de proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Revisión 01, Capítulo 09, pág 20.

Las áreas más sensibles a la avalancha que generaría una falla en la presa, corresponden a la presa de Betania, y al área comprendida desde el sitio de presa hacia aguas abajo afectando poblaciones concentradas y dispersas localizadas en las márgenes del río Magdalena.”

Finalmente en el cuadro 9.2.6 del plan de contingencia⁸⁶ se enuncian las medidas de contingencia endógenas en relación al rompimiento de represas, en este se plantea como emergencia una inundación de poblaciones aguas abajo del sitio de la represa y afectación al embalse de Betania; igualmente se plantea un plan de contingencia llamado Plan de emergencia para represas en operación. Con base en lo consignado en el plan de contingencia⁸⁷

4.1 CONCLUSIÓN

NO se evidencia el desarrollo del plan de emergencias para represas en operación y por ende las medidas de contingencia que tendrían que tomar las poblaciones aguas abajo ni el embalse de Betania en caso de la falla de la represa El Quimbo.

⁸⁶ INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental de proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Revisión 01, Capítulo 09, pág 59.

⁸⁷ INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental de proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Revisión 01, Capítulo 09

5 EVALUACIÓN DE IMPACTOS

5.1 EVALUACIÓN DE IMPACTOS EN HIDROLOGÍA

5.1.1 Análisis de impacto alteración del Clima

En este capítulo se analizara el impacto de alteración del microclima en los alrededores del embalse del Quimbo, aunque según el estudio de impacto ambiental para el Quimbo expresa que no se esperan alteraciones importantes del microclima en el área de influencia del proyecto, existen algunas incertidumbres y por ende inexactitudes en el análisis del impacto.

La jerarquización y cuantificación de impactos ambientales significativos, contempla como impacto ambiental la alteración del microclima en los alrededores del embalse donde se califica el impacto como 0,06 (muy bajo), en conclusión “No se espera que se presenten alteraciones del clima en los alrededores del embalse, con base en la experiencia de Betania.”

A dicho requerimiento, EMGESA – INGETEC (2008) señalan lo siguiente:

“Alteración del microclima en los alrededores del embalse: Con base en el análisis de variables climáticas (temperatura, precipitación y evaporación), realizados en períodos anteriores y posteriores a la operación del embalse Betania en la estación Rosales, localizada a aproximadamente 3 kilómetros del embalse, no se encontraron variaciones en los valores medios mensuales, que permitan afirmar que la presencia de este cuerpo de agua ha modificado estas variables a la distancia en que fueron registradas. Razón que permite decir que el embalse El Quimbo no provocaría alteraciones diferentes a las que ha provocado Betania en las variables climáticas. Sin embargo A nivel de microclima en el borde del embalse es posible que se presenten en una franja estrecha incrementos en los valores actuales de evaporación y amortiguación de los valores de temperatura que seguramente no excederán las décimas de grado”

Para efecto del análisis que se comenta en el párrafo anterior se tuvo en cuenta series históricas desde 1974 hasta 1986 (Antes del proyecto Betania) y series desde 1987 hasta 2006 (Después del proyecto Betania), adicionalmente se evaluaron los mismos factores para la estación Sevilla Cod. 2102502 la cual dista 100km del área de influencia de Betania donde, (EMGESA - INGETEC 2008) concluye que el cambio de dichos factores no es representativo para afirmar que existió alteración en el microclima en los alrededores de Betania.

Sin embargo esta metodología para estimar o predecir un posible cambio micro climático en el Quimbo deja atrás aspectos importantes como la posible generación de Gases Efecto Invernadero GEI los cuales está demostrado tienen una relación directa con el comportamiento de la temperatura y la precipitación. En adición a lo anterior los grandes

reservorios de agua tienen la capacidad de almacenar calor por lo cual los embalses tienen tendencia a generar temperaturas extremas (IJWREM, 2012)⁸⁸.

Conjuntamente e introduciéndonos en el contexto del Quimbo estudios recientes muestran que la descomposición anaeróbica de biomasa en un reservorio de agua está directamente ligado a la producción de dióxido de carbono y metano (aclarando que este último es 21 veces más perjudicial para la atmósfera que el dióxido de carbono) donde estos son liberados a la atmósfera cuando el agua es liberada por las turbinas y los vertederos, además se ha descubierto que la producción de GEI es mucho más alta en regiones tropicales que en regiones boreales (IJWREM, 2012)⁸⁹. A manera de ejemplo se citan las emisiones reportadas por embalses en Panamá, Brasil y Guyana Francesa donde se midieron en promedio 3500 mg CO₂ y 300 mg CH₄ m²/día (Pu Wang, Shikui Dong James P. Lassoie, 2013)⁹⁰.

Es importante mencionar que aunque Betania es una aproximación inicial para la evaluación de la alteración del microclima en el Quimbo, esta evaluación deja gran incertidumbre ya que los dos proyectos son escenarios diferentes en lo que a este impacto se refiere.

5.1.2 Plan de manejo del impacto y recomendaciones al PMA

“Para el monitoreo de este impacto se plantea la toma de registros y análisis de variabilidad climática que establezcan las condiciones presentes en el área de influencia del embalse antes de la construcción del proyecto, durante la implantación de las obras y en la operación del mismo. Instalación de seis estaciones automáticas de registro de variables climatológicas, que permitan la medición de las siguientes variables: Temperatura, precipitación, humedad relativa, evaporación, dirección y velocidad del viento y brillo solar.”

Considerando lo expuesto anteriormente y el grado de importancia que se evidencia en cuanto a la producción de GEI en los grandes reservorios de agua, es importante monitorear las concentraciones de CO₂ y CH₄ en las inmediaciones del embalse.

Adicionalmente en cuanto a clima se refiere se sugiere considerar los Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100, expuestos por la Tercera Comunicación de Cambio Climático donde se estima el aumento de precipitaciones y temperaturas para la región como se muestra en la (Figura 28). Valores cuya afectación en el ciclo hidrológico son de gran relevancia durante la duración la vida útil del proyecto (2015-2065).

2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Cambio de Temperatura Media °C	% de Cambio de Precipitación	Cambio de Temperatura Media °C	% de Cambio de Precipitación	Cambio de Temperatura Media °C	% de Cambio de Precipitación

⁸⁸ IJWREM, (2012), HYDROLOGICAL IMPACTS OF DAMS, Volume 3, Number 1.

⁸⁹ IJWREM, (2012), Hydrologica impacts of dams: A review, IJWREM: Volume 3, Number 1.

⁹⁰ Pu Wang · Shikui Dong James P. Lassoie, (2013). “The large dam dilemma” An Exploration of the Impacts of Hydro Projects on People and the Environment in China.

Huila	0,8	16,52	1,4	17,74	2,1	17,24
La Guajira	0,9	-14,50	1,6	-16,57	2,3	-20,02
Magdalena	1,0	-18,65	1,7	-20,83	2,4	-23,24
Meta	0,9	-7,46	1,7	-5,68	2,4	-3,89
Nariño	0,7	13,69	1,4	13,42	2,1	12,03
Norte de Santander	0,9	1,00	1,7	0,21	2,6	-0,35
Putumayo	0,8	4,45	1,5	6,73	2,2	6,74
Quindío	0,8	6,34	1,5	12,20	2,3	24,28

FIGURA 28. TABLA DE RESUMEN DE CAMBIO CLIMÁTICO DEPARTAMENTALES 2011-2100. FUENTE: MODIFICADO DE NUEVOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA COLOMBIA 2011-2100, 3RA COMUNICACIÓN NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO

5.2 EVALUACIÓN DE IMPACTOS HIDROGEOLÓGICOS

En este apartado se presenta el análisis y los comentarios del ministerio MAVDT con respecto al proyecto el QUIMBO, plasmados en la resolución 0899 del 15 de mayo del 2009, a la luz de los términos de referencia H-TER-01-0, bien cabe resaltar *las consideraciones del Ministerio (MADVT)* especialmente en cuanto al aspecto físico.

Se considera adecuada la caracterización del medio físico, donde se cumple con lo exigido en los terminos de referencia tanto en temáticas como alcances y metodologías utilizadas, considerándose aspectos como: la geología, hidrogeología.

Y en el caso de hidrogeología se precisa:

Se realizó una caracterización según el grado de permeabilidad de las formaciones y se establecieron las respectivas unidades hidrogeológicas; se identificaron las zonas de recarga y descarga de acuíferos. Se realizó un inventario de aljibes en el área de interés para el proyecto.

En cuanto a los impactos significativos se indica el ministerio lista los impactos identificados por el proponente:

Agradación de las colas del embalse; regulación de caudales durante llenado y operación; alteración de las características de la calidad de agua del río Magdalena en el embalse el Quimbo, aguas abajo del sitio de presa y del embalse Betania; Alteración de la calidad del agua durante construcción; Alteración de la calidad del aire y ruido; generación de inestabilidad y erosión en el borde del embalse; afectación por generación de residuos de excavación; Alteración del microclima en los alrededores del embalse y pérdida y alteración de suelos.

Siendo este el análisis con respecto al EIA por parte del MADVT, el cual resulta muy similar a una comprobación de que en el documento se encuentre los componentes señalados en los términos. Es necesario, por las condiciones del documento, que la ANLA solicite información con respecto a la verificación de impactos así como otros no contenidos en los términos de referencia.

5.2.1 Conclusiones del modelo hidrogeológico presentado por EMGESA – INGETEC (2008)

No es posible evaluar los impactos mínimos requeridos en los términos de referencia con el

agravante de afectar las condiciones de estabilidad de las laderas del embalse así como la estabilidad de las estructuras (Dique, presa, ataguía, túneles), en las cuales, de acuerdo con la información consignada en los expedientes, no se tuvo en cuenta las variaciones del nivel freático y la dinámica del agua subterránea. Es de recordar que el Dique ya presentó un evento de falla, registrado en el 2012 luego del cual se hicieron los requerimientos de instrumentación más adecuada y caracterización en términos de presión de poros del medio. También se presentaron problemas de estabilidad en la casa de máquinas. Sin embargo la caracterización del medio natural es nula y en este caso la existencia de caminos preferenciales es resaltada en los datos mencionados en el anexo de geotecnia (Sección 3.2.4 EIA en EMGESA – INGETEC, 2008).

5.3 EVALUACIÓN DE IMPACTOS EN CALIDAD DE AGUA

5.3.1 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.

5.3.2 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 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 seleccionados **9** puntos de monitoreo de aguas superficiales del río Magdalena y algunos de sus tributarios. Dicha selección se basó en la coincidencia espacial de estaciones de monitoreo empleadas como línea base y las reportadas en la actualidad; su propósito, analizar los cambios en algunos de los principales parámetros fisicoquímicos reportados en los Informes de Cumplimiento Ambiental – ICA (etiquetas sin negrilla) y los reportados en la línea base realizada en 2007 y presentada en el Estudio de Impacto Ambiental en 2008 (etiquetas con negrilla).

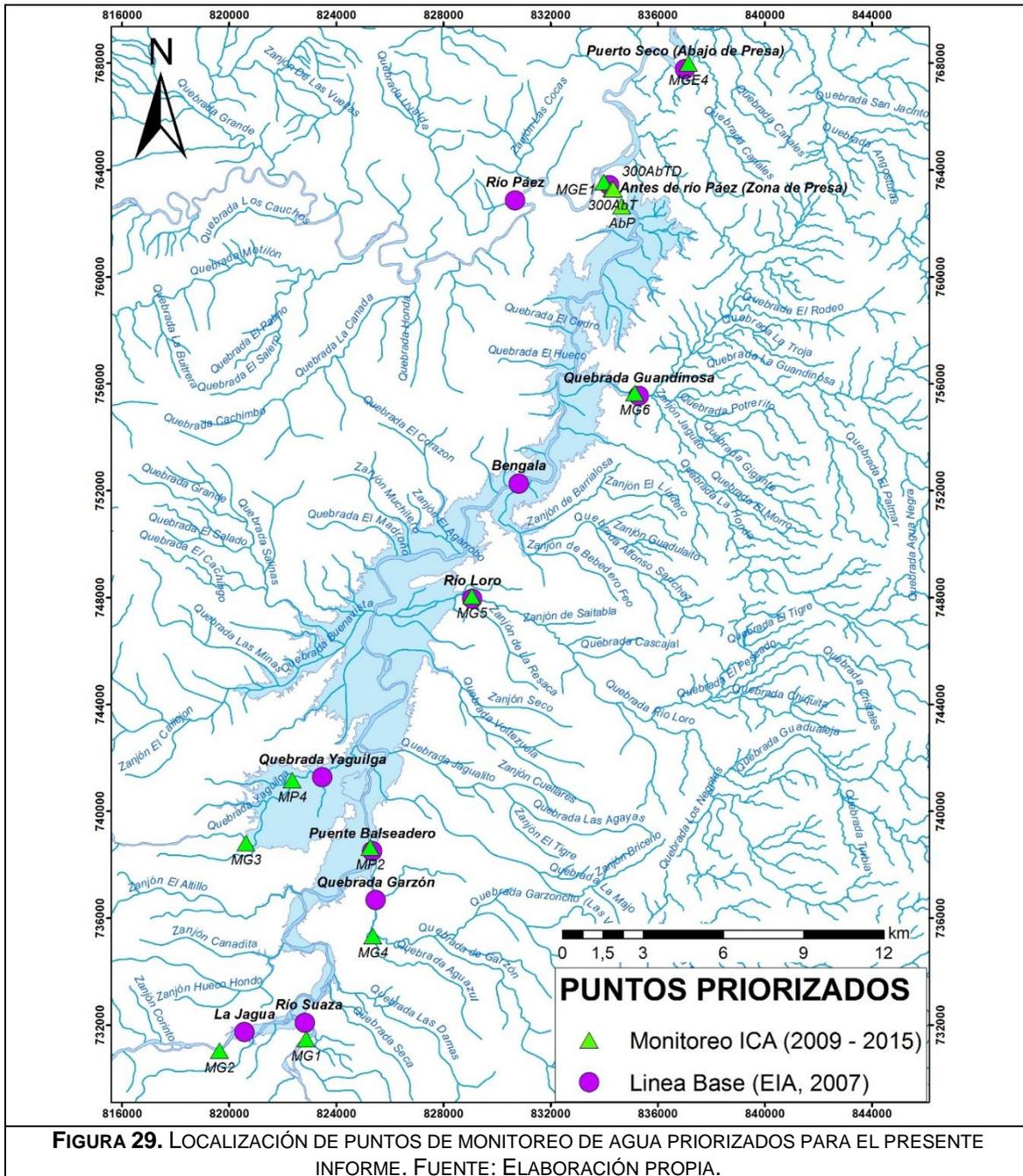


Tabla 16a. Resumen estadístico de datos fisicoquímicos priorizados consultados en los informes de cumplimiento ambiental cuyos años reportados son entre 2011 y 2016 en el río Magdalena aguas arriba de la presa.

Río Magdalena					
Parámetros	MG2 - La Jagua				
	Mar-07	Jul-07	Rango	Promedio	N datos
pH (unidades)	7,05	7,52	6,09 - 7,54	7,54	18
Turbiedad (NTU)	72,3	27,2	4,3 - 9,80	126,1	16
Oxígeno disuelto (mg O ₂ /l)	7,40	7,78	4,8 - 9,04	6,65	18
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅ (mg O ₂ /l)	<1	<1	<1	5	22
Demanda química de oxígeno (mg O ₂ /l)	11	18	Oct-79	31,6	22
Sólidos totales (mg/l)	178	84	82 - 14,05	227,7	23
Nitrógeno amoniacal (mg N-NH ₄ /l)	0,48	0,66	0,1 - 0,3	0,2	13
Nitrogeno nitratos (mg N-NO ₃ /l)	0,87	<0,05	0,11 - 0,21	0,12	10
Nitrógeno nitritos (mg N-NO ₂ /l)	<0,006	0,008	0,01 - 17	1,90	16
Fósforo inorgánico (mg/l)	0,08	0,08	0,6 - 0,64	0,14	16
Fósforo orgánico (mg/l)	0,10	<0,02	0,06 - 0,09	0,06	11
Ortofosfatos (mg P/l)	0,11	0,02	0,06 - 0,13	0,09	13

Tabla 16b. 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 en la zona de la presa.

Río Magdalena					
Parámetros	MGE1 - Antes del río Páez zona de presa				
	Mar-07	Jul-07	Rango	Promedio	N datos
pH (unidades)	7,63	7,41	7,06-8,4	7,5	40
Turbiedad (NTU)	180	52,6	2,6-3850	282,09	40
Oxígeno disuelto (mg O ₂ /l)	6,17	8,28	4,8-8,5	6,57	40
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅ (mg O ₂ /l)	<1	<1	3-6	3,07	40
Demanda química de oxígeno (mg O ₂ /l)	26	4	5-209	45,7	40
Sólidos totales (mg/l)	568	53	84-5114	585	40
Nitrógeno amoniacal (mg N-NH ₄ /l)	0,13	0,63	0,07-0,33	0,197	40
Nitrogeno nitratos (mg N-NO ₃ /l)	4,55	<0,05	0,2-3	0,2	40
Nitrógeno nitritos (mg N-NO ₂ /l)	<0,006	0,008	0,007-0,039	0,13	40
Fósforo inorgánico (mg/l)	0,24	0,09	0,1-0,6	0,1	40
Fósforo orgánico (mg/l)	0,11	0,02	0,06-0,6	0,36	40
Ortofosfatos (mg P/l)	<0,02	0,04	-	-	-

Tabla 16c. 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.

Río Magdalena					
Parámetros	MGE4 - Puerto Seco				
	Mar-07	Jul-07	Rango	Promedio	N datos
pH (unidades)	7,59	7,4	6,9-8,8	7,8	40
Turbiedad (NTU)	875	87,4	7,9-3850	365,2	40
Oxígeno disuelto (mg O ₂ /l)	6,89	7,52	4,3-8,4	6,47	40
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅ (mg O ₂ /l)	13	1	0,3-4	2,96	40
Demanda química de oxígeno (mg O ₂ /l)	32	10	5-174	40,4	40
Sólidos totales (mg/l)	1824	317	114-2822	643,9	40
Nitrógeno amoniacal (mg N-NH ₄ /l)	0,94	0,76	0,08-2,4	0,254	40
Nitrogeno nitratos (mg N-NO ₃ /l)	2,33	<0,05	0,1-0,5	0,1	40
Nitrógeno nitritos (mg N-NO ₂ /l)	<0,006	0,016	0,007-0,047	0,12	40
Fósforo inorgánico (mg/l)	0,75	0,11	0,1-0,6	0,2	40
Fósforo orgánico (mg/l)	<0,02	0,05	0,06-0,43	0,146	40
Ortofosfatos (mg P/l)	<0,02	0,05	-	-	-

Tabla 17. 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			MG4			MG3		
	Rango	Promedio	N datos	Rango	Promedio	N datos	Rango	Promedio	N datos
pH (unidades)	6,88 - 7,66	7,66	19,00	7,13 - 7,86	7,86	17,00	7,54 - 8,30	8,30	16,00
Turbiedad (NTU)	17,5 - 392	102,2	22,00	21,6 - 1554	247,4	21,00	2,3 - 643	148,8	19,00
Oxígeno disuelto (mg O ₂ /l)	4,36-8,11	6,21	16,00	4,16 - 7,86	5,97	17,00	4,17 - 8,54	5,68	16,00
Demanda bioquímica de oxígeno DBO5 (mg O ₂ /l)		3,00	16,00	7,13 - 7,86	7,86	17,00	7,54 - 8,30	8,30	16,00
Demanda química de oxígeno (mg O ₂ /l)	17,5 - 392	102,2	22,00	21,6 - 1554	247,4	21,00	2,3 - 643	148,8	19,00
Sólidos totales (mg/l)	4,36 -8,11	6,21	16,00	4,16 - 7,86	5,97	17,00	4,17 - 8,54	5,68	16,00
Nitrógeno amoniacal (mg N-NH ₄ /l)	0,08-0,56	0,21	16,00	0,09-1,20	0,59	21,00	0,02-0,39	0,20	14,00
Nitrogeno nitratos (mg N-NO ₃ /l)	0,11-0,25	0,14	16,00	0,11-1,24	0,55	21,00	0,11-0,62	0,30	16,00
Nitrógeno nitritos (mg N-NO ₂ /l)	0,01-8	0,96	18,00	0,01-70	12,45	21,00	0,01-17	1,90	16,00
Fósforo inorgánico (mg/l)	0,06-0,30	0,13	16,00	0,06-0,70	0,30	29,00	0,06-0,30	0,15	14,00
Fósforo orgánico (mg/l)	0,06-0,53	0,13	16,00	0,06-0,41	0,13	14,00	0,06-0,45	0,12	14,00
Ortofosfatos (mg P/l)	0,07-0,18	0,12	7,00	0,07-0,36	0,17	9,00	0,08-0,14	0,11	6,00

Tabla 18. 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 Río Páez.

Parámetros	Tributarios río Magdalena								
	MG5			MG6			Río Páez		
	Rango	Promedio	N datos	Rango	Promedio	N datos	Rango	Promedio	N datos
pH (unidades)	7 - 8,02	8,02	17,00	7,48 - 8,17	8,17	16,00	7,32 - 7,87	7,87	5,00
Turbiedad (NTU)	2,6 - 102,4	43,5	21,00	4,6 - 325	76,00	21,00	33,3 - 892	320,6	5,00
Oxígeno disuelto (mg O ₂ /l)	4,02 - 8,81	6,13	16,00	4,29 - 8,38	6,11	17,00	4,57 - 6,17	5,38	5,00
Demanda bioquímica de oxígeno DBO5 (mg O ₂ /l)	7 - 8,02	8,02	17,00	7,48 - 8,17	8,17	16,00	7,32 - 7,87	7,87	5,00
Demanda química de oxígeno (mg O ₂ /l)	2,6 - 102,4	43,5	21,00	4,6 - 325	76,00	21,00	33,3 - 892	320,6	5,00
Sólidos totales (mg/l)	4,02 - 8,81	6,13	16,00	4,29 - 8,38	6,11	17,00	4,57 - 6,17	5,38	5,00
Nitrógeno amoniacal (mg N-NH ₄ /l)	0,02-0,53	0,17	15,00	0,13-0,49	0,25	18,00	0,07-0,32	0,21	5,00
Nitrogeno nitratos (mg N-NO ₃ /l)	0,11-0,41	0,19	13,00	0,11-0,49	0,28	17,00	-	0,14	1,00
Nitrógeno nitritos (mg N-NO ₂ /l)	0,01-9	1,02	17,00	0,01-45	4,25	18,00	0,01-0,02	0,01	5,00
Fósforo inorgánico (mg/l)	0,06-0,28	0,10	15,00	0,06-0,66	0,16	18,00	0,06-0,12	0,10	4,00
Fósforo orgánico (mg/l)	0,03-0,16	0,07	14,00	0,06-0,23	0,09	15,00	-	0,37	1,00
Ortofosfatos (mg P/l)	0,07-0,10	0,09	5,00	0,08-0,22	0,15	8,00	0,05-0,1	0,08	2,00

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 como un sistema. Entiéndase como sistema a la red de quebradas y el tramo del río Magdalena afectado que debería ser analizado en conjunto, lo que no ocurre. Se analizan de forma independiente y desconectada. No existe en los informes un análisis de tendencias general de lo que ha pasado con la calidad del agua desde que se otorgó la licencia ambiental. Se encuentra que los análisis presentados corresponden solo al periodo correspondiente de cada ICA. No obstante lo anterior, al intentar realizar un análisis en el tiempo de identificación de cambios en las concentraciones, no es posible debido al limitado número de datos encontrados, así como en la no coincidencia espacial y temporal de los mismos. Pese a ello, fueron identificados los datos disponibles en el expediente y organizados de acuerdo a su ubicación en la cuenca (aguas arriba de la presa-MG2, en la zona de presa (MGE1) y aguas abajo de la presa (MGE4). A. El cuadro resume los rangos y promedios calculados a partir de la información obtenida del EIA (línea base) y de los ICA (monitoreos al río Magdalena y sus principales tributarios).

Respecto al comportamiento general en el río Magdalena principalmente de materia orgánica, sedimentos y aporte de nutrientes en las tres estaciones analizadas, se observa un aumento en los valores de materia orgánica (DBO - DQO), teniendo en cuenta los datos de línea base y la variabilidad presentada entre un punto y otro, especialmente en las estaciones MGE1 que corresponde a la zona de presa, donde el rango de datos se amplía de forma significativa con valores máximos de 209 mg/l de O₂. 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 que ha llegado al río, siendo estas condiciones favorables respecto a la disponibilidad de oxígeno. Los sólidos totales también reflejan una variabilidad importante en la zona de presa, llegando a valores de 5114 mg/l, cuando la línea base del 2007 reportaba concentraciones del orden de los 53 hasta los 568 mg/l. Finalmente, el contenido de nitrógeno y fósforo muestra incrementos en la zona aguas abajo de la presa, en particular el contenido de nitrógeno amoniacal, cuyo valor de línea base estaba entre 0,76 y 0,94 y los registros de los seis años analizados mostraron valores máximos de 2,4.

Si bien, fue posible identificar algunos cambios en la calidad del agua 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 antes un proyecto de esta magnitud en el río más importante del país es inaceptable tal situación.

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

Zhong & Power, (1996⁹¹) describen los impactos generados en comunidades de peces en cuatro represas: la represa de Gezhouba en el río Changjiang, represa de Danjiangkou en el río Han, 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 los clasifican en impactos de primer orden, los cuales 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, sólidos totales disueltos, pH, etc.), y por último impactos de tercer orden, 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 realizan unas tablas en las cuales se sintetizan los impactos de primer y segundo orden, la cual se encuentra a continuación:

Tabla 19. 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	Río 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 calidad 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

⁹¹ Zhong & Power, (1996). Environmental impacts of hydroelectric projects on fish resources in China.

Tipo	Río	Ubicación	Desencadenante	Impacto
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

6 EVALUACIÓN DE RIESGOS

6.1 DEFINICIONES

Se toma como referencia, las definiciones dadas por el marco normativo nacional descritas por el artículo 4 de la Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones:

“(…)

3. Amenaza: Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

4. Análisis y evaluación del riesgo: Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación.

8. Desastre: Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción.

(…)

10. Exposición (elementos expuestos): Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza.”

11. Gestión del riesgo: Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entendiéndose: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

12. Intervención: *Corresponde al tratamiento del riesgo mediante la modificación intencional de las características de un fenómeno con el fin de reducir la amenaza que representa o de modificar las características intrínsecas de un elemento expuesto con el fin de reducir su vulnerabilidad.*

13. Intervención correctiva: *Proceso cuyo objetivo es reducir el nivel de riesgo existente en la sociedad a través de acciones de mitigación, en el sentido de disminuir o reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.*

14. Intervención prospectiva: *Proceso cuyo objetivo es garantizar que no surjan nuevas situaciones de riesgo a través de acciones de prevención, impidiendo que los elementos expuestos sean vulnerables o que lleguen a estar expuestos ante posibles eventos peligrosos. Su objetivo último es evitar nuevo riesgo y la necesidad de intervenciones correctivas en el futuro. La intervención prospectiva se realiza primordialmente a través de la planificación ambiental sostenible, el ordenamiento territorial, la planificación sectorial, la regulación y las especificaciones técnicas, los estudios de prefactibilidad y diseño adecuados, el control y seguimiento y en general todos aquellos mecanismos que contribuyan de manera anticipada a la localización, construcción y funcionamiento seguro de la infraestructura, los bienes y la población.*

15. Manejo de desastres: *Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la preparación para la respuesta a emergencias, la preparación para la recuperación posdesastre, la ejecución de dicha respuesta y la ejecución de la respectiva recuperación, entendiéndose: rehabilitación y recuperación.*

16. Mitigación del riesgo: *Medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad existente.*

(...)

26. Seguridad territorial: *La seguridad territorial se refiere a la sostenibilidad de las relaciones entre la dinámica de la naturaleza y la dinámica de las comunidades en un territorio en particular. Este concepto incluye las nociones de seguridad alimentaria, seguridad jurídica o institucional, seguridad económica, seguridad ecológica y seguridad social.*

27. Vulnerabilidad: *Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos”.*

6.2 CONFIGURACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE POR FALLA DE LA REPRESA

Para fines del presente análisis, se considera la inundación súbita por causa de la falla de la estructura principal del proyecto hidroeléctrico “El Quimbo”, al ser este el escenario más

crítico, por liberarse en un corto periodo de tiempo (menor a 6 horas) más de 2000 millones de metros cúbicos aguas abajo, del punto de presa, llegando al embalse de Betania y generando posiblemente una falla en cadena de estos dos sistemas de almacenamiento.

Lo anterior, entiendo el riesgo de desastre como la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad, como se ilustra a continuación:

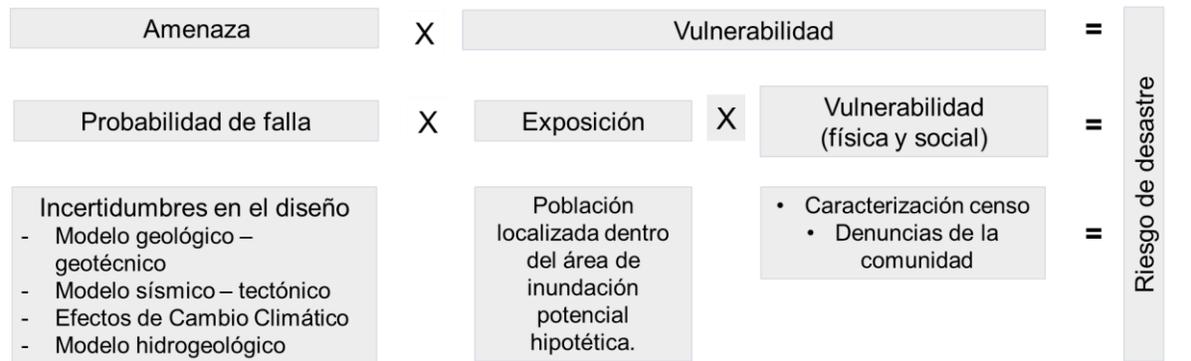


FIGURA 30. ANÁLISIS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DESASTRES. FUENTE: MODIFICADO DE DELTARES, 2016.⁹²

Para el presente análisis se realizan las siguientes consideraciones, con el fin de garantizar la coherencia e integridad conceptual y metodológica.

6.2.1 Aspectos de amenaza sísmica no considerados por EMGESA

6.2.1.1 Tectónica y sismogeneración

Como se anotó en el capítulo 4, la descripción de las fallas geológicas en función con la sismogeneración por parte de EMGESA – INGETEC (2008) contiene gran cantidad de incoherencias, inexactitudes y omisiones en la información.

En primer lugar, los estudios sobre fallas geológicas son muy genéricos, sin datos de campo que permitan avanzar en el conocimiento tectónico. Las fallas cartografiadas no contienen datos de campo ni de subsuelo (a partir de información directa o indirecta) que permitan soportar la clasificación de las fallas, de las cuales, la más importante es la Falla de Algeciras.

La Falla de Algeciras ha sido muy bien estudiada desde un enfoque morfotectónico por Velandia et al. (2002) y a diferencia de los planteamientos de EMGESA – INGETEC (2008) no corresponde a una falla inversa sino a una falla con predominio muy marcado en el rumbo, con sentido de desplazamiento dextral.

También se han reportado zonas de deformación transversal con tendencia WNW-ESE (Jiménez et al., 2012), en coherencia con los hallazgos preliminares generados en el presente estudio. Una de estas zonas de deformación coincide con la zona de construcción de la presa, situación no detectada por EMGESA - INGETEC (2008) en el estudio ambiental.

⁹² Deltares, 2016. Curso de alertas tempranas. UNGRD, 2016.

- **Falla de Algeciras**

El Sistema de Fallas de Algeciras se refiere a un conjunto regional de fallas con tendencia NE-SW que se extiende desde Ecuador hasta el Piedemonte Llanero, a lo largo de 350 km. Corresponde a una estructura de carácter predominantemente lateral derecho (dextral), lo cual está documentado de manera detallada por Velandia et al. (2002) con base en análisis morfotectónicos y soportado en datos sismológicos.

Velandia et al. (2002) la han dividido en sectores, en los cuales han descrito características de neotectónica. Para el sector Algeciras–Balsillas, los autores relacionan la Falla de Algeciras con la de El Hobo, esta última de carácter sinistral:

Los rasgos neotectónicos, escarpes, desplazamientos de abanicos aluviales, lagos alineados, lomos de presión, cursos de agua deflectados o decapitados indican el carácter dextral de la Falla de Algeciras y su alta tasa de actividad. El mismo sentido de cizalla y desplazamiento de cerca de 3 km con una tasa de 1,5 mm/año durante los últimos 2 millones de años fue establecida por Chorowicz et al. (1996).

(...)

El epicentro de un importante sismo que ocurrió en 1917 se relaciona con esta falla.

En febrero de 1967, ocurrió un sismo de magnitud 6,7 y profundidad de 50 km asociado con este sector de la Falla de Algeciras, el cual destruyó el pueblo de El Paraiso.

Contiguo hacia el sur con el sector Algeciras–Balsillas se encuentra el sector Zuluaga–Garzón, donde de acuerdo con Velandia et al. (2002):

La actividad neotectónica se evidencia en el desplazamiento de depósitos Cuaternarios (Diederix and Gómez, 1991; Van der Wiel, 1991).

El sector más sur dentro del Departamento del Huila es el sector de Altamira–Pitalito, donde los mismos autores establecen:

Los rasgos neotectónicos dentro de los depósitos cuaternarios indican el desplazamiento lateral derecho a lo largo de esta falla (Diederix and Gómez, 1991)
(...)

La Falla de Acevedo, que controla el valle del río Suaza es otra estructura importante en este sector (...) Un sismo ocurrido en 1827 fue localizado en la frontera entre los departamentos de Huila y Caquetá por Ramírez (1975)

La sismicidad histórica muestra grandes sismos asociados a este sistema de fallas e incluso los sismos ocurridos muy recientemente, el 31 de octubre de 2016 pueden estar asociados a la parte más norte del Sistema de Fallas de Algeciras.

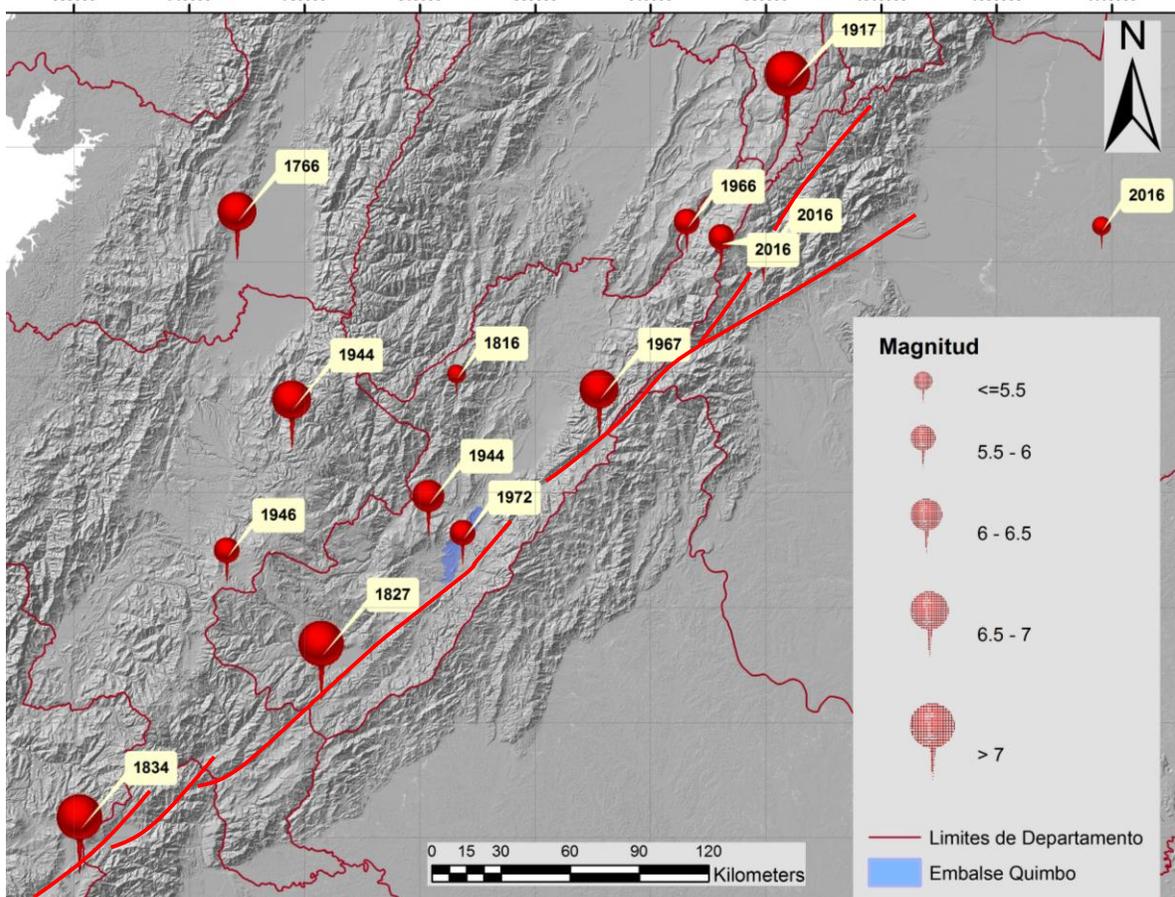


FIGURA 31. FALLA DE ALGECIRAS Y RELACIÓN CON SISMICIDAD HISTÓRICA Y RECIENTE. NÓTENSE LAS DISTANCIAS DE LOS EPICENTROS DE SISMOS COMO EL DE 1944 Y 1972, LOS CUALES NO HAN SIDO REPORTADOS EN LOS ESTUDIOS DE EMGESA – INGETEC. POR OTRA PARTE, LA DISTANCIA EPICENTRAL DE UN SISMO TAN FUERTE COMO EL DE 1827 ES PREOCUPANTE. FUENTE: VELANDIA ET AL., 2002 Y ESTE TRABAJO.

- **Zona de deformación transversal sinistral de El Quimbo**

Esta denominación informal es tomada en el presente trabajo a una franja de deformación con dirección aproximada N70W que controla el río Páez en su confluencia con el río Magdalena. Esta franja fue planteada por Jiménez et al. (2012) y de su trabajo es evidente que esta zona levanta el bloque ubicado al norte, haciendo aflorar secuencias jurásicas.

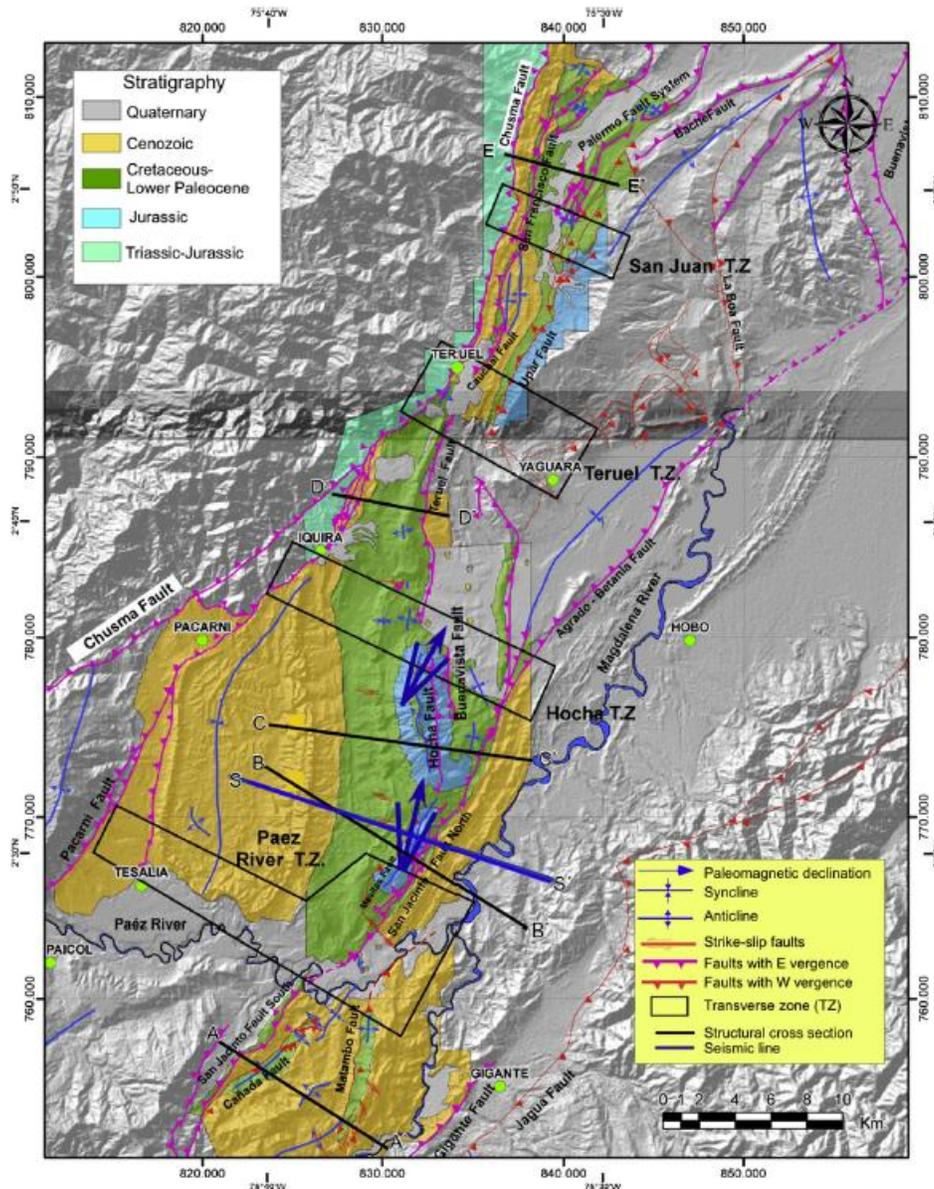


FIGURA 32. MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA ENTRE GIGANTE Y TERUEL (JIMÉNEZ ET AL., 2012). NÓTESE LA ZONA DE DEFORMACIÓN TRANSVERSAL CON DIRECCIÓN WNW-ESE QUE CONTROLA EL TRAMO FINAL DEL RÍO PÁEZ.

En este trabajo, se llevó a cabo un trabajo de interpretación morfotectónica de alineamientos de rasgos topográficos como filos, valles y ríos, con el fin de acercarse al marco de deformación tectónico del área de El Quimbo. Los indicios morfotectónicos, en particular lomos de presión y cambios de buzamientos y rumbos de los flancos de los pliegues en las secuencias sedimentarias permiten inferir desplazamientos laterales izquierdos (sinestrales) para esta zona.

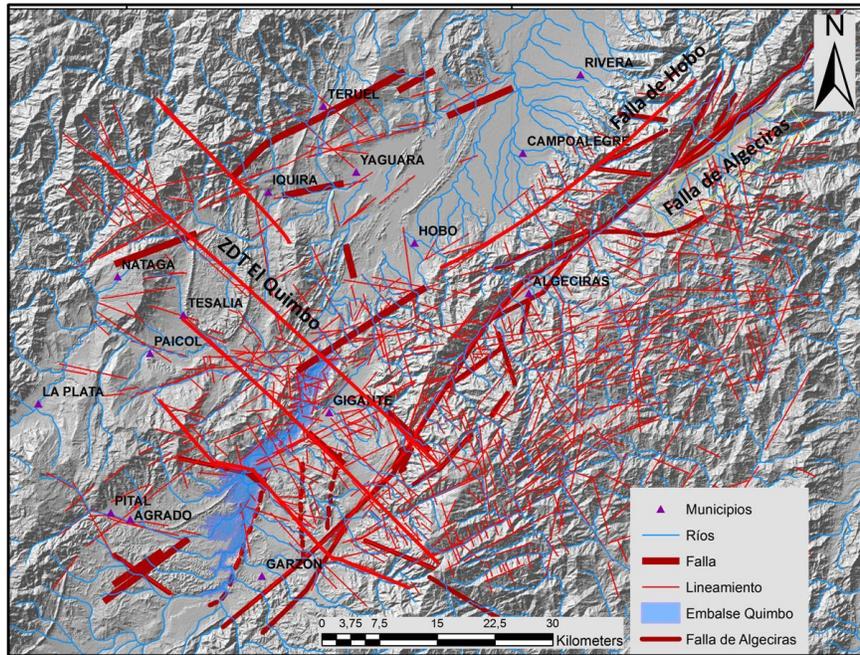


FIGURA 33. ESQUEMA MORFOTECTÓNICO DE ALINEAMIENTOS Y DE FALLAS INFERIDAS PARA LA ZONA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA.

- **Fallas locales en la zona de presa**

Durante una visita de campo a los procesos de inestabilidad en el dique auxiliar y la casa de máquinas, realizada como asesor de la Contraloría General de la República, el geólogo Julio Fierro Morales, uno de los profesionales que suscribe el presente informe, tomó datos de 7 fallas en afloramiento (mesoscópicas), una de las cuales facilitó el proceso de remoción en masa que afectó la excavación de la casa de máquinas en 2012 y que tenía más de 20m² de cara expuesta. Las fallas con plano estriado fueron analizadas en el presente estudio para obtener una solución teórica de esfuerzos tectónicos del área de la presa.



FIGURA 34. PLANO DE FALLA MESOSCÓPICA DE CARÁCTER SINISTRAL SOBRE CONGLOMERADOS DE LA FM.

GUALANDAY. LAS ESTRÍAS DE FALLA SE OBSERVAN EN EL PLANO DONDE DESCANSA EL MARTILLO.



FIGURA 35. PLANO DE FALLA MESOSCÓPICA DE CARÁCTER DEXTRAL

A partir de los datos medidos y con el uso del programa FaultKink, se obtuvo una solución teórica de esfuerzos, la cual es coherente, tanto con la dirección de la Falla de Algeciras, como con la denominada informalmente en este trabajo, Zona de deformación transversal sinistral de El Quimbo. Es pertinente anotar que esta configuración de esfuerzos tectónicos parte de la medición de muy pocas fallas mesoscópicas y que es una propuesta preliminar, pero sirve para ilustrar las deficiencias de los estudios de EMGESA – INGETEC, donde luego de años de trabajo no presentan una sola medición de planos de falla geológica ni una sola propuesta de esfuerzos tectónicos. De igual manera, se contradice a funcionarios de la ANLA quienes afirmaron que las rocas de la Formación Gualanday no estaban afectadas por fallas geológicas.

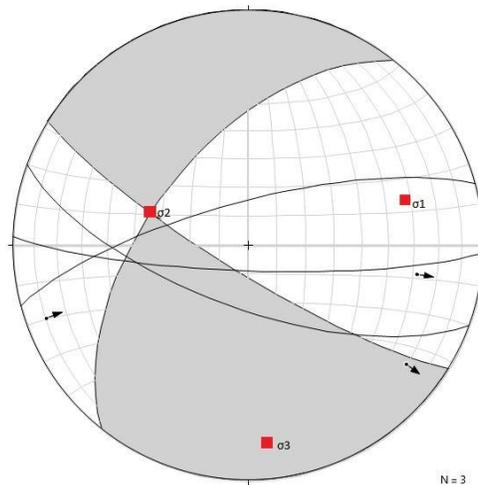


FIGURA 36. SOLUCIÓN TEÓRICA DE ESFUERZOS PARA LA ZONA DE PRESA DE EL QUIMBO

En el numeral 7.2.1.4 se verán las graves implicaciones de las omisiones y deficiencias que se evidencian en los estudios geológicos de EMGESA en relación con la actividad de fallas que se encuentran tanto en el campo cercano (menos de 30 km) como en la zona directa de construcción de la presa.

6.2.1.2 Sismicidad histórica

En este aparte se destaca la información histórica de tres sismos relacionados con el Sistema de Fallas de Algeciras, dadas las implicaciones en términos de amenaza sísmica y sedimentación, aspectos no considerados por EMGESA en sus estudios ambientales.

Con base en la información documental que reposa en diversos archivos, así como de memorias de viajeros, naturalistas y próceres, el padre Jesús Emilio Ramírez realizó una portentosa tarea de recopilación de eventos históricos de carácter sísmico y volcánico que plasmó en su “Historia de los Terremotos en Colombia”, publicado en 1975. De allí se transcriben en extenso, dada su importancia para el tema de la planificación territorial y de los proyectos hidroeléctricos, los testimonios de tres sismos relacionados con la Falla de Algeciras (Velandia et al., 2002): el del 18 de noviembre de 1827, el de 2 de 1834 y el del 9 de febrero de 1967.

Sismo de 1827

“(…) aconteció el 16 de noviembre del mismo año, a las 6 de la tarde. Mi casa se despedazó; yo estaba escribiendo. Como el movimiento continuaba, salí y vi a uno de mis criados en oración cantando; Santo Dios, Santo Fuerte, Santo Inmortal, líbranos de todo mal. Entré a mi choza y comencé a contar el tiempo en mi cronómetro. La tierra tembló aún durante 3 minutos, no creo que exagere si digo que las oscilaciones horizontales del sureste al noroeste duraron 6 minutos en total.

Después de eso supe que en Bogotá, a la misma hora, el suelo de había sacudido durante 8 minutos.

Hay pocos ejemplos de terremotos tan prolongados, y la circunstancia de haber seguido la muestra de un cronómetro es suficiente para establecer de la manera más segura que el fenómeno tuvo una duración anormal. Este terremoto fue particularmente destructor en los departamentos del Huila, Cauca y Cundinamarca.

(…)

“Llenó la ciudad (Popayán) de ruinas y desolación...; sobrevino apenas puesto el sol, y los habitantes en su mayor parte salieron huyendo a las márgenes del Cauca en busca de seguridad. Pero allí les aguardaba mayor conflicto, pues notaban que las aguas del río se iban mermando; y mientras observaban pasmados el caso, sin comprender lo que era, ni poder indagar la causa, se vieron de repente sorprendidos por una creciente formidable que, según después se supo, debió su origen a la violencia con que se rompieron las aguas de uno de los afluentes del Cauca, represadas por una peña que con el terremoto se descajó de las montañas. El terror fue indecible.

(...) acaso principalmente del páramo de Las Papas, de donde nacen el Cauca y el Magdalena. Dichos montes con la explosión arrojaron a los ríos que corren hacia el Cauca, mucha agua y cieno de las lagunas y pantanos que hay en la cima de la cordillera, lo que hizo crecer los ríos, cuyas aguas se pusieron fétidas con las materias volcánicas arrojadas en ellos. Lo mismo sucedió hacia el Magdalena; sus aguas se enturbiaron a tal punto que murieron muchos peces y aseguran también que estaban hediondas. En el valle de Neiva fue horrible el terremoto, cayendo todas o la mayor parte de las casas de paredes y tejas, lo mismo que las iglesias. Muchos cerros se han desplomado, y con sus ruinas taparon algunos ríos y quebradas; así sucedió con la Honda, en cuyas vegas había hermosos plantíos de cacao; estuvo tapada algunos días, y rompiendo después el impedimento arrastró lo que hallaba al paso, destruyendo las haciendas, y ahogando 161 personas; en otro punto se ahogaron 21, y pasan de 200 las que se sabe haber parecido en la provincia de Neiva a consecuencia del terremoto.

(...)

“Diciembre 9. Por el terremoto del 16, dos cerros que formaban un estrecho en el río de Suaza, del cantón de Timaná, en Neiva, se derrumbaron y taparon del todo el curso de las aguas. Se temía una fuerte inundación si de repente rompía los diques. Los habitantes del valle de Neiva se hallaban habitando los cerros hasta ver en qué paraba la inundación del Suaza. Diciembre 14. Por el último correo se dice que habían transcurrido 21 días desde que este río, que es grande, pues apenas da vado, estaba detenido, había ya formado un gran lago y sumergido las parroquias de la Viciosa y Guadalupe, que están a sus márgenes. Esperaban que rebosara por otros puntos laterales de las cordilleras que forman el valle por donde corre; para salir por su antiguo cauce dicen que le faltaban 14 varas, y que cada 3 días subían las aguas media vara, Los habitantes de aquellas cercanías trabajaban por hacerle un nuevo lecho, y ojalá salgan felices sus esfuerzos!” (158, T. I, p. 366).

Y por fin:

“Por el último correo de Neiva se dice que el río Suaza aún permanece tapado enteramente. Aseguran que ha anegado un valle de dos leguas de largo, media de ancho, y en él sobre 27 haciendas de cacao. La profundidad del agua es de 150 varas. Los cerros que se juntaron y cerraron un estrecho del río son de piedra, y podrán sostener el gran peso de agua que al fin saldrá por encima dejando un gran lago. Entonces no hará tantos daños como si rompiera el dique de repente, en cuyo caso asolaría todo el valle del Magdalena.

Diciembre 31. A las 10 y tres cuartos de la mañana hubo un sacudimiento sensible de la tierra que no fue recio ni largo. Un oficial, Meyer enviado por el ejecutivo, ha dirigido un canal que cortara las ruinas de los cerros que tapaban el Suaza; lo acerca imprudentemente el agua detenida esta rompe el dique, arrastra muchos trabajadores y causa una gran creciente en el río Magdalena, que hizo muchos daños, esterilizando también sus vegas por la tierra no vegetal y la arena que depositó en ellas” (158, T. I, p- 367).

En el archivo parroquial de Gigante, Tomo I, hay una nota del párroco Andrés Quijano al obispo Salvador Jiménez y Padilla, en que se dice:

“No se ha podido reedificar la iglesia de calicanto que cayó en el año de 1827 y se hace necesario ensanchar la que hay dándole 16 varas más que contendrán la capilla, la sacristía, etc.”.

Debo al Dr. Manuel José Forero esta copia del manuscrito original del Archivo Nacional, en la que D. Pío Quinto Rojas, vecino de Buenavista, relata lo sucedido con fecha 16 de noviembre de 1827:

“En mi concepto este terremoto ha tenido su origen en una larga cordillera de peñascos y eminencias situadas a la banda del oriente y que sirve de cubierta a la montaña de los Andaquíes. Desde allí ha repartido su impulso rápidamente por el espacio de muchas leguas en contorno. A lo largo de esta cordillera, y al pie de ella están situados la mayor parte de los pueblos y parroquias que componen el cantón de Timaná, como también gran número de haciendas, hatos, labranzas y otras muchas posesiones de más o menos representación. Todo ha caído; todo se ha convertido en ruinas; los templos, las casas, las chozas están por el suelo, y entre los escombros de los edificios de las peñas se hallan sepultados los cuerpos de tantos infelices que perecieron sin recurso. El impulso ha sido tan violento que la tierra se ha abierto en muchas partes vomitando chorros de agua, barro y otras materias; algunas habitaciones han desaparecido, y naturalmente se concibe que se las tragó la tierra, y muchos peñones que un millón de hombres robustos no hubieran podido mudar de su lugar un solo paso, han mudado de puesto en un momento, nadando enteros sobre la misma tierra. No es menos el daño padecido en los otros partidos pertenecientes al cantón de La Plata. En esta población apenas habrá una casa en pie; la iglesia y habitaciones están en tierra, y el partido del Pital que es el que menos ha padecido pues no perdió su capilla, no carece de daño en lo demás.

Pero el estrago del terremoto, a pesar de lo dicho, no ha sido tan considerable ni tan espantoso en sus consecuencias (pues a lo menos no han muerto tantos desgraciados), en comparación de los daños y pérdidas incalculables que han ocasionado las grandes y copiosas crecientes y derrames de las quebradas y otros arroyos. Parece que la tierra y el agua se convinieron para asolar y destruir estos lugares, más señaladamente de los partidos de Garzón y de Gigante. Sea que el mismo terremoto hizo desprender de los peñascos que rodean las cabeceras de las quebradas Honda y Mapia gran cantidad de piedras, tierra y árboles, los cuales atajando las corrientes del agua las estancaron de manera que por la cantidad de la compresión se destacasen con suma violencia; o sea que este acopio de aguas fuese el resultado de una abundante lluvia que cayó el mismo día 16 por la mañana; o sean juntas una y otra causa, lo cierto es que una hora después del terremoto bajó una creciente tan impetuosa y abundante, que arrastró consigo cuanto se hallaba al paso, como hombres, bestias, habitaciones, labranzas enteras, y otras labores. Estas quebradas Honda y Mapias tienen su origen y cabeceras en lo interior de la montaña de los Andaquíes, y penetrando las honduras que forman los peñascos de la cordillera, la una baña el partido de Garzón, que está al oriente, y la otra va, torciendo su curso al norte y se entra en las tierras y partido del Gigante... Allí se veían muchas casas, trapiches, grandes ramadas, y otras viviendas: continuamente estaban aquellos sitios llenos de gente, ya de los propietarios de aquellos cacahuales (cacaotales), ya también de los jornaleros, peones, arrendatarios y familias de estos... La impetuosa corriente

arrebató con todo, todo quedó asolado; quince personas han perecido sumergidas entre el lodo y el agua, y a la mayor parte sus mismas casas sirvieron de sepulcro!”

Corrobora lo acaecido D. Gabino Charry, en “Frutos de mi tierra”:

“Tocaba a su término el año de 1827. Era el 16 de noviembre cuando, a eso de las cinco y tres cuartos de la tarde, se sintió en todas partes un violento terremoto que redujo a escombros la mayor parte de los pueblos de la provincia y algunos otros de fuera. Casi no quedó un solo edificio en pie. Los ríos y quebradas salieron de madre, por los cuales no corría agua sino lodo abrasador y pestilente que a su paso sembraba la desolación y la muerte.

La tierra continuó agitándose por muchos días con breves intervalos; oscilante en unas partes, trepidante en otras.

El cerro de Buenavista, situado en la margen derecha del río Suaza, y el del Grito en la opuesta, casi enfrente uno de otro, se derrumbaron sobre el río y lo detuvieron en su curso por espacio de cincuenta y cinco días. Las aguas, represadas, formaron una inmensa laguna que cubría los sitios de Lagunilla, Los Cauchos, las vegas de Turupamba y el caserío de La Viciosa (Guadalupe).

Las aguas allí aglomeradas no podían tener otra salida que por el lugar donde se hallaba obstruido el río, pues este corre apretado por entre dos cordilleras; y esa barra era de tal magnitud que a pesar del creciente aumento de ellas no habían podido franquearla.

El gobierno de Bogotá, avisado de tan extraordinario suceso, envió inmediatamente al coronel Francisco Meyer al lugar del siniestro, para que, como ingeniero, removiese el obstáculo que detenía la corriente. Llegado que hubo al lugar de su destino nombró al señor Matías González proveedor de víveres para mantener la muchedumbre de gente que acudía a prestar sus servicios tan oportunos en aquellos críticos momentos.

Los trabajos empezaron el 24 de diciembre siguiente, tomadas previamente todas las precauciones que el caso demandaba para poner a salvo a los peones. Llevaban ya diez y siete días en tan ruda labor empleados con febril entusiasmo sin que nadie presintiera la proximidad de una catástrofe. Ya fuera por la excavación ejecutada en la parte libre, ya por la inmensa presión que ejercían las aguas por su parte, se efectuó de súbito la ruptura del muro en altas horas de la noche del día 10 de enero del siguiente año. Un trueno prolongado, aterrador, espantoso. se dejó oír por todos los ámbitos de la comarca. Aquella estupenda mole de agua se lanzó con una velocidad que daba vértigo; llega al Magdalena, que a la sazón venía creciendo, rechaza sus aguas con ímpetu horrible, y ya aumentado el caudal de su corriente sigue destruyendo todo cuanto encuentra a su paso...

(...)

Sismo de 1834

“Bajo auspicios nada favorables se inició el año de 1834, pues el 20 de enero a las siete de la mañana fue poco menos que convertida en ruinas la ciudad de Pasto, por un terremoto cuyas violentas sacudidas duraron varios días; por la misma causa quedó destruida la ciudad de Almaguer, en la provincia de Popayán, y también el pueblo de Santiago de Sibundoy (...)

El foco del fenómeno, según informe del gobernador de Pasto, estaba en la Cordillera Oriental, hacia las fuentes del Caquetá y el Putumayo.

(...)

“En tiempo de los viejos hubo un terremoto en Santiago; fue hirviendo la tierra, se elevó y formó una masa de tierra que formó una montaña que se llama Cuandasoy”

(...)

Sismo de 1967

1967, febrero 9, 10:24 a.m. –Esta convulsión telúrica centralizada en el departamento del Huila, causó pérdidas de vidas u daños sin cuento.

“Las regiones circunvecinas de los Llanos Orientales y de los departamentos de Cundinamarca; Tolima, Valle y Cauca participaron también de la desgracia, aunque en menor escala. El mismo del 9 de febrero se sintió en varias Repúblicas desde Caracas hasta Iquitos en el Perú y desde Buenaventura en el Pacífico hasta Mitú en los límites con el Brasil y dejó una estela roja de 98 víctimas y destrozos por un valor de unos 300 millones de pesos. Por estos datos se puede juzgar de su magnitud.

(...)

El epicentro correspondió a las siguientes coordenadas geográficas que lo determinaron así: 2.9 N. y 14.80, lo que corresponde a un punto de la superficie en la Cordillera Oriental a unos pocos kilómetros al E. de Vegalarga y a unos 40 kilómetros al NE de Neiva. El hipocentro se localizó a 50 kilómetros debajo de la Cordillera Oriental.

En general el sismo fue más intenso de N. a S. a lo largo de la Cordillera Andina que de E. a O. En Bogotá alcanzó una intensidad de VII, en Pasto de IV, en Quito de III y en Iquitos y en Caracas de I en la escala de Mercalli. Las poblaciones más afectadas fueron sin duda: El Paraíso, Vegalarga y Colombia en el Huila. Vegalarga era un floreciente caserío asentado sobre una inclinada terraza aluvial. Sobre ella corre el río Fortalecillas encajonado por altos cerros buscando presuroso su salida al valle de Neiva. En Vegalarga diez casas rodaron por tierra destruidas totalmente, y el ciento por ciento del resto sufrió averías de consideración. Las piedras saltaban en las calles y hasta la pequeña construcción de ladrillo, cemento y teja de Eternit del puesto de salud se rajó en sus muros. En las veredas de Guamol, la Batalla, Balsillitas, El Cedral, El Candado y el Motilón, que rodean a Vegalarga por el norte, el este y el sur, las viviendas casi en su

totalidad quedaron totalmente arruinadas y sus habitantes hubieran de echarse a tierra durante los remezones para no caer.

En la escala de Pasadena al macrosismo del Huila le correspondió una magnitud de 6.7 y su duración fue de más de un minuto.

(...)

Se observaron y se fotografiaron cientos de derrumbes o gritas superficiales sobre las carreteras, en las colinas y en las partes erosionadas y pendientes de la cordillera. Algunos derrumbes represaron las aguas de los ríos La Ceiba y el Motilón, aunque sin consecuencias serias, En Baraya hubo una víctima arrollada por las piedras de los cerros.

(...)

En varios sitios se dio el caso de que las fuertes presiones del suelo hicieran saltar arena o agua sola o con lodo y arena: este fue el caso en una hacienda del doctor Ignacio Solano, cerca de Fortalecillas (el agua duró saltante durante media hora). En Llano Norte, cerca de Campoalegre, brotó agua con arena grisosa. El Sr. Ramiro Bernal contó que el río Guarocó aumentó su caudal de aguas en un ciento por ciento.

En Neiva se hablaba de fenómenos raros aparecidos en las fuentes termales de Rivera, pero creo que no se diferenciaban de los ya mencionados: En Altamira existían muchas consejas acerca de un volcán, que había aparecido en la vereda de Pajijí. Los relatos de los testigos y algunas muestras del lodo del volcán indicaban que era un fenómeno natural de ignición espontánea del suelo debido a sulfuros de hierro (piritas) por descomposición química con desprendimiento de azufre y parecido a otros casos observados ya en el departamento de Cundinamarca.

De la lectura de los testimonios históricos, además de los documentos técnicos relacionados con el sismo de 1994 que generó los flujos de lodos y escombros del río Paez demuestran que la generación de deslizamientos y flujos por la ocurrencia de sismos hace parte de la dinámica natural del territorio. No obstante lo anterior, los cálculos de sedimentación realizados por EMGESA-Ingetec (2008) no consideran estas variables, con lo cual, ante la ocurrencia de un sismo de magnitud considerable, no solamente corren riesgo las estructuras relacionadas con la represa, sino que si soportan las cargas sísmicas, la vida útil del proyecto puede llegar a acortarse considerablemente.

6.2.1.3 Sismicidad instrumental. Análisis de los sismos registrados en el catálogo de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC)

Para este análisis se utilizó una distancia de 25 km alrededor del embalse, dado que el reglamento colombiano de construcción sismo resistente de 2010⁹³, en el que se toma esa distancia como el límite de las fuentes sismogénicas cercanas.

⁹³ MADS. (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá

En dicha zona, se encontraron 1839 sismos desde el 3 de junio de 1993 hasta el 4 de noviembre de 2016 con magnitudes entre 0,6 y 4,2. En la siguiente figura se observa la distribución de estos sismos.

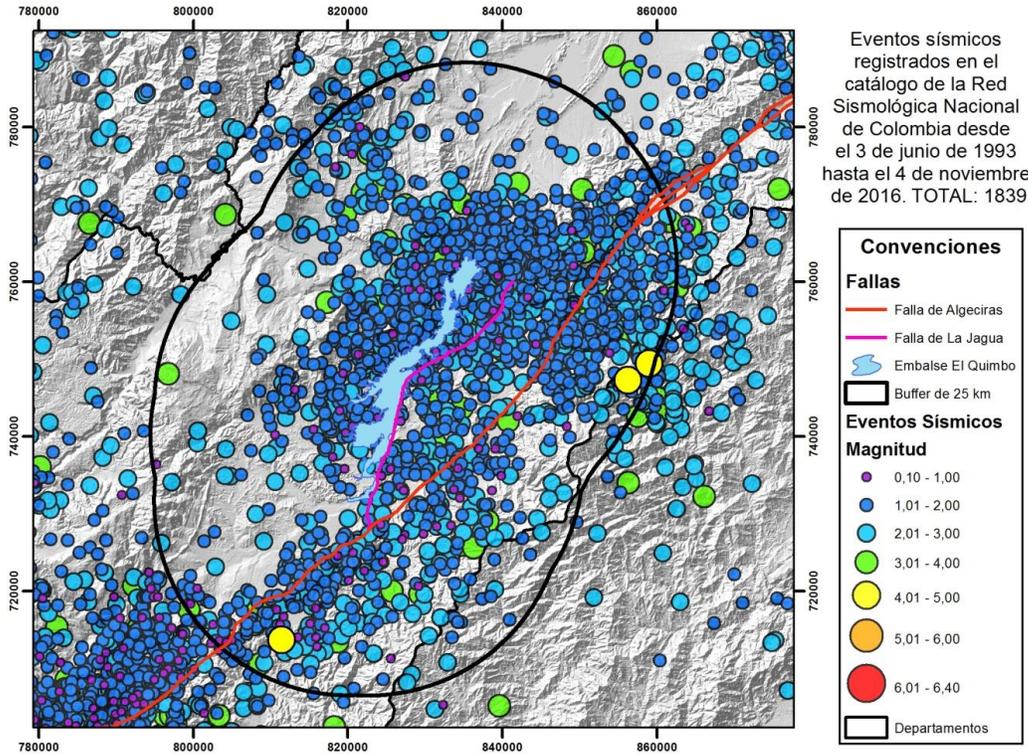


FIGURA 37. DISTRIBUCIÓN DE EVENTOS SÍSMICOS REPORTADOS EN EL CATÁLOGO DE LA RSNC.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Como se observa en la imagen anterior, la mayoría de los sismos se encuentran en cercanías al embalse (aproximadamente 8 km alrededor), la Falla La Jagua y hacia el oriente, evidenciando una relación con la Falla de Algeciras.

Con los datos obtenidos se generó una gráfica de frecuencias, la cual ayuda a la visualización de la cantidad de eventos sísmico por año. Dicha grafica se presenta a continuación:

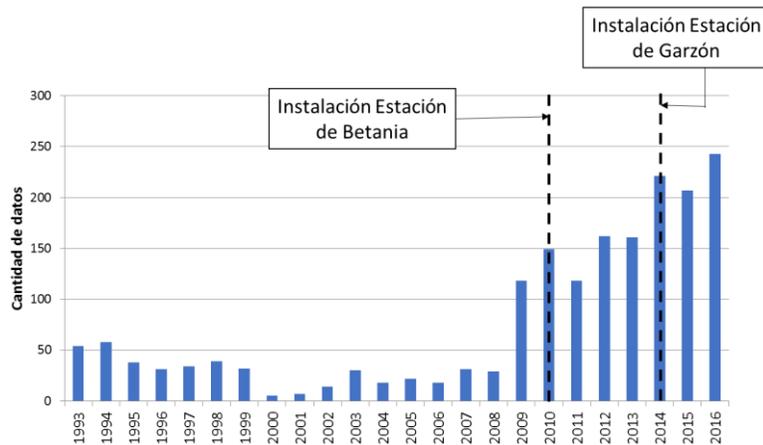


FIGURA 38. CANTIDAD DE EVENTOS SÍSMICOS REGISTRADOS POR LA RSNC, SEÑALANDO LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES CERCANAS AL ÁREA DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

En la figura anterior es evidente el aumento de eventos sísmicos que se presenta a partir del año 2009. Cabe resaltar que en cercanías al área del proyecto el Quimbo el 19 de mayo de 2010 se instaló la estación sismológica de Betania, ubicada aproximadamente a 34 km y el 24 de febrero de 2014 se instaló la estación sismológica de Garzón a 18 km del embalse, por lo que se cree que el aumento presentado a partir de 2010 y 2014 puede estar debido a la efectos de mayor instrumentación en la zona.

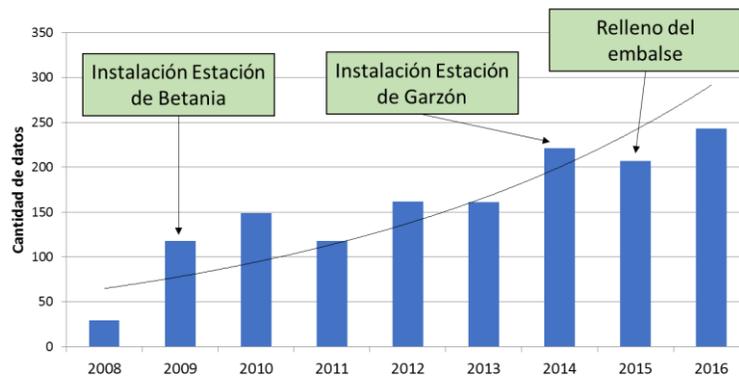


FIGURA 39. DETALLE SOBRE LA FRECUENCIA DE LOS EVENTOS SÍSMICOS A PARTIR DE 2008, MOSTRANDO LOS EVENTOS QUE SE CONSIDERAN PODRÍAN MODIFICAR SU COMPORTAMIENTO NORMAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Sin embargo, esto no logra explicar el repentino aumento dado para el año de 2009, pasando de un promedio de 28 sismos por año a 118 eventos registrados en 2009. Esta tendencia a aumentar persiste hasta la actualidad, incluso, en lo que va corrido del año 2016 se han registrado más eventos sísmicos que en el año 2015 en donde se comenzó el proceso de llenado del embalse.

También se graficó la cantidad de sismos por año diferenciados por magnitud y profundidad.

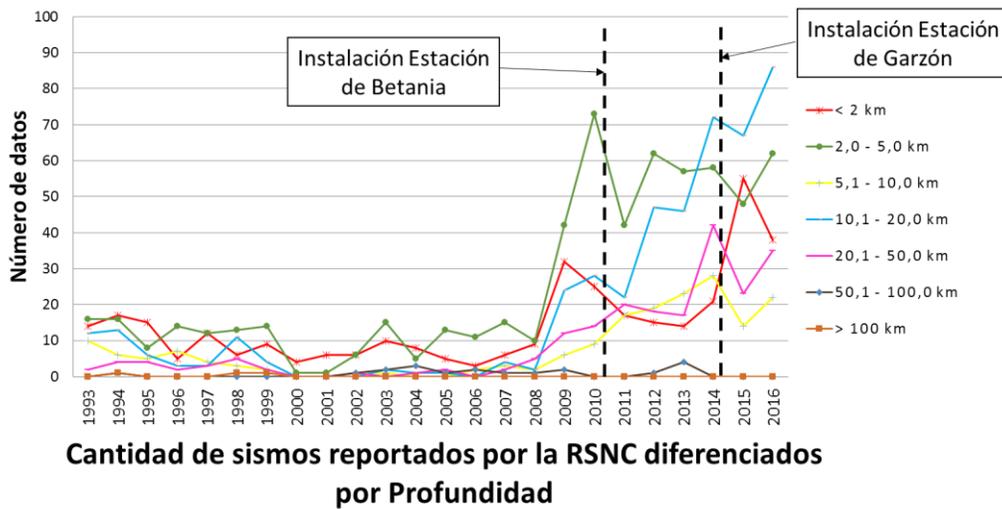


FIGURA 40. CANTIDAD DE EVENTOS SÍSMICOS REPORTADOS POR LA RSNL DIFERENCIADOS POR PROFUNDIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

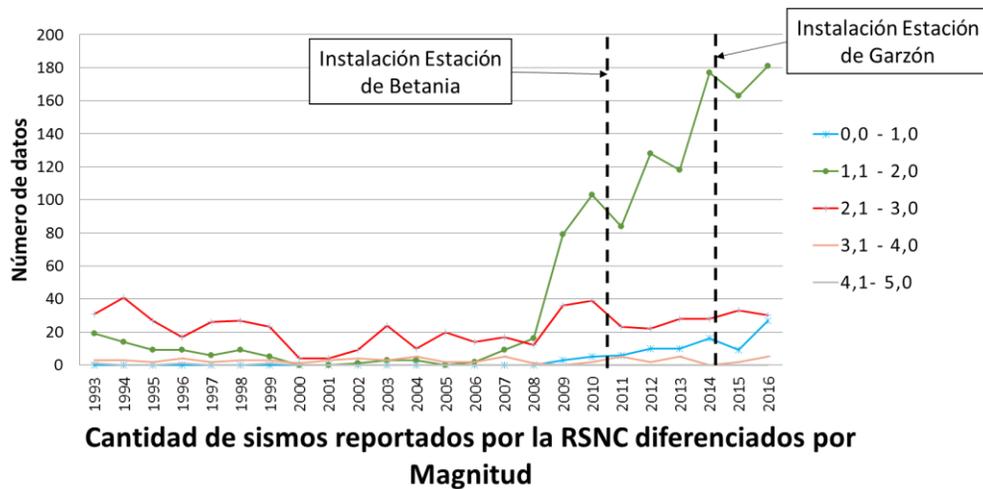


FIGURA 41. CANTIDAD DE EVENTOS SÍSMICOS REPORTADOS POR LA RSNL DIFERENCIADOS POR MAGNITUD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

En las gráficas se logró observar que, en cuanto a profundidad, la mayoría de los eventos sísmicos (33,4%) ocurren a una profundidad entre 2 y 5 km, el 24,7% de los eventos tienen una profundidad entre 10,1 y 20 km y el 19,1% corresponden a sismos muy someros con profundidades menores a 2 km. Los sismos menos frecuentes son los que tienen una profundidad mayor a 100 km, representando el 0,1% de los eventos y registrándose sólo 3 entre los años 1994 y 1999. A partir de 2009 todos los rangos de profundidad aumentan su frecuencia, excepto los mayores a 100 km, que en este periodo de tiempo no se han presentado.

Con respecto a las magnitudes, los sismos más frecuentes son los que presentan magnitudes entre 1,1 y 2,0 con un 61,8% del total, seguido de los sismos con magnitudes 2,1 a 3,0 representando el 29,6%. Los sismos que presentan menor frecuencia son los que presentan magnitudes entre 4,1 y 5,0 consistiendo en el 0,1% de los datos.

Debido a aparente aumento de eventos sísmicos que presenta el área estudiada, se recomienda que en la zona del embalse se haga un monitoreo sísmico detallado en el que se pueda estimar una relación con los cambios del nivel del agua, teniendo en cuenta que esto representa cambios en la presión hidráulica, que puede inducir a la generación de sismos más frecuentes.

6.2.1.4 Implicaciones en amenaza y riesgo de las omisiones en la caracterización de fallas geológicas

Existe un acuerdo fundamental en términos de que las fallas geológicas deben ser caracterizadas de manera detallada y que son necesarios estudios de amenaza sísmica con el fin de tener insumos para las decisiones respecto al diseño y construcción de presas, en particular en zonas con sismicidad activa (ICold, 1998; Allen & Cluff, 2000; Mahdavian, 2008) y para la misma decisión sobre si construir o no este tipo de estructuras.

De manera particular, el Comité Internacional de Grandes Presas (ICold), en su boletín 112 de 1998 establece criterios para definir la actividad de fallas geológicas y para su caracterización:

Las fallas activas neotectónicamente son aquellas cuya superficie de ruptura más reciente ocurrió durante el Neógeno – Cuaternario (es decir, en los últimos 34 millones de años) mientras que las fallas activas recientes tienen rupturas en el Holoceno (en los últimos 12.000 años). Las fallas activas contemporáneas tienen evidencia histórica de rupturas en superficie (tal cual se vio de los reportes de sismicidad histórica para sismos asociados a la Falla de Algeciras, así como también del estudio realizado por EMGESA – INGETEC, 2008 para las fallas de Balseadero y Rioseco).

Es tan importante definir con base en estudios detallados (morfotectónicos, sismogénicos, estructurales, de datación, etc.) las fallas geológicas en las zonas de presa que ICold (1998) establece que “el reconocimiento y la aceptación de la existencia de fallas “capaces” en la fundación de la presa requiere de acciones drásticas. El sitio puede preferiblemente ser abandonado a favor de uno tectónicamente más estable.” Las razones planteadas por ICold en el documento para estudiar de manera profunda las fallas geológicas es que pueden tener los siguientes efectos:

- Actividad sísmica natural y actividad sísmica inducida con efectos de sacudimiento de las estructuras
- Efectos hidrogeológicos que incluyen la posible pérdida de almacenamiento
- Problemas de estabilidad de laderas
- Fenómeno de creep que puede influenciar los sitios de presa
- Ruptura de falla en la fundación de la presa que podrían ser de peligro para la seguridad de la presa

Como recomendaciones de ICold (1998) para estudiar las fallas geológicas se proponen varios niveles de estudio:

- Investigaciones regionales que cubran un radio de 150 a 200 km, con el fin de lograr un marco tectónico general del área de interés
- Investigaciones locales en un radio de 50 km identificando fallas geológicas cuya influencia es probablemente de consideración en la zona de presa

- Investigación de fallas que intersecten el sitio de presa, teniendo especial significancia en la estructura de la presa.

Ninguno de estos niveles ha sido realizado de manera responsable por EMGESA en el caso de la presa de El Quimbo, tal como ha sido demostrado a lo largo de este documento.

En estudios más recientes (Wieland et al., 2008), se discute la dificultad en establecer divisiones entre fallas geológicas activas e inactivas. No obstante lo anterior, establecen los autores que fallas donde no existan pruebas de que sean inactivas, deben ser consideradas como activas o potencialmente inactivas, especialmente en regiones de alta sismicidad. Aquí se puede ver como el estado del arte en estudios tectónicos y de sismogeneración para presas sigue el Principio de Precaución, pero que no fue el caso de los estudios ni de las decisiones que fueron inducidas en la ANLA por EMGESA.

De igual manera, ratifican los criterios de ICold (1998) de que si los depósitos del Holoceno se encuentran deformados por movimientos de falla, se considera una evidencia decisiva para establecer la actividad de la falla.

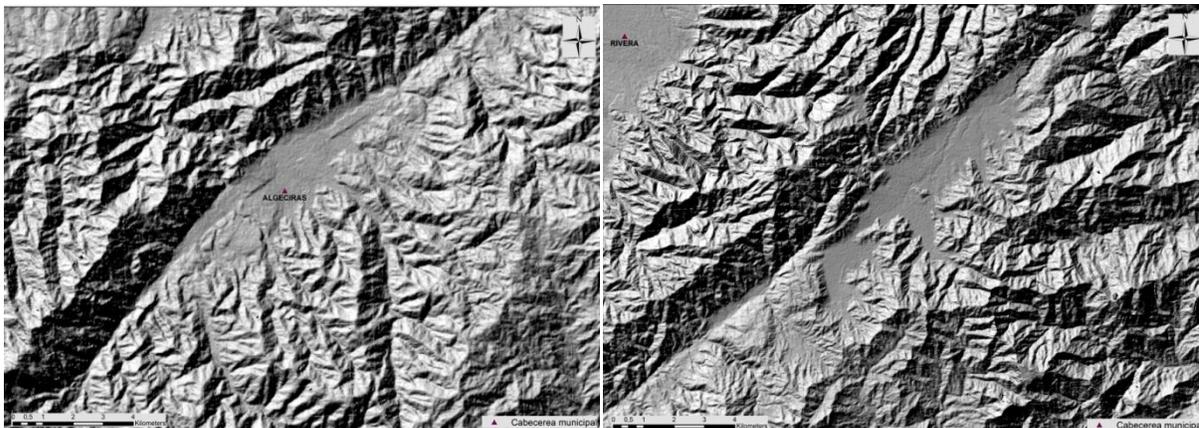


FIGURA 42. ZONAS DE DEFORMACIÓN CUATERNARIA A LO LARGO DE LA FALLA DE ALGECIRAS. PARA DATAR LAS FALLAS EXISTEN METODOLOGÍAS COMO RADIO ISÓTOPOS, CARBONO RADIOACTIVO COSMOGÉNICO O TERMOLUMINISCENCIA. ELABORACIÓN PROPIA

Como ya se ha planteado de manera reiterada, muchas de las fallas de la zona presentan evidencias de deformaciones del Holoceno y es allí donde EMGESA debe estudiar de manera detallada las fallas, así como demostrar con soportes técnico-científicos que fallas como la de Rioseco cuyo trazo, de acuerdo con los mapas de Geología General presentados como anexos al EIA (Plano PL-EIAQ-15) está a pocas decenas de metros del sitio de presa y que inexplicablemente no es estudiada ni considerada en el mapa de Geología del área de la presa y obras, no es activa o que su actividad no afectará las obras del embalse. Igual situación debe darse con las fallas de Balseadero – Matambo y con las fallas geológicas menores que fueron detectadas y medidas en la vía de acceso al vertedero y en los taludes de la casa de máquinas.

De igual manera, tanto los datos de dirección hipotética de esfuerzos tectónicos obtenidos a partir de datos sismológicos (soluciones teóricas de mecanismos focales) como de las mediciones de algunos planos de fallas mesoscópicas llevan a plantear que el sistema de esfuerzos es transcurrente y no de compresión como se plantea en el estudio de

EMGESA – INGETEC (2008). Estos aspectos tienen implicaciones hidrogeológicas y de sismicidad que deberían estar ya entendidos por la empresa energética, pero que evidentemente no le están, si se analizan los componentes geoambientales de los estudios presentados.

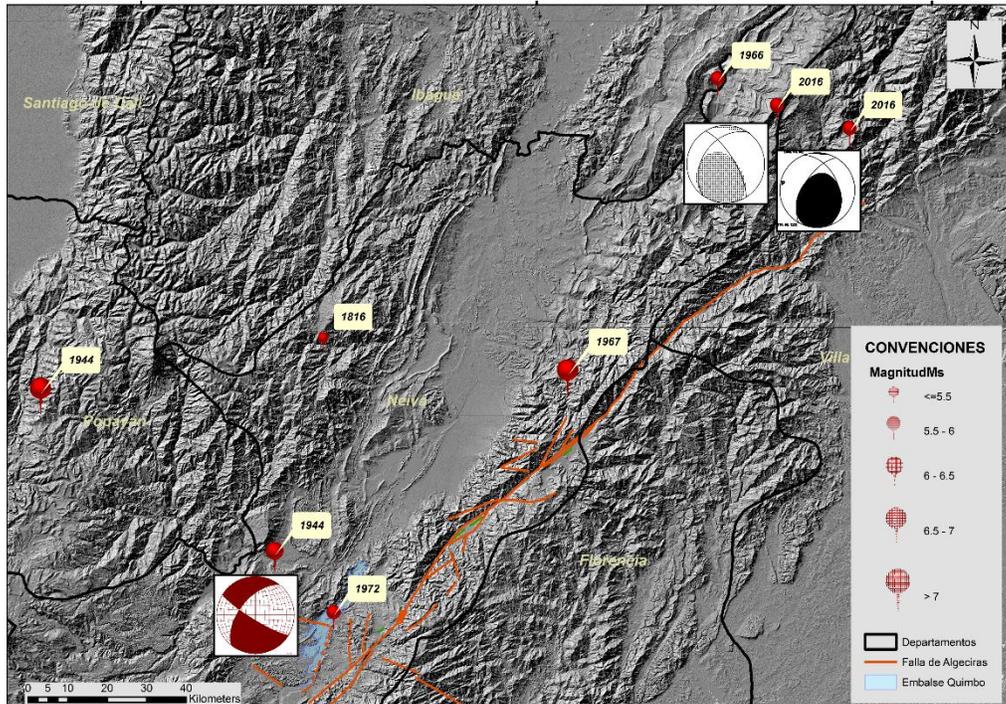


FIGURA 43. SOLUCIONES TEÓRICAS DE ESFUERZOS TECTÓNICOS. LOS DOS DIAGRAMAS AL NORESTE, CON BASE EN LOS DATOS SISMOLÓGICOS DE LOS SISMOS DEL 31 DE DICIEMBRE DE 2016 (RSNC). EL DIAGRAMA AL SUR, CON BASE EN EL ANÁLISIS DE LOS DATOS DE MEDICIÓN DE FALLAS MESOSCÓPICAS TOMADOS POR EL GEOL. JULIO FIERRO MORALES EN LA ZONA DE PRESA DE EL QUIMBO. LOS DATOS PRELIMINARES INDICAN QUE EXISTE TRANSPRESIÓN HACIA EL NORTE DE LA FALLA Y TRANSCURRENCIA HACIA EL SECTOR DEL QUIMBO, NO UN SISTEMA DE COMPRESIÓN, COMO POSTULAN EMGESA-INGETEC (2008) SIN NINGÚN SOPORTE TÉCNICO. ELABORACIÓN PROPIA.

6.2.2 Amenaza por falla del dique principal (presa) – Inundación súbita

Las inundaciones súbitas (*Flash flood* en idioma inglés) consisten en inundaciones en las cuales aumentan rápidamente el caudal y pueden estar atribuidas a precipitación excesiva o eventos de ruptura de represas. Las inundaciones súbitas generadas por precipitación excesiva se desarrollan en pocas horas (generalmente menores a 6 horas) estas se presentan por lo general en zonas montañosas. Las inundaciones asociadas con ruptura de represas naturales o construidas por el hombre también pueden liberar grandes volúmenes almacenados en un periodo corto de tiempo acarreado consecuencias catastróficas aguas abajo (Organización meteorológica mundial, 2009)

La principal característica es el poco tiempo que requieren para desarrollarse; en este lapso las personas tienen muy poco tiempo para actuar en aras de reducir el daño a inmuebles y reducir el riesgo para las vidas humanas. Usualmente este tipo de inundaciones están relacionadas con grandes volúmenes de precipitación, ruptura de diques, ruptura de presas entre otros. Para la mitigación de estas situaciones desfavorables actualmente a nivel mundial se han implementado múltiples estrategias;

una de las más eficientes consiste en la implementación de sistemas de alerta temprana para inundaciones.

Es importante mencionar que a pesar que la probabilidad de ocurrencia de este tipo de fallas es muy baja, como lo mencionan los análisis realizados en el EIA 2009 del proyecto, ya que los estándares de seguridad de este tipo de obras así lo exigen. Todo tipo de obras de infraestructura posee una probabilidad de falla asociada, que debe ser considerada, con el fin de establecer el plan de contingencias y demás medidas a que haya lugar para prevenir futuras afectaciones. En este sentido, la probabilidad de falla u ocurrencia de la misma, depende la calidad de los estudios realizados para la construcción de la línea base, diseños, de las actividades que se realicen durante la operación y condiciones a que se verá enfrentada las obras una vez culmine la vida útil del proyecto.

Por otra parte, a pesar que las represas están diseñadas para su perdurabilidad garantizando que no se presenten fallas estructurales y/o funcionales y para el caso específico del Quimbo, la amenaza de falla de la represa fue definida como improbable⁹⁴, la falla de represas es relativamente frecuente en el mundo causando enormes pérdidas humanas, ambientales, sociales y económicas, como se describió anteriormente. Lo cual, sugiere la necesidad de realizar estudios de amenaza en detalle para poder dar alertas tempranas a la población y así evitar la pérdida de vidas humanas y económicas.

A continuación, se describen cada una de las fases de análisis:

a. Incertidumbres identificadas en el plan de contingencia presentado por EMGESA en el EIA 2008 y documentos adicionales.

Los factores que producen la mayoría de falla de represas a nivel mundial son: sismicidad, crecientes extremas superiores a las de diseño, filtración de agua en los cimientos, inestabilidades geológicas, inestabilidades geotécnicas y finalmente fallas por diseños y/o construcciones deficientes; por tal razón se realizó un análisis integral entre las debilidades e incertidumbres encontradas en cada uno de los componentes de la línea y base y su posible consecuencia en términos de estabilidad y funcionalidad del proyecto hidroeléctrico, dando como resultado que las incertidumbres identificadas en cada uno de los componentes de la línea base, que inciden directamente en la estabilidad y funcionalidad de las obras principales a corto, mediano y largo plazo, así como en la vida útil de ésta, como se describe en la tabla siguiente:

⁹⁴ INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental de proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Revisión 01, Capítulo 09, pág 57.

Tabla 20. Análisis de debilidad e incertidumbres identificadas y posibles consecuencias en la estabilidad de las obras principales del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo.

Componente	Debilidades	Incertidumbre	Posibles consecuencias
Geología – Litología (materiales)	<ul style="list-style-type: none"> Ausencia de caracterización en escala mayor 1:25.000 en área de influencia directa del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> Distribución y espesor de las unidades litológicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Inconsistencia en el modelo geológico planteado para estimar la carga de sedimentos esperado. Ausencia de conocimiento del comportamiento hidrogeológico.
	<ul style="list-style-type: none"> Ausencia de caracterización de macizo de rocoso en el área de influencia directa del proyecto, y en la zona de construcción de las obras principales. Ausencia de caracterización geoquímica de los materiales usados para la construcción de la presa y dique auxiliar. 	<ul style="list-style-type: none"> Distribución y espesor de la roca de mala calidad. Comportamiento geomecánico de las estructuras principales, en zonas donde se localiza la roca de mala calidad. Nivel de amenaza por movimientos en masa (caída de bloques, flujos de detritos, entre otros) que se encuentra expuesta el área de influencia directa. Comportamiento geomecánico y geoquímico de las unidades arcillosas, frente a procesos de humedecimiento – secado, condiciones de saturación y exposición a la atmosfera. Comportamiento expansivo de las arcillas. 	<ul style="list-style-type: none"> Subestimación de parámetros geo- mecánicos empleados para el diseño de las estructuras principales. Lo cual puede generar posible falla de éstas. Disminución de la vida útil del proyecto, por excesiva carga de sedimentos. Posible afectación en términos de estabilidad de las estructuras principales. Disminución del tiempo de vida útil del proyecto, como consecuencia de la alteración físico-química de los materiales, expuestos a condición de saturación permanente. Lo cual puede generar posible falla de la presa y dique principal.
Geomorfología (forma)	<ul style="list-style-type: none"> Deficiencia en la identificación de procesos de movimientos en masa. 	<ul style="list-style-type: none"> Nivel de amenaza por movimientos en masa que se encuentra expuesta el área de influencia directa. 	<ul style="list-style-type: none"> Incremento no considerado de la carga de sedimentos en el embalse, reduciendo así, su vida útil.

Componente	Debilidades	Incertidumbre	Posibles consecuencias
Geología estructural (fallas geológicas)	<ul style="list-style-type: none"> Ausencia de control estructural en campo (jornadas de campo). Ausencia de caracterización de macizo rocoso. 	<ul style="list-style-type: none"> Comportamiento cinemático Probabilidad de falla en macizo de rocoso. Permeabilidad secundaria, por fracturamiento del macizo rocoso. 	<ul style="list-style-type: none"> Disminución del tiempo de vida útil del proyecto, como consecuencia de procesos de movimientos en masa activos en área del embalse, por mayor carga de sedimentos. Presión intersticial excesiva no considerada en las condiciones de diseño de las estructuras principales.
	<ul style="list-style-type: none"> Ausencia de caracterización neotectónica del área de influencia directa del proyecto. Debilidades en análisis de sismicidad histórica. 	<ul style="list-style-type: none"> Comportamiento dinámico de los materiales, especialmente, los materiales no consolidados como depósitos recientes (cuaternario). Importancia de las fallas cercanas en el comportamiento sísmico de la zona de influencia directa del estudio. 	<ul style="list-style-type: none"> Disminución del desempeño dinámico de las estructurales principales. Excedencia de las aceleraciones pico considerada para el diseño de las estructuras principales.
Sismología (localización, profundidad magnitud de los sismos)	<ul style="list-style-type: none"> Incremento en la sismicidad de $M_l < 3$, en la zona de la construcción del proyecto hidroeléctrico. Presencia de sismos con magnitud local mayor a la registrada durante el diseño de las obras del proyecto (EIA 2008) 	<ul style="list-style-type: none"> Presencia de sismicidad inducida. Aceleraciones pico esperadas. Comportamiento dinámico de la pantalla de concreto de la presa, al ser un elemento susceptible a ser afectado de acuerdo a referencias bibliográficas. 	<ul style="list-style-type: none"> Falla de las estructuras principales por aceleración pico que exceden los valores estimados en los diseños.
Hidrología – Hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> Ausencia de aforo de sólidos para la construcción de la línea base del EIA (2008) y sus posteriores modificaciones. Se identifica la existencia de un flujo base o caudal mínimo de 40 m³/s medio mensual en la curva de duración de caudales. Siendo la relación de estos dos componentes inexistentes en especial cuando los escenarios de modelación o entrada del modelo hidrogeológico se obtiene de 	<ul style="list-style-type: none"> Nivel de la lámina de agua, bajo eventos extremos no considerados dentro de la línea base del proyecto, de acuerdo a la información del EIA (2008) y posterior modificaciones. Efecto sobre el micro-clima del área de influencia directo, lo cual podría generar afectaciones a los ecosistemas y actividades agrícolas – productivas 	<ul style="list-style-type: none">



Componente	Debilidades	Incertidumbre	Posibles consecuencias
	este componente.	desarrolladas en esta área. • Efecto de las variaciones hidroclimáticas bajo escenario de Cambio Climático.	
Hidrogeológica	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de análisis integral de la influencia hidrogeológica del “El Quimbo” y el embalse de Betania. • Ausencia de valoración de impactos ambientales asociados con el componente hidrogeológico. • Ausencia de caracterización hidrogeológica del embalse • Deficiencias en la construcción del modelo hidrogeológico en el área donde se construye las obras principales. • Desconocimiento del comportamiento de zonas de recarga, descarga y dirección del flujo • No existe información de porosidad de las unidades que permita concluir sobre la capacidad hidráulica de las formaciones y no se articula el proyecto con el conocimiento proveniente de caracterización de la subcuenca neiva, notablemente información del sector petrolero. 	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento hidrogeológico del área de influencia directa, zonas de recarga, descarga y dirección del flujo • Valoración de los impactos ambientales asociados al componente hidrogeológico. • Influencia del comportamiento hidrogeológico entre “El Quimbo” y el embalse de Betania. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presión intersticial excesiva no considera en los diseños de las estructuras principales, lo cual podría generar las fallas de las mismas. • Daño ambiental generado sobre el componente hidrogeológico por ausencia de caracterización. • Posible afectación de las estructuras principales por efecto de tubificación.
Geotecnia	<ul style="list-style-type: none"> • No se encuentran los análisis de flujo de agua y presiones sobre la estructura proyectadas. • No se presentan las presiones que bajo el plinto se podrían presentar, tampoco se presenta la justificación de las barras de anclaje que se proyectan para la unión entre el plinto y la unidad de roca. • No se presentan las características mecánicas del material, tampoco se mencionan las condiciones necesarias para la impermeabilización de éstas estructuras. • Se considera insuficiente la cantidad de exploración del subsuelo realizada, no obstante, ya que la obra ya fue ejecutada es importante verificar si el único sondeo realizado es representativo para toda la zona del túnel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de materiales con características geotécnicas pobres, como material altamente fracturado. • Comportamiento geotécnico del total de las unidades presentes dentro del área de influencia directa y área donde se construyeron las obras. • Comportamiento de las estructuras en condicione de saturación y aceleraciones pico que exceden los parámetros planteados en la línea base del EIA, 2009, y sus posteriores modificaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Factores de seguridad sobre-estimados, lo cual generaría una posible falla de las estructuras principales bajo escenarios críticos no considerados (lluvia y aceleraciones pico). • Posible afectación de las estructuras principales por efecto de tubicación.



Componente	Debilidades	Incertidumbre	Posibles consecuencias
	<ul style="list-style-type: none"> No se explora y se toman acciones en vista del intenso fracturamiento, anisotropía y heterogeneidad del medio detectada específicamente en el área de las estructuras. 		
Plan de contingencia	<ul style="list-style-type: none"> No se evidencia el desarrollo del plan de emergencias para represas en operación y por ende las medidas de contingencia que tendrían que tomar las poblaciones aguas abajo ni el embalse de Betania en caso de la falla de la represa El Quimbo 	<ul style="list-style-type: none"> Plan de contingencia frente a una posible falla de las estructuras principales del proyecto hidroeléctrico. Tiempo de respuesta de la población localizada aguas debajo de Betania, frente a una posible falla en cadena. 	<ul style="list-style-type: none"> Desastre por inundación generado por la ausencia de un plan de alertas tempranas y plan de contingencia que involucre a los entes territoriales y pobladores.

b. Definición del área de afectación y tiempo de respuesta por inundación súbita

Una de las principales amenazas que se ha evidenciado respecto al proyecto, es la ruptura de la presa y las inundaciones derivadas de esta. Este es un tema el cual requiere gran interés por parte de las empresas consultoras y constructoras como por las autoridades reguladoras competentes dado que este escenario representa una amenaza para la población no solo en el tramo entre el Quimbo y Betania sino también para la población aguas abajo de la represa de Betania (Neiva).

Como se mencionó en secciones anteriores, en el plan de contingencia⁹⁵ presentado por (EMGESA-INGETEC, 2008) NO se evidencia el estudio de amenaza asociado con la eventual ruptura de la represa dado que este evento se considera como improbable⁹⁶. Más sin embargo este estudio de amenaza se considera necesario para que conjuntamente los municipios asentados aguas abajo del proyecto el Quimbo, la represa de Betania, los entes territoriales, entre otros puedan tomar las medidas pertinentes para mitigar los impactos negativos asociados a la ruptura de la represa.

En la hidráulica contemporánea la rama que estudia los flujos asociados a la falla de represas es conocida como DBF (Dam Break Flow por sus siglas en inglés), este tema ha cobrado gran interés en la rama de la ingeniería dado que este se configura como una herramienta necesaria para la evaluación y gestión del riesgo puesto que estos eventos generalmente están asociados a consecuencias catastróficas.

La investigación en estos temas tiene un gran trasfondo que se remite a sus inicios en la década de los 70, uno de los referentes en la investigación de este tema es el centro de ingeniería hidrológica (Hydrologic Engineering Center por sus siglas en inglés) del ejército de los Estados Unidos quienes en 1977 publicaron una metodología para calcular la inundación asociada con la ruptura de presas⁹⁷ Adicionalmente en la actualidad existen múltiples investigaciones (Bureau of Reclamation, 1982)⁹⁸, (Costa, 1986)⁹⁹, (Fread, 1986)¹⁰⁰, (Froehlich, 1995)¹⁰¹, (Kirkpatrick, 1977)¹⁰², (MacDonald & Langridge-Monopolis, 1984)¹⁰³ en las cuales se han realizado múltiples modelaciones numéricas y físicas para determinar las características hidrodinámicas asociadas a este tipo de flujos.

6.2.2.1 Modelo HEC-RAS y sistemas SIG

Para estimar las zonas que eventualmente serían inundadas asociadas a la eventual ruptura de la represa se realizó una modelación unidimensional que utiliza el modelo

⁹⁵ EMGESA-INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental de proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Revisión 01, Capítulo 09.

⁹⁶ EMGESA-INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental de proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Revisión 01, Capítulo 09, pág 57.

⁹⁷ Hydrologic Engineering Center. (1977). Guidelines for Calculating and routing a dam-break flood.

⁹⁸ Bureau of Reclamation. (1982). Guidelines for defining inundated areas downstream from Bureau of reclamation.

⁹⁹ Costa, J. E. (1986). Floods form dam failures.

¹⁰⁰ Fread, J. L. (1986). The maximum discharge of outburst floods caused by the breaching of man-made and natural dams.

¹⁰¹ Froehlich, D. C. (1995). Peak outflow from breached embankment dam.

¹⁰² Kirkpatrick, G. W. (1977). Evaluation guidelines for spillway adequacy.

¹⁰³ MacDonald, T. C., & Langridge-Monopolis. (1984). Breaching characteristics of dam failures

HEC-RAS para el análisis hidráulico que trabajara de manera acoplada con un sistema de información geográfica (QGIS) para determinar las zonas posiblemente inundadas.

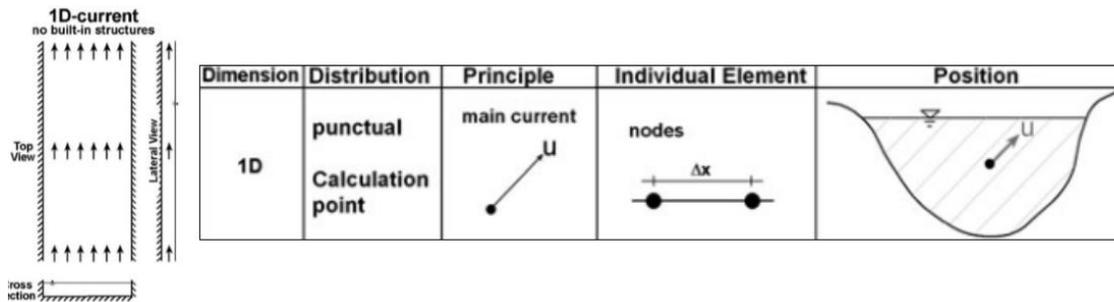


FIGURA 44. ESQUEMA DE MODELACIÓN UNIDIMENSIONAL FUENTE: SENE, K. (2013). FLASH FLOODS: FORECASTING AND WARNING. LONDON: SPRINGER.

El programa de análisis hidráulico HEC-RAS fue desarrollado por el US Army Corps of Engineers gracias a la gestión del U.S Federal Government para uso libre. Este software ha sido diseñado para integrar diferentes componentes de análisis hidráulico en una interfaz gráfica permitiendo diferentes tipos de simulaciones y un almacenamiento de datos. HEC-RAS contiene cuatro componentes de análisis en una dimensión: análisis de flujo estacionario, análisis de flujo no estacionario, transporte de sedimentos y análisis de calidad de agua.

Para este caso de estudio se utiliza el módulo de análisis de flujo permanente (el caudal no presenta variaciones respecto al tiempo). Este componente del sistema de modelación está destinado para el cálculo de los perfiles de la lámina del agua, este módulo puede simular regímenes de flujo subcrítico, supercrítico y mixto. El método de solución se basa en la solución de la ecuación de conservación de masa y de energía en una dimensión donde las pérdidas de energía se evalúan por la ecuación de Manning y la expansión y contracción (efectos de cambios de geometría) se evalúan por medio de un coeficiente. De manera acoplada se utilizó el sistema de información geográfico de carácter gratuito QGIS, para visualizar las secciones transversales y las cotas de inundación que probablemente alcanzaría la inundación generada por la eventual ruptura de la represa.

Variables de entrada

Se describen brevemente las variables de entrada al modelo que corresponden a:

- **Modelo digital de elevación (MDE):** El modelo digital de elevación utilizado para la presente modelación corresponde a la misión ALOS (Advanced land observing satellite por sus siglas en inglés) y proyecto PALSAR (Phased array type L-band synthetic apertura radar por sus siglas en inglés), este trabaja con un sensor utilizando la frecuencia de la banda L, este permite lograr una resolución de 12.5 metros por pixel que equivale a una escala 1:20.000 (Figura 45).

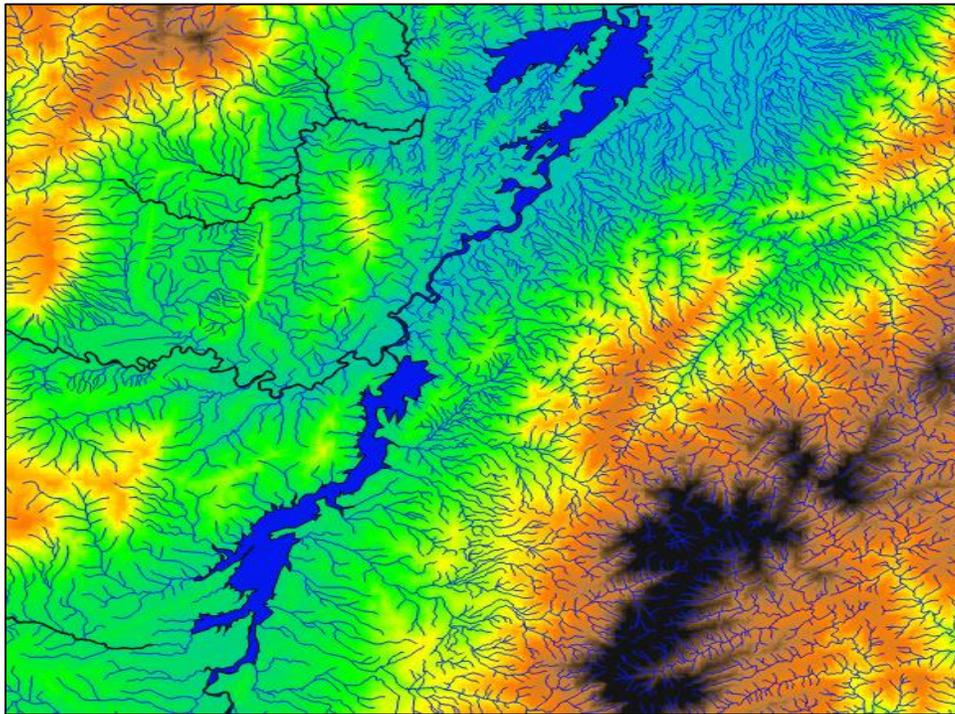


FIGURA 45. MDE ALOS-PALSAR PARA LA ZONA DE LA MODELACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Inicialmente es necesario realizar un llenado de píxeles¹⁰⁴ que no tuvieran datos asociados dado que esto podría generar errores en el cálculo de la superficie de inundación, secciones transversales y perfil longitudinal de la corriente.

- **Secciones transversales:** Para representar el río Magdalena se realizó un abcisado con 13 secciones transversales cuya longitud oscila en el rango de 1.200 a 3.000 metros (esto en aras de poder solventar la representación del flujo en los meandros) donde la sección 0 corresponde a la entrada a la represa de Betania y el 12 corresponde a la cara de la represa del Quimbo.

¹⁰⁴ Wang, L., & Liu, H. (2006). An efficient method for identifying and filling surface depression in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. Journal of geographical information science.



FIGURA 46. SECCIONES TRANSVERSALES PROPUESTAS PARA LA MODELACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La altimetría fue extraída del MDE ALOS-PALSAR mediante la herramienta QRAS ¹⁰⁵ (Figura 46).

- **Caudales e hidrograma asociado a la ruptura de la represa:**

Para calcular el hidrograma de entrada se tuvo en cuenta la metodología planteada por (Saberí & Zenz, 2015)¹⁰⁶ con base en investigaciones previas como (Singh, 1998)¹⁰⁷, (Froehlich, 1995)¹⁰⁸ entre otros.

Esta metodología depende de la altura de la represa o la altura de la lámina de agua detrás de la represa (H_w), volumen de almacenamiento (V_w) y el tiempo de falla de la represa (t_f). Se encontró también que la relación (V_w/H_w) es una relación representativa para el estudio el tiempo de falla de represas donde la unidad de V_w deberá ser en millones de metros cúbicos y la unidad de H_w deberá estar en metros.

¹⁰⁵ De Rosa, P. L. (2015). Q-RAS: Simple tool for geometry data preparation as QGIS can become an HEC-RAS preprocessor.

¹⁰⁶ Saberí, O., & Zenz, G. (2015). Empirical relationship for calculate outflow hydrograph of embankment dam failure due overtopping flow. *International Journal of hydraulic engineering*, 45-53.

¹⁰⁷ Singh, V. P. (1998). *Dam breach modeling technology*.

¹⁰⁸ Froehlich, D. C. (1995). *Peak outflow forme breached embankment dam*.

Para la evaluación del tiempo de falla (tf) de la represa se realizaron regresiones numéricas obteniendo las siguientes ecuaciones en función de la relación (Vw/Hw), para tf (hr), Vw (m3x106) y Hw (m).

$$V_w/H_w \leq 1.0 \therefore t_f = \delta \left[0.1214 \cdot \ln \left(\frac{V_w}{H_w} \right) + 0.79 \right] \quad (1)$$

$$V_w/H_w > 1.0 \therefore t_f = \delta \left[0.5063 \cdot \ln \left(\frac{V_w}{H_w} \right) + 0.85 \right] \quad (2)$$

Adicionalmente acorde con el tipo de represa y con el grado de erosión se plantea un factor de erosión (Tabla 21) para el caso particular de estudio la re: El Quimbo, como primera aproximación se utilizara el menor valor ($\delta=0,5$) ya que se trata de representar una falla súbita de la represa y este es el valor que mejor se aproxima a esta condición

Tabla 21. Factores de erosión (δ) Fuente Saberi, O., & Zenz, G. (2015). Empirical relationship for calculate outflow hydrograph of embankment dam failure due overtopping flow. International Journal of hydraulic engineering, 45-53.

Tipo de represa	Rango de coeficientes	Sugerido
Represa sin núcleo y erosión alta	0,5-0,2	1
Represa sin núcleo y erosión baja	2,0-3,0	2
Represa con núcleo y erosión baja	2,0-3,0	1,5
Represa con núcleo y erosión alta	2,0-3,0	3

En lo que respecta al cálculo del caudal pico de descarga propuesto por (Saberi & Zenz, 2015) plantean la construcción de una hidrógrafa simplificada dividiendo este en tres figuras geométricas (Figura 47).

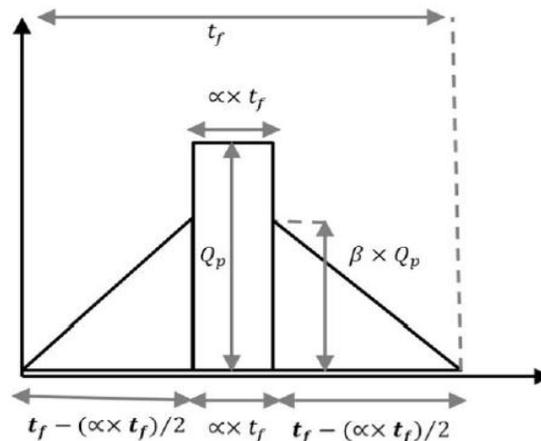


FIGURA 47. HIDROGRAMA SIMPLIFICADO ASOCIADO CON LA RUPTURA DE UNA REPRESA. FUENTE: SABERI, O., & ZENZ, G. (2015). EMPIRICAL RELATIONSHIP FOR CALCULATE OUTFLOW HYDROGRAPH OF ENBANKMENT DAM FAILURE DUE OVERTOPPING FLOW. INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING, 45-53

Teniendo en cuenta que el volumen bajo la hidrógrafa es el volumen de almacenamiento del embalse, se tiene la siguiente ecuación para determinar el caudal pico de descarga donde Q_p (m^3/s), V_w (m^3) y t_f (s) y que Donde los factores α y β han sido calculados usando análisis sensitivo de calibración basado en las ruptura de represas histórica ($\alpha=0,1$ y $\beta=1,0$)

$$Q_p = \frac{2V_w}{t_f(2\alpha + \beta - \alpha\beta)}$$

Finalmente el caudal pico (Q_p) corresponde a $173401 m^3/s$ para un tiempo de falla de 5,30 horas, este caudal pico se considera conservativo dado que en la realidad las descargas de estos suelen suceder en tiempos menores a 6 horas (Figura 48)

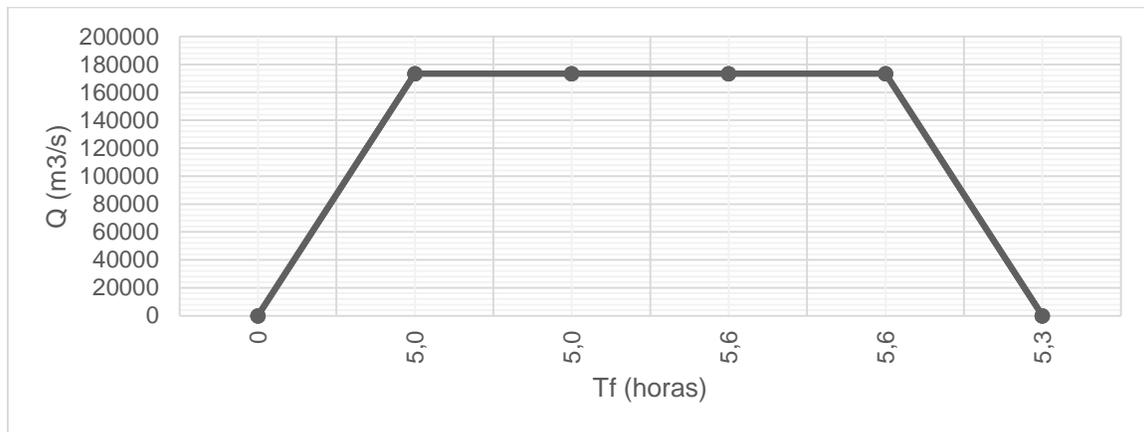


FIGURA 48. HIDROGRAMA ASOCIADO A LA RUPTURA DE LA REPRESA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Limitaciones del modelo

El modelo propuesto está sujeto a incertidumbres que están asociadas a los datos de entrada al modelo, por lo tanto es pertinente realizar las siguientes aclaraciones y/o suposiciones para la modelación:

- La modelación se realizó para el río Magdalena en el tramo comprendido entre la represa del Quimbo y Betania dado que se tiene una condición de contorno asociada con la represa de Betania. Considerando que HEC-RAS podría presentar problemas con la modelación del efecto hidrodinámico que tendría la llegada de este caudal a la represa de Betania, con base en este criterio se decidió realizar la modelación para este tramo.
- No se tiene en cuenta el caudal medio del río Magdalena, únicamente se tiene en cuenta el caudal adicional que estaría asociado a la ruptura de la represa.
- No se tiene el caudal afluente del río Páez al río Magdalena.
- La modelación se realizó para flujo permanente y uniforme
- El MDE ALOS-PALSAR tiene una resolución 1:20.000, para estudios de amenaza se requiere tener un MDE de una mayor resolución.

-
-
- Las secciones transversales fueron extraídas del MDE ALOS-PALSAR, más sin embargo se requieren las secciones batimétricas transversales al río Magdalena en aras de disminuir la incertidumbre asociada a los parámetros geométricos del canal.
 - Para la estimación del hidrograma y el caudal pico asociado con la eventual ruptura de la represa se empleó la metodología de (Saberí & Zenz, 2015) la cual aplica para represas de tierra, más sin embargo se realizaron los ajustes de similitud para el caso de la represa del Quimbo.

Resultados

Como se mencionó anteriormente la modelación se realizó para flujo permanente y uniforme arrojando los siguientes resultados.

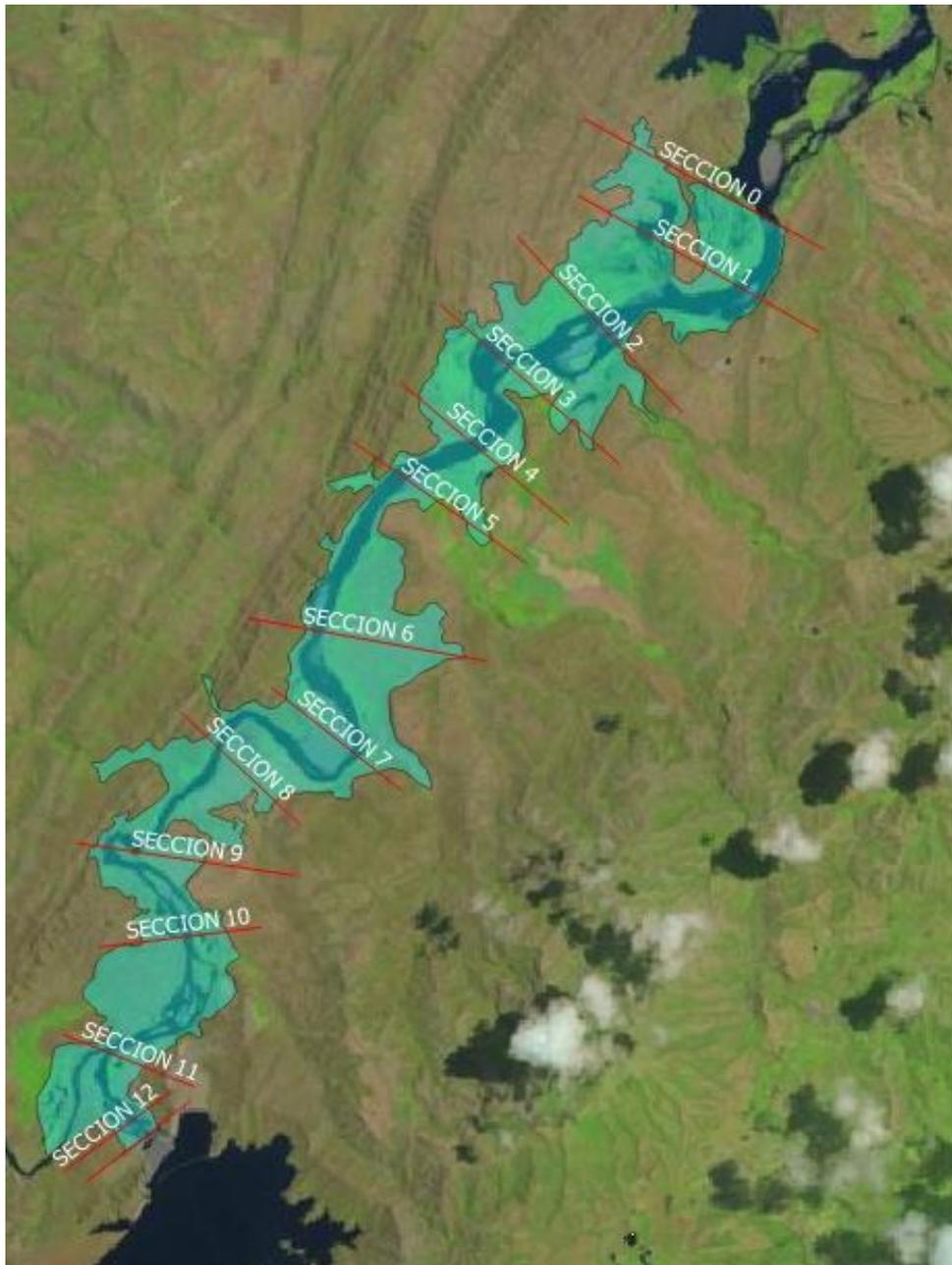
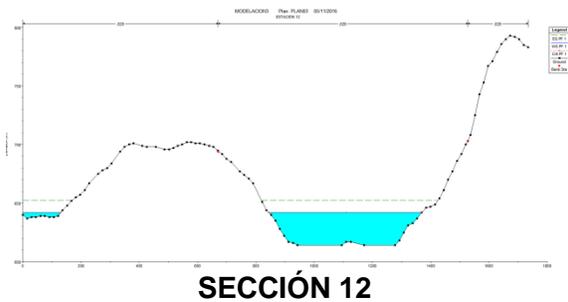
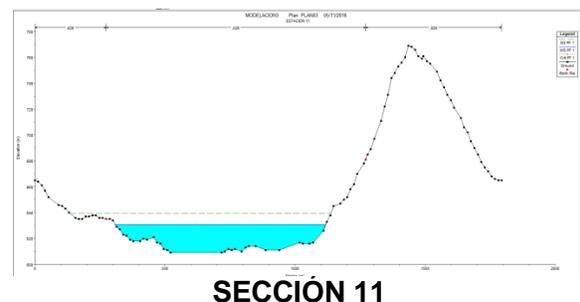


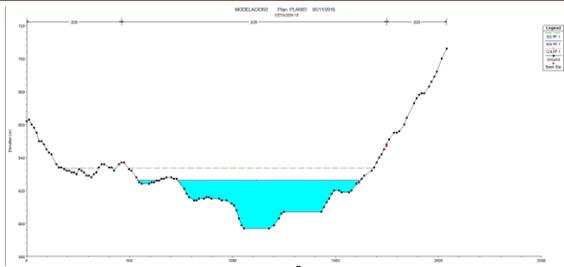
FIGURA 49. ZONAS PROBABLEMENTE INUNDADAS DEBIDO A LA EVENTUAL RUPTURA DE LA REPRESA.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



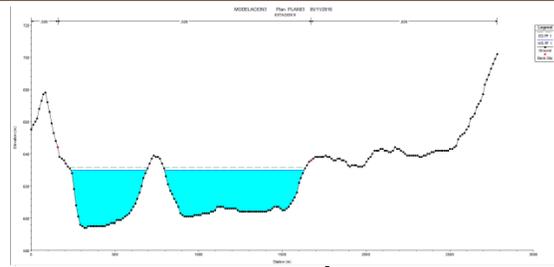
SECCIÓN 12



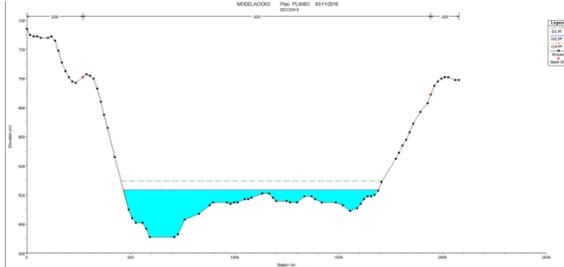
SECCIÓN 11



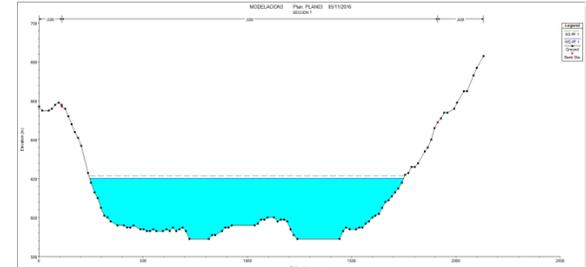
SECCIÓN 10



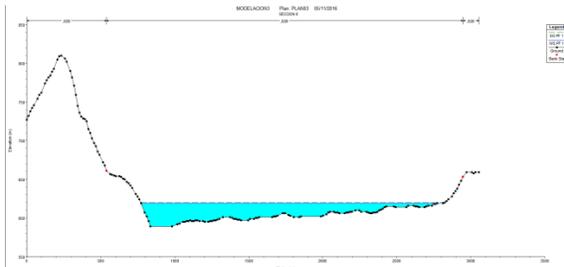
SECCIÓN 9



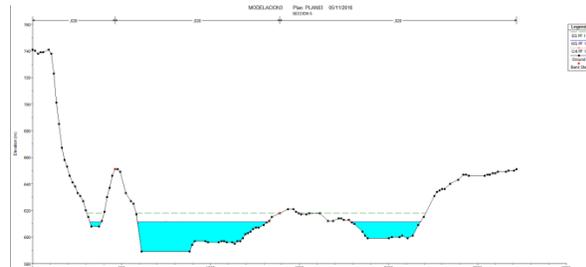
SECCIÓN 8



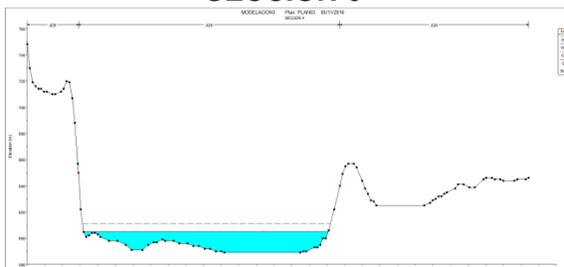
SECCIÓN 7



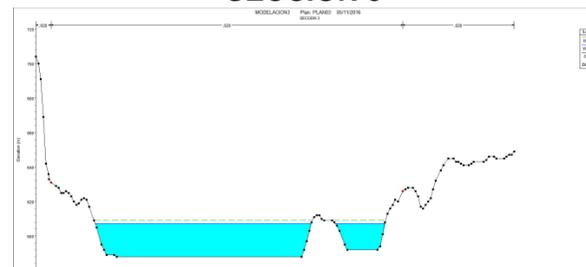
SECCIÓN 6



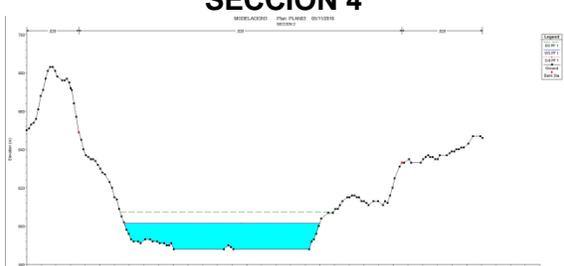
SECCIÓN 5



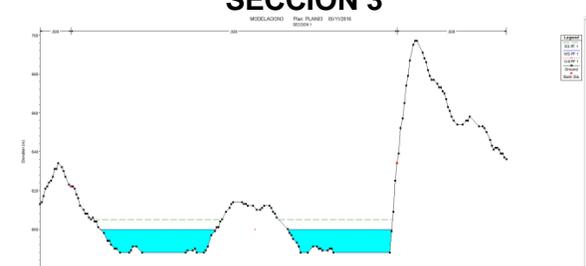
SECCIÓN 4



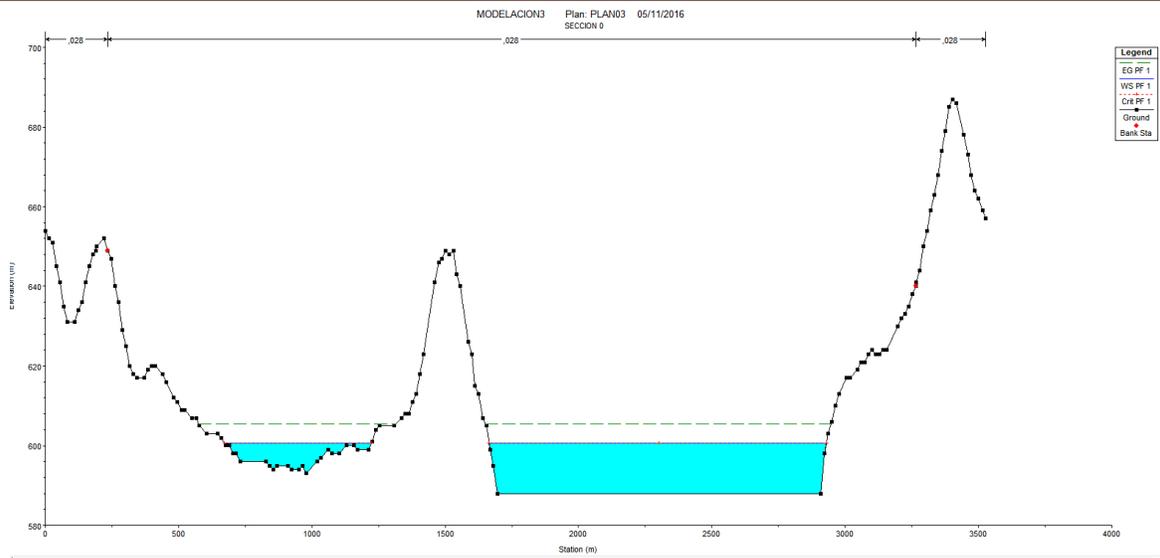
SECCIÓN 3



SECCIÓN 2



SECCIÓN 1



SECCIÓN 0 (LLEGADA A PRESA DE BETANIA)

FIGURA 50. SECCIONES TRANSVERSALES DEFINIDAS PARA LA MODELACIÓN CONDICIONES DE FLUJO PERMANENTE Y UNIFORME ASOCIADA CON LA EVENTUAL RUPTURA DE LA REPRESA EL QUIMBO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Tabla 22. Resultados de la modelación para condiciones de flujo permanente y uniforme asociada con la eventual ruptura de la represa el quimbo. Fuente: Elaboración propia

Tramo	Sección transversal	Q Total (m3/s)	Elevación (m)	Línea energía (m)	Velocidad (m/s)	Area mojada (m2)	Ancho superficial (m)	Número de Froude
Quimbo-Betania	12	173401	642,04	652,16	14,16	12575,53	655,43	0,94
Quimbo-Betania	11	173401	630,91	639,24	12,78	13564,24	810,09	1
Quimbo-Betania	10	173401	626,33	633,6	11,94	14520,7	997,37	1
Quimbo-Betania	9	173401	629,87	631,43	5,52	31403,5	1289,4	0,36
Quimbo-Betania	8	173401	623,43	629,76	11,14	15566,78	1226,59	1
Quimbo-Betania	7	173401	620,26	621,42	4,76	36446,11	1505,85	0,31
Quimbo-Betania	6	173401	619,23	620,72	5,41	32027,56	2041,28	0,44
Quimbo-Betania	5	173401	611,62	618,13	11,88	15791,6	1193,53	0,95
Quimbo-Betania	4	173401	601,83	613,15	14,9	11634,88	1306,07	1,59
Quimbo-Betania	3	173401	607,29	609,04	5,86	29608,33	1716,22	0,45
Quimbo-Betania	2	173401	601,5	607,49	10,83	16004,45	1332	1
Quimbo-Betania	1	173401	599,85	604,96	10,01	17321,81	1687,98	1
Quimbo-Betania	0	173401	600,63	605,5	9,77	17743,32	1818,25	1

Para el caso general se debe tener en cuenta que la altura de la lámina de agua aumenta en 15 a 30 m del nivel medio del río Magdalena.

Como se puede apreciar para la mayoría de secciones las velocidades están en el rango de 9.5 a 14-16 m/s exceptuando las secciones 9, 7, 6 y 3; esto se debe a que el valle de inundación en estas zonas es más amplio por ende la velocidad media de la corriente disminuye.

Para tener una mayor comprensión se remite al número de Froude el cual relaciona las fuerzas inerciales y gravitacionales; el número de Froude en la mayoría de casos se encuentra en una zona de flujo cuasi-crítico¹⁰⁹ exceptuando de la sección 4 la cual tiene un número de Froude asociado a 1,59 que se encuentra en un régimen supercrítico.

¹⁰⁹ Se presenta para los casos de $0.7 < Fr < 1.2$

Se tiene que hacer hincapié en que estas velocidades son muy altas respecto al promedio mensual multianual (las probabilidades para que estas velocidades se alcancen son muy baja); adicionalmente con estas velocidades se tiene que considerar que se aumenta considerablemente la capacidad de transporte del río.

Para la zona de llegada del río Magdalena al embalse de Betania se debe que tener en cuenta que se tiene un régimen crítico con una velocidad asociada de 9,77 m/s, la cual es alta respecto a la velocidad media mensual mutianual, por lo tanto es necesario evaluar cuales serían las condiciones hidrodinámicas de la entrada de este caudal a la presa de Betania y sus posibles efectos respecto a la sobrecarga y funcionamiento de la misma.

Conclusiones evaluación de la amenaza por rotura de presa

- Con base en lo consignado en el plan de contingencia ¹¹⁰ NO se evidencia el desarrollo del plan de emergencias para represas en operación y por ende las medidas de contingencia que tendrían que tomar las poblaciones aguas abajo ni el embalse de Betania en caso de la falla de la represa El Quimbo.
- La modelación presentada cuenta con una gran incertidumbre que está asociada con los datos de entrada del modelo y el tipo de modelación (unidimensional); más sin embargo esta se considera como una aproximación preliminar para evidenciar el comportamiento hidrodinámico del flujo asociado a la eventual ruptura de la represa.
- Se puede evidenciar que la lámina de agua por lo general aumenta de 15 a 30 m en un canal ancho¹¹¹ con velocidades para la mayoría del canal oscilan en el rango de 5,86 a 14,16 m/s los cuales son velocidades muy altas en comparación con el promedio mensual multianual que se registra en este tramo del río Magdalena, adicionalmente se tiene que tener en cuenta el transporte de sedimentos asociado a estas altas velocidades y que consecuencias tendría sobre la represa de Betania.
- Los resultados de la simulación para la sección 0 que corresponde a la entrada de la represa de Betania se evidencia que llega en una condición de flujo crítico ($Fr=1,0$) con una lámina de agua 20 metros aproximadamente por encima del lecho y una velocidad de 9,77 m/s, esto tiene serias implicaciones sobre la represa de Betania y en consecuencia se debe evaluar el comportamiento hidrodinámico de la represa de Betania y su estabilidad. Sumado a ello evaluando la conservación de masa, la represa de Betania no tendría la capacidad para evacuar el caudal asociado a la eventual ruptura de la represa del Quimbo, lo cual tendría una falla de tipo funcional y podría ocasionar inundaciones aguas abajo de la represa de Betania.
- Como primera medida y en aras de la elaboración de un plan de contingencia en caso de falla de la represa se sugiere que se desarrolle un estudio de detalle para cuantificar la amenaza asociada a la eventual ruptura de la represa del Quimbo para el río Magdalena en el tramo Quimbo-Betania, el efecto de la llegada de este caudal a la represa de Betania considerando que podría generar fallas de tipo estructural (ruptura de la represa) y/o funcional (rebose de la represa) y finalmente cuantificar la amenaza asociada para el río Magdalena y afluentes aguas abajo de

¹¹⁰ INGETEC. (2008). Estudio de impacto ambiental de proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Revisión 01, Capítulo 09

¹¹¹ Relación entre profundidad ancho y altura de lámina es mayor en una proporción mayor a 7.

la represa de Betania. En segunda medida se considera de vital importancia evaluar y definir un tiempo de respuesta y alertas tempranas para la población aguas debajo de las dos presas en aras de reducir al máximo la pérdida de vidas humanas.

6.3 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO Y CONSIDERACIONES ACERCA DEL ESTUDIO DEL ÁREA

Para abordar inicialmente el estudio hidrogeológico es necesario tener una idea de la ubicación regional del sistema, principalmente en la disposición regional de las capas, y en el grado de fracturamiento. Para lo cual el estudio de los lineamientos a escala de fotografías aéreas o DEM permiten identificar zonas de alto fracturamiento, en este sentido en la siguiente grafica se presenta de una parte la interpretación de lineamientos realizada por el geólogo Julio Fierro y el mapa de densidad de lineamientos construido a partir de ello. Adicionalmente, se indica la ubicación de dos perfiles de escala regional generados a partir de interpretación de secciones sísmicas por Jiménez et al. (2012)¹¹².

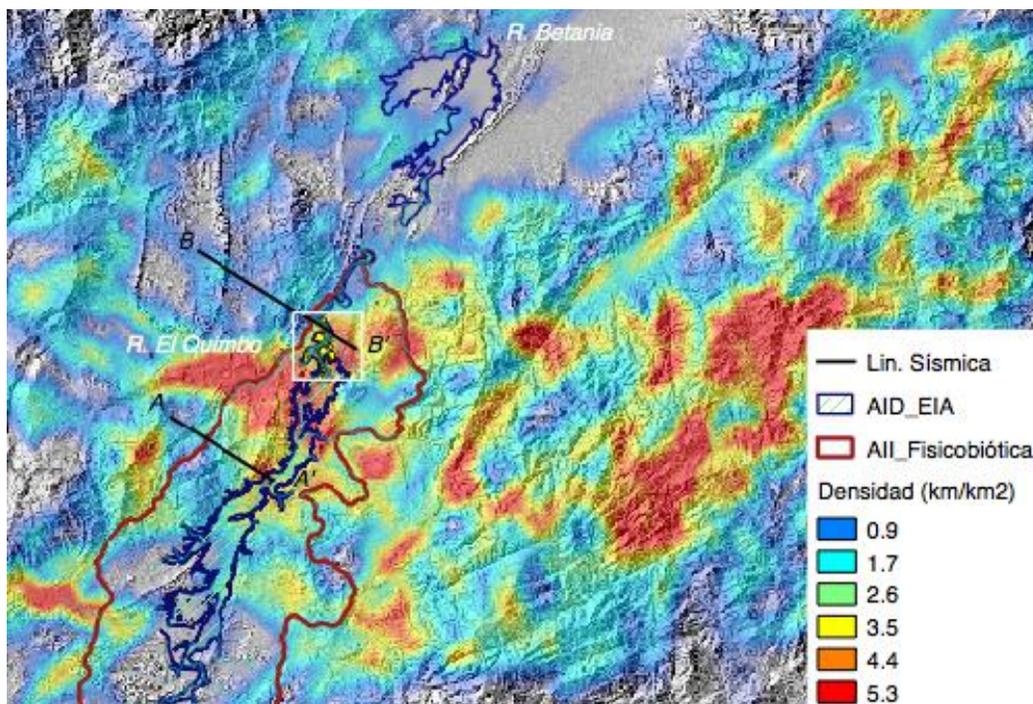


FIGURA 51. INTERPRETACIÓN DE LINEAMIENTOS Y DENSIDAD, EN LA GRÁFICA SE MUESTRA LA UBICACIÓN DE LÍNEAS SÍSMICAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La densidad de fracturas da un indicio de las condiciones de capacidad de infiltración a nivel superficial y es ideal para el estudio de conectividad de fracturas y la relación con sistemas de fallas (Ver Sección 3.2). Las zonas con alta densidad de fractura presentan una disposición en direcciones preferenciales NW-SE y NE-SW concentradas en la ubicación de las estructuras, se evidencia de igual forma la alta concentración en la

¹¹² Jimenez et al. (2012)¹¹², Analysis of curved folds and fault/fold terminations in the southern Upper Magdalena Valley of Colombia, journal of South American Earth Sciences 39 (2012) 184-201.

cordillera oriental. En este sentido el comportamiento y la caracterización hidráulica puede mostrar un comportamiento diferencial en función del grado de fracturamiento, haciendo que las pruebas realizadas por EMGESA (Aunque solo fueron realizadas en las unidades galanday y honda) no representativas de las condiciones de la AII.

En este sentido, al analizar los perfiles (en la siguiente figura) se puede ver en la sección BB' que las estructuras coinciden con una zona con alta complejidad estructural. Basándose en la disposición de las fallas y capas en este punto es de resaltar la orientación vertical con respecto a la superficie del terreno. Este comportamiento debe tenerse en cuenta al momento de realizar pruebas hidráulicas puesto que al realizar las perforaciones verticalmente se estaría analizando principalmente el flujo en la dirección de menor permeabilidad de las capas y perpendicularmente al sistema de fracturas, con mayor incertidumbre en pruebas de corta duración.

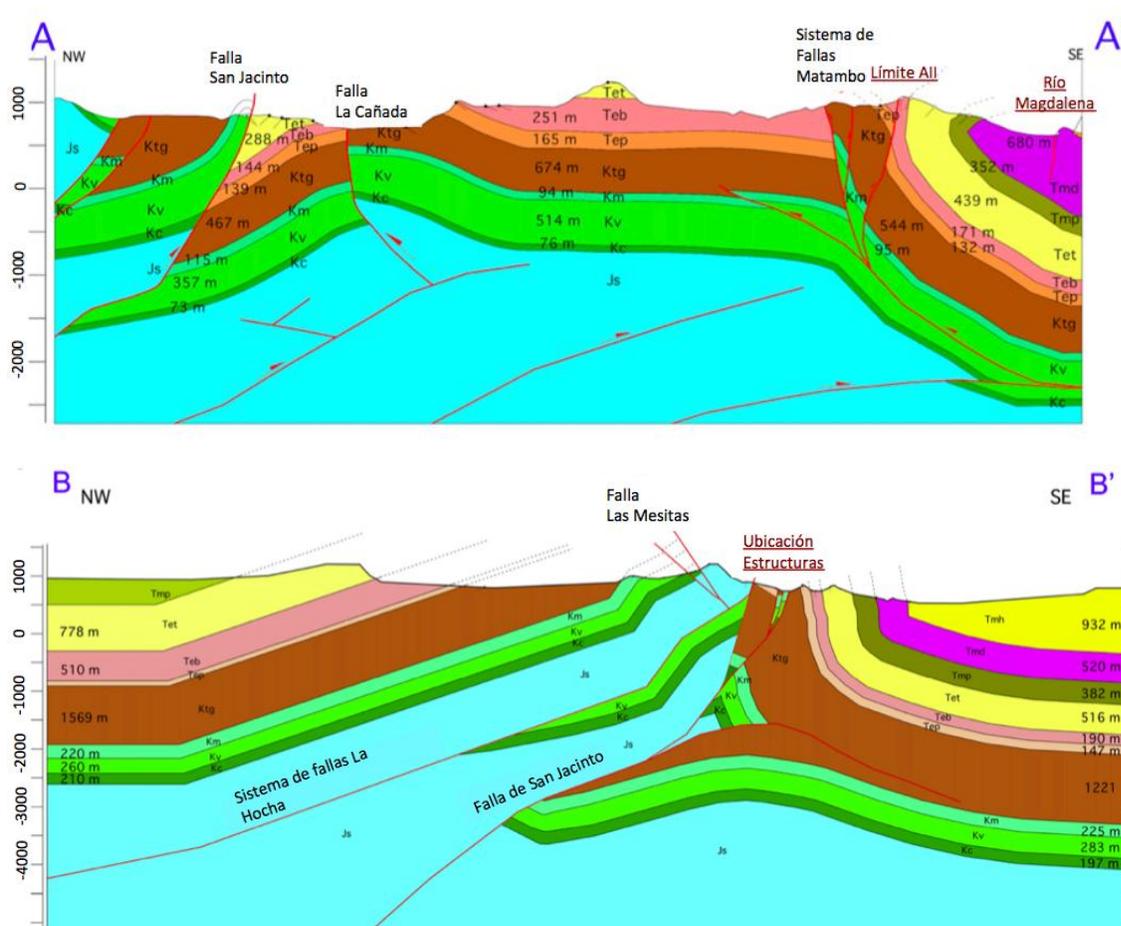


FIGURA 52. INTERPRETACIÓN DE LÍNEAS SÍSMICAS UBICADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO. FUENTE: MODIFICADO DE JIMENEZ, E AL., 2012

De igual forma se puede ver en AA', observando solo la disposición estructural de las capas, que ellas facilitan el flujo y la recarga en el AII hacia la cordillera oriental. Aunque el sistema de fallas no tiene una gran resolución y detalle en el valle del río si plantea la necesidad de realizar un estudio más detallado de las estructuras en esta zona en vista de la carga hidráulica generada por la presa (150m de columna).

Finalmente, a forma de contraste preliminar con este análisis de carácter regional, en el EIA se presenta el índice RQD, el cual da una idea del grado de fracturamiento, ubicado especialmente en la zona de estudio. En las diferentes zonas de estudio se encontró un medio altamente fracturado, con valores de RQD asociados a zonas muy fracturadas, como lo indica el anexo de investigación geotécnica (Anexo 3.2.4 del EIA (2008)), en donde se señala para las perforaciones realizadas en la zona de presa margen derecha y el sitio de máquinas índices menores al 4% y el 6% para cerca del 85% (90m) y 59% (23), lo que indica un medio muy fracturado. Estos índices como los porcentajes de recobro de las represas coinciden con zonas muy fracturadas relacionadas con la alta densidad de líneas identificadas.

Por otro lado, en escala local la orientación el informe EMGESA (2009)¹¹³ indica para las formaciones Gualaday superior (Tgs), Gualanday medio (Tgm) y Onda (Th), que existe un sistema de cuatro discontinuidades, todo esto identificado principalmente por interpretación superficial y datos de las galerías exploratorias. En general del macizo rocoso se tiene J1 con orientación 10-20/80-90, J2 con orientación 260-280/ 70-80, J3 con orientación 280-300/ 70-80, J4 con orientación 200-210/ 80-90, de las diaclasas se menciona en general que son ligeramente abiertas a abiertas con espaciamiento que oscila entre 0.6 a 1m para J1-J3 y mayores a 1 m para J4. En este aspecto no se tiene certeza sobre el condicionamiento de las fracturas a los estratos (posibilidad de generar un volumen elemental de referencia), pero se indica para el sistema J4 la existencia de señales de oxidación, el cual se puede asociar flujo y precipitación de óxido de hierro. De igual forma en el informe se referencia la existencia de zonas de cizalla con espesores entre 10 -50 y tamaños entre 2 a 70 m, muy superiores a los espesores de capas y facilitando la interconexión del medio.

En términos de propiedades hidráulicas los ensayos realizados en EMGESA (2009) señalan valores de 10^{-3} m/s (perforación PT-PA-2) y 1×10^{-5} m/s (perforación PT-C-1), medios a altos, contrastados con valores bajos a muy bajos en las demás perforaciones. Adicionalmente, los registros de niveles de agua realizados durante la perforación muestran una alta variabilidad en el nivel entre diferentes periodos y diferentes profundidades (Anexo perforaciones EMGESA (2009)).

Esto sugiere que el grado de heterogeneidad del medio generado especialmente por el fracturamiento es muy relevante, en especial por la aparente conformación de zonas de intensa deformación. En este sentido resulta necesario realizar un estudio hidrogeológico detallado. Se sugiere, entonces, para profundidades menores a los 100m realizar una caracterización geofísica de detalle orientada a hidrogeología (métodos eléctricos y electromagnéticos) complementada con secciones sísmicas idóneas en la zona y caracterización de macizo rocoso. Luego de conocer mejor la disposición de las estructuras será necesario el desarrollo de pruebas hidráulicas de larga duración con pozos de monitoreo, para de esta forma poder entender la interconexión del sistemas.

6.4 IMPACTOS POR CAMBIOS DE NIVEL FREÁTICO: CASOS DE ESTUDIO

6.4.1 Tubificación

La tubificación se produce cuando el flujo de agua subterránea es tal que se produce un arrastre de material fino del cuerpo de la presa o de la fundación hacia el exterior

¹¹³ EMGESA (2009). Construcción obras civiles principales información de referencia parte 4: Información de geología y geotecnia para obras civiles principales. Informe de licitación.

(estribos, conductos aledaños...). En el caso de que la presa no este diseñada para esto el arrastre de finos produce disminución de las resistencia del material lo que conlleva a la falla de la presa, la cual bien puede ser en el cuerpo de la presa o en la fundación (ICOLD, 2013)¹¹⁴. La USSD (2009)¹¹⁵ con una base de datos de fallas de presas (1158 datos tomados principalmente en E.E.U.U.) muestra, en conjunto con otros tipos de falla típicas como inestabilidad del talud y desbordamiento, que el 50% de las fallas ocurren luego de pasados 50 años de operación siendo la tubificación una de las principales causas. Además, la mayor proporción de fallas ocurren generalmente en los cinco primeros años.

Es de señalar que estos datos tiene un periodo de análisis que va desde los 1850 hasta 1980 principalmente registrados luego de 1900. En este sentido, Foster (ICold, 2013) para la época 1800-1986 con datos del ICOLD, encuentra que de las fallas registradas el 94% corresponde a fallas por erosión, y en particular la tubificación es aproximadamente el 50% de los eventos de erosión. En este sentido es de señalar que para conductividades del orden de 10^{-7} m/s que son las asociadas a la formación Gualanday en el EIA de EMGESA – Ingetec (2008) indican aproximadamente que una gota de agua puede recorrer 3,15m en aproximadamente 1 año, por lo cual el tener unidades con estas conductividades no es garantía de impermeabilidad si se observan las dimensiones de la base de la presa (500m aproximadamente) y su significado en términos de pasivo ambiental.

6.4.2 Cambios en los niveles freáticos e inestabilidad de taludes

Los cambios en los niveles freáticos generan variaciones en las condiciones de equilibrio del sistema: de una parte se tiene un incremento de las presiones internas por aumento de la columna de agua y por otra cambio en las propiedades mecánicas, generando así disminución del factor de seguridad y por tanto posibilidad de deslizamiento de los taludes o activación de procesos morfodinámicos. En este proceso las propiedades mecánicas del subsuelo, ángulo de fricción interna y cohesión, son modificadas de acuerdo a la humedad del suelo. En la siguiente figura se muestra el comportamiento de estas propiedades en función del contenido de humedad (Zhang et al., 2012)¹¹⁶.

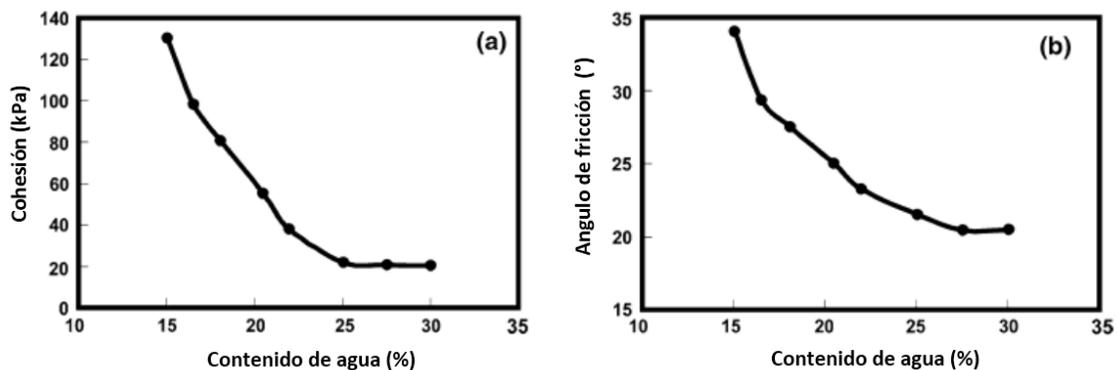


FIGURA 53. CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD. FUENTE:

¹¹⁴ ICOLD(2013), Internal erosion of existing Dams, Levees and dikes, and their foundation

¹¹⁵ USSD(2009), U.S. Society of Dams, Managing our wáter retención systems.

¹¹⁶ Zhang et al.(2012), Impact of reservoir impoundement-caused groundwater level changes on regional slope stability: a case study in the Loess Plateu of weteren China. Environ Earth Sci. 1715-1725.

Entre los casos de estudio más notables se encuentra el del embalse de Vaiont en 1963 en el norte de Italia que generó un efecto en cadena. Inicialmente se desencadenó el deslizamiento, luego la masa deslizada generó un tsunami, y finalmente el tsunami sobrepasó la presa. Afortunadamente esto no causó la falla. El volumen de masa desplazada fue de $2,6 \times 10^8 \text{ m}^3$ y el movimiento tomó 45 segundos entre su inicio hasta que la masa chocó con la cara opuesta del embalse (Ward & Day, 2010)¹¹⁷. Un proceso similar o inducido por los cambios del nivel freático fue reportado y analizado por Zhang et al. (2012) en el embalse Hongzhuang (China), donde se dio la reactivación de un proceso ubicado fuera de la cuenca del embalse, sin embargo, la interconexión de cuencas permite el accenso del nivel freático en un deslizamiento inactivo (Zhaojiaan ubicado fuera del embalse) teniendo como resultado la activación del proceso morfodinámico.

Por otro lado, el abatimiento del nivel freático de forma rápida genera un cambio en la presión de poros, esto se ve ligado con dos procesos, de una parte la consolidación del material y el cambio de las condiciones de esfuerzos a condiciones no drenadas, en este caso la resistencia del material disminuye y el cambio en las propiedades depende de la velocidad con que se cambia el nivel del embalse, en donde el proceso es de especial interés en suelos con presencia de material arcilloso (Berilgen, 2006¹¹⁸; Badillo y Rodríguez, 1997¹¹⁹). En general se encuentra reducción del factor de seguridad para taludes en donde, además del cambio en las propiedades mecánicas, se tiene un aporte en la presión por el flujo inducido. De tal forma que además de un análisis cuidadoso en condiciones estáticas es necesario considerar los cambios en las propiedades mecánicas al generarse cambios súbitos en el nivel del embalse. Algunos casos, principalmente registrados en E.E.U.U. por vaciado rápido son la represa de Pilarcitos al sur de San Francisco, Walter Boudin en Alabama (Berilgen, 2006).

6.4.3 Sismicidad inducida por hidroeléctricas, asociado al flujo preferencial en medios fracturados o calcáreos.

Numerosos casos en China y Brasil muestran que la sismicidad inducida por el llenado de embalses está asociada a diferentes causas, entre las principales se encuentran la geología, la hidrogeología y las fallas geológicas presentes en la zona. Algunos ejemplos de sismicidad inducida son en el embalse de Xinfengjiang, Shenwo, Dahua, Shengjiaxia, entre otros en China (Chen & Talwani, 1998), y Tucuruí, Balbina, Miranda, Yaguari, Grande, entre otros en Brasil (Assumpção, et al., 2002). En el caso de China se encuentran rocas calcáreas e ígneas muy fracturadas en la zona de influencia del embalse. Aunque si bien en la zona se tienen varias fallas cercanas, el principal factor detonante es la geología de la zona, más específicamente los flujos de agua preferenciales y el incremento de presión en los ductos generados en los ambientes kársticos y las fallas. Particularmente para el caso de los ambientes kársticos se tiene el agravante de la disolución de las rocas calcáreas generando colapso de las cavernas y ductos. En estos casos el llenado del embalse fue el detonante principal de los sismos, que se ve reflejado en la correlación que hay entre el incremento de la micro-sismicidad

¹¹⁷ Ward & Day (2010), The 1963 landslide and flood at Vaiont reservoir Italy. A tsunami ball simulation. Ital.J.Geosci.vol 130, No. 1.

¹¹⁸ Berilgen (2006), Investigation of stability of slopes under drawdown conditions, computer and geotechnics, 34, 81-91.

¹¹⁹ Badillo y Rodríguez (1997), Mecánica de suelos, Tomo 1, fundamentos de mecánica de suelos. Limusa

somera en cercanías del embalse y el nivel del embalse en el proceso de llenado, en el caso del embalse Xinfengjiang (China) encontrándose como valor pico un sismo de Ms 6.1 somero (Chen & Talwani, 1998).

En este fenómeno se tienen asociados dos mecanismos de generación: el primero es el incremento de presión de poros generados por el llenado del embalse y los flujos preferenciales producto del incremento de presión, y el segundo es la sobre carga por sí sola. De acuerdo con esto para una evaluación adecuada de los mecanismos de generación es necesario tener un entendimiento de la hidrogeología, la geología y la geomecánica de la zona. Con esta información primaria se puede llegar a disminuir la incertidumbre en la generación de sismos por el llenado del embalse y no el monitoreo una vez se comience con el llenado.

6.5 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

6.5.1 Exposición

De acuerdo con el numeral 10, artículo 3, Ley 1523 de 20129: *“Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza”.*

En este sentido, para establecer la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos, localizados dentro del área de afectación hipotética de inundación, es necesario realizar un inventario y caracterización en campo o contar con información proveniente del expediente ambiental del proyecto.

Como resultado se encontró que los municipios que se verían expuestos a un evento de inundación súbita, considera la falla en cadena de los embalses del Quimbo y Betania, son: Tesalia, Potrerillos, Hobo, Yaguara, Palermo, Rivera y Neiva, no se encuentran incluidos dentro del área de influencia directa del proyecto en su totalidad, por lo tanto carecen de identificación y caracterización social.

6.5.2 Vulnerabilidad física:

Dado que el área considerar no se encuentra dentro del área de influencia directa del proyecto en su totalidad, no fue posible cuantificar la vulnerabilidad de los elementos expuestos a partir del censo realizado por EMGESA dentro de los procesos licenciamiento ambiental. Sin embargo, es importante mencionar que el tramo del Río Magdalena que corresponde entre el proyecto El Quimbo y el embalse de Betania, no se evidencia la presencia de viviendas o infraestructura a partir de las imágenes satelitales.

Sin embargo esta información, debe ser verificada en campo, e incluyendo los elementos expuestos aguas debajo del embalse de Betania, considerando la falla en cadena que podría generar el colapso del proyecto del “El Quimbo”, donde se debe incluir, áreas de destinada a actividades rurales, como pesca, agricultura, ganadería entre otras.

6.5.3 Vulnerabilidad social:

Entendiendo la vulnerabilidad social, como la capacidad propia que posee la comunidad de enfrentar y recuperarse frente a un desastre natural, indistinto de sus ingresos económicos y dependiente de las condiciones que se encuentre el tejido social, en el área

de afectación, ya que genera pérdidas tangibles e intangibles, como se describe a continuación:

Tabla 23. Efecto de desastres naturales sobre el bienestar social y económico¹²⁰

<i>Consecuencias</i>	<i>Medida</i>	<i>Pérdidas</i>	
		<i>Tangibles</i>	<i>Intangibles</i>
Muertes	Número de personas	Pérdidas económicas de las actividades individuales	Efecto psicológico y social en la comunidad
Heridos	Número de heridos de gravedad	Necesidad de tratamientos médicos, pérdida temporal de las actividades económicas individuales.	Pena social y psicológica y reconocimiento.
Daños psicológicos	Inventario de daños a elementos de acuerdo con el nivel de afectación.	Costos de remplazo y reparación.	Perdidas culturales
Operación de emergencia	Volumen de trabajo, días laborales, equipos y recursos	Costos de movilización, inversión en capacidad de preparación.	Estrés y trabajo en exceso relevando a los participantes
Interrupción de la economía	Número de días labores; volumen de pérdidas en la producción	Valor de las pérdidas en la producción	Oportunidades, competitividad y reputación.
Interrupción social	Número de personas desplazadas, personas sin hogar	Albergues temporales, producción económica, moral de la comunidad.0	Cohesión, contacto social, bienestar social y psicológico.
Impactos ambientales	Escala y la severidad	Costos de limpieza y restauración.	Generación de posibles desastres y riesgos sobre la salud.

De igual forma, como se identificó en la evaluación de vulnerabilidad física, en la actualidad se carece de la información para su análisis, ya que el área de influencia de la posible inundación esta por fuera del área de influencia directa del proyecto del “El Quimbo”, la cual fue objeto de censo y caracterización socio – económica y cultural, con algunas deficiencias denunciadas por la Contraloría General de la Nación en el año 2013.

Por tal razón, se puede incluir en términos de vulnerabilidad física y social, la población localizada aguas debajo de los embalses del El Quimbo y Betania, que ante la ausencia de caracterización dentro de la línea de base del proyecto (EIA, 2008), aumenta su vulnerabilidad de verse afectada por este tipo de evento.

Por lo anterior, se considera que el grado de vulnerabilidad es alto, bajo el nivel de incertidumbre que existe frente a su caracterización.

¹²⁰ Ademola A. et al., (2016). Effects of natural disasters on social and economic well-being: A study in Nigeria. International Journal of Disaster Risk Reduction 17 (2016) 1-2.

6.6 CONFIGURACIÓN DEL RIESGO

Como resultado de la caracterización de amenaza y vulnerabilidad (física y social) descrita anteriormente, se puede concluir que el nivel de riesgo de desastre por falla súbita de la presa y obras principales a que se ve expuesta la población y ecosistemas aguas abajo del proyecto hidroeléctrico el Quimbo es ALTO, como consecuencia del nivel de incertidumbre que se posee, una vez analizado de forma detallada la información existente en el Expediente Ambiental del proyecto hidroeléctrico “El Quimbo”.

Por otra parte, es importante mencionar que: las incertidumbres identificadas son subsanables una vez EMGESA presente estudios técnicos complementarios, anexas información en el Expediente Ambiental o realicen actividades complementarias para garantizar un mínimo de incertidumbres, la estabilidad de las obras principales y la vida útil del proyecto.

Sin embargo, es necesario recordar que todo proyecto de infraestructura de este tipo posee un riesgo inherente, el cual es necesario gestionar y manejar con los diferentes actores, con el fin de prevenir y preparar a la población y entes territoriales frente un potencial desastre, como lo indica el ciclo de la gestión de riesgo de desastre.

En este sentido, de acuerdo con el Artículo 42 de la Ley 1523 de 2012, los responsables de realizar los Análisis específicos de riesgo y planes de contingencia, son entidades públicas o privadas encargadas de la prestación de servicios públicos, como se describe a continuación:

“Artículo 42. Análisis específicos de riesgo y planes de contingencia. Todas las entidades públicas o privadas encargadas de la prestación de servicios públicos, que ejecuten obras civiles mayores o que desarrollen actividades industriales o de otro tipo que puedan significar riesgo de desastre para la sociedad, así como las que específicamente determine la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, deberán realizar un análisis específico de riesgo que considere los posibles efectos de eventos naturales sobre la infraestructura expuesta y aquellos que se deriven de los daños de la misma en su área de influencia, así como los que se deriven de su operación. Con base en este análisis diseñará e implementarán las medidas de reducción del riesgo y planes de emergencia y contingencia que serán de su obligatorio cumplimiento”.

Es decir en este caso EMGESA, lo cual se deberá realizar de forma coordinada e integral con los entes territoriales (gobernación, alcaldías municipales, corporación autónoma regional, e institutos de investigación a nivel nacional como el IDEAM y el SGCy la población en general), con el fin de dar cumplimiento con lo establecido frente a los principios de solidaridad, protección, precaución, sostenibilidad ambiental, gradualidad, coordinación, concurrencia y subsidiaridad y oportunidad de información que menciona el Artículo 3 de la Ley 1523 de 2012.

Finalmente, se considera necesario calcular el costo asociado al riesgo de desastre, considerando el impacto físico, social, ambiental y administrativo que generaría este tipo de eventos, con el fin de establecer estrategias frente a la toma de decisiones de las autoridades territoriales.

6.7 IMPLICACIONES EN LA GESTIÓN DEL RIESGO EN EL TERRITORIO

De acuerdo a la Ley 1523 de 2015, por la cual, adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de

Desastres y se dictan otras disposiciones, así como la Sección 3 – Incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial, del Título 2 del Decreto 1077 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, los Gobernadores y Alcaldes son responsables de la gestión del riesgo de desastres en su territorio y su incorporación en los instrumentos de ordenamiento territorial, como se transcribe a continuación:

Ley 1523 de 2012

Artículo 13. *Los Gobernadores en el Sistema Nacional.* Los gobernadores son agentes del Presidente de la República en materia de orden público y desarrollo, lo cual incluye la gestión del riesgo de desastres. En consecuencia, proyectan hacia las regiones la política del *Gobierno Nacional* y *deben responder por la implementación de los procesos de conocimiento y reducción del riesgo y de manejo de desastres en el ámbito de su competencia territorial.*

Parágrafo 1°. *Los Gobernadores como jefes de la administración seccional respectiva tienen el deber de poner en marcha y mantener la continuidad de los procesos de gestión del riesgo de desastres en su territorio, así como integrar en la planificación del desarrollo departamental, acciones estratégicas y prioritarias en materia de gestión del riesgo, especialmente a través del plan de desarrollo departamental y demás instrumentos de planificación bajo su responsabilidad.*

Parágrafo 2°. *Los gobernadores y la administración departamental son la instancia de coordinación de los municipios que existen en su territorio. En consecuencia, están a cargo de las competencias de coordinación, concurrencia y subsidiariedad positiva respecto de los municipios de su departamento.*

Artículo 14. *Los Alcaldes en el Sistema Nacional.* Los alcaldes como jefes de la administración local representan al Sistema Nacional en el Distrito y el municipio. El alcalde, como conductor del desarrollo local, es el responsable directo de la implementación de los procesos de gestión del riesgo en el distrito o municipio, incluyendo el conocimiento y la reducción del riesgo y el manejo de desastres en el área de su jurisdicción.

Decreto 1077 de 2015

ARTÍCULO 2.2.2.1.3.1.1 *Objeto y ámbito de aplicación.* Las disposiciones contenidas en el presente capítulo establecen las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial municipal y distrital o en la expedición de un nuevo plan.

En este sentido, es fundamental conocer las áreas que se verían afectados por una posible inundación ante la falla de las obras principales de la represa del Quimbo y Betania, con el fin que este sea incorporado a los planes de ordenamiento territorial de los municipios que se verían afectados ante este evento, en la revisión de corto, mediano o largo plazo, de acuerdo a la vigencia de los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios que se verían potencialmente afectados. Lo anterior, considerando, establecer como zonas de riesgo no mitigable, el área que se inundada frente a una falla súbita de las estructuras del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, e incorporándolos a los

instrumentos de ordenamiento como área de protección donde se restringe la posibilidad de urbanizarse y usos distintos a la conservación ambiental, tal como lo estipula el artículo 35 de la Ley 388 de 1997.

Por lo anterior, es fundamental, que la EMGESA como responsable del proyecto hidroeléctrico “El Quimbo”, realice las siguientes actividades:

- Lleve a cabo los estudios detallados para la zonificación de riesgo por inundación súbita generada por la falla de las estructuras principales de este proyecto, con el fin que éste sea incorporado en los planes de ordenamiento territorial de los municipios afectados y en los planes municipales de riesgo de desastre.
- Establecer un plan de contingencia consideración inundación súbita generada por la falla de las estructuras principales de este proyecto, donde se incluya Plan de Alertas Tempranas, Plan de Monitoreo, definición de acciones de respuesta inmediatas, preventivas y prospectivas, identificación de actores y establecer umbrales de riesgo.
- Consideraciones frente eventos de sequía, establecer los niveles mínimos del río Magdalena, y su relación con las actividades productivas de los habitantes del área de influencia frente este fenómeno.



7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES