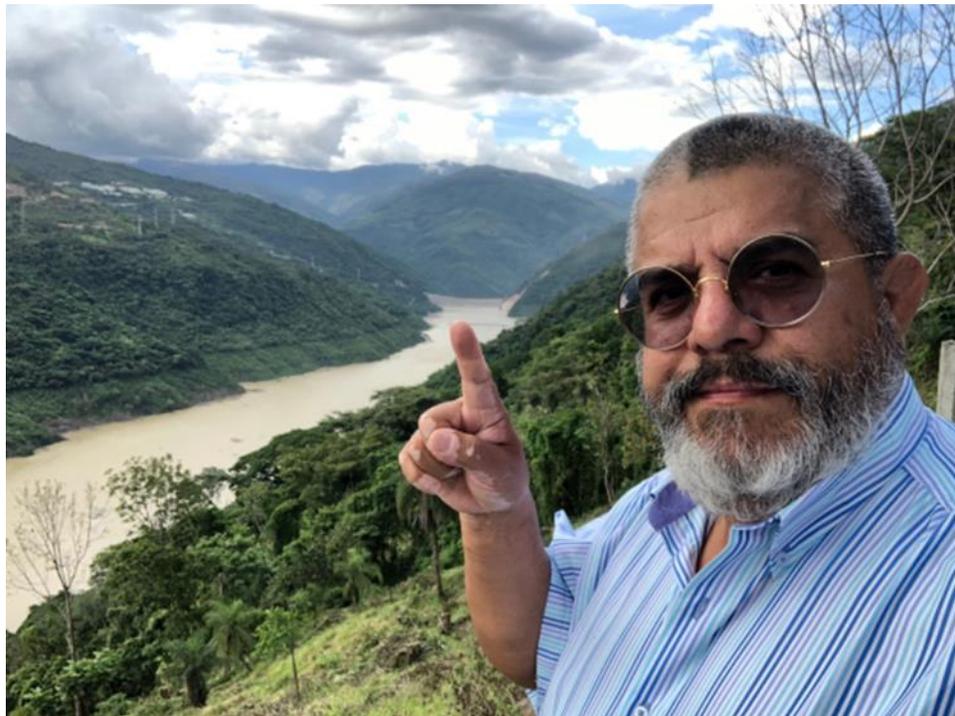




UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Departamento de Geociencias

Hidroituango: ¿Qué pasó, por qué pasó, ¿qué está pasando y qué podría pasar?



Modesto Portilla Gamboa¹

Profesor del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia –
Bogotá

INTRODUCCIÓN

Para la explicación y comprensión del tema del asunto, esto es, el del título de este documento, lo que sucedió, lo que está sucediendo y lo que probablemente suceda en el proyecto hidroeléctrico Pescadero – Ituango (Hidroituango), este caso de estudio se debe analizar como un sistema

¹ Doctor en Ingeniería del Terreno, Universidad Politécnica de Cataluña; Máster en Geotecnia, Universidad Nacional de Colombia; Especialista en Evaluación de Riesgos y Prevención de Desastres, Universidad de Los Andes; Geólogo, Universidad Industrial de Santander; y, Profesor del Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, Geología Ambiental desde hace 21 años.



complejo conformado en principio por cuatro grandes componentes interrelacionados entre sí: geológico, geotécnico, ingenieril y, el más importante, el del riesgo.

Se describe a continuación cada uno de estos componentes, a través de lo cual se responden las preguntas formuladas en el título. La descripción se realiza con base en datos del trabajo de campo realizado en el área del embalse (16 al 20 de Mayo de 2018), recopilación y análisis de información a partir de fuentes secundarias directamente pertinentes al proyecto Hidroituango y mediante la consulta de trabajos técnicos relacionados con el objeto de estudio.

Inicialmente se presentan las generalidades pertinentes al proyecto que son de importancia en el desarrollo y entendimiento del documento, luego se presentan las características geológicas y geotécnicas propias de la zona de la presa, posteriormente se describen los aspectos ingenieriles y al final del documento se presentan las respectivas conclusiones, observaciones y preguntas asociadas.

1. GENERALIDADES

El proyecto hidroeléctrico Pescadero-Ituango (Hidroituango), está localizado en el noroccidente colombiano (Figura 1), a 170 kilómetros al norte de Medellín (Departamento de Antioquia), a donde se llega siguiendo la vía terrestre Medellín-Girardota-Santa Rosa de Osos-Llanos de Cuiva-San Andrés de Cuerquia-El Valle de Toledo (Figura 2). Desde este último poblado se accede al sector del embalse por la vía El Valle – Ituango hasta el puente Pescadero (7 km al sur del muro) y por la vía nueva al sitio de presa desde El Valle a 12,5 km desde este último poblado.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Departamento de Geociencias



Figura 1. Localización proyecto hidroeléctrico Pescadero – Ituango

(<https://www.theguardian.com>)



Figura 2. Ruta de acceso al proyecto hidroeléctrico Pescadero – Ituango

Carrera 30 No. 45-03, **FACULTAD DE CIENCIAS EDIFICIO - MANUEL ANCÍZAR**, Edificio 224, 3 piso, Oficina 328
Teléfono: (57-1) Fax: 316 5390 *Conmutador*: (57-1) 316 5000 Ext. 16541 - A.A. 14490-5997
Correo electrónico: mportillag@unal.edu.co/ Bogotá, Colombia, Sur América



Hidroituango represa al río Cauca desde la desembocadura del río Ituango hasta Liborina formando un embalse de aproximadamente 80 kilómetros de largo, con profundidades de hasta 190 metros y ancho variable de 500 a 1000 metros, lo cual genera un volumen de hasta 2.750 millones de metros cúbicos, inundando un área cercana a los 45 km² (Figura 3).

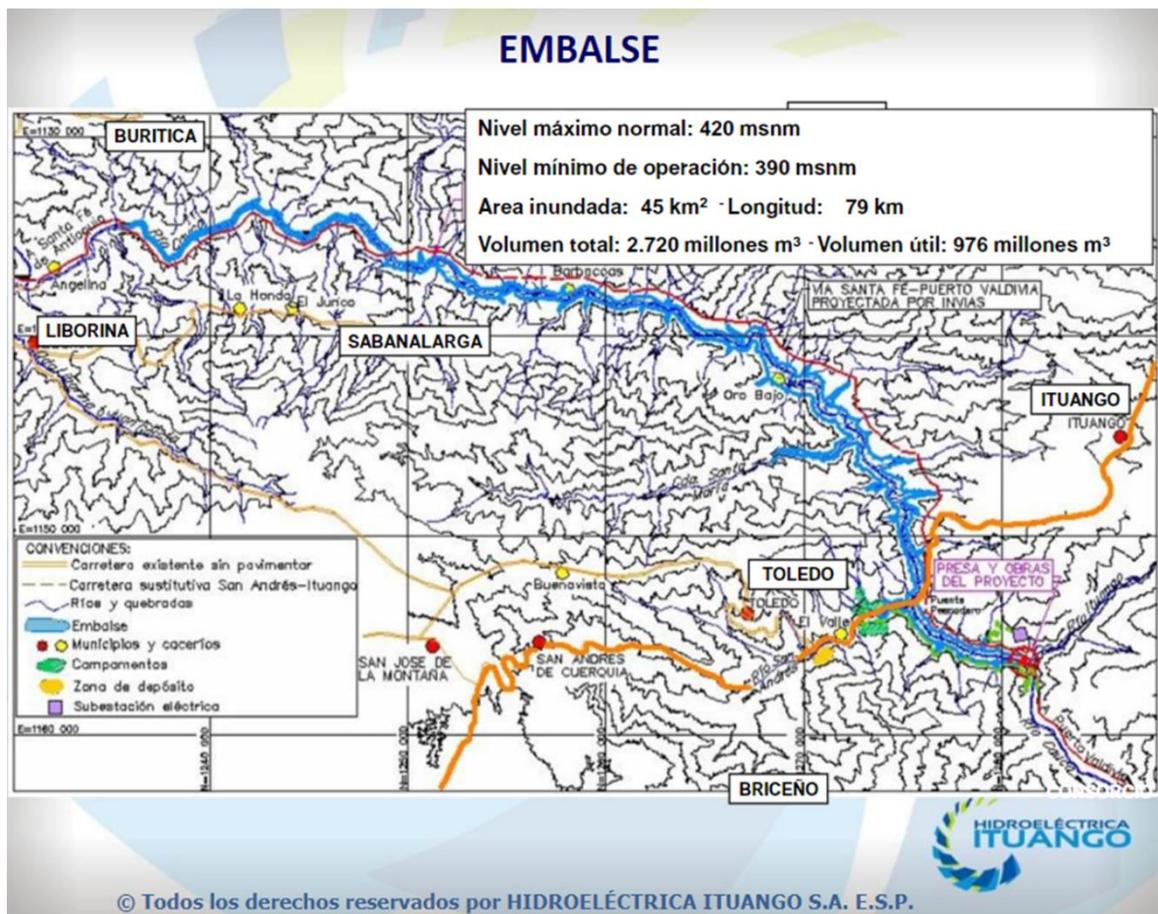


Figura 3. Área del embalse Hidroituango (Tomado de Hidroituango S.A. E.S.P., 2012)

Normalmente las represas embalsan ríos que drenan microcuencas; sin embargo, Hidroituango represa casi la totalidad de la cuenca hidrográfica del río Cauca, que nace a 1200 kilómetros de distancia, en la Laguna El Buey (Páramo de las Papas, Macizo Colombiano), englobando los



drenajes de la vertiente oriental de la Cordillera Occidental y los de la vertiente occidental de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos (Figura 4).



Figura 4. Cuenca del río Cauca hasta el embalse de Hidroituango

Esta atipicidad de un proyecto hidroeléctrico conlleva a una alta variabilidad espaciotemporal en la distribución de las lluvias, materia prima del proyecto, sobre todo en zonas intertropicales, como es el caso colombiano.

2. COMPONENTE GEOLÓGICO

El muro del proyecto hidroeléctrico Hidroituango se construyó sobre rocas metamórficas tipo gneis cuarzo-feldespático de aspecto esquistoso con bandas micáceas moscovíticas (Promotora de la Hidroeléctrica de Pescadero – Ituango S.A. E.S.P., 1999). Estas rocas constituyen el basamento sobre el cual se construyeron las obras subterráneas de Hidroituango, agrupándose geológicamente



en el denominado Grupo Valdivia de edad Paleozoico-400/500 millones de años (Figura 5), con un alto grado de meteorización en los primeros 10 a 50 metros de profundidad, estando generalmente recubiertas por derrubios de vertientes y acumulaciones coluviales de edad Cuaternario (0/2,6 millones de años).

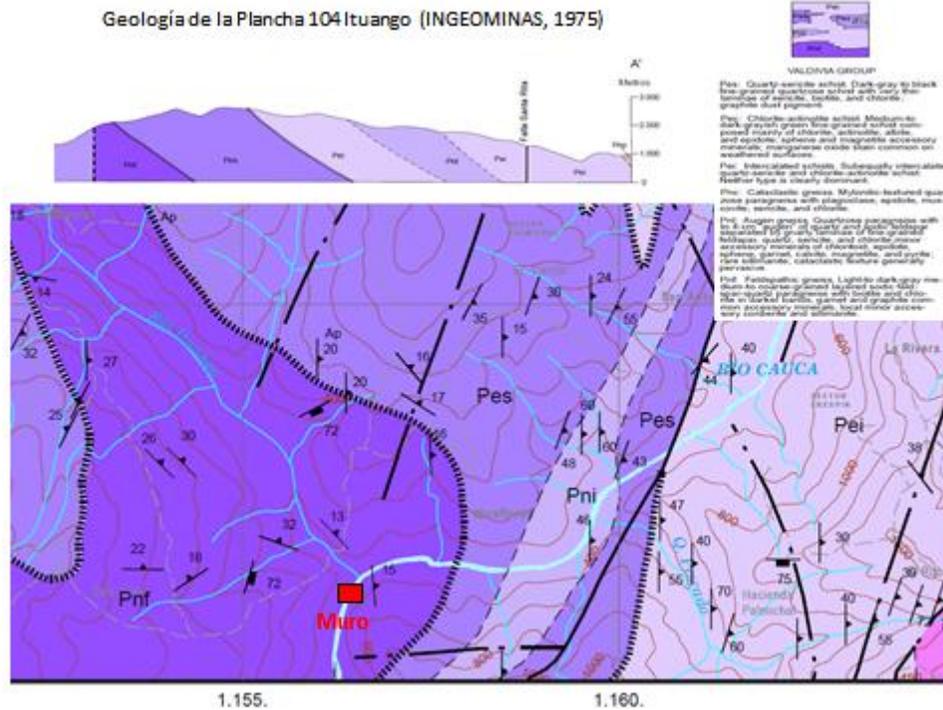


Figura 5. Geología de los alrededores del embalse Hidroituango

Fisiográficamente el área del embalse presenta una zona encañonada del río Cauca, con pendientes empinadas en la margen derecha del cauce del río y moderadas en la vertiente izquierda, sobre las cuales crecía una vegetación arbórea nativa no intervenida y procesos de potrerización en las partes altas de baja pendiente topográfica (Figura 6).



Figura 6. Zona del proyecto Hidroituango desde la desembocadura del río Ituango (sector central inferior) en el río Cauca hasta la confluencia del río San Andrés en Pescadero (extremo derecho superior) (Hidroituango S.A. E.S.P., 2012)

Durante el transcurso del tiempo geológico (millones de años) han actuado procesos orogénicos (formación de montañas) y tectónicos (Fallas Geológicas) que les han imprimido un alto grado de deformación y fracturamiento a las rocas aflorantes en la zona de interés, dando aspectos conforme se observa en la Figura 7.



Figura 7. Grado de fracturamiento superficial de las rocas gnéicas en las proximidades del muro de Hidroitungo (Foto: Modesto Portilla Gamboa).

Los procesos de meteorización y erosión, producto de la acción de los agentes atmosféricos sobre esas rocas, han dado origen a:

- 1) Perfil de meteorización con rocas gnéicas duras (“roca fina”) al interior de montaña y unos 40 metros de espesor de roca gnéica meteorizada (“roca boba”) hacia la parte superior del macizo rocoso.
- 2) Formación de depósitos de material suelto, que cubren las rocas gnéicas, conformado por bloques de roca embebidos en un material areno-arcilloso, denominados Depósitos No Litificados, de unos 30-50 metros de espesor.



- 3) Desarrollo de una capa de suelo a partir de la meteorización de los dos tipos de materiales (1 y 2), sobre la cual crece la vegetación y se desarrollan las actividades ecosistémicas de los seres del área de influencia del proyecto Hidroituango.

En este componente, es muy importante hacer la anotación que Hidroituango S.A. E.S.P. y las Empresas Públicas de Medellín (EPM) conocían antes del inicio de la construcción del proyecto hidroeléctrico las condiciones geológicas de la zona (Figura 8), aunque desafortunadamente ignoraron la existencia de los Depósitos No Litificados de amplia extensión en la zona del embalse, los que son evidentes a partir de un análisis geomorfológico básico de la Figura 6 y que de todas formas ya habían sido reportados cartográficamente por Woodward-Clyde Consultants (1980) en los estudios previos de este proyecto hidroeléctrico.

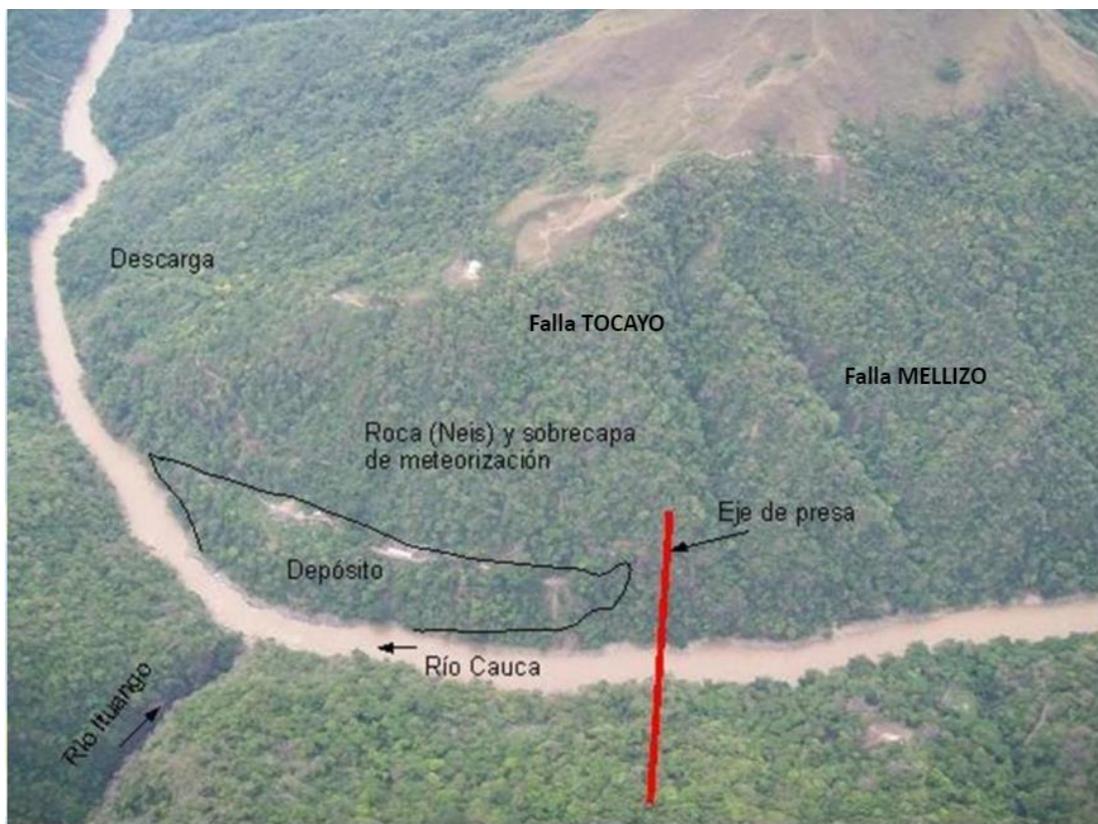


Figura 8. Algunas características geológicas de la zona del muro (Fuente: Hidroituango S.A. E.S.P., 2012).



Las fallas geológicas que transcurren por el área de influencia del proyecto (Figura 9) corresponden al principal sistema tectónico de Colombia: el Sistema de Fallas de Cauca-Romeral; al cual están asociadas regionalmente las fallas de Santa Rita Oeste y Este, que transcurren en dirección N10-15E sobre y en cercanías del cauce del río Cauca, entre el Puente de Pescadero y el muro; y, transversalmente a estas fallas de Santa Rita, atravesando le macizo rocoso del estribo derecho del muro, las fallas Tocayo y Mellizo orientadas en dirección Noreste-Suroeste (Figura 8). Estas fallas geológicas se formaron desde el nacimiento de las rocas que están afectando, hace unos 400-500 millones de años, y las más recientes de ellas no son más jóvenes de 2-5 millones de años.

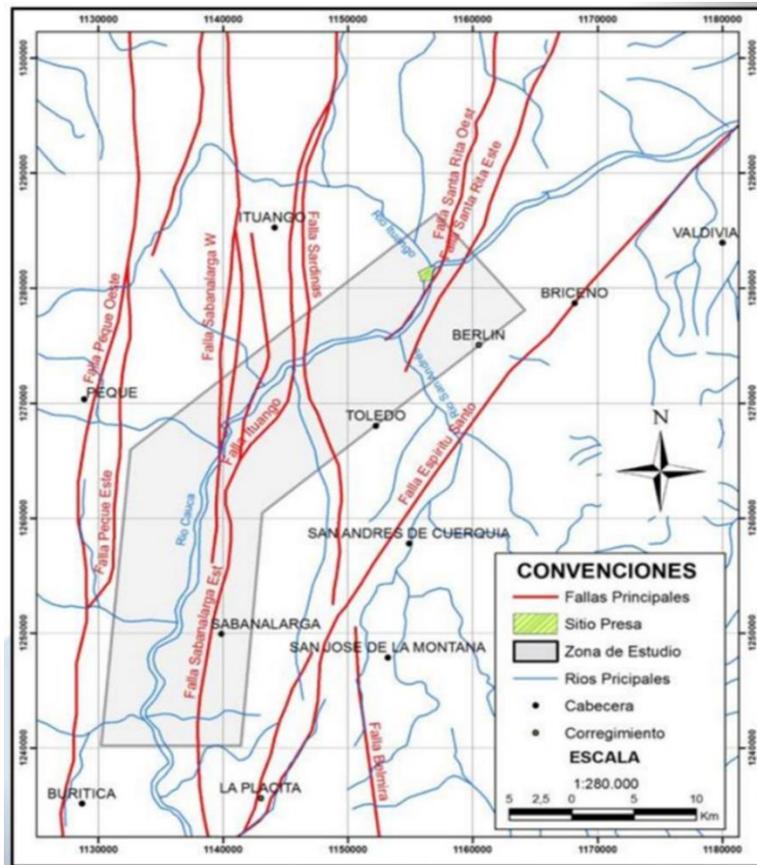


Figura 9. Principales fallas geológicas que transcurren por el área de influencia del proyecto hidroeléctrico Hidroituango (Fuente: Hidroituango S.A. E.S.P, 2012).

Eso sí, las fallas de Santa Rita muestran evidencias de campo que permiten clasificarlas como tectónicamente activas (Woodward-Clyde Consultants, 1980), así como también lo son otras fallas



geológicas de la zona (Sociedad Hidroeléctrica Pescadero Ituango, 2007), cuya actividad sísmica detonó movimientos en masa recurrentes de gran magnitud en los últimos 1500 años, como es el caso específico del flujo de detritos El Guásimo localizado a 50 kilómetros al suroeste del sitio del muro de Hidroitungo (Figura 10) y muy probablemente los grandes movimientos en masa de la región: El Llano, Playa Negra y los de la parte baja del río San Andrés.



Figura 10. Vista aérea del flujo de detritos El Guásimo (Fuente: Hidroitungo S.A. E.S.P., 2012).

3. COMPONENTE GEOTÉCNICO

En la zona de Hidroitungo se tiene un macizo rocoso altamente fracturado con cobertera de Depósitos No Litificados (materiales sueltos) y suelos sobre los que crece la vegetación; además, es importante mencionar nuevamente que las rocas gnéicas se encuentran meteorizadas en los primeros 40 metros de profundidad, lo que las hace más débiles y susceptibles a la desestabilización. Sobre y al interior de este macizo rocoso, los ingenieros de Hidroitungo - EPM, construyeron vías de acceso, explanaciones, graderías, portales de entrada y de salida de túneles y galerías; entre los que se encuentran los túneles de desvío del río y la galería auxiliar de desviación del agua del embalse mientras se construía la presa y demás obras conexas.

Desde el punto de vista geotécnico, cuando se construye el muro, las rocas que estaban a un nivel de esfuerzos natural, se reacomodan; y, cuando se hace la perforación para los túneles, se da un



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Departamento de Geociencias

relajamiento de los esfuerzos y comienza una situación nueva para el macizo rocoso: la descompresión de las paredes rocosas alrededor del túnel (zona de daño alrededor de la excavación – Lisjak et al, 2014) y un mayor grado de fracturamiento que el natural previo a la perforación y avance del túnel (Figura 11).



Construcción Túnel de desviación Derecho

Figura 11. Grado de fracturamiento y estado general del macizo rocoso al interior de la montaña antes de que por él fluyera agua desde el embalse (Fuente: Hidroituango S.A. E.S.P., 2012).

El proceso de apertura de obras subterráneas y superficiales conlleva a un debilitamiento de la resistencia del macizo rocoso, al incremento de la permeabilidad y los consecuentes problemas geotécnicos por el incremento de la susceptibilidad a la desestabilización (Barton, 2013; Hoek and Martin, 2014).

Las rocas gnéissicas, al humedecerse, disminuyen su resistencia en aproximadamente una tercera parte (Broch, 1979; Figura 12), pudiendo llegar a disminuirse hasta la mitad de la resistencia inicial (Russenes, 1974; en Broch, 1979). Adicionalmente, al someterlas a flujo de agua a presión, la



resistencia continúa disminuyendo entre un 3% y 6% por cada MPa de incremento en la presión del agua hasta alcanzar la falla a largo plazo (Liu and Xu, 2015; Liu et al, 2016).

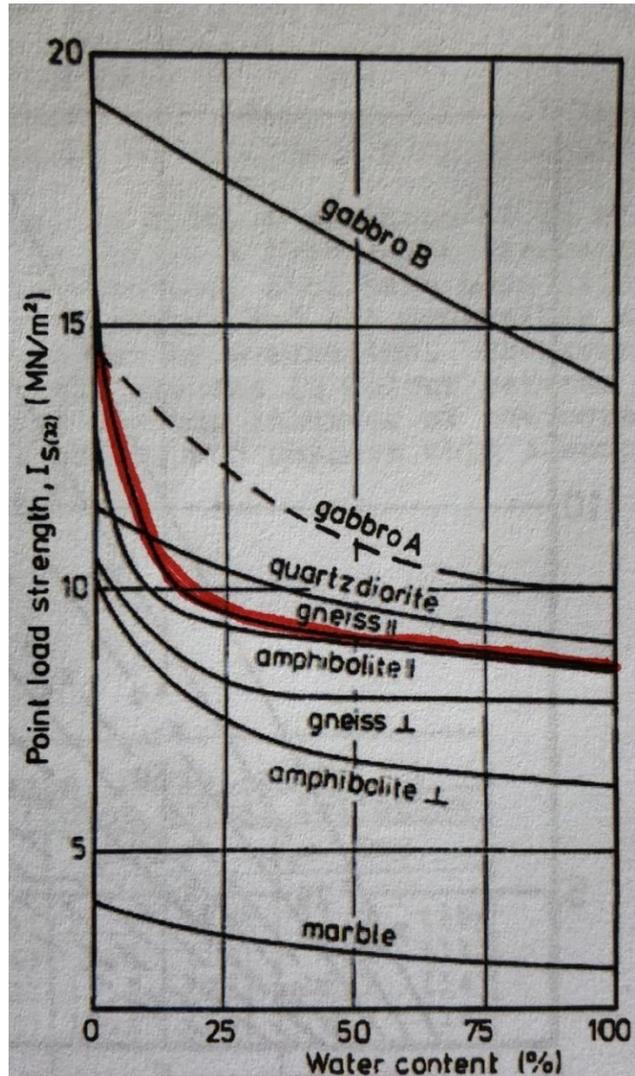


Figura 12. Disminución de la resistencia de diferentes tipos de rocas en función del grado de humedad, donde se resalta en color rojo el caso de rocas metamórficas tipo gneis (Tomado de Broch, 1979).

De acuerdo a los estudios geotécnicos realizados durante la etapa de factibilidad de proyecto Hidroituango, la resistencia a la compresión simple del macizo rocoso (de acuerdo al criterio de Hoek



y Brown) sobre el cual se realizaron las obras subterráneas es de $200,18 \text{ kg/cm}^2$ (19,63 MPa) y de $92,33 \text{ kg/cm}^2$ (9,05 MPa) para el caso de la roca meteorizada o suelo (Promotora de la hidroeléctrica de Pescadero – Ituango S.A. E.S.P., 1999); sin embargo, según los datos presentados en el documento del Estudio de impacto Ambiental, 5 ensayos de compresión simple sobre núcleos de roca obtenidos de las perforaciones, las resistencias medidas variaron entre 42 y 121 MPa (Sociedad Hidroeléctrica Pescadero Ituango, 2007).

Finalmente, en este componente, es importante anotar que la orientación de los planos de las discontinuidades del macizo rocoso (N10E/70NW) comparadas cinemáticamente con la orientación de la vertiente derecha del cañón del río Cauca (Figura 13), hace que esta zona sea susceptible a movimientos en masa y que, por lo tanto, en caso de aplicarle fuerzas, como lo sería la presión del agua y/o la ocurrencia de un sismo, conllevaría a la probable falla geotécnica del macizo rocoso.



Figura 13. Orientación de las discontinuidades del macizo rocoso y de la vertiente derecha del cañón del río Cauca (Foto de fondo tomada de Hidroituango S.A. E.S.P, 2012)



4. COMPONENTE INGENIERÍA

Técnicamente la construcción de una hidroeléctrica inicia con las obras de acceso al sitio de la represa; luego se lleva a cabo la construcción de las obras de desviación del agua del río que se quiere represar y demás obras ingenieriles del proyecto (subterráneas y de superficie; U.S. Army Corps of Engineers, 2004). Adicionalmente, una actividad clave, y obligatoria, que debe realizarse antes de iniciar el llenado de un embalse es el retiro de la cobertura vegetal existente en la zona que va a quedar inundada como consecuencia del llenado, cuestión que no ocurrió en Hidroituango donde se dejaron las ramas de la tala de los árboles sobre las laderas de la montaña (Figura 14).



Figura 14. Ramas de árboles sobre las laderas de las vertientes del embalse (Foto: Modesto Portilla Gamboa).

Una vez se ha construido la totalidad de estas obras, se inicia el llenado controlado de la represa, mediante la operación técnica del cierre de las compuertas de los túneles de desviación, proceso en el cual se pone a prueba el correcto funcionamiento de la infraestructura construida; después, se debe desembalsar lentamente por completo la represa de forma controlada, nuevamente mediante la operación de las compuertas de los túneles de desviación y las de los de captación-conducción a



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Departamento de Geociencias

la casa de máquinas; finalmente, una vez hechos los ajustes del caso a la infraestructura construida, se realiza el proceso de llenado definitivo del embalse para dar inicio a la generación oficial de la energía, su conducción y comercialización respectiva.

De acuerdo a las características técnicas de las obras de desviación de Hidroituango (Ministerio del Medio Ambiente, 2001): “Al concluir la construcción de la presa los túneles se sellarán con tapones de concreto.” y “Para mantener un caudal en el río Cauca durante el primer llenado del embalse, se proyecta una descarga de fondo controlada mediante compuertas localizadas en las estructuras de salida.”. Este procedimiento, en términos específicos está contemplado en lo presentado en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto (Sociedad Hidroeléctrica Pescadero Ituango, 2007), donde claramente se explicita el procedimiento técnico de la manera que se puede leer en la Figura 15.



2.2.3.2 Descargas de fondo e intermedia

Con el fin de mantener permanentemente en el río Cauca, durante el llenado del embalse, un caudal por lo menos igual al mínimo registrado, tal como lo señalan requerimientos ambientales, se ha previsto la construcción de obras de descarga que garanticen la evacuación de unos 300 m³/s. Puesto que la magnitud del caudal medio del río y el volumen del embalse, hacen que la utilidad de la descarga de fondo sea casi nula para controlar el llenado del embalse o para el vaciado del mismo, el propósito de las obras de descarga es únicamente garantizar el caudal mínimo antes citado y, consecuentemente, no se considera práctico disponer una descarga de mayor capacidad.

Por razones prácticas de limitación de la cabeza máxima para el cierre y apertura de las compuertas, las obras de descarga se han proyectado a dos niveles: una descarga de fondo que aprovecha el túnel de desviación No. 1 (túnel izquierdo) y una descarga intermedia consistente en un túnel a la cota 260, que descarga en el pozo de disipación del vertedero.

La descarga de fondo tendrá dos compuertas planas de 3 m de ancho y 3,90 m de altura, operadas desde una cámara construida aguas arriba del sitio en donde se taponará el túnel de desviación No. 1. La descarga intermedia estará constituida por un túnel de 8 m de ancho, hastiales verticales de 4 m de altura y bóveda semicircular de 4 m de radio, con una longitud de 783 m aproximadamente. A la altura del eje de la presa se construirá un domo desde donde se controlarán dos compuertas radiales de operación y dos compuertas planas de mantenimiento, con dimensiones de 3 m de ancho y 3,90 m de altura.

Una vez las obras de la presa se encuentren a una altura que permita evacuar la creciente de diseño operando únicamente el túnel de desviación No.2 (túnel derecho), se procede a cerrar las compuertas del túnel de desviación No. 1, y a construir en éste las obras de la descarga de fondo. Cuando se terminen completamente estas obras, se debe haber terminado también la construcción del túnel y obras de la descarga intermedia de la presa y del vertedero de crecientes, de modo que se proceda al llenado del embalse y la construcción del tapón del cierre definitivo del túnel de desviación No. 2. Para ello, se abren las compuertas del túnel No.1, con las compuertas de la descarga de fondo abiertas, y se cierran gradualmente las compuertas de la entrada del túnel No. 2, de modo que se garantice la circulación permanente del caudal ecológico. Cuando el nivel del embalse alcance suficiente cabeza que garantice la evacuación del caudal ecológico por la descarga intermedia, se cierran definitivamente las dos compuertas de la descarga de fondo. Finalmente, cuando el embalse esté lleno y se tenga descarga de caudales por el vertedero de crecientes, se puede cerrar la descarga intermedia.

La descarga intermedia podrá abrirse durante la operación del proyecto, con el fin de garantizar la salida del caudal ecológico, en el caso eventual que se suspenda la generación completamente y que el nivel del embalse sea tal que no se tenga descarga de caudales por el vertedero de crecientes.

Figura 15. Procedimiento técnico descargas de fondo e intermedia de Hidroituango
(Sociedad Hidroeléctrica Pescadero Ituango, 2007).



Desde el comienzo del proyecto, durante el proceso de llenado y desembalse iniciales, se debe instrumentar y monitorear la estabilidad de las laderas montañosas y del macizo rocoso (U.S. Army Corps of Engineers, 2004; Kim et al, 2012; Yi et al, 2015; Chi and Ma, 2016), para definir las obras de prevención y mitigación de probables eventos que se puedan llegar a presentar como consecuencia de la operación del proyecto y/o por la ocurrencia de crecientes extraordinarias que lleguen al embalse, por sismos regionales (zona de subducción, fallas geológicas y otras fuentes sismogénicas) y, tal vez, por los procesos de generación sismicidad inducida por el proyecto.

En general, todo proyecto, obra o actividad que programe el ser humano, tiene retrasos, pues hay eventos que no pueden determinarse previamente, pero sí irse identificando y resolviendo técnicamente a medida que se va desarrollando el proyecto. En Hidroituango aún no se terminaba de construir el muro y ya para periodo 2013-2015 el proyecto tenía un retraso de más de un año. Sin embargo, Hidroituango-EPM, tenían el compromiso de comenzar a generar y vender energía eléctrica a partir del 1 de diciembre de 2018, lo que implicaba que a principios de julio debían comenzar el llenado técnico que ya se explicó anteriormente. Para resolver este problema netamente comercial/económico que les generaba el retraso, y así recuperar parte del tiempo perdido, cambiándose los diseños originales del proyecto, se decide erróneamente tapar definitivamente con concreto los túneles de desviación sin haber concluido la construcción del muro, ni el vertedero, ni el alistamiento de la casa de máquinas; contrariando lo que ellos mismos contemplaron en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto (Figura 15).

La primera época de lluvias intensas en Colombia, debido al paso de la Zona de Confluencia Intertropical en su viaje al Trópico de Cáncer (20,5° de latitud Norte), se inicia en abril de cada año, tal y conforme sucedió previsiblemente en 2018, y finaliza a principios de junio; mientras la segunda, tiene lugar entre finales de Septiembre y finales de noviembre. De acuerdo con las evidencias fotográficas y de imágenes de satélite públicamente conocidas, el movimiento de agua con escombros vegetales (Figura 16) a través de la Galería Auxiliar de Desviación, debió generar turbulencia en el flujo y taponamientos de corta duración en el túnel tal y conforme se puede observar con el transporte de basura por las aguas lluvias en las ciudades colombianas con la consecuente obstrucción de las alcantarillas y rebote de agua a presión hacia la superficie; este mismo proceso se debió presentar en el caso de la Galería Auxiliar de Desviación en Hidroituango, conllevando a la erosión interna de las paredes del túnel hacia la parte de la superficie dando lugar al colapso del techo, hecho evidenciado por la forma circular en superficie y forma cónica en profundidad (Figura 17), típicas de estos procesos subterráneos.



Figura 16. Presencia de restos vegetales en el embalse y flujo hacia el portal de entrada de la Galería Auxiliar de Desviación (Foto: Modesto Portilla Gamboa).



Figura 17. Geoforma circular y cónica ocurrida en el colapso de la Galería Auxiliar de Desviación en Hidroituango, obsérvese la gran cantidad de restos vegetales flotando en el embalse (Tomado de <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/imagenes-del-represamiento-en-hidroituango-216438>).

Lo anterior confirma lo que se observa en el registro multitemporal de imágenes de satélite que se tienen del proceso de la emergencia de abril/mayo de 2018, que dio origen a la contingencia en desarrollo actual en Hidroituango (Figura 18, Figura 19, Figura 20 y Figura 21).



Figura 18. Imagen de satélite del 4 de abril de 2018 que muestra el estado del proyecto Hidroituango (<http://m.elcolombiano.com/antioquia/el-timelapse-de-la-emergencia-en-hidroituango-MC8703187>)



Figura 19. Imagen de satélite del 2 de mayo de 2018 donde se observa la geoforma circular desarrollada por el colapso de la Galería Auxiliar de Desviación. (<http://m.elcolombiano.com/antioquia/el-timelapse-de-la-emergencia-en-hidroituango-MC8703187>)



Figura 20. Imagen de satélite del 7 de mayo de 2018 donde se observa la geoforma circular desarrollada por el colapso de la Galería Auxiliar de Desviación y el deslizamiento sobre los túneles de desviación de Hidroituango

(<http://m.elcolombiano.com/antioquia/el-timelapse-de-la-emergencia-en-hidroituango-MC8703187>)



Figura 21. Imagen de satélite del 12 de mayo de 2018 donde se observa la geoforma circular desarrollada por el colapso de la Galería Auxiliar de Desviación, el deslizamiento sobre los túneles de desviación de Hidroituango y el ascenso del nivel del agua en el embalse (<http://m.elcolombiano.com/antioquia/el-timelapse-de-la-emergencia-en-hidroituango-MC8703187>)



El no haber previsto que las lluvias de abril transportarían desde las laderas de la represa hacia el embalse y hacia la Galería Auxiliar de Desviación, con el consecuente proceso de colapso del techo descrito anteriormente, representó el segundo error garrafal por parte de los ingenieros de Hidroituango-EPM, debido a que estos colapsos ya no únicamente generan turbulencia adicional en el flujo de agua, sino que sencillamente taponan el túnel e impide el desagüe normal del embalse. Como consecuencia de estos taponamientos completos de la Galería Auxiliar de Desviación, se inicia el ascenso descontrolado del nivel del agua del embalse, amenazando con alcanzar rápidamente el nivel del muro en construcción (que debe hacerse técnicamente despacio, humedeciendo y compactando el material térreo con el que se está construyendo, de tal forma que cumpla con la estabilidad diseñada; U.S. Army Corps of Engineers, 2004); esto da origen a que se proceda por parte de los ingenieros de Hidroituango-EPM a acelerar, sin tregua y sin pausa, la continuación de la construcción antitécnica del muro porque no podían dejarse alcanzar del agua del embalse, so pena de que el muro se desestabilizara por el sobrepaso previsible del agua de la represa.

A este relleno, sin compactar a la humedad óptima, se le denominó Lleno Prioritario, y se construyó entre las cotas 385 y 415 del muro. El nivel del agua del embalse no se los alcanzó, porque fluyó por el único desagadero que tenía: los túneles de captación y conducción a la casa de máquinas; sin embargo, al superar la cota 385, se filtró por el lleno prioritario y generó caudales de hasta 40 litros por segundo por el espaldón de aguas abajo del muro, filtración que fue controlada mediante el uso de bentonita (arcilla de común uso en la estabilización de las paredes de los pozos petroleros). De esta forma, el sector del muro comprendido entre las cotas 385 y 415, no cumple con los estándares de compactación establecidos para garantizar una futura estabilidad del muro ante cargas dinámicas externas como lo serían la ocurrencia de un sismo o la llegada de una creciente que transite el río Cauca y llegue a la zona del embalse.

Finalmente, en este componente ingenieril, hay que recalcar que el flujo de agua a altas presiones a través de las fracturas/diaclasas del macizo rocoso, al menos en los sectores sobre la casa de máquinas, el vertedero y sobre los túneles de desviación, ya debió alcanzar algunos sectores de la superficie, soportado por la evidencia de al menos una nueva geoforma circular en superficie en esta zona del macizo rocoso sobre el vertedero (Figura 22), junto con los movimientos en masa sobre los túneles de desviación (Figura 23) que se han venido ampliando (Figura 24) y las roturas del terreno en la parte alta de la montaña al oriente del muro (Figura 25). Esto indica claramente que la



resistencia del Macizo Rocosco del estribo derecho del muro de Hidroituango se está debilitando continuamente y que está en la trayectoria de la falla/rotura; observación que también se soporta en la versión del Gerente General de EPM, quien en conferencia de prensa del día 11 de Julio, informó que “el día Viernes 6 de Julio en horas de la tarde/noche, el sismógrafo instalado en el la zona, detectó un movimiento “sísmico” en el interior del Macizo Rocosco en un túnel de acceso a la Casa de Máquinas, que es un movimiento no pequeño de tierra”; y, que además, según las palabras del Gerente General de EPM, en la misma conferencia de prensa: “se espera que en los próximos días se presenten derrumbes de entre 100.000 y 200.00 metros cúbicos de tierra en la parte superficial de la montaña”.



Figura 22. Geoforma circular en superficie y otros movimientos en masa en la zona superior del vertedero (<http://www.elcolombiano.com/antioquia/hidroituango-derrumbe-no-afecto-estabilidad-de-presa-FK8837447>).



Figura 23. Movimiento en masa sobre los túneles de desviación (extremo derecho) – Mayo 12 de 2018 (Foto: Joaquín Sarmiento/AFP/Getty Images, www.theguardian.com).



Figura 24. Ampliación del movimiento en masa sobre los túneles de desviación – Mayo 16 de 2018 (Foto: Modesto Portilla Gamboa).



Uno de los objetivos del análisis es averiguar el nivel de riesgo del proyecto ante grietas o deslizamientos, por ejemplo. Foto tomada de: bit.ly/2xvjkbz

Figura 25. Roturas/agrietamientos del terreno en la parte alta de la montaña del sector derecho del muro.

El estado actual del Macizo Rocosó (julio 11 de 2018) se presenta en la Figura 26, donde se ve claramente, al comparar los mismos sectores en las fotos de las figuras 22, 23 y 24, la ampliación de las cicatrices de los movimientos en masa que han venido ocurriendo en la superficie de Hidroituango. Para esta fecha, junio 11 de 2018, el nivel del embalse era de 380 metros sobre el nivel del mar, es decir, una profundidad de aproximadamente 175 metros.



Figura 26. Panorama del estado de la montaña del sector derecho del muro (Foto Comunidad de Ituango, Julio 11 de 2018)

5. COMPONENTE RIESGO

La parte más importante de todo proyecto, que hace un ser humano, así como de cualquier otro proceso geológico, es el componente relacionado con el riesgo y su gestión integral. El riesgo está constituido por tres partes: la primera es la **Amenaza** (la probabilidad de que algo ocurra, en este caso: que falle el macizo rocoso y se presente un evento tipo flujo hiperconcentrado aguas abajo); en segundo lugar, lo que técnicamente debería llamarse **Ontogenicidad** (todo los seres que existen en el área de influencia por donde transitaría ese probable flujo); y, la tercera, el **riesgo** (las pérdidas, el número de muertos, la pérdida de las relaciones de los seres humanos con su territorio, el cambio



de la forma de vida, las carreteras dañadas, el número de puentes, las casas; el censo de lo que se perdería, a eso se le denomina riesgo).

Para el caso específico de Hidroituango, sobre las montañas contiguas a la confluencia del río Ituango en el río Cauca, que anteriormente solo soportaban la presión atmosférica y la del flujo normal del río Cauca, se construye el muro que pesa aproximadamente 50 millones de toneladas, lo cual genera, en ese material altamente fracturado, una redistribución del estado de esfuerzos en el macizo rocoso; y, adicionalmente, se le imponen posteriormente las fuerzas de empuje, de infiltración y flujo de agua a altas presiones provenientes del embalse.

Ahora bien, puesto que el río Cauca queda represado y se genera un embalse de aproximadamente 1500 millones de metros cúbicos de agua mezclada con sedimentos y escombros, se configura la probabilidad de que esta alteración del medio ambiente, causada por el ser humano, falle por una u otra circunstancia, lo que desde el punto de vista del riesgo se denomina *amenaza*: inundación de zonas ecosistémicas del Bosque Seco Tropical Andino, aguas arriba del muro, y en caso de rotura del macizo rocoso y/o del muro, la formación de un flujo hiperconcentrado de gran magnitud aguas abajo del muro.

Al anticipar la trayectoria y los probables efectos que el embalse y su probable rotura pudieran tener en el futuro, desde el momento del llenado, en el área de influencia directa e indirecta del proyecto se configura lo que se conoce como *Ontogenicidad* (comúnmente denominada *vulnerabilidad*, que hace referencia a los seres que existen en la zona de influencia del proyecto); y, cuando se inicia el llenado del embalse, se producen pérdidas en la zona que se está inundando. La inundación como tal es ya la materialización de una amenaza, que afecta la región y todo cuanto en ella habita, es decir, el territorio, los seres y las relaciones entre ellos.

Se tiene entonces, tanto aguas arriba como aguas abajo del muro y en ya en el sitio del muro, la materialización del riesgo (pérdidas) y la presencia de una amenaza omnipresente, ya que, en cualquier momento, por un error humano o por la actividad de la naturaleza (sismos) puede producirse la rotura de la presa que causaría un gran flujo de aguas con altas concentraciones de sedimentos y escombros aguas abajo del muro, el cual destruiría prácticamente todo lo que encuentre a su paso en una gran extensión geográfica del Bajo Cauca.



5.1 Probables Escenarios Futuros

De acuerdo a lo anteriormente explicado en este documento, teniendo en cuenta el estado de deterioro continuo que viene presentando el proyecto desde que se inició la contingencia (Figura 27 y Figura 28), los escenarios probables a futuro son los que se describen en los siguientes apartados.



Figura 27. Panorama del estado de la montaña del sector derecho del muro (Junio 23 de 2018)



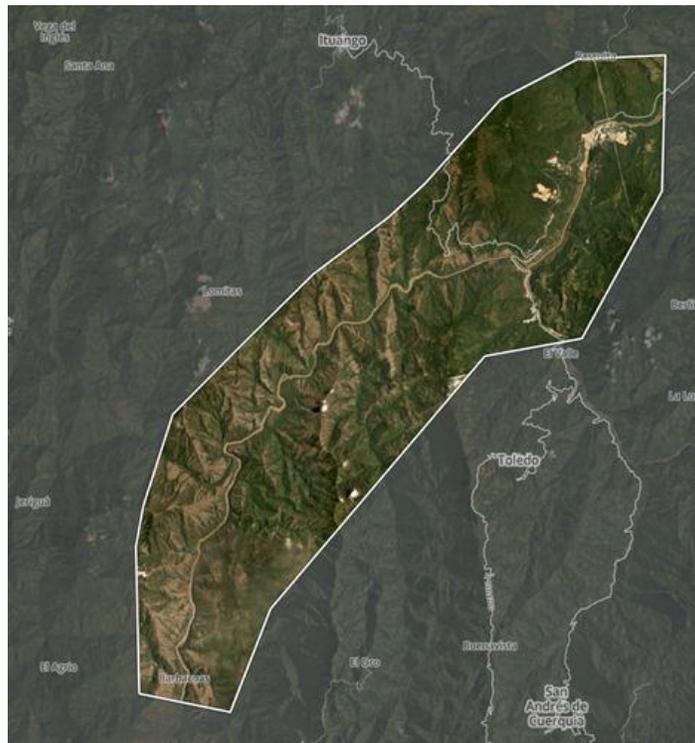
Figura 28. Panorama del estado del embalse aguas arriba del muro (Junio 23 de 2018)



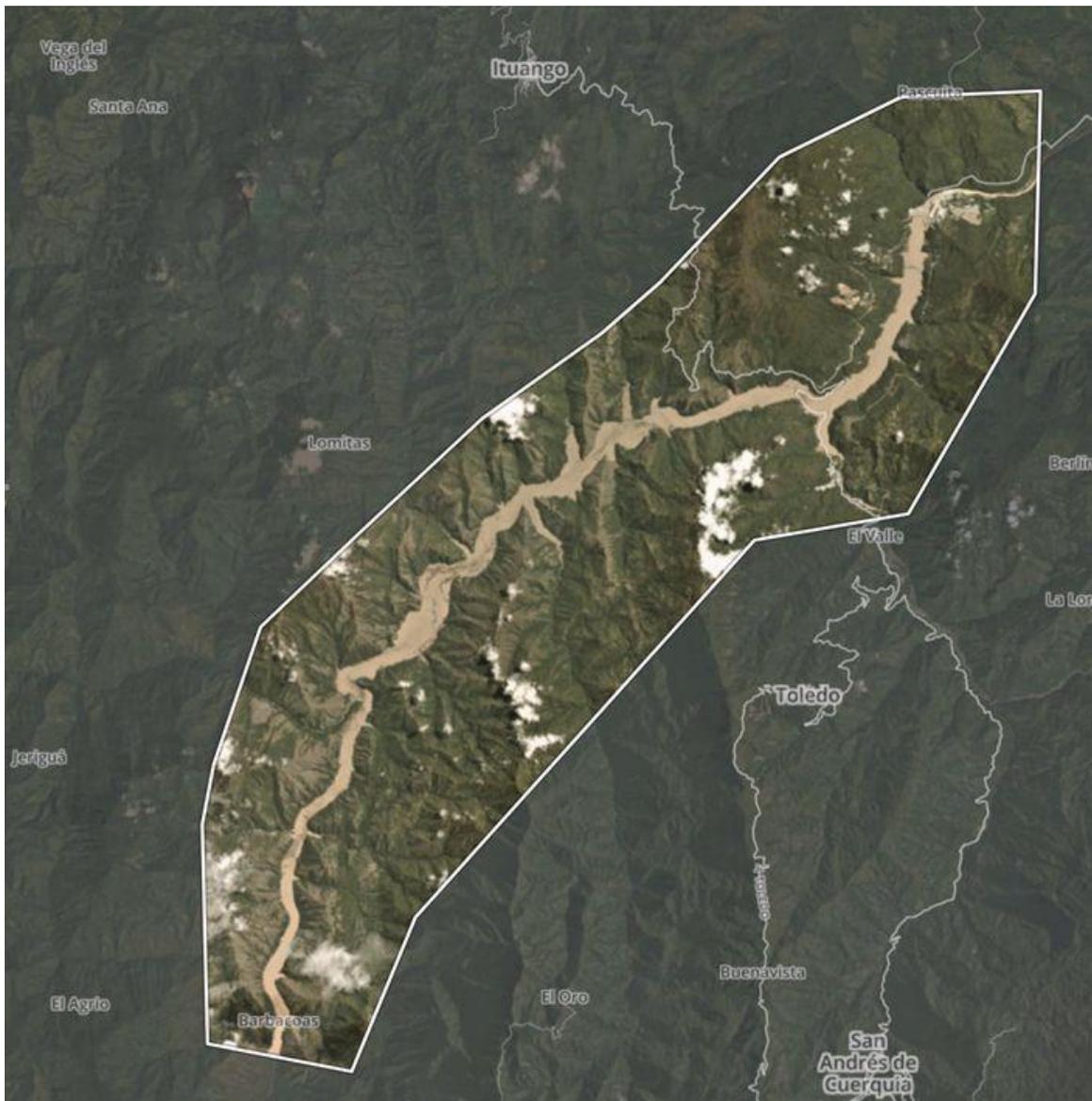
5.1.1 Falla del Macizo Rocosco Derecho y Rotura de la Presa

El Profesor Germán Vargas Cuervo, del Departamento de Geografía (Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá), realizó un análisis geomorfológico de este escenario, teniendo en cuenta las características del valle del río Cauca aguas abajo del muro y escribió en la sección Medio Ambiente de UN Periódico el artículo que se transcribe a continuación de forma íntegra con el fin de no descontextualizar el análisis técnico realizado para este escenario (<http://unperiodico.unal.edu.co/pages/detail/diez-zonas-de-amenaza-del-rio-cauca-frente-al-escenario-de-desastre-en-hidroituango/>).

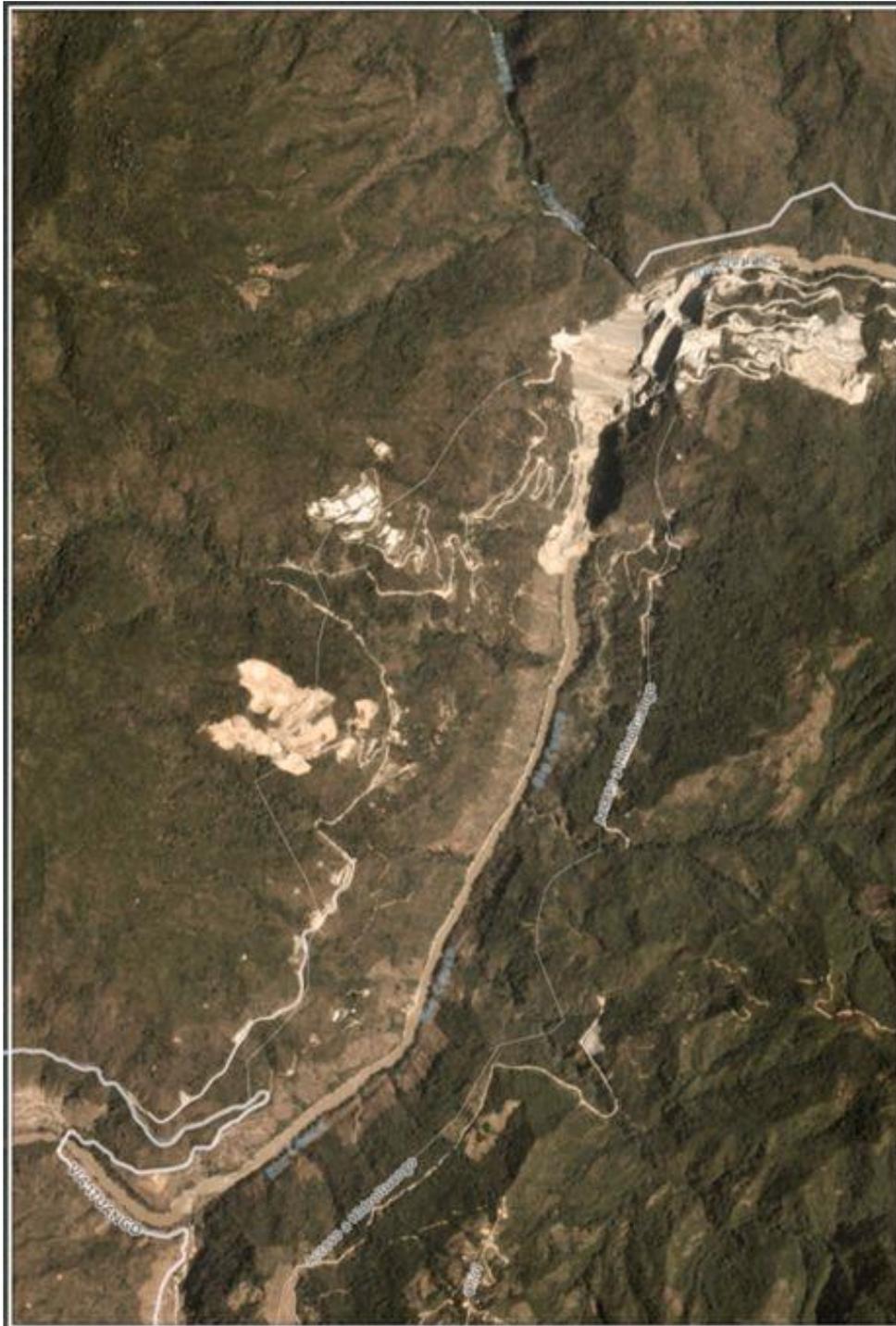
“El escenario de un desastre asociado con el sistema de Hidroituango ha sido valorado tanto por EPM como por la Sociedad Colombiana de Ingenieros, expertos extranjeros y el mismo Gobierno nacional. En este se evidencia la posibilidad de una ruptura de la presa por diferentes causas, que no son el tema central del presente análisis. Aquí se estiman los procesos morfodinámicos (comportamiento de las aguas asociados con las formas del cauce) que se presentarían sobre el cauce del río Cauca y Magdalena aguas abajo.



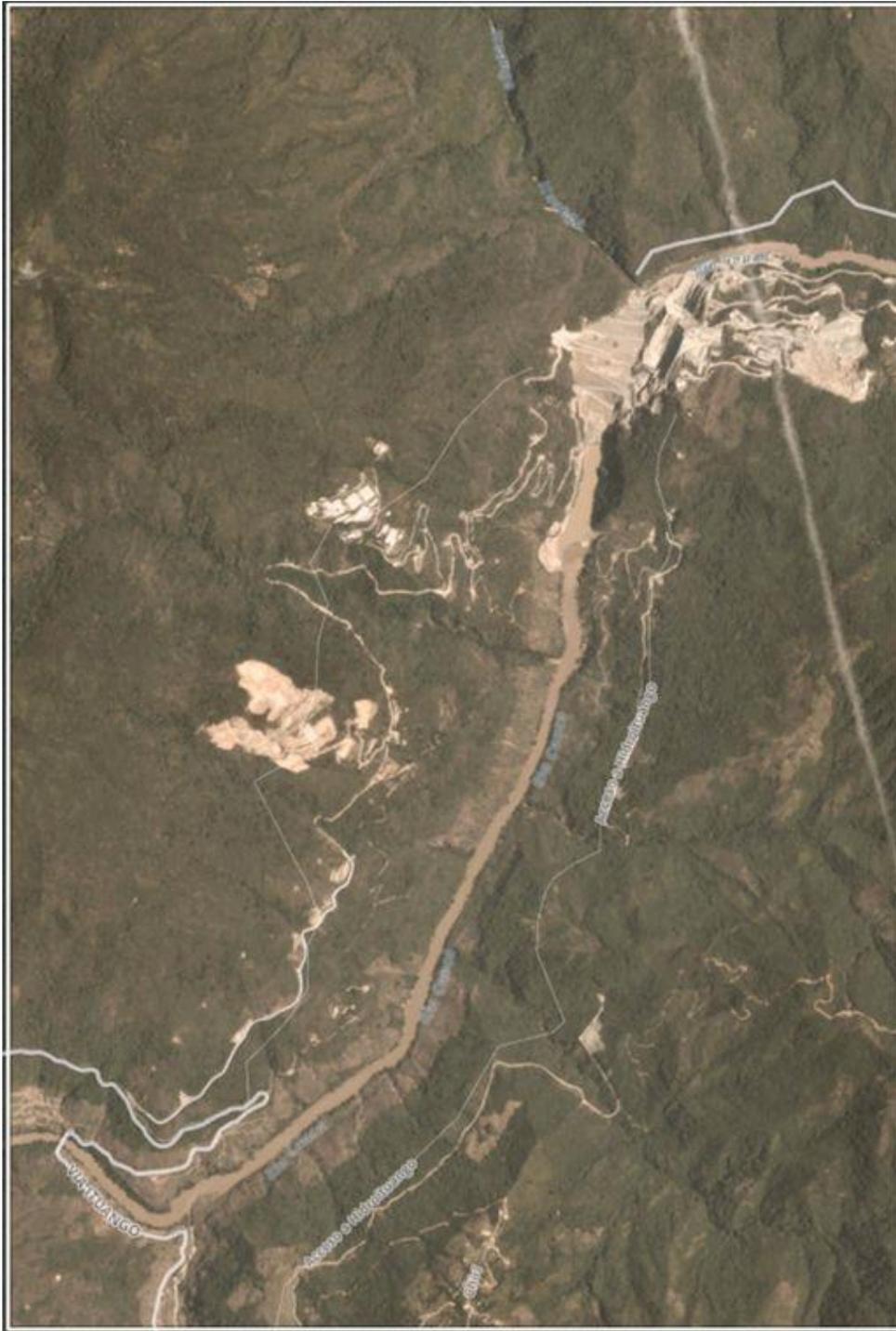
Abril 8 de 2018 Vista general de la zona del embalse de Hidroituango en abril y mayo de 2018. Fuente: Procesamiento G. Vargas con imágenes PlanetScope.



Mayo 31 de 2018 Vista general de la zona del embalse de Hidroituango en abril y mayo de 2018. Fuente: Procesamiento G. Vargas con imágenes PlanetScope.



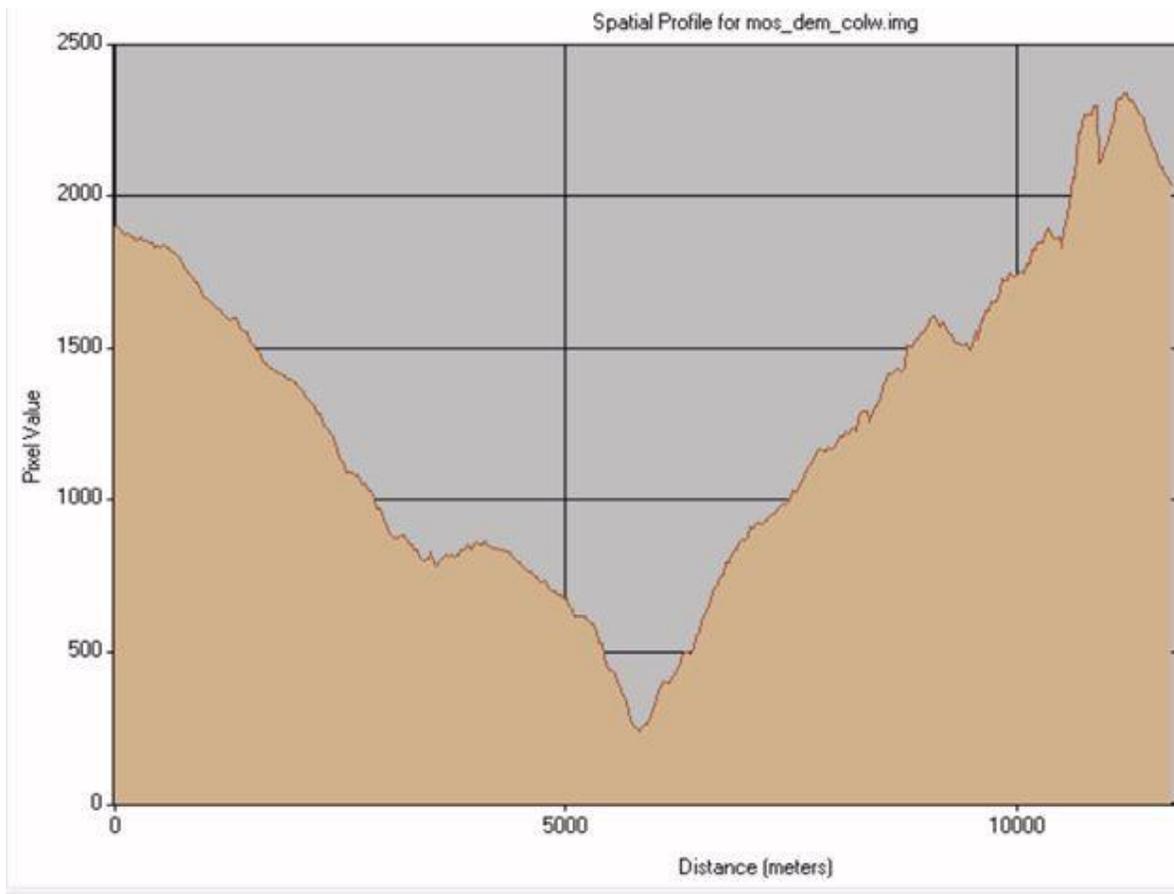
Marzo 2 de 2018. Detalle del sitio de presa. Fuente: Procesamiento G. Vargas con imágenes PlanetScope.



Abril 8 de 2018 Detalle del sitio de presa. Fuente: Procesamiento G. Vargas con imágenes PlanetScope.



El seguimiento del embalse a través de imágenes de satélite diarias y mensuales (PlanetScope) de alta resolución espacial muestra su alarmante crecimiento día a día (1-2 m/día). Las imágenes de abril y mayo de 2018 muestran cómo el espejo de agua ha cambiado notablemente, alcanzando a finales de mayo una longitud de 35 km aguas arriba con un ancho de entre 261 m y 1,02 km.

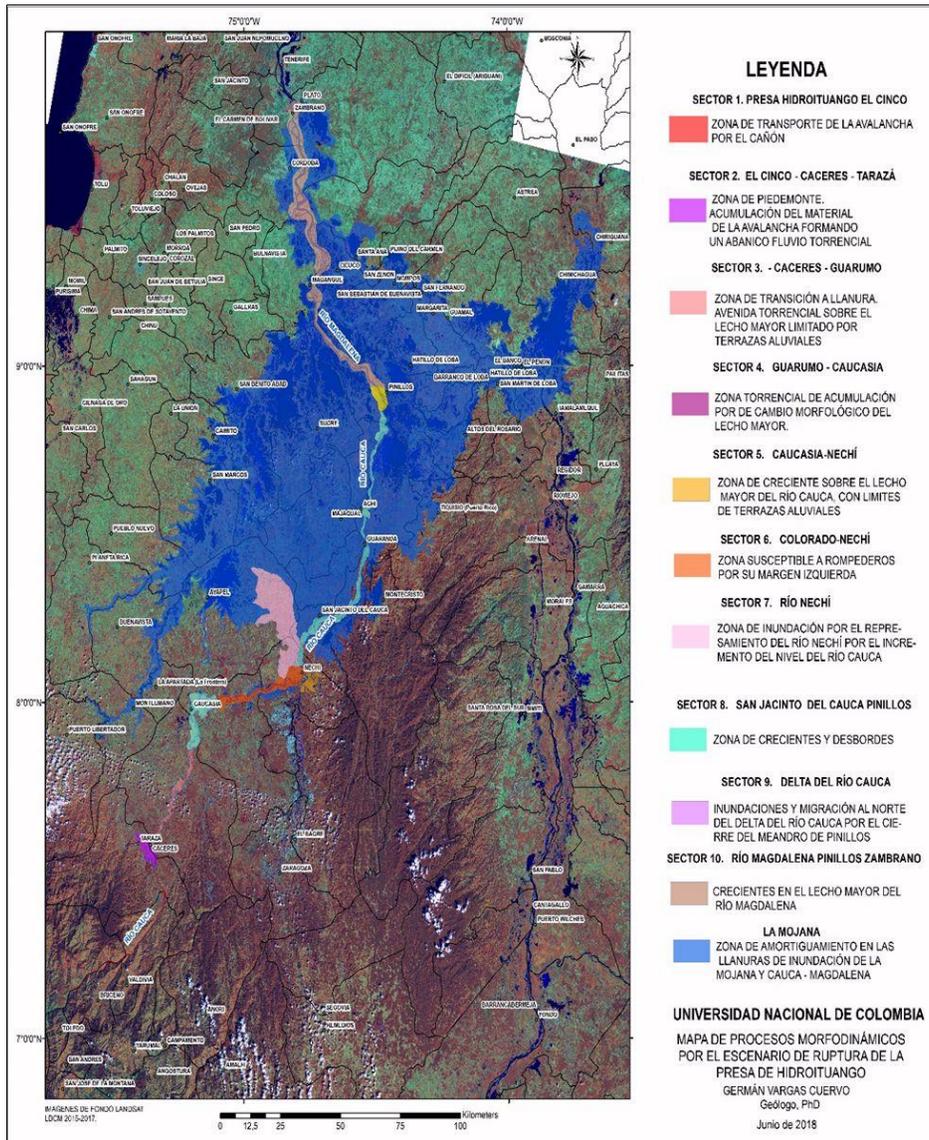


Vista del perfil transversal del cañón del río Cauca en el sitio de Presa de Hidroituango.

Los parámetros de diseño de la presa establecieron una altura máxima de 220 m, un embalse de 70 km de longitud y un volumen de agua de 2.720 millones de m³. La situación actual muestra que la altura de la presa está muy cerca a lo que estableció el proyecto, la longitud es de 35 km y el volumen de agua almacenado



se estima en por lo menos 1.000 millones de m³; en caso de que se rompiera la presa se generaría una ola de entre 20 y 100 m de altura. Bajo tal escenario de ruptura y mediante un análisis geomorfológico –estructura y forma de los ríos– basado en el uso de imágenes de satélite, modelos digitales de terreno y levantamiento de campo a través de varios estudios, a continuación se definen y describen diez sectores morfodinámicos en los cursos de los ríos Cauca y Magdalena.



Mapa de procesos morfodinámicos por el escenario de ruptura de la Presa de Hidroituango. Elaboración propia.

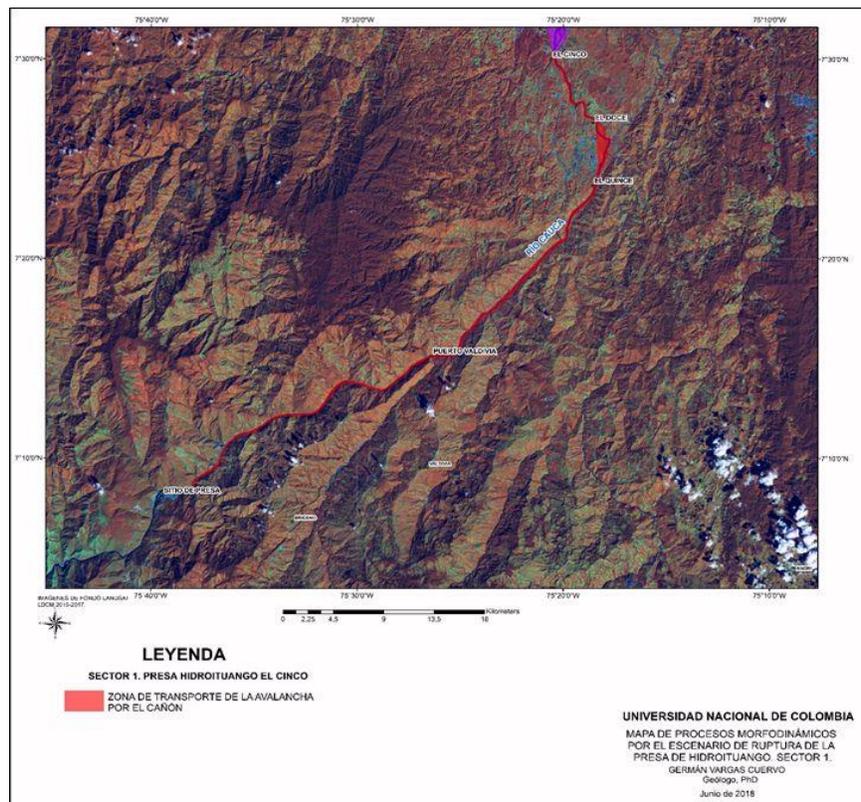


Sector 1. Presa de Hidroituango - El Cinco (transporte de la avalancha)

El primer sector, denominado como "transporte de la avalancha" (agua, escombros, rocas y sedimentos), se realiza sobre el cañón del río Cauca, entre el sitio de la presa y el lugar "El Cinco", localizado a 60 km de esta.

Dicha masa tendría un frente de onda de choque muy fuerte y cortaría como una cuchilla toda la ladera por donde pase, dejando una superficie pulida en la roca y los suelos residuales.

Poblaciones y caseríos como Puerto Valdivia (30 km) y El Quince (47 km), localizados en este fondo de cañón, serían destruidos precisamente por su ubicación. El transporte de esta avalancha por el cañón se ve favorecido por su trazo muy rectilíneo que se relaciona con su control por fallas geológicas asociadas con el sistema Cauca Romeral (Falla del Espíritu Santo).



Mapa de procesos morfodinámicos del sector 1. Presa Ituango – El Cinco. Elaboración propia.

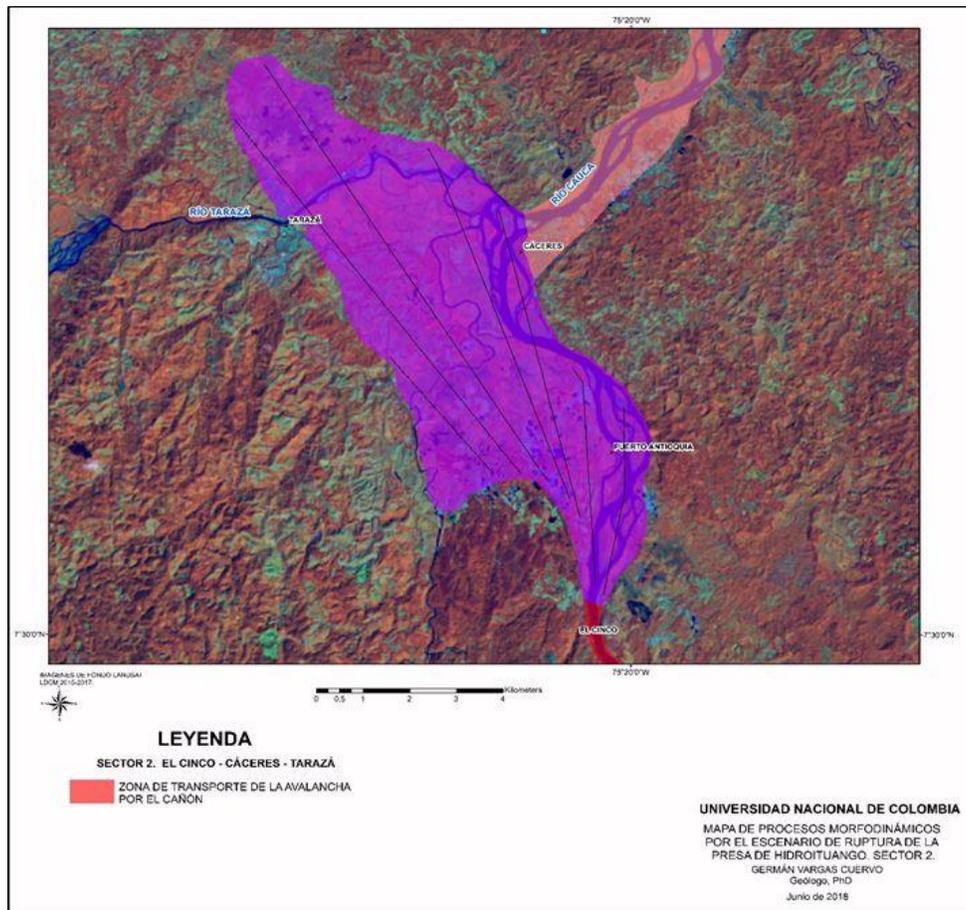


Sector 2. El Cinco Cáceres – Tarazá (depósito de la avalancha en un abanico fluvio-torrencial)

En este tramo el cauce pasa de ser un cañón a convertirse en un “piedemonte”. Tal cambio se presenta entre las poblaciones de El Cinco (60 km), Puerto Antioquia (65 km), Cáceres (70 km) y Tarazá, esta última sobre el cauce del río de igual nombre, a 5 km de Cáceres.

En El Cinco el río Cauca sale del cañón hacia una zona ligeramente inclinada formando un pequeño valle en el cual la masa de agua, roca y escombros liberaría gran parte de su energía depositando el material transportado y formando un gran abanico fluvio-torrencial en una superficie de 3.808 ha.

El efecto de dicha descarga veloz afectaría gran parte de las poblaciones existentes en este sector. La masa de la avalancha presionaría el cauce del río Tarazá, el cual podría ser represado aguas arriba de la población del mismo nombre y seguramente el cauce del río Cauca perdería su curso en este sector y se podría generar un embalse temporal cuando se colmate o se rellene de sedimentos este pequeño valle.



Mapa de procesos morfodinámicos del sector 2. El Cinco - Cáceres. Elaboración propia.

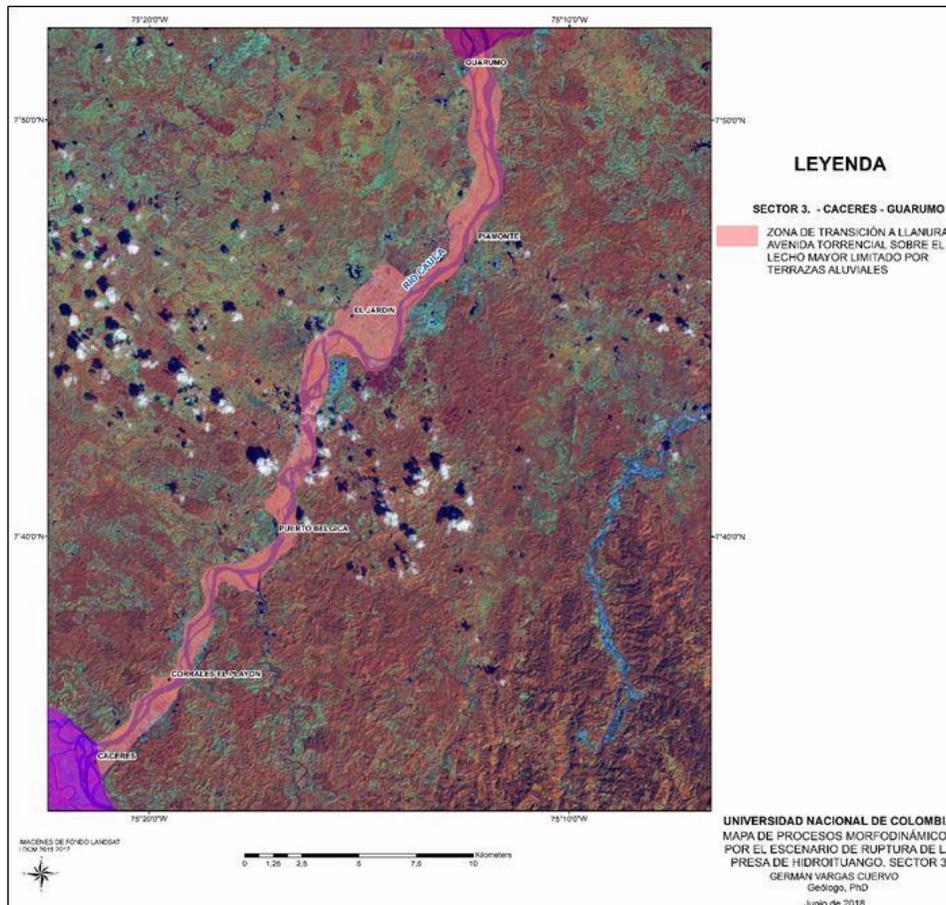
Sector 3. Cáceres - Guarumo (avenida torrencial)

Este sector representa una zona de transición antes de la llanura y se caracteriza por la presencia de materiales aluviales transportados históricamente desde la cuenca alta y que son depositados aquí en forma de terrazas aluviales, de modo que el lecho mayor del río Cauca en este sector se presenta limitado por terrazas compuestas por conglomerados. Así, el afluente presenta una orientación general de N15E a SN.

El lecho activo es de tipo ligeramente sinuoso, tabular con dos canales con anchos entre 50 y 300 m. El lecho mayor limitado por las terrazas presenta un



ancho de entre 100 m y 1,8 km. Aquí, la presión del flujo del río Cauca desde Cáceres produciría un evento tipo avenida torrencial sobre el lecho mayor con altos caudales y niveles. Sobre las laderas serán comunes los deslizamientos teniendo en cuenta la baja resistencia de estas terrazas a la erosión. Las poblaciones localizadas en este sector y que se pueden ver afectadas son: Corrales El Playón, Puerto Bélgica, El Jardín, Piamonte y Guarumo.



Mapa de procesos morfodinámicos del sector 3. Cáceres - Guarumo. Elaboración propia.

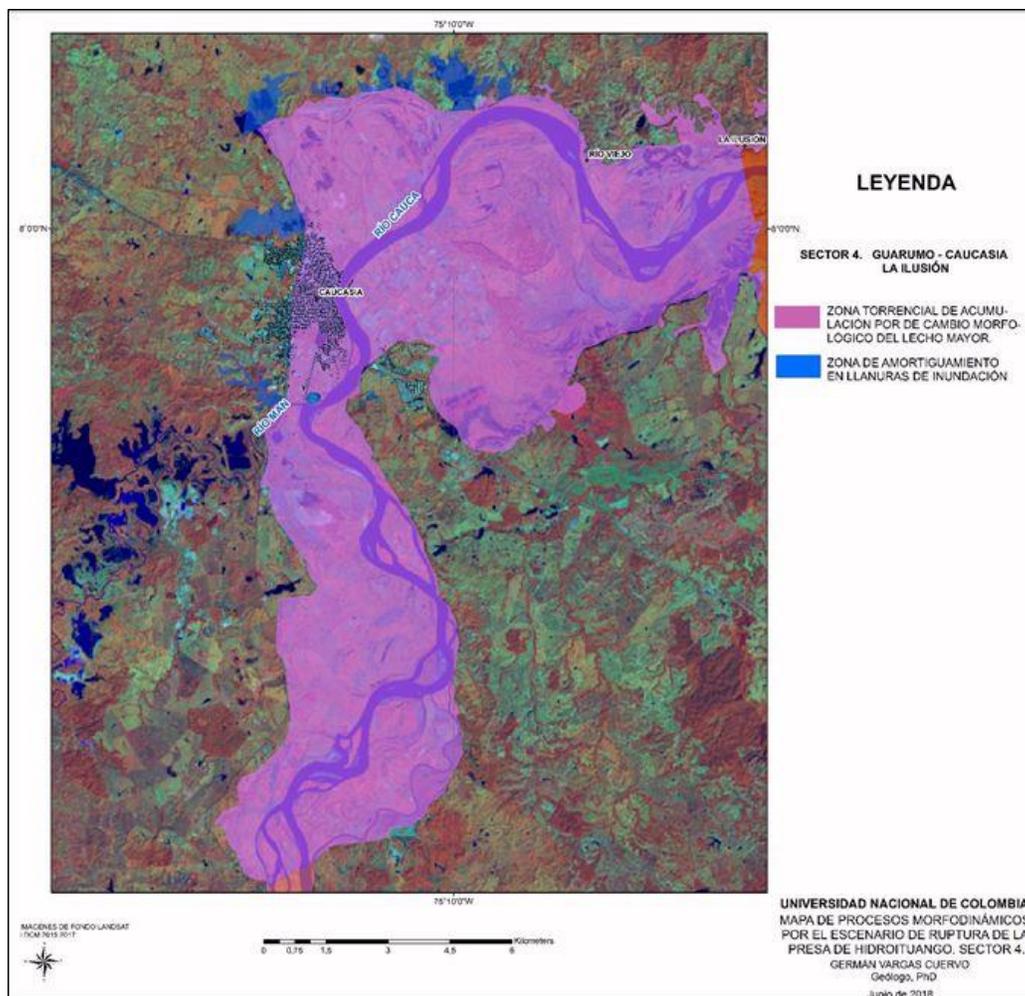
Sector 4. Guarumo Caucasia – La Ilusión (depósito de material de la avenida torrencial)

Este sector morfodinámico se caracteriza por presentar una ampliación del lecho mayor del río Cauca en dos zonas: una desde Guarumo hasta el río Man (4,3 km)



donde hay un control de roca, y la segunda desde el río Man hasta La Ilusión, con un ancho máximo de 9 km. La superficie de esta zona cubre 10.817 ha.

La ampliación del lecho mayor se origina por el cambio brusco de la dirección del cauce en ángulo recto, de sur-norte a oeste-este. Allí se produciría un depósito torrencial de los materiales que provienen del valle más estrecho del sector 3. Una tercera parte de la población de Caucasia se localiza sobre este lecho mayor y otra sobre cubetas de inundación de antiguas ciénagas que fueron urbanizadas, por lo cual sufrirían inundaciones; igualmente las zonas de terrazas bajas al borde del río podrían ser afectadas por los flujos torrenciales.



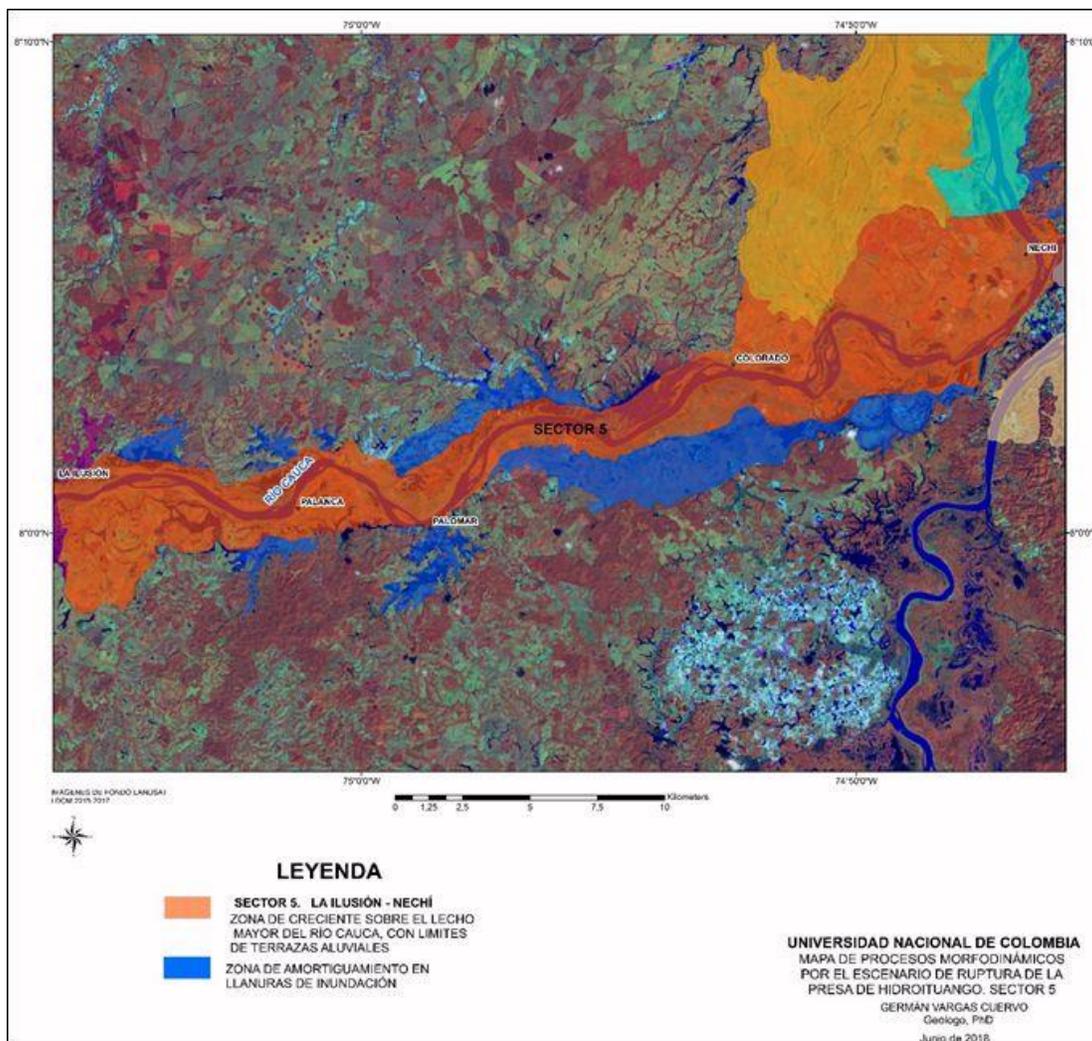
Mapa de procesos morfodinámicos del sector 4. Guarumo – Caucasia – La Ilusión.
Elaboración propia.



Sector 5. La Ilusión - Nechí (creciente)

Este tramo se caracteriza por presentar un cauce y lecho mayor en dirección oeste-este y está limitado en sus costados por terrazas aluviales. El cauce activo es meándrico o de forma sinuosa y el lecho mayor presenta un ancho variable entre 2,4 y 6,6 km.

En este sector el lecho mayor se comportaría como creciente ante la ruptura de la presa y afectaría los caseríos de Palanca, Palomar, Colorado y la población de Nechí, la cual se encuentra totalmente en el lecho mayor del río Cauca y sería inundada. Cubre una superficie total de 31.549 ha.

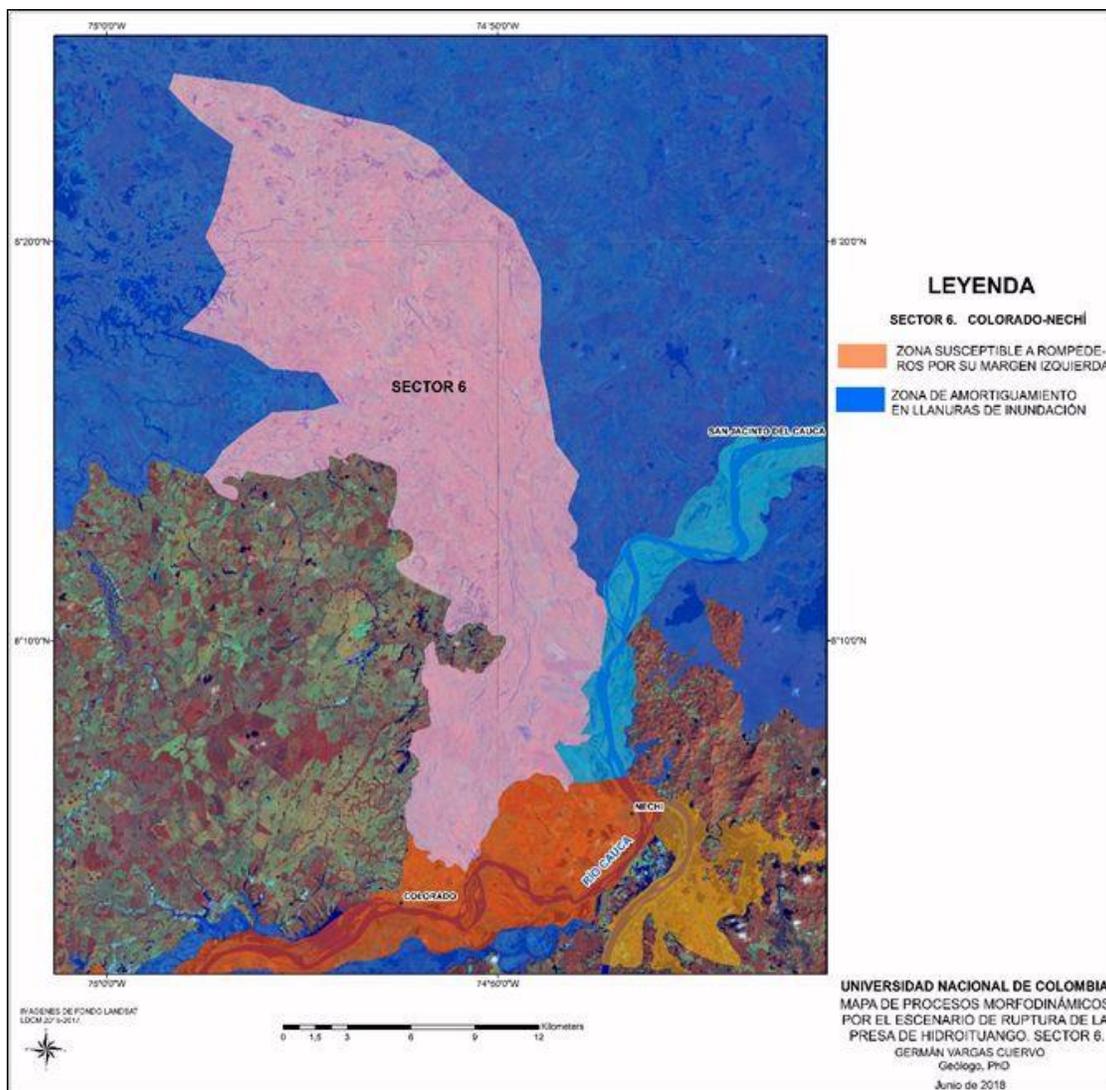


Mapa de procesos morfodinámicos del sector 5. La Ilusión - Nechí. Elaboración propia.



Sector 6. Colorado - Nechí (rompederos y chorros)

Al inicio de este sector los límites de las terrazas aluviales finalizan en las márgenes del lecho mayor y el cauce se presenta más elevado que la llanura de la margen izquierda, por lo cual es una zona muy susceptible a presentar rompederos o chorros formando grandes flujos de agua hacia la llanura de Ayapel – San Jorge, como los presentados en 2010 en el sitio conocido como Nuevo Mundo.

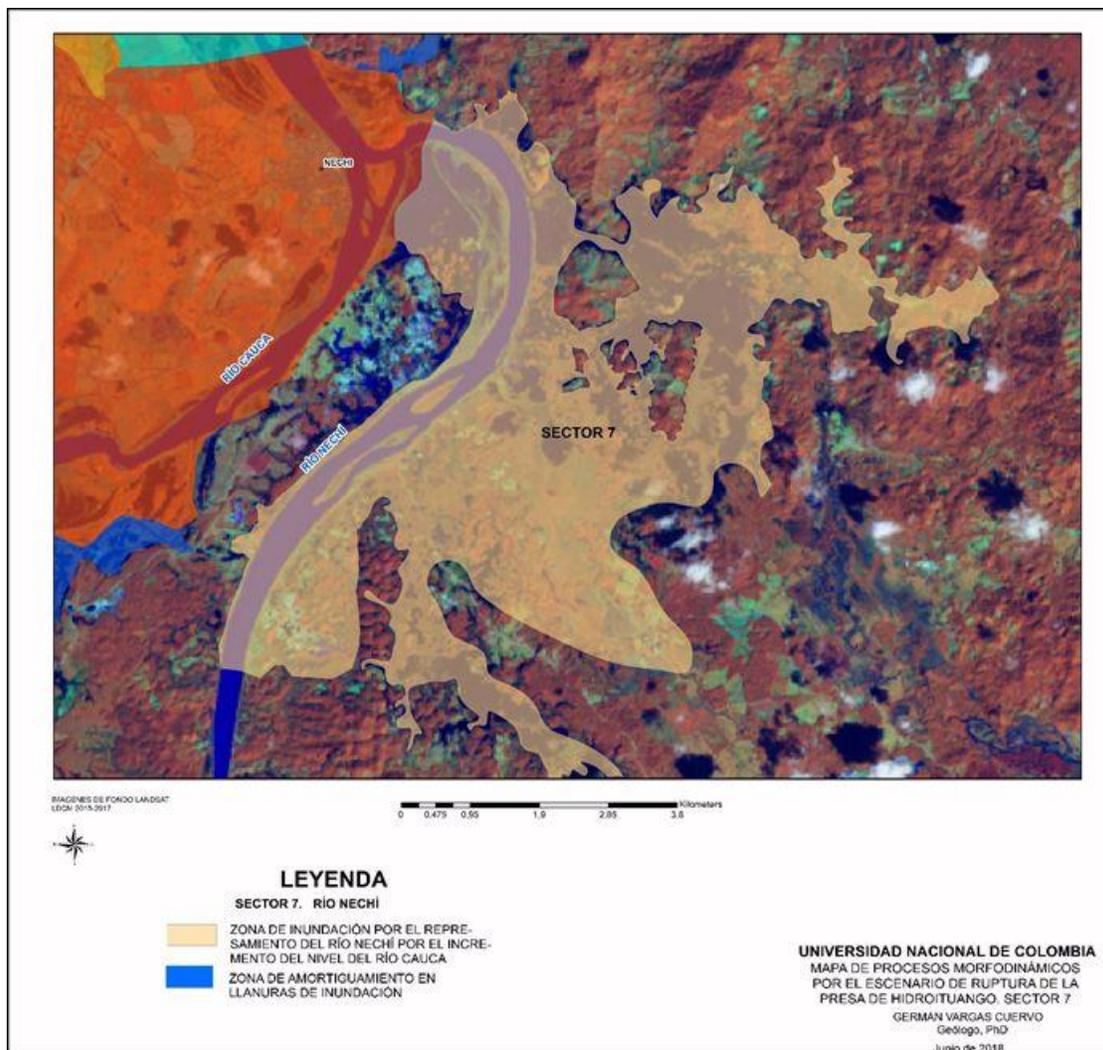


Mapa de procesos morfodinámicos del sector 6. Colorado - Nechí. Elaboración propia.



Sector 7. Río Nechí (creciente e inundaciones)

El río Nechí confluye sobre la margen derecha al río Cauca, al frente de la población de Nechí. La creciente asociada con la ruptura de la presa incrementaría el nivel del río Cauca y represaría temporalmente el Nechí, formándose una zona de inundación de 28.972 ha. Tal inundación estaría limitada por la presencia de rocas cristalinas de origen metamórfico en el sector y aguas arriba del cauce.



Mapa de procesos morfodinámicos del sector 7. Río Nechí. Elaboración propia.

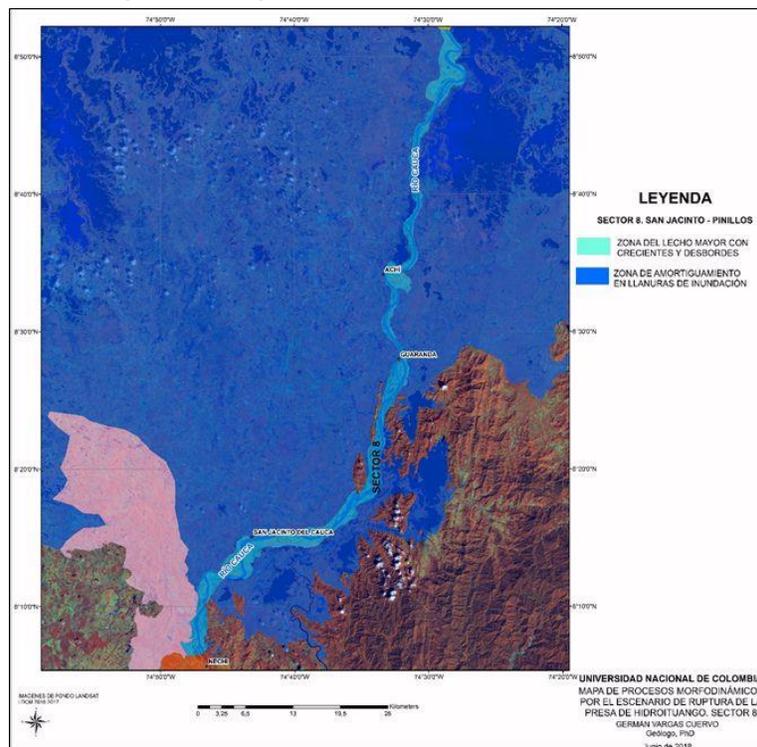


Sector 8. San Jacinto del Cauca – Pinillos (crecientes y desbordes)

Este sector representa el cauce bajo del río Cauca entre las poblaciones de Nechí, San Jacinto del Cauca, Guaranda, Achí y Pinillos. El lecho mayor del afluente en la zona presenta una dirección predominante sur-norte y es generalmente estrecho entre 1 y 3,5 km.

La margen derecha del río Cauca entre Nechí y Guaranda se encuentra limitada por rocas metamórficas del Paleozoico y en esta misma zona por la margen izquierda son comunes los desbordes. Posteriormente, el cauce y lecho mayor se limitan por delgados diques aluviales que limitan con las llanuras de inundación y ciénagas.

En esta parte se pueden presentar crecientes de menor magnitud que en el sector 7, pero es más susceptible a desbordes e inundaciones por ser llanuras bajas. Las poblaciones de San Jacinto, Guaranda y Achí se presentan sobre diques aluviales susceptibles a procesos erosivos.



Mapa de procesos morfodinámicos del sector 8. Nechí – San Jacinto del Cauca, Guaranda, Achí y Pinillos. Elaboración propia.

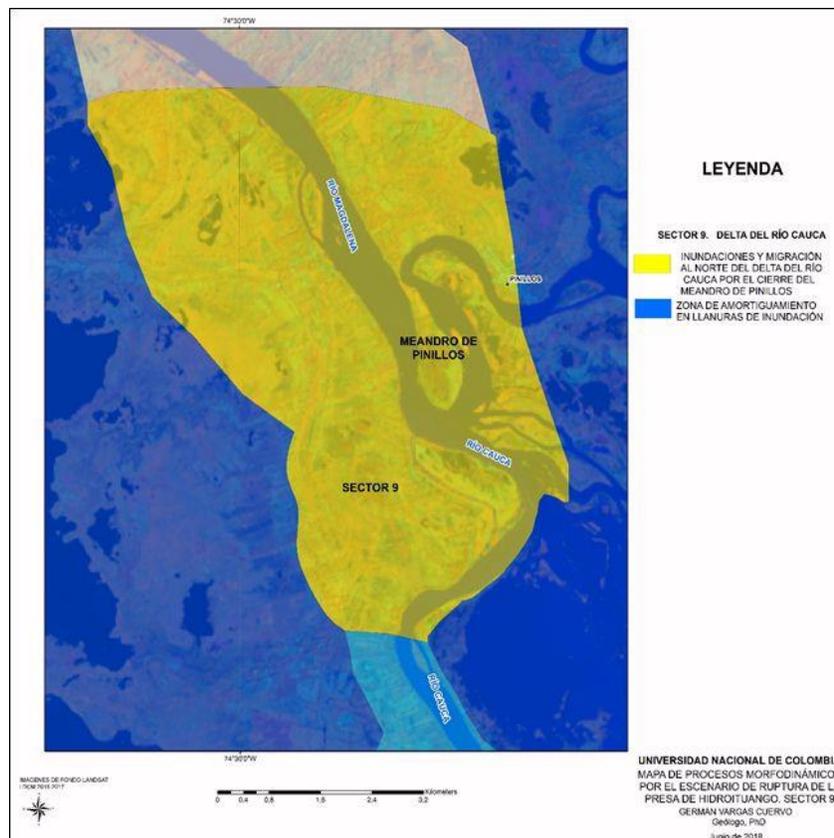


Sector 9. Delta del río Cauca (cierre de meandro, embalse, erosión)

El delta del río Cauca al río Magdalena se realiza a través de un meandro o una zona donde el río forma una curva cerrada que está en proceso de cierre, quedándole tan solo 20 m.

Ante la creciente que presentaría el Cauca, las aguas de este ejercerían presión por el brazo derecho del brazo de Pinillos, forzando el cierre del meandro, lo cual produciría un avance del delta al norte de 2,5 km.

Dicho proceso generaría un ligero embalse en los brazos de meandro en el dominio del río Cauca y ejercería notables eventos erosivos en las laderas del cauce en Pinillos con inundaciones.



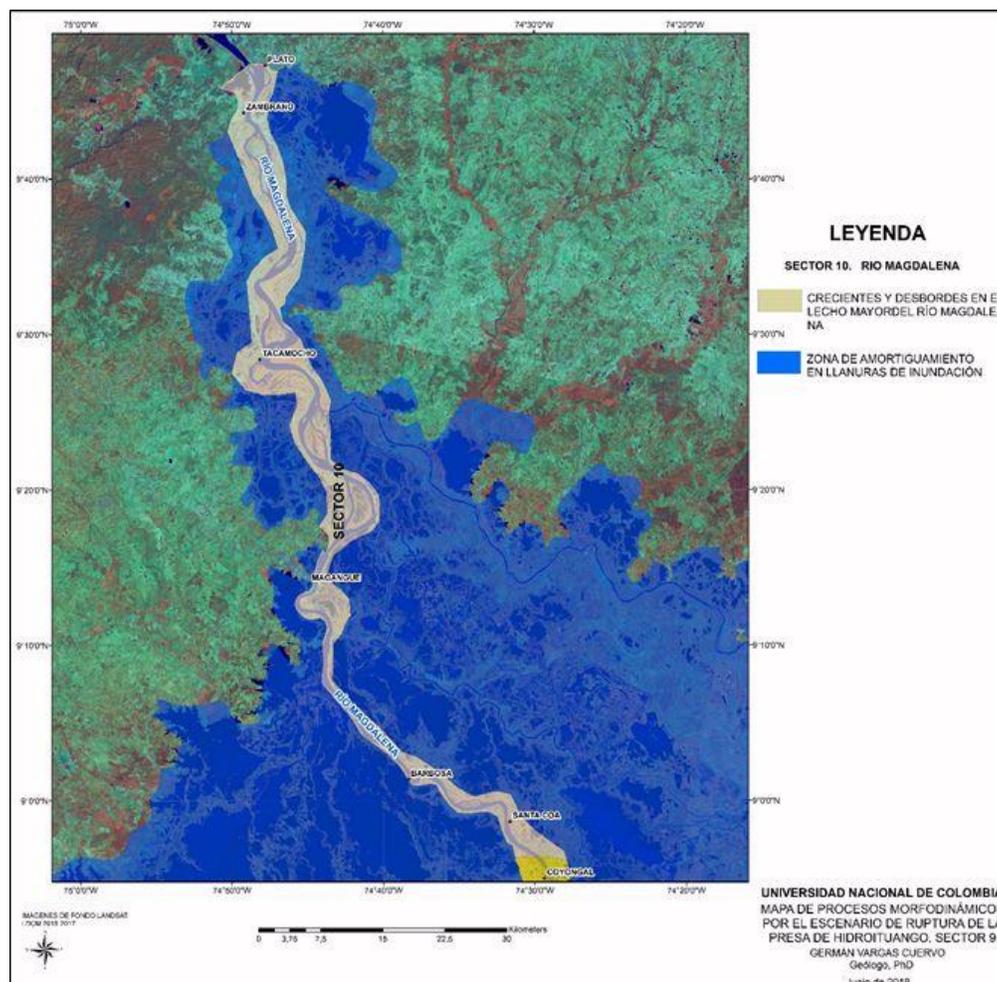
Mapa de procesos morfodinámicos del sector 9. Delta del río Cauca. Elaboración propia.



Sector 10. Río Magdalena. Pinillos – Zambrano (creciente)

Después de la confluencia del río Cauca al Magdalena por el meandro de Pinillos, se podrían presentar crecientes moderadas en el sector del lecho mayor del río Magdalena hasta la población de Zambrano.

Dada la sensibilidad de los diques aluviales que forman las orillas del lecho mayor en este sector, podrían presentarse procesos erosivos sobre los diques y desbordes hacia la llanura de inundación de la región de La Mojana.

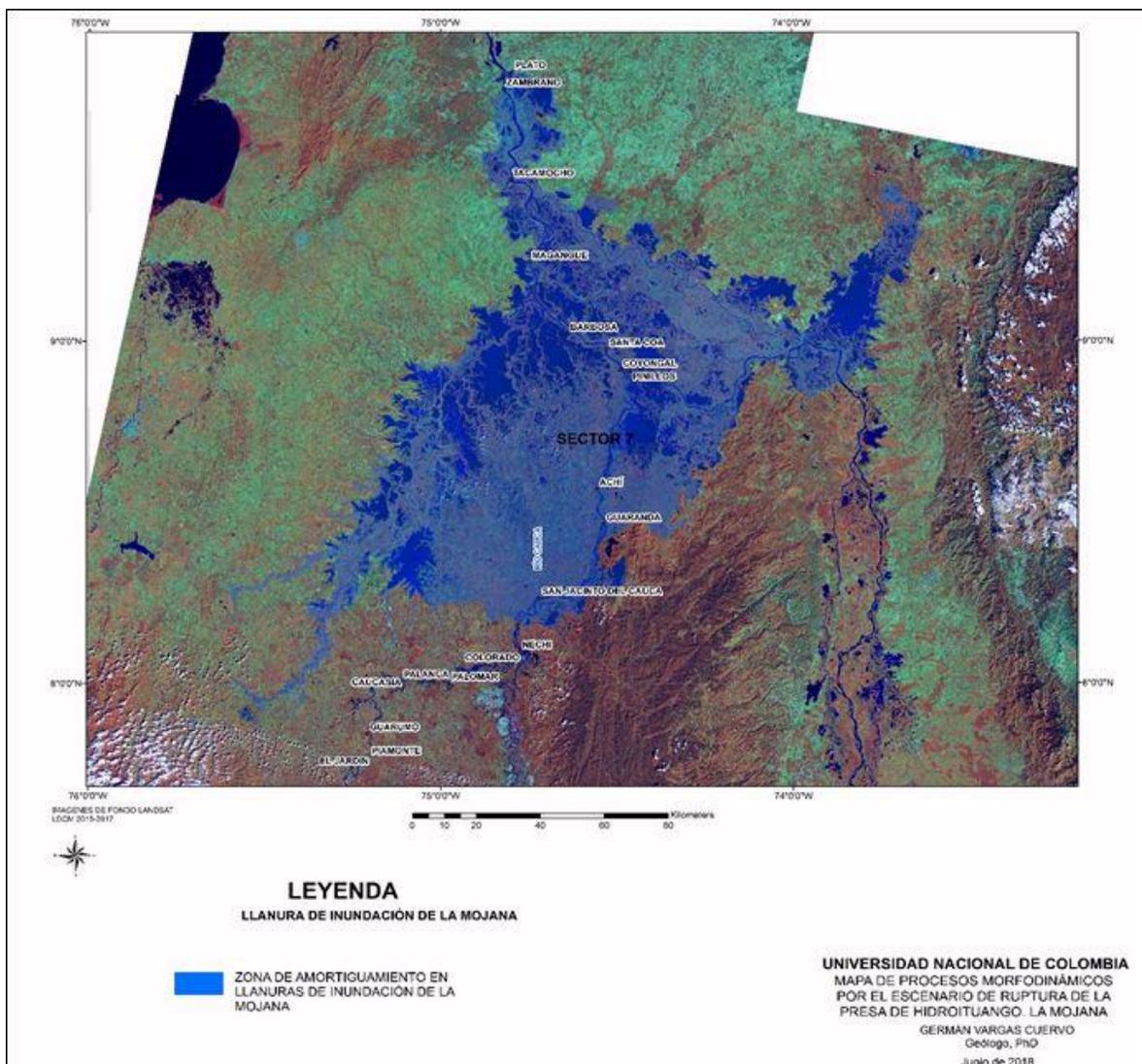


Mapa de procesos morfodinámicos del río Magdalena (sector 10). Pinillos Zambrano.
Elaboración propia.



Región de La Mojana (amortiguación de las inundaciones fluviales)

La Mojana es una llanura de inundación de aproximadamente 13.483 km², que representa una especie de gran cubeta que sirve para amortiguar las aguas excedentes de las inundaciones de los ríos Cauca y Magdalena y bajo el escenario de la ruptura de la presa de Hidroituango recogerá gran parte de las aguas que se desbordan de los cauces fluviales.



Mapa de la llanura de inundación de la región de la Mojana. Elaboración propia.



5.1.2 Movimiento en masa en la montaña que llegue al embalse

Este escenario correspondería al caso en el que parte del material térreo natural, que conforma las laderas montañosas en las vertientes del embalse, fallara generando un movimiento en masa con volúmenes importantes que al caer sobre el embalse generara un empuje del agua represada y ésta se moviera oscilatoriamente a lo largo y ancho de la represa, fenómeno que técnicamente se denomina Seiche (Figura 29).

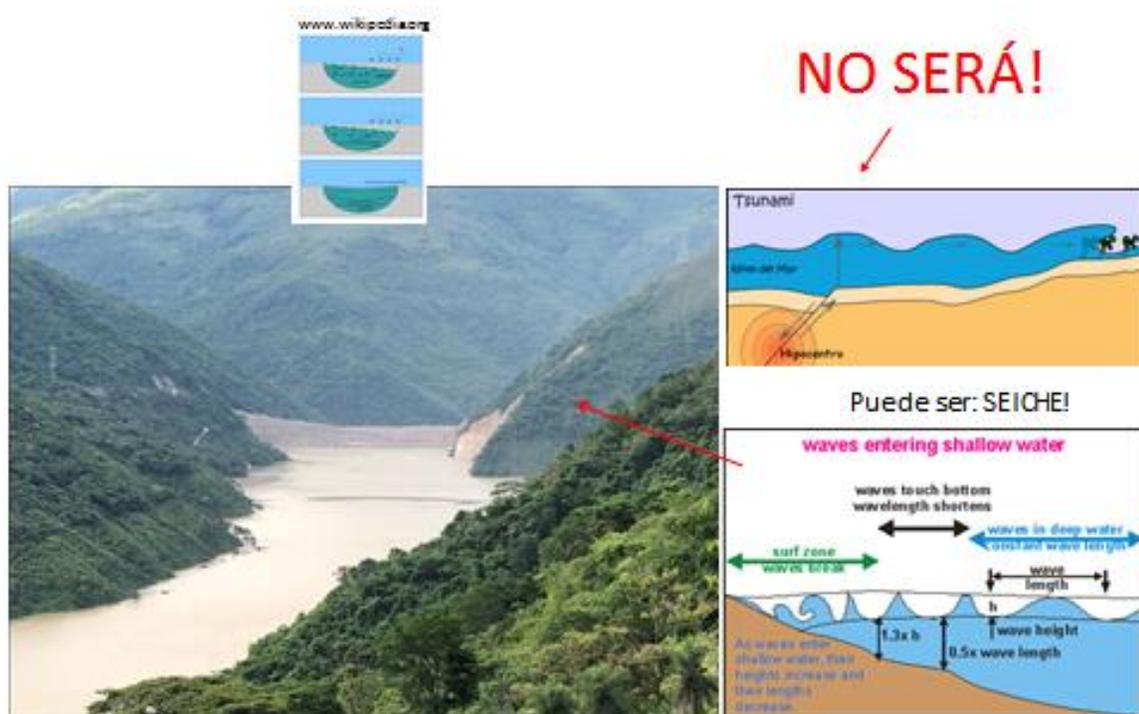


Figura 29. Escenario probable de movimiento en masa en la montaña y Seiche.

Para este caso, acudiendo a la comparación de casos de otras partes del mundo, donde fenómenos hidrometeorológicos han generado ondas en cuerpos cerrados de agua, se tendría la formación de olas de máximo 3-4 metros de altura (Figura 30).



Origin of *Abiki* phenomenon

[Hibiye & Kajiwara, 1982; Journal Of Oceanographical Society of Japan]

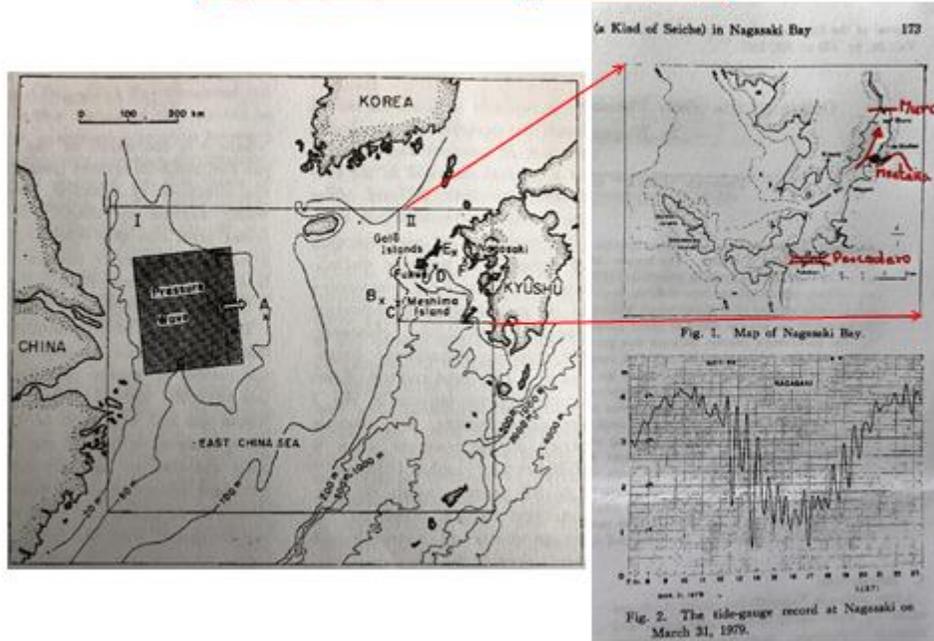


Figura 30. Seiche en la Bahía de Nagasaki (Japón).

Para el caso de una represa, los cálculos teóricos (Figura 31, Figura 32, Figura 33) se basan en el empuje de la masa de agua ocasionado por vientos generados en condiciones meteorológicas extremas, caso en el cual también se generan olas de máximo 4 metros de altura (Figura 34).

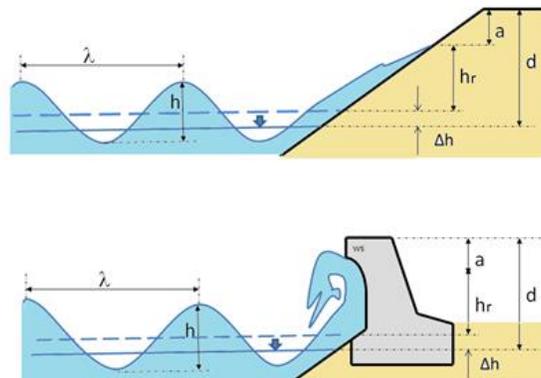
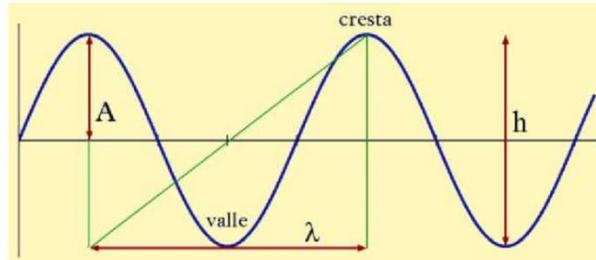


Figura 31. Altura de rodamiento de una ola.



DATOS:
D – Fetch,
w – velocidad del viento



$$K = 1 + e^{-0,4D/w} \quad h = 0,073Kw\sqrt{D * \beta}$$

$$\beta = \frac{1}{9 + 19e^{-14D/w}} \quad \lambda = 0,073w\sqrt{D/\beta}$$

Figura 32. Parámetros del oleaje.

ALTURA DE LA PRESA

- Sobre el nivel máximo de operación del embalse la altura de la corona se toma:

$$d = \Delta h + h_r + a$$

$$\Delta h = 2 * 10^{-6} \frac{Dw^2}{gH} \cos \alpha$$

$$h_r = 2 \frac{k_r}{m} h_{i\%} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}}$$

$$a \geq 0,5 \text{ m.}$$

Δh - Elevación por el arrastre de la ola
 h_r - Altura de rodamiento de la ola
 a - Altura mínima de seguridad
 α - Ángulo entre la perpendicular al eje de la presa y la dirección del viento.
 k_r - Coeficiente de rugosidad;
 0,9 - para losas de hormigón y ripio.
 Para enrocado y bloques de hormigón $k_r = 0,115 + 0,151 * \ln(h/d)$
 d - diámetro del enrocado o bloques

Resguardo por ola sísmica $d = 0,4 + 0,76(I - 6)$; donde I - intensidad del sismo en escala MKS, o Mercalli Modificada, o EMS . (Razkazov, 2008).

Figura 33. Cálculos para el caso de una presa.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Departamento de Geociencias

ALTURA DE LA OLA

(CUERPO DE INGENIEROS USA)

$$h = 0,005124 D^{0,47} W^{1,06} \quad \text{Saville (1957)} \quad D \text{-(km), } W \text{-(km/h)}$$

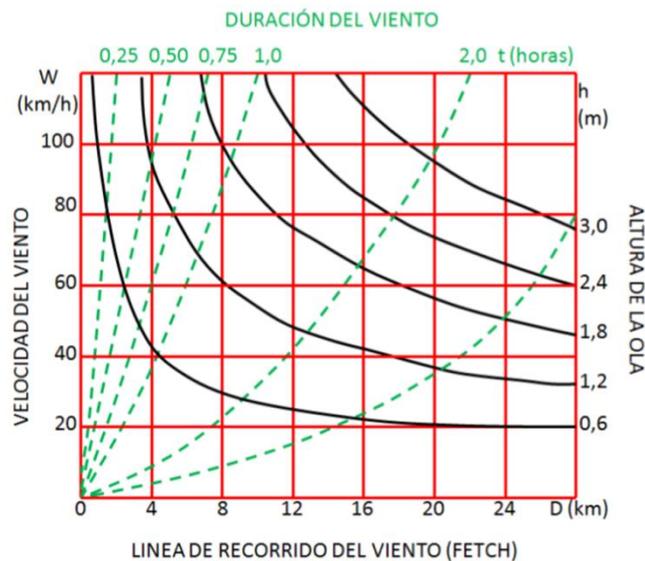


Figura 34. Altura de la ola para el caso de una presa.

Para el caso de Hidroituango, de llegarse a dar este escenario, muy probablemente no se presentaría la rotura de la presa por desbordamiento del muro (Overtopping), dado que la altura máxima de la ola no tendría las dimensiones para generar dicho desbordamiento.

5.1.3 Movimiento sísmico que afecte al muro y a la montaña

De acuerdo a los estudios realizados por Woodward-Clyde Cosultants (1980) y a lo contemplado explícitamente en el Estudio de Impacto Ambiental (Sociedad Hidroeléctrica Pescadero Ituango, 2007), es claro que este detonante natural externo al proyecto es probable que ocurra con aceleraciones de hasta 0,6g en el sitio de la presa. Si esta aceleración se llegara a presentar sobre el muro y por supuesto también sobre el macizo rocoso derecho y demás laderas de las vertientes del cañón del río Cauca, se podrían generar cualquiera de los dos escenarios anteriormente descritos (parágrafos 5.1.1: rotura del macizo rocoso y del muro y 5.1.2: seiche), solamente que en caso de seiche esta ola ahora sí sería de grandes magnitudes y sería muy probable el Overtopping. Es de resaltar acá, que tal y conforme lo dice el Estudio de Impacto Ambiental (Sociedad Hidroeléctrica



Pescadero Ituango, 2007), con respecto a la Estabilidad de la Presa “Además, dada la especial vulnerabilidad durante sismos fuertes de la parte superior de la presa, esta deberá diseñarse con excelentes condiciones de drenaje, alta densidad y filtros de espesor y características conservativas en cuanto a su granulometría”. Este aspecto también es recalcado muy especialmente para casos de diseño, construcción y puesta en funcionamiento de represas de núcleo de tierra y relleno de roca (Earth Core and Rock Fill dams; U.S. Army Corps of Engineers, 2004), además de cualquier avance reciente en el Estado del Arte de este tipo de obras de Ingeniería.

Dado que aunque parezca increíble, por el tamaño-importancia-valor del proyecto (mayor a U\$1.500 millones), no se hicieron los estudios/ensayos de laboratorio requeridos (suficientes ensayos de compresión uniaxial, triaxiales, triaxiales dinámicos, triaxiales con creep, etc.) que permitieran analizar con precisión el estado actual del macizo rocoso y por lo tanto en qué estado quedaría en caso de un sismo que afecte al proyecto, no es posible decir más que lo ya afirmado en este documento; a excepción, de resaltar una vez más, que el sector del denominado Lleno Prioritario (entre las cotas 385 y 415) fallaría por ser la parte más vulnerable de una presa y que fue la que precisamente quedó mal construida y al parecer así quedará según las versiones de EPM-Hidroituango (dado que lo único que lo corregiría sería el desmantelamiento completo de ese sector, previo el desembalse de la represa a niveles normales del río Cauca; el impermeabilizar este sector en el espaldón aguas arriba del muro, no es más que un simple refuerzo psicológico, que no valdrá de absolutamente nada en caso de un sismo o de la llegada de una corriente extraordinaria que genere un seiche de magnitud considerable que le imprima cargas dinámicas importantes al muro y al macizo rocoso).

En cuanto al tema de sismicidad inducida, no es tampoco dable conceptuar al respecto con suficiente fundamento por cuanto no se tienen datos de los registros de la instrumentación que debió colocarse en el sector del proyecto, tal y conforme lo contempló el Estudio de Impacto Ambiental (Sociedad Hidroeléctrica Pescadero Ituango, 2007). Sin embargo, es por todo el mundo relacionado con estos temas bien sabido que dichos efectos de un embalse existen y se dan sobre las montañas en las que se construyen este tipo de proyectos y que ello puede ser el detonante de sismos de magnitudes mayores a 5 en fuentes sismogénicas cercanas espacialmente al sitio del embalse, como desafortunadamente existen en el caso de Hidroituango: Sistema de Fallas cauca-Romeral, Fallas de Santa Rita, Falla del Espíritu Santo, etc. (Figura 9).



5.2 Gestión del Riesgo

Para hacer gestión del riesgo, se debe mitigarlo, disminuirlo; y para lograrlo se puede hacer disminuyendo la probabilidad de que se presente la amenaza (que no vaya a fallar el macizo rocoso, ni el muro y, que si llega a suceder, que haya la menor cantidad posible de agua embalsada); y/o, se interviene lo que exista en la probable trayectoria del flujo aguas abajo, en el muro y en la zona inundada aguas arriba del muro, los seres que existan por donde va a pasar esa posible amenaza que sería el flujo, además de las vertientes del cañón del río Cauca que se verían afectadas por movimientos en masa por la desestabilización de las partes bajas por donde pase el flujo.

Siendo así, se tienen que dar, simultáneamente en el espacio y en el tiempo, tanto el flujo como la presencia de los seres en esas zonas; de lo contrario, puede ser que se presente el flujo, es decir, que la amenaza se materialice, pero si tengo menor cantidad de seres en la zona por donde pase el flujo, las pérdidas van a ser menores; o sea, si se hace gestión del riesgo a partir de evacuaciones ordenadas y concertadas con las comunidades, se estaría disminuyendo la cantidad de pérdidas. Otra forma de mitigar el riesgo, sería hacer todo lo posible para que no se presente el flujo y para eso hay que intervenir la amenaza, que en este caso está constituida por tres componentes clarísimos para cualquier persona: la cantidad de agua que está embalsada (1500 millones de metros cúbicos con sedimentos y escombros), el muro (con el problema que existe entre las cotas 385 y 415) y el macizo rocoso (horadado internamente por las obras subterráneas realizadas y debilitándose más y más con el transcurso del tiempo, por la erosión interna y las altas presiones del flujo de agua con sedimentos y escombros).

5.2.1 Acciones que realizar para disminuir la intensidad de la amenaza

- 1) Desembalsar el agua de la represa hasta los niveles normales del río Cauca, mediante la construcción técnica de nuevos túneles que permitan el acceso a la parte baja del embalse y que saquen un mayor volumen de agua del que le esté entrando al embalse, lo cual generaría impactos a mitigar aguas abajo del muro.
- 2) Reforzar el macizo rocoso mediante inyecciones de concreto a través de perforaciones en la parte alta de la montaña.



- 3) Impermeabilizar subacuáticamente la vertiente inundada de la derecha del embalse entre el portal de entrada de la Galería Auxiliar de Desviación y el muro.
- 4) Una vez se desembalse el agua represada, dismantelar el muro que se construyó de forma antitécnica entre las cotas 385 y 415 y dejarlo a ese nivel mientras se estudia el futuro del proyecto.

5.2.2 Actividades que desarrollar para disminuir el nivel de Ontologídad

- 1) Elevar el nivel de alerta a rojo y mantenerlo hasta tanto se desembalse la represa
- 2) Evacuar ordenadamente los seres existentes en el sector de aguas abajo del muro, pasando por Puerto Valdivia hasta Cáceres y Tarazá.
- 3) Reubicarlos en un sitio donde las condiciones sean lo más parecidas a las existentes donde ellos habitaban y siempre de forma concertada con las comunidades que se han visto perjudicadas durante la contingencia.
- 4) Realizar un estudio serio, técnico y profesional del estado del proyecto, que involucre a miembros de las comunidades y con base en ello decidir concertadamente el destino del proyecto.

5.3 Aspecto Jurídico-Ambiental

Como resultado del análisis técnico de la situación de emergencia generada por el colapso del techo de la Galería Auxiliar de Desviación, acaecido el 28 de abril de 2018, y del subsiguiente evento contingente, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), dependencia legal del Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, expidió la Resolución 820 del 1 de junio de 2018 que en su parte resolutive estipula lo mostrado en la Figura 35a, Figura 35b y Figura 35c.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Departamento de Geociencias

En merito de lo expuesto,

RESUELVE

ARTÍCULO PRIMERO: IMPONER MEDIDA PREVENTIVA a la empresa Hidroeléctrica Ituango S.A. E.S.P.- HIDROITUANGO S.A. E.S.P., Nit. 811.014.798-1., consistente en la suspensión inmediata de todas las actividades regulares relacionadas con etapa de construcción, llenado y operación del embalse, que hacen parte de las actividades que se llevan a cabo dentro de la ejecución del proyecto “Construcción y Operación Hidroeléctrico Pescadero – Ituango”, ubicado en jurisdicción de los Municipios de Buriticá, Peque, Liborina, Sabanalarga, Toledo, Briceño, San Andrés de Cuerquia, Yarumal, Olaya, Ituango y Valdivia en el Departamento de Antioquia, y que no sean requeridas para la atención de la contingencia presentada desde el día 28 de abril de 2018.

Parágrafo: La presente medida no involucra la suspensión de la ejecución de las medidas del plan de seguimiento y monitoreo, así como todas aquellas actividades de desmantelamiento que sean necesarias para superar el riesgo.

ARTICULO SEGUNDO: La medida preventiva impuesta mediante el presente acto administrativo no involucra la suspensión de todas las actividades, obras, trabajos y en general todas las medidas ambientales que deban ser ejecutadas por la responsable del proyecto con el fin de prevenir y mitigar los riesgos asociados a la contingencia presentada.

Figura 35a. Parte resolutive de la Resolución 820 del 1 de junio de 2018 de la ANLA



Tampoco involucra las actividades, obras, trabajos de ingeniería y obra civil que deba ejecutar la empresa para garantizar la integralidad del proyecto y prevenir y mitigar los riesgos asociados a la contingencia presentada, los cuales son de su responsabilidad exclusiva.

ARTÍCULO TERCERO: La medida preventiva acá impuesta se mantendrá hasta tanto la sociedad Hidroeléctrica Ituango S.A. E.S.P.- Hidroituango S.A. E.S.P., Nit. 811.014.798-1, de cumplimiento a las siguientes obligaciones:

a. La Sociedad Hidroituango S.A. E.S.P., a su costa deberá contratar un perito (s) experto (s) a fin que emita un dictamen claro, preciso, detallado y objetivo, sobre las condiciones actuales de estabilidad (bajo el escenario de contingencia) y futura (bajo el escenario de operación) de la infraestructura asociada a las obras principales del proyecto Central Hidroeléctrica Ituango, que suministre información suficiente a la ANLA que le permita tener certeza científica sobre la existencia o no condiciones de riesgo que pueda derivar en impactos sobre el ambiente, por posibles efectos sobre la integralidad de la infraestructura existente en el proyecto ocasionando graves inundaciones aguas abajo, con ocasión de la contingencia iniciada el día 28 de abril de 2018.

Nota 1: El dictamen pericial deberá ser emitido por profesionales expertos nacionales o internacionales, considerando para ello que no exista ningún tipo de vínculo o subordinación con el titular del instrumento de manejo y control, ni haya participado en etapas previas de estudios y diseños o construcción, interventoría o supervisión de las obras asociadas al proyecto.

Nota 2: El resultado del dictamen pericial aquí requerido, será objeto de análisis interdisciplinario por parte de profesionales técnicos de la ANLA, a fin de emitir un pronunciamiento de fondo en relación a la medida preventiva impuesta.

b. Acreditar el cumplimiento de las obligaciones establecidas en los siguientes actos administrativos, el cual será objeto de verificación vía seguimiento:

Auto 2292 del 15 de mayo de 2018

- Numerales 1 y 6 del Artículo Primero del Auto 2292 del 15 de mayo de 2018.
- Artículo Cuarto

Resolución 720 del 16 de mayo de 2018

- Numerales 1, 2 y 3 del Artículo Primero.

PARÁGRAFO PRIMERO.- El incumplimiento total o parcial a la medida preventiva impuesta en el presente acto administrativo, podrá constituirse en una infracción conforme a lo establecido en artículo 5 y será causal de agravación de la responsabilidad en materia ambiental, según lo dispuesto en el numeral 10° del artículo séptimo de la Ley 1333 de 2009.

ARTÍCULO CUARTO.- Comisionar a la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia - CORANTIOQUIA, para que verifique el cumplimiento de la medida preventiva impuesta mediante el presente acto administrativo.

PARÁGRAFO.- Concluida la diligencia de materialización de la medida preventiva, los soportes de su resultado se remitirán a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, con destino al expediente LAM2233.

ARTÍCULO QUINTO.- Comunicar el contenido del presente acto administrativo al representante legal de la empresa HIDROELÉCTRICA ITUANGO S.A. E.S.P. - HIDROITUANGO S.A. E.S.P., o a su apoderado debidamente constituido.

Figura 35b. Continuación de la parte resolutive de la Resolución 820 del 1 de junio de 2018 de la ANLA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Departamento de Geociencias

ARTÍCULO SEXTO: Comunicar el presente acto administrativo a la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA, a la Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios, a la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, la Gobernación de Antioquia y al Puesto de Mando Unificado para su conocimiento y demás fines que estime pertinentes.

ARTÍCULO SEPTIMO.- Publicar el contenido del presente acto administrativo en la Gaceta de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, de conformidad con lo dispuesto en el inciso segundo del artículo 70 de la Ley 99 de 1993.

ARTÍCULO OCTAVO.- La presente Resolución rige a partir de la fecha de su expedición y surte efectos inmediatos.

ARTÍCULO NOVENO.- Contra el presente acto administrativo no procede recurso alguno, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 32 de la Ley 1333 de 2009.

COMUNÍQUESE, PUBLIQUESE Y CÚMPLASE

Dada en Bogotá D.C., a los 01 de junio de 2018

Figura 35c. Parte resolutive final de la Resolución 820 del 1 de junio de 2018 de la ANLA

Como respuesta a lo anterior, EPM-Hidroituango, expide el comunicado que se presenta en la Figura 36.



EPM informa la evolución de la situación en el proyecto hidroeléctrico Ituango:

EPM se permite informar que la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA – mediante acto administrativo 00820 notificado en la tarde del 28 de junio de 2018, mantiene vigente la **licencia ambiental**, prioriza la ejecución de las obras relacionadas con superar la contingencia, y suspende transitoriamente las actividades regulares no relacionadas con la atención de la misma.

De acuerdo con esta medida, ***EPM debe continuar realizando las acciones que ha venido ejecutando.***

Este acto administrativo, estará vigente hasta tanto un perito experto emita un dictamen sobre las condiciones actuales y futuras de estabilidad de la infraestructura de las obras principales.

Medellín, 29 de junio de 2018 | Avance informativo No. 68 | Hora: 6:00 p.m.

Figura 36. Comunicado de EPM como respuesta a la Resolución 820 del 1 de junio de 2018 de la ANLA

Con base en el marco teórico del riesgo, si hay claridad con respecto a ello, queda claro que lo que Hidroituango y EPM están haciendo totalmente lo contrario a lo que deberían estar haciendo. Deberían estar bajando el nivel del embalse, para disminuir la intensidad del flujo hiperconcentrado que se podría generar en caso de falla del macizo rocoso y/o parte derecha del muro, pero lo que está haciendo Hidroituango-EPM es contrariando totalmente lo que ya les ordenó la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en la Resolución 820 del 1 de junio de 2018.

Se deberían estar haciendo las actividades para disminuir la Amenaza y controlar la Ontoligicidad mencionadas al final del apartado de la Gestión del Riesgo; sin embargo, Hidroituango-EPM, dicen públicamente que lo que van a hacer es:



- 1) Colocarle un tapón de concreto a los túneles que aún no lo tienen (el derecho de desviación y la Galería Auxiliar de Desviación) y que luego van a cerrar las compuertas de la entrada de la casa de máquinas, entonces lo que va a pasar cuando hagan eso es que el nivel del agua va a subir y no a bajar como debería ser, si sube el nivel del agua se estaría incrementando la probabilidad de que falle el macizo rocoso y parte del muro por el incremento de las mayores presiones del agua sobre las laderas montañosas y que la magnitud del probable flujo sea mayor; o sea, habría una mayor intensidad del evento lo cual es totalmente contrario a lo que debería ser la gestión técnica del riesgo.

- 2) En lo pertinente a la Ontologitud, lo que se debería haber hecho desde el 16 de Mayo de 2018, sería una evacuación ordenada de los seres existentes en el área de influencia del proyecto, una evacuación que obedezca a un plan de contingencia técnico que debería tener el proyecto desde su formulación porque si no, la ANLA no les hubiera aprobado la licencia ambiental; hacer dicha evacuación de común acuerdo con las personas, con los seres humanos que viven allá en el sitio del área de influencia del proyecto, no únicamente aguas abajo sino también los que están aguas arriba donde si se llega a presentar la falla del macizo rocoso o del muro, se van a generar movimientos en masa por el desembalse rápido y, también, tener preparada a la gente que está trabajando en el muro que también son seres humanos. Desafortunadamente lo que hicieron Hidroituango-EPM, en este tema, fue bajar el nivel de alerta y decirle a la gente que ya pueden regresar a donde vivían y que el nivel de riesgo se disminuirá a cero a finales de este año, una vez se termine de construir e impermeabilizar el muro, tapar los túneles y cerrar las compuertas de la casa de máquinas; contrariando, como ya se dijo anteriormente, las órdenes de la ANLA.



Contrariando lo anterior, Hidroituango-EPM, ha salido públicamente a afirmar lo que se presenta textualmente a continuación (Hidroituango, Junio 22 de 2018 – www.elcolombiano.com.co): **“Tres hitos separan a EPM de retomar el control del proyecto hidroeléctrico de Ituango”**.

“1. Presa definitiva

El muro de contención de Hidroituango se construyó de forma definitiva hasta el nivel de 385 metros sobre el nivel del mar (msnm). Tras la obstrucción de la galería auxiliar de desviación, por un derrumbe el pasado 28 de abril, se tomó la determinación de implementar un lleno prioritario para subir la presa y evitar el paso del río represado por encima del muro.

Para ello se construirá una pantalla de concreto plástico que garantice las características que debe cumplir. El apantallamiento comenzará a ejecutarse a finales de julio y culminaría a finales de este año. La siguiente meta volante será subir la presa hasta la cota 435, objetivo que se obtendría en el primer trimestre de 2019.

El lleno definitivo es crucial para poder cerrar la casa de máquinas. Cuando esta decisión se tome, el embalse subirá hasta la cota 401 msnm (hoy está en 386,18) y el agua podrá fluir de forma controlada por el vertedero.

2. Cierre de compuertas de la casa de máquinas

El paso del río Cauca por las compuertas de captación de la casa de máquinas de Hidroituango, vigente [desde el pasado 11 de mayo](#), solo se suspendería hasta dentro cuatro meses, una vez la presa obtenga mayor resistencia en su llenado.

Jorge Londoño De la Cuesta, gerente de EPM, indicó que hasta que el muro no les dé tranquilidad, no van a tomar la decisión de cerrar las compuertas. Sin embargo, adelantó que si el apantallamiento de la presa tiene un avance significativo finalizando el tercer trimestre de este año, comenzando el cuarto trimestre (en octubre) “esperamos estar cerrando las compuertas de captación de casa de máquinas para que el embalse termine de subir y empiece a fluir agua por el vertedero”.

La suspensión del paso de agua por esas compuertas marcará el comienzo de dos hechos claves: el contratista podrá ingresar a la caverna y verificar con precisión cuanto tiempo tardará la recuperación del proyecto; además, se podrá levantar la alerta en los municipios aguas abajo del proyecto.



“Tenemos información que nos permite ser optimista de que la infraestructura no va a estar afectada significativamente. La red de sismología nos dice que no se han presentado colapsos”, dijo De la Cuesta.

3. Taponamiento de túneles

El otro reto en el megaproyecto es el taponamiento definitivo del túnel derecho de desviación y de la galería auxiliar. Para ello EPM contrató una firma internacional, experta en perforación, para inyectar concretos y poder taponar los túneles. Esta empresa se encuentra desarrollando los diseños de ingeniería que deberá entregar a mediados de julio. El proceso culminaría a finales de septiembre.

¿Y el estado de la montaña?

El centro de monitoreo del proyecto evalúa las 24 horas el movimiento de la montaña, arriba de los túneles de captación. Aún se siguen presentando derrumbes esporádicos. Londoño De la Cuesta indicó que existe una probabilidad alta de que se registre un desprendimiento de entre 100.000 y 200.000 metros cúbicos de tierra en los próximos días, lo que obligará a la evacuación de los trabajadores. “No es motivo de alarma si el desprendimiento se mantiene inferior a los 200.000 metros cúbicos”, señaló.

El funcionario también añadió que el próximo sábado estará listo el megalbergue de Sevilla en Valdivia, con una capacidad de 3.000 personas, lo que permitirá liberar los otros puntos de alojamiento de habitantes evacuados. Asimismo, detalló que Iván Duque, presidente electo de Colombia, visitará en los próximos días el proyecto. “Hidroituango será un tema importante dentro del empalme entre Gobiernos”, aseguró.”.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Departamento de Geociencias

Lo último que se ha sabido del caso Hidroituango, a 1 de Agosto de 2018, según el medio de comunicación que es casi el único que lo sigue tratando, El Colombiano (Medellín), es:

1. Los riesgos que siguen latentes en el proyecto Hidroituango

(<http://www.elcolombiano.com/antioquia/los-riesgos-que-siguen-latentes-en-el-proyecto-hidroituango-CX9022884>) – 19 de Julio de 2018.

“Transcurridos 68 días desde que un túnel de Hidroituango se obstruyó, se destaponó de manera natural y volvió a taparse, las directivas de la empresa entregaron un nuevo reporte sobre lo ocurrido, los riesgos que corren las comunidades aguas abajo y los retos que enfrenta el proyecto.

Con el lleno prioritario de la presa, que ya está en la cota 418 (metros sobre el nivel del mar) se eliminó el riesgo de que el agua sobrepasara el muro y causara una avalancha de grandes proporciones. Pero el proyecto aún no ha superado la contingencia.

Luis Fernando Restrepo, gerente de Infraestructura de Integral, la firma encargada del diseño de la obra, explicó que hoy el riesgo principal es que el túnel de desviación derecho (el mismo que se taponó) vuelva a destaparse súbitamente y se produzca, de nuevo, una inundación en las poblaciones ubicadas aguas abajo. “De presentarse una situación así, tendríamos un aumento de caudal similar al del 12 de mayo. No arrasaría pueblos enteros, pero sí supone un riesgo para la población porque es la parte sobre la que menos tenemos control”, dijo.

¿En qué está el proyecto?

Según Restrepo, hoy los esfuerzos se concentran en la construcción de una pantalla —una barrera impermeable— que se hará en los 33 metros de lleno prioritario para garantizar que la presa cumpla con los estándares internacionales.

Esos trabajos comenzarán el próximo 2 de agosto y se prolongarán hasta octubre. “En ese punto retomaremos la construcción de la presa con los diseños iniciales, para llegar hasta la cota 435 en el primer trimestre de 2019”, dijo.

Adicionalmente, el consorcio constructor CCC trabaja en la adecuación de una vía que permitirá que sus empleados lleguen hasta la zona ubicada encima de los pozos de compuertas, donde se presentaron los últimos derrumbes. Allí, en las próximas semanas, se harán trabajos de remoción de material, construcción de terrazas y fijación de pernos, para estabilizar la montaña.

Cristiano Cortez, asesor de CCC, aseguró que el consorcio trabaja con un equipo de expertos para encontrar soluciones a los problemas de ingeniería del proyecto. Entre los asesores hay expertos de Noruega, Brasil y Estados Unidos.

Cierre de casa de máquinas

Ni Restrepo ni los funcionarios de EPM que asistieron ayer a un foro en el Concejo de Medellín se aventuraron a dar una fecha para esa operación que será la más delicada.

“Ninguna persona hoy sabe con certeza lo que pasa dentro de la casa de máquinas. Sabemos que hay daños y que algunos se pueden corregir, pero necesitamos primero terminar la presa. Las medidas de protección que estamos tomando nos garantizarán un tiempo de recurrencia (probabilidad de ocurrencia



de un evento similar) de por lo menos 500 años. Luego haremos planes para retomar el montaje de turbinas”, dijo”.

2. Concejales piden revisar remoción de capa vegetal en Hidroituango

(<http://www.elcolombiano.com/antioquia/hidroituango-concejo-de-medellin-debatio-situacion-del-proyecto-XL9049734>) – 25 de Julio de 2018.

“Dos palabras fueron recurrentes, ayer, por parte de concejales de Medellín a EPM: respaldo y revisión de contratos en Hidroituango. La solicitud de los corporados fue la de precisar lo sucedido con la capa vegetal (madera) producto de la tala de árboles para levantar la obra y los detalles de la interventoría y desarrollo del proyecto.

La crisis que vive el megaproyecto hidroeléctrico, desde el pasado 28 de abril, sigue sin superarse, aunque los trabajos para solucionar la emergencia avanzan a buen ritmo. También, aclararon directivas, habrá repercusiones por la coyuntura que obligarán, luego de un riguroso análisis, a la toma de determinaciones financieras con respecto al futuro de EPM.

El primer cuestionamiento, durante un debate que duró casi nueve horas, lo hizo la concejala Luz María Múnera, quien reveló una supuesta advertencia de EPM al contratista, previa a la emergencia, para que realizara la remoción de la capa vegetal extraída del proyecto, lo que, aseguró, se incumplió y propició el colapso del túnel de desvío generando el represamiento aguas arriba del proyecto.

“Había que recoger del río, no lo que decían que venía del Valle del Cauca. Es que se quitó la capa vegetal y la tiraron al Cauca y esto es lo que hace que se tapone el conducto y lo que generara la emergencia”, señaló la concejal Múnera.

Sobre ese mismo contrato de remoción de masa vegetal, la concejal María Paulina Aguinaga dijo que había dudas de si fue lo que ocasionó dicho taponamiento del túnel.

“Un informe de auditoría de marzo de este año, dice que EPM anunció que esa situación era uno de los riesgos que tenía el proyecto, pues la empresa solo sacó la licitación hasta septiembre y las contrataciones las hizo para el 57 % del total de hectáreas que exigía la Anla (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales)”, aseveró.

Aguinaga añadió que otro agravante dentro de la labor de remoción de esa capa vegetal ocurrió porque “una parte del contrato se le dio a una persona natural (el 47 % era de una empresa)”.

Causa improbable

Desde el punto de vista de Johel Moreno, expresidente de la Sociedad de Arquitectos e Ingenieros de Antioquia (SAI), es poco probable el taponamiento del túnel debido a la cantidad de troncos de árboles y demás elementos vegetales.

“Hay una cadena de incumplimientos de contratos en la remoción de biomasa, en la medida en que se fue talando la vegetación se debió recoger para no lanzarla al pulso del río. Ahora, no creo que esos palos hayan obstruido, pues es un túnel amplio: 14 metros de ancho y lo mismo de altura, y por ahí cabe un árbol”, destacó.

Subrayó que los diseños de los túneles no tuvieron los estudios para que se forraran las superficies y garantizaran que el fluido fuera más veloz. Consideró que el error principal estuvo en el cierre, antes del



llenado de la presa, de los túneles auxiliares (dos). Quién decidió taponarlos con bloques de concreto macizo y construir un tercer túnel de desviación, eso nunca estuvo en el cronograma de obra y no se blindaron acorde a la inestabilidad”, enfatizó.

Investigación tomará tiempo

Respecto a la supuesta comunicación en la que EPM advertía el riesgo por la capa vegetal, Jorge Londoño de la Cuesta, gerente general de EPM, reiteró que la emergencia sucedió el 28 de abril por los motivos ya conocidos. La empresa indicó que remueve, diariamente, el material flotante que trae el río Cauca al espejo de agua del embalse. No obstante, recordó que en camino viene una investigación de “causa raíz”, que arrojará información más precisa de lo sucedido.

“A partir de agosto tendremos contratadas personas externas para hacer análisis de causa raíz del problema. La información que tenemos no nos permite concluir rotundamente nada. Pero vamos a poner todos los datos de diseños, ejecución, contratos, interventoría para que hagan análisis. Eso también toma varios meses”, apuntó.

Londoño de la Cuesta explicó que ese estudio de causas del problema será realizado por expertos independientes e internacionales y, de los resultados, las empresas aseguradoras definirán el monto y los tipos de cobertura que harán de lo sucedido en Hidroituango.

“Lo que sí se sabe es que por la complejidad de los seguros tampoco se va resolver pronto: tomará más de un año. Apenas estamos allegando información para determinar qué tipo de pagos podemos esperar”, enfatizó.

Implicaciones financieras

Otro de los puntos tocados en el debate de control político a EPM, fue el de las repercusiones económicas que traerá la emergencia y los caminos que la empresa debe tomar.

Para el concejal Bernardo Alejandro Guerra, la empresa debió desinvertir en Une (en la que participa con el 50 %) y se deben revisar inversiones como las que se tiene en Oruro (Bolivia), Adasa (Chile) y Gas Oriente.

“El escenario de desinversión debe ser definitivo. No hay otra manera de salvar el proyecto. Aseguradores de riesgo dicen que es el momento, no de que le entregue réditos al Municipio de Medellín, sino que este le ayude a EPM”, acotó y concluyó que los impactos estimados, entre 2018 y 2022, en caja son de \$9,6 billones, “lo que traerá muchas dificultades al próximo alcalde”.

3. EPM anuncia venta de empresas y acciones para superar contingencia en Hidroituango

<http://www.elcolombiano.com/antioquia/epm-anuncio-ventas-para-superar-crisis-en-hidroituango-HL9085584>) – 31 de Julio de 2018.

“EPM anunció este martes que solicitará al Concejo de Medellín la autorización para vender activos por valor de entre 3,5 y 4 billones de pesos, para conseguir recursos que permitan mantener la solvencia del grupo. La enajenación incluiría su participación en diferentes empresas, entre ellas el 10 % de las acciones de ISA y otras de Davivienda.



Jorge Londoño de la Cuesta, gerente de EPM, explicó que la intención —además de salir de pequeñas participaciones accionarias— es vender las empresas que EPM tiene en Chile, una de ellas dedicada al servicio de aguas y otra a la generación de energía eólica.

“Iniciaremos los trámites para enajenar Aguas de Antofagasta y el parque eólico Los Cururos. Con eso el grupo EPM va a asegurar el capital necesario para seguir realizando todas las inversiones que requiere el grupo y atender de la mejor manera la contingencia en Hidroituango”, dijo.

Según Londoño la empresa tiene contemplado, en su plan de crecimiento orgánico, inversiones por 10 billones de pesos en los próximos años, la mayoría de esos recursos irán al fortalecimiento del acueducto y alcantarillado en Medellín y otras regiones de Antioquia, así como a las líneas de transmisión y distribución de energía. “Ese tren de inversiones no se puede parar. Es una decisión clara desde el principio de la administración”.

Además, para garantizar la solidez económica, la empresa pondrá en marcha un plan de ahorro que tiene como meta llegar a un billón de pesos en cuatro años. “No se frena el tren de inversiones. EPM, afortunadamente, tiene solidez patrimonial para superar la contingencia en Hidroituango”, añadió.

A diciembre de 2017 las inversiones en filiales y subsidiarias de EPM totalizaron 9,3 billones de pesos, con lo que la decisión de la junta es la eventual venta del 32,2 % de ese portafolio.

Vale la pena mencionar que como consecuencia de las contingencias en Ituango, el pasado once de mayo la agencia evaluadora Fitch Ratings colocó la calificación nacional de largo plazo de AAA de EPM en observación negativa desde una perspectiva estable.

“La observación negativa sobre la calificación refleja una probabilidad mayor de retrasos en la construcción del proyecto hidroeléctrico Ituango, lo cual probablemente aumentará la presión sobre la estructura de capital de EPM de manera sostenida. Adicionalmente, aspectos logísticos y del medio ambiente aumentaron la incertidumbre en torno a la posibilidad de sobrecostos significativos y de pasivos asociados. La acción de calificación responde al colapso súbito de una sección de la montaña donde se ubica Ituango y que bloqueó el túnel de desviación del río Cauca aguas abajo del proyecto”, anotó Fitch.

A su turno, el 24 de mayo la agencia calificadora Moody’s Investors Service revisó la calificación de EPM y la ubicó en Baa3, manteniendo el grado de inversión a nivel internacional.

Investigaciones internas

El Gerente de EPM informó además que ordenó a las áreas de auditoría y control interno de la empresa, que inicien investigaciones para detectar posibles inconsistencias en procesos relacionados con el proyecto Hidroituango.

“Le pedí a Auditoría que me haga un análisis pormenorizado de todos los procesos que se hicieron. Y a Control Interno que evalúe las posibles inconsistencias que se pudieron haber presentado durante el licenciamiento (...) se pudieron haber presentado algunas inconsistencias en las fechas, en lo que tiene que ver con licencias ambientales”, aclaró.

Londoño de la Cuesta destacó que a pesar de que los costos de la empresa se aumentaron por la atención de la contingencia en Ituango, el Ebitda de la empresa (beneficio bruto de operación antes de descontar gastos e impuestos) creció 10% durante el primer semestre del año, respecto al mismo período de 2017.”



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Departamento de Geociencias

Finalmente, en este componente del riesgo, hay que anotar y dejar muy claro el error de la ANLA al indicarles a Hidroituango-EPM que contraten a su cargo un grupo de expertos que hagan un estudio del estado actual del proyecto, para que le entreguen un dictamen a la ANLA sobre las condiciones de estabilidad de las obras realizadas y del macizo rocoso. Al respecto, Hidroituango-EPM dijo públicamente que en junta realizada específicamente para “analizar” la Resolución 820 de la ANLA, habían concluido que no se les habían dado la orden de suspender de inmediato las obras regulares de construcción de la represa y que por lo tanto terminarían el muro, cerrarían las compuertas de la casa de máquinas y tapparían los túneles definitivamente para empezar a generar en el 2021 y que de inmediato habían iniciado la contratación del grupo de expertos o bien a costa de Hidroituango S.A o de EMP; este último aspecto es lo contradictorio de la Resolución 820 de la ANLA, la que expresamente le indica que el grupo de expertos que hagan este trabajo de analizar el estado actual del proyecto no debe tener ningún tipo de relación con el dueño del proyecto, ni en el pasado, ni en el presente. Pero si lo contrata Hidroituango o EPM, ineludiblemente se tendrá un vínculo con el dueño del proyecto, quien además ya dejó claro que la información resultante de ese estudio se les deberá entregar a ellos, que para eso la comprarán, para beneficiar a la Empresa.



CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y

PREGUNTAS

1. El diseño, construcción y puesta en funcionamiento de proyectos, obras y actividades hidroeléctricas deben realizarse siguiendo los procedimientos estándar definidos para tal fin, de lo contrario conllevarán a la generación de problemas y riesgos de origen antrópico, así sean detonados por procesos geológicos naturales como lo sería la ocurrencia de un sismo o de lluvias intensas.
2. En la construcción del proyecto hidroeléctrico Hidroituango se desarrollaron actividades antitécnicas como el taponamiento definitivo de los túneles de desviación, la no recolección de restos vegetales y la construcción de la galería auxiliar sin que estuviera diseñada para conducir agua a altas presiones. Esto dio origen a la emergencia del 28 de abril de 2018 y a la posterior contingencia vigente a la fecha, con la consecuencia generación del riesgo ya acaecido, que continúa generándose y al que probablemente ocurra en el futuro.
3. De acuerdo al estado de avance continuo del deterioro del Macizo Rocosó, soportado por las observaciones de las condiciones superficiales y en profundidad de la montaña derecha del muro de Hidroituango, así como en los argumentos presentados en el componente Geotécnico del presente informe, se puede afirmar que dicho Macizo está discurriendo a la falla y que es perentorio el desembalse de la represa hasta los niveles normales del río Cauca.



4. En caso de falla/rotura del Macizo Rocoso y/o del sector derecho del muro, se presentaría un Flujo Hiperconcentrado de agua con mezcla de sedimentos y escombros, que arrasaría por completo lo que encuentre a su paso entre el sitio del Muro, Puerto Valdivia, El 15, El 12 y El 5, junto con la desestabilización de las laderas de este trayecto encañonado del río Cauca, incorporando este material al flujo a medida que este avance; este flujo dejaría depositados la mayor parte de los sedimentos transportados en el sector entre El 5, Cáceres y Tarazá, donde lo que no arrase a su paso lo cubrirá el depósito de sedimentos y escombros transportados. Posteriormente, el flujo de agua con sedimentos seguirá su recorrido desde Cáceres hacia Caucasia y Nechí, sectores que se verán afectados principalmente por avenidas torrenciales con alturas de varios metros. Finalmente, la mayor parte del agua que llegue al sector de Nechí, muy probablemente se explaye y embalse en los bajos de la Mojana; y, desde este sitio, hasta la desembocadura del río Magdalena en Bocas de Ceniza (Barranquilla), se presentará un incremento del nivel del agua que tal vez no supere el metro de altura.
5. El tiempo que se demoraría en desembalsarse la represa Hidroitungo, si esta se rompe, de acuerdo a lo ocurrido en el caso del represamiento del río Paute en La Josefina (Ecuador; Peñafiel, 2011)), sería de meses.
6. Hay que recalcar que el tiempo que se demoraría la implementación de las medidas de control de la Amenaza que representa la Represa, sería de alrededor de 2 a 3 años; tiempo en el cual se podría presentar algún detonante que genere la falla/rotura del Macizo Rocoso o del Muro, razón por la cual la medida de mitigación del Riesgo más efectiva en estos momentos sería la Evacuación controlada y concertada con la Comunidad del área de influencia del proyecto Hidroitungo, tanto de aguas abajo como de aguas arriba del Muro.



7. Es importante anotar que los probables detonantes de una probable rotura/falla de la represa Hidroituango, serían: **A)** que el nivel de resistencia del Macizo Rocoso se vea superado por las continuas fuerzas que le está imprimiendo el agua actualmente embalsada y la que está fluyendo a altas presiones por el interior de la montaña, fuerzas que se verán aumentadas si se continúa construyendo el proyecto tal y conforme lo ha manifestado públicamente Hidroituango S.A. E.S.P. – Empresas Públicas de Medellín. **B)** Falla del Muro en la parte superior a la cota 385, por cuanto el “Lleno Prioritario” no cumple con las condiciones de compactación y resistencia que debería tener; si esta parte del Muro falla, se presentaría el desborde del mismo, erosión por el flujo de agua sobre él y finalmente el colapso masivo de la represa. **C)** Si ocurre un sismo tectónico o por sismicidad inducida del embalse, podría fallar el Macizo Rocoso ya debilitado y/o el Muro en la parte superior del mismo (por las condiciones muy precarias existentes en el sector entre las cotas 385 y 415). **D)** Si ocurre una creciente extraordinaria que llegue al embalse con la consecuente generación del movimiento general del volumen de agua embalsada, lo que produciría, además del incremento en el nivel del agua, las fuerzas de empuje de dicha creciente sobre el Muro y el Macizo Rocoso debilitado. **E)** Que en Octubre- Noviembre de 2018, segunda temporada de intensificación de las lluvias en Colombia, por el tránsito de la Zona de Confluencia Intertropical hacia el Trópico de Capricornio (23,5° de Latitud Sur), genere el incremento descontrolado del nivel del embalse y con ello el incremento de las fuerzas sobre las laderas montañosas y muy especialmente sobre el Macizo Rocoso debilitado y lo lleve a la falla.
8. Hidroituango-EPM ya deberían haber suspendido la continuación de la construcción del Muro y demás obras relacionadas con la construcción del proyecto, llenado del embalse y puesta en funcionamiento del mismo; debió haber puesto ya en



funcionamiento las actividades de atención integral a las Comunidades perjudicadas por la contingencia y que continúan siendo afectadas; realizar las obras para desembalsar la represa hasta los niveles normales del río Cauca; reforzar el macizo rocoso mediante inyecciones de productos técnicamente adecuados así como la vertiente derecha del río Cauca ya inundada; y, dismantelar el muro hasta la cota 385, previo desembalse de la represa hasta los niveles normales del río Cauca. Con esto simplemente se estaría dando cumplimiento cabal a lo estipulado en la Resolución 820 del 1 de junio de 2018 de la ANLA.

No obstante, lo anterior, con base en lo presentado en este documento y en las declaraciones de los funcionarios de Hidroituango-EPM, se tendría entre otras las siguientes inquietudes/preguntas:

- 1) Los estudios de caracterización de la Línea Base Ambiental, el Estudio de Impacto Ambiental, el Diseño y el desarrollo de la construcción del proyecto hasta el día de la emergencia e inicio de la Contingencia que sigue vigente, y lo seguirá hasta tanto no se desembalse la represa a los niveles normales del río Cauca, ¿se realizaron de acuerdo con lo estipulado en el Estado del Arte?
- 2) Por qué la ANLA, que es la autoridad competente, ¿no le ha hecho seguimiento al cumplimiento de la Resolución 820 de 1 de junio de 2018 y no ha obligado a Hidroituango-EPM a que la cumpla?
- 3) ¿Por qué Hidroituango-EPM desconoce flagrantemente y de frente las órdenes de la Resolución 820 de 1 de junio de 2018 de la ANLA?
- 4) Qué le responderían el Ministerio del Medio Ambiente, la ANLA, la Procuraduría General de la Nación, la Contraloría General de Medellín, la Defensoría del Pueblo,



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Departamento de Geociencias

Hidroituango-EPM, la Gobernación de Antioquia, la Alcaldía de Medellín, el Gobierno Nacional y las Entidades que han financiado este proyecto, a los familiares de quienes mueran, a los que se vean perjudicados en sus bienes y servicios, al pueblo colombiano y a la comunidad internacional en caso de que mañana, dentro de una semana o en el transcurso del desarrollo y funcionamiento del proyecto se rompa el macizo rocoso y/o el muro y se genere un flujo hiperconcentrado catastrófico desde el muro de Hidroituango hasta Nechí junto con las consecuencias igualmente catastróficas aguas arriba del muro y en el muro mismo?

- 5) ¿Quién pagará las pérdidas que ya se han generado por los problemas de Hidroituango y por las que se continuarán generando hasta que se resuelva este entuerto?

- 6) En caso de que se presente un sismo o una creciente extrema que llegue al embalse y que generen la rotura del macizo rocoso y/o del muro con la consecuente materialización de un flujo hiperconcentrado aguas abajo del muro hasta Nechí, los daños en el sitio de presa y los efectos aguas arriba del muro, a quién o a qué le echarán la culpa?

Nos estamos hablando,

MODESTO EUSEBIO PORTILLA GAMBOA

Profesor Geociencias - Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá)

Geólogo UIS

Especialista en Evaluación de Riesgos y Prevención de Desastres – Universidad de Los Andes

Máster en Geotecnia – Universidad Nacional de Colombia

Doctor en Ingeniería del Terreno – Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España)

Estudios de Vulcanología en la Universidad de Kyoto (JICA, Japón)

Curso de Sistemas de Información Geográfica – Universidad de Harvard (Estados Unidos)

Carrera 30 No. 45-03, **FACULTAD DE CIENCIAS EDIFICIO - MANUEL ANCÍZAR**, Edificio 224, 3 piso, Oficina 328

Teléfono: (57-1) Fax: 316 5390 *Conmutador*: (57-1) 316 5000 Ext. 16541 - A.A. 14490-5997

Correo electrónico: mportillag@unal.edu.co/ Bogotá, Colombia, Sur América



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barton N. (2013): Shear strength criteria for rock, joints, rockfill, and rock masses: Problems and some solutions. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 5, pp.249-261.

Broch E. (1979): Changes in rock strength caused by water. *Proceedings of the 4th ISRM Congress*, Montreux, Volume 1, pp. 71-75. Balkema, Rotterdam.

Chi F. and Ma H. (2016): Major technologies for safe constructions of high Earth-Rock Fill dams. *Engineering*, 2, pp.498-509.

Hidroituango S.A. E.S.P. (2012): Proyecto hidroeléctrico Pescadero – Ituango. Seminario de Centrales Hidroeléctricas de la SAI, San Jerónimo (Antioquia, Colombia), agosto 30 de 2012.

Hoek E. and Martin, C.D. (2014): Fracture initiation and propagation in intact rock – A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6, pp.287-300.

Kim D.S., Kim M.K., Kim S.H., and Chao Y.W. (2012): Seismic behaviors of Earth-Core, Concrete-faced rock fill, and composite dams.

Lisjak A., Figi D., and Grasselli G. (2014): Fracture development around deep underground excavations: Insights from FDEM modelling. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6, pp.493-505.

Liu L. and Xu W.Y. (2015): Experimental researches on long-term strength of granite gneiss. *Advances in material science and engineering*, Hindawi Publishing Corporation. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/187616>.

Liu L., Xu W.Y., Wang H.L. Wang R.B., and Wang W. (2016): Experimental studies on hydromechanical properties of metamorphic rock under hydraulic pressures. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 20:1, pp.45-59.

Ministerio del Medio Ambiente (2001): Proyecto Hidroeléctrico Pescadero – Ituango, Expediente 2233, Evaluación del estudio para expedir términos de referencia para Estudio de Impacto Ambiental. Subdirección de Licencias Ambientales, Concepto No. 163 del 23 de Febrero de 2001.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Departamento de Geociencias

Peñafiel E. (2011): Incidencia de La Josefina en el Cantón Paute: 1993-1995. Trabajo de Grado de Licenciatura en Ciencias de la Educación en la Especialidad de Historia y Geografía, Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación de la Universidad de Cuenca (Ecuador), 107p.

Promotora de la Hidroeléctrica de Pescadero – Ituango S.A. E.S.P. (1999): Estudios para la Actualización de la Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Pescadero – Ituango. Integral Ingenieros Consultores y Asesores AGRA Monenco inc. Ingeniería de Soluciones Globales. Informe Final, Volumen 1, Mayo de 1999.

Sociedad Hidroeléctrica Pescadero Ituango (2007): Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Ituango. Informe Final, Volumen 1. Contrato No. 002-2006 Servicio de Consultoría para la Complementación de la Factibilidad Técnica, Económica y Ambiental. Consorcio Integral e Hidroeléctrica Pescadero Ituango, Agosto de 2007.

U.S. Army Corps of Engineers (2004): General design and construction considerations for Earth and Rock-Fill dams. Engineering and Design, Engineering Manual, EM 1110-2-2300, 127p.

Woodward-Clyde Consultants (1980): Preliminary seismic hazard study Ituango Project Colombia.

Yi P., Liu J., and Xu C. (2015): Reliability analysis of high rockfill dam stability. Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering, 8p.

Done