



# Universidad Austral de Chile

Instituto de Ciencias de la Tierra

## DECLARACIÓN PÚBLICA

Por medio de la presente, hacemos llegar a la comunidad de la Región de Los Ríos, las observaciones realizadas por un grupo de académicos del Instituto de Ciencias de la Tierra de la Universidad Austral de Chile, al estudio de impacto ambiental (EIA) del proyecto "Adecuación Central Hidroeléctrica San Pedro" presentado por la empresa Colbún S.A. Nuestras observaciones tienen relación principalmente con los capítulos dedicados a la "Determinación y justificación del área de influencia del proyecto" y "Línea de Base". A partir del conjunto de observaciones que presentamos en el documento adjunto, concluimos que faltan antecedentes y estudios relevantes para evaluar de manera apropiada el citado proyecto, especialmente en lo referente a la componente de Riesgos Geológicos. Es pertinente destacar que en varios estudios presentados por Colbún se recomienda realizar estudios complementarios destinados a clarificar aspectos esenciales aun inciertos. Sin embargo, estos estudios requeridos no han sido presentados en el nuevo EIA.

Nuestra principal observación tiene relación con la extensión espacial del EIA presentado, el cual está restringido al área de construcción de la represa. De esta forma, se ha excluido del estudio una zona crítica para el proyecto que está ubicada aguas arriba de la represa y que sería inundada por el embalse, la que corresponde al lugar donde se han registrado recurrentes remociones en masa asociadas principalmente a los grandes terremotos de 1960 y 1575. La ocurrencia de estos deslizamientos ha causado anteriormente el represamiento de las aguas del río San Pedro y, posteriormente, grandes impactos a lo largo de los cauces de los ríos San Pedro, Calle Calle y Valdivia. Estos antecedentes permiten suponer la formación de futuros tacos en este río, los cuales podrían colapsar total o parcialmente afectando la represa y una extensa zona aguas abajo, situación que es abordada de manera muy simplificada en el EIA presentado. Por el contrario, la empresa Colbún señala en su estudio que el embalse contribuirá a la estabilidad de las laderas del río, sin embargo no se presentan estudios científicos que respalden esta delicada afirmación. Adicionalmente, en el plan de prevención de contingencias y de emergencias del estudio de impacto ambiental

presentado por Colbún, no se considera el caso en que un aluvión conformado por agua, rocas, sedimentos, y troncos, afecte la represa y deba atravesar las galerías que se dispondrían para evacuar el agua del embalse en caso de emergencia.

El EIA presentado no considera de manera apropiada los riesgos sísmicos, ya que descarta la ocurrencia de sismos intraplaca como el terremoto de Chillán (1939), a pesar de su potencial para generar aceleraciones mayores (>1g) a las que considera el diseño de la represa (0,36-0,59g). En otros términos, significa que “el terremoto máximo creíble” referido en el EIA no es en realidad el peor evento sísmico que podría afectar la represa.

Por otra parte, el EIA presentado tampoco considera de manera apropiada los riesgos volcánicos asociados a una eventual erupción del volcán Mocho – Choshuenco, el cual está ubicado a poco más de 50 km de la central proyectada. Según estudios recientes, este volcán tiene una frecuencia de erupciones explosivas cada 150 años, siendo la última la de 1864. Acorde con el mapa de peligros de este volcán publicado por Sernageomin, la zona del embalse podría ser afectada por la caída de material piroclástico, mientras que el lago Riñihue y el río Enco (que une los lagos Panguipulli y Riñihue) están en una zona de muy alto peligro de ser afectadas por lahares y/o lavas, y por flujos piroclásticos con incierta probabilidad de ocurrencia. Ninguna de estas situaciones es abordada en el plan de prevención de contingencias y de emergencias presentado.

Consecuentemente, a partir del conjunto de observaciones realizadas se concluye que la información presentada en el presente estudio de impacto ambiental es absolutamente insuficiente para evaluar apropiadamente los riesgos geológicos asociados al Proyecto. No obstante lo anterior representa una carencia de información de carácter relevante y esencial para la evaluación del impacto ambiental del proyecto, de acuerdo a lo establecido en el artículo 15 bis de la ley 19.300, se presentan a continuación observaciones realizadas por parte de especialistas del Instituto de Ciencias de la Tierra de la Universidad Austral de Chile sobre el estudio de impacto ambiental, las que deberán ser consideradas en el momento que se realice la evaluación del mismo.

Dr. Manuel Schilling Danyau  
Geólogo, Doctor en Ciencias Mención Geología

Dr. Jasper Moernaut  
Geólogo, Doctor en Ciencias Mención Geología

Dra. Gaëlle Plissart  
Geóloga, Doctora en Ciencias Geológicas

Dr. Alexandre Corgne  
Geólogo, Ph.D. en Ciencias de la Tierra

Dr. Sven Nielsen  
Geólogo, Doctor en Ciencias

Dra. Karen Moreno Fuentealba  
Paleontóloga, Ph.D. en Ciencias de la Tierra

Dr. Mario Pino Quivira  
Geólogo, Doctor en Ciencias

Dr. Eduardo Jaramillo Lopetegui  
Zoólogo, Ph.D. en Zoología

Valdivia, 30 de julio, 2015



# Universidad Austral de Chile

Instituto de Ciencias de la Tierra

## OBSERVACIONES AL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO ADECUACIÓN CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN PEDRO

30 de Julio de 2015

A continuación se presentan las observaciones al estudio de impacto ambiental del proyecto “Adecuación Central Hidroeléctrica San Pedro” realizadas por académicos del Instituto de Ciencias de la Tierra de la Universidad Austral de Chile.

### **I) En relación a la revisión de la “Determinación y justificación del área de influencia del proyecto” (Capítulo 2).**

#### **Observación 1: Sobre la formación de remociones en masa asociadas a la construcción del embalse.**

El EIA presentado por Colbún se restringe al área de influencia del Proyecto considerada como “*las zonas donde se emplazarán las acciones, partes y obras del Proyecto y aquellas donde podrían llegar a producirse los impactos significativos del mismo.*” El área del proyecto se puede ver en la Figura RGG-1: Área de Estudio Componente Riesgos Geológicos y Geomorfológicos (Capítulo 3 Línea de Base, Sección 4.1.6.3 Determinación del Área de Estudio, página 104). Luego se indica lo siguiente: “*Es importante señalar que el presente Proyecto no considera la evaluación ambiental del sector del embalse de la Central Hidroeléctrica San Pedro, el cual fue aprobado ambientalmente en el Proyecto Original (RCA N°118/08) y no será modificado en su extensión, cota ni superficie en el presente Proyecto.*” Igualmente se indica que “*Además, por la escala de las mismas, el Proyecto no tiene posibilidades de generar ningún tipo de impacto sobre las componentes de Clima y Meteorología, Geología, Geomorfolología, Riesgos Geológicos y Geomorfológicos e Instrumentos de Planificación Territorial...*”.

De esta forma, se ha excluido del estudio una zona crítica para el proyecto que está ubicada aguas arriba de la represa y que sería inundada por el embalse, la que corresponde al lugar donde se han registrado recurrentes remociones en masa asociadas principalmente a los grandes terremotos de 1960 y 1575. La ocurrencia de

estos deslizamientos ha causado anteriormente el represamiento de las aguas del río San Pedro y, posteriormente, grandes impactos a lo largo de los cauces de los ríos San Pedro, Calle Calle y Valdivia. Estos antecedentes permiten suponer la formación de futuros tacos en este río, los cuales podrían colapsar total o parcialmente afectando la represa y una extensa zona aguas abajo, situación que es abordada de manera muy simplificada en el EIA presentado. Por el contrario, la empresa Colbún señala en la línea de base presentada el 2007 (Capítulo 5, página 5-33) que *“el embalse contribuirá a la estabilidad de las laderas del río al disminuir la actual diferencia de presiones hidrostáticas entre el terreno y el río.”*

Esta última afirmación carece de sustento científico – técnico, y no está respaldada por ninguno de los estudios presentados por la empresa. Por el contrario, en el informe n° 2970-3010-GE-RP-302 "ANÁLISIS DE POTENCIALES DESLIZAMIENTOS EN EL AREA DEL VASO" realizado por preparado por ARCADIS Geotécnica S.A. en marzo 2006 y presentado por la propia empresa Colbún, se concluye que faltan estudios para determinar la estabilidad de las laderas del río San Pedro y los posibles efectos de su inundación con el embalse. Específicamente, señala lo siguiente:

*“Según los antecedentes disponibles, los megadeslizamientos producto del sismo del 22 de mayo de 1960 se habrían generado principalmente por la licuación de estratos de finos lacustres y de arenas oscuras volcánicas (...) ya que existen razonables dudas respecto a si los ensayos triaxiales fueron ejecutados con muestras que representaban las condiciones reales de densidad y humedad del terreno.”*

Cabe notar que los procesos de licuación que ocurren en estratos de finos lacustres y en arenas volcánicas son completamente distintos debido a las características propias de cada material. La arena es un material no-cohesivo que se compacta durante un terremoto aumentando la presión de poros, mientras que el material fino de origen lacustre es muy parecido a la arcilla sensitiva (“quick clay”) que se comporta con un debilitamiento progresivo (“strain weakening”) en que la presión de poros no supera la presión confinante (como en el caso de arena). Estos dos procesos dependen de factores diferentes (Wiemer et al., 2015) y por lo tanto, es muy importante averiguar cuál fue el proceso que actuó en la creación de los tacos en 1960. Estos resultados pueden responder la interrogante fundamental sobre si un posible cambio del nivel freático tendrá un efecto sobre la estabilidad o no. Por esto, se necesita un estudio geotécnico moderno (y no solamente usar los resultados de estudios preliminares de los años 60s y 90s) con por ejemplo, ensayos tri-axiales dinámicos, alta densidad espacial de muestreo, etc.

En dicho informe se señala además que “el aumento del nivel freático en la base de los taludes, puede contribuir a un cambio en las condiciones de drenaje natural de los taludes del vaso y con ello un aumento de las presiones de poro. Este incremento puede provocar a su vez, una disminución de las presiones efectivas y con ello, inducir un potencial deslizamiento en condiciones no drenada (o también conocida como licuación estática) si los materiales se encuentran poco densos.”

Esto es científicamente correcto y posiblemente muy relevante. Un ejemplo clásico es la historia de la represa Vajont en Italia. El embalse construido en 1959 causó la inestabilidad de las laderas generando un deslizamiento gigante en 1963 que provocó un tsunami en el embalse y que sobrepasó la represa. Alrededor de 2000 personas murieron en los pueblos ubicados en las riberas del lago y aguas abajo.

Por último, el informe anteriormente citado hace las siguientes recomendaciones para garantizar la factibilidad del proyecto:

“En la siguiente etapa del proyecto, se recomienda programar la ejecución de uno o dos sondajes en la ladera del vaso (zona potenciales deslizamientos) para cumplir los siguientes objetivos:

- Verificar posición del nivel freático,
- Efectuar ensayos de penetración estándar en las arenas y finos,
- Obtener muestras para realizar ensayos de laboratorio que determinen la resistencia al corte de los materiales presentes,

En base a los análisis de los resultados aportados por esta campaña, se verificará:

- Factor de Seguridad al deslizamiento (estático y sísmico) de las laderas más críticas del vaso,
- Determinar la resistencia cíclica de los estratos de finos lacustres y arenas oscuras volcánicas y de esta forma verificar el potencial de licuación de estos estratos. ”

Estas recomendaciones no fueron consideradas y los estudios propuestos no fueron realizados, de manera que no es posible asegurar que la formación del embalse no va a producir la formación de nuevos deslizamientos de tierra.

## **II) En relación a la revisión de las componentes Geología, Geomorfología y Riesgos Geológicos de la Línea de Base (Capítulo 3):**

### **Observación 2: Riesgos hidrológicos asociados a las remociones en masa**

Los deslizamientos potenciales, independientemente de que su origen sea por causa de procesos naturales o por la presencia del embalse, podrían generar una ola que puede desplazarse hacia la presa e irrumpa sobre ella, o hacia la rivera opuesta. También podrían generar nuevos represamientos (“tacos”) del río San Pedro, cuya formación podría aumentar el nivel del lago Riñihue, mientras que su colapso total o parcial podría causar efectos similares al aluvión ocurrido en 1960 y conocido como “Riñihuazo”. La real magnitud e impacto de este tipo de fenómenos permanecen inciertos, tal como lo ratifica el informe incluido en el EIA y elaborado por Arcadis Geotecnica S.A. (2006) n° 2970-3000-HI-RP-105 "ANALISIS DE RIESGOS HIDROLOGICOS, el cual considera solamente el análisis cuantitativo de los riesgos hidrológicos asociados al proyecto. Este informe señala lo siguiente:

“Al irrumpir un deslizamiento sobre la cubeta, se podría generar un “taco” total o parcial, que comience a represar, aguas arriba de él, el agua afluyente al embalse, proveniente del caudal de salida del lago Riñihue. El riesgo es que este taco colapse total o parcialmente por socavación al escurrir las aguas sobre su coronamiento.”

(...) Para analizar cuantitativamente este escenario, deberán efectuarse diversas hipótesis y análisis alternativos para estimar las alturas totales del taco que puede producir cada deslizamiento, y luego evaluar los modos de ruptura posibles y los correspondientes caudales máximos que pueden generarse. Estos análisis están en proceso y no se han incluido en el presente informe.”

Sin embargo, estos estudios tampoco fueron presentados en el EIA, por lo que no se puede estimar el impacto que estos procesos geológicos podrían tener en la zona.

Respecto a los efectos potenciales de una ola producida por los deslizamientos, el citado informe concluye que “los modelos de cálculo disponibles directamente no reflejarían adecuadamente el fenómeno y los efectos de la altura de la ola generada no serían los intuitivamente esperados. No obstante ello, en este informe se utilizan algunos de estos métodos tal como se explica en el punto 3.3 siguiente, para efectos de fijar órdenes de magnitud de estos fenómenos bajo las hipótesis simplificadoras que se plantearán”.

En su informe final n° 2970-5200-AD-RP-001 de marzo 2006, Arcadis Geotecnica S.A. concluyó que los estudios actuales relativos a potenciales deslizamientos en el embalse de la futura presa tienen gran incertidumbre:

“Las diversas consideraciones, aplicación de métodos propuestos e hipótesis, reflejan un grado apreciable de incertidumbre, que se alcanza con los resultados de los efectos hidráulicos de los deslizamientos. Sólo pueden considerarse como valores

*referenciales para efectos de una cuantificación general del riesgo asociados a los eventos descritos."*

A pesar de las recomendaciones de los propios estudios presentados por la empresa, y los estudios complementarios que fueron realizados en la zona de obras principales entre el 2010 y 2014, no aparecen nuevos estudios que permitan estimar cuantitativamente los efectos de los deslizamientos potenciales en la zona aguas arriba de la represa.

Cabe mencionar que ese importante tema ya fue abordado en el 3° informe consolidado de Solicitud de Aclaraciones, Rectificaciones y/o Ampliaciones a el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto "Central Hidroeléctrica San Pedro" de septiembre 2008:

*"13. Se solita al titular evaluar cómo afecta al volumen embalsado los desplazamientos de masa de tierra que ocurren de manera recurrente en la zona donde emplazaría la zona de inundación y si estos movimientos de masa tendrían impactos sobre las obras y en la vida útil del proyecto".*

Respuesta de Colbún:

*"Los desplazamientos de masa de tierra que pueden ocurrir en la zona de inundación, efectivamente tendrían algún efecto sobre el volumen de agua que ocupará esta zona, sin embargo no afectan directamente la operación ni vida útil del proyecto. En efecto, es el caudal existente en el río y no el volumen de agua del embalse el que determina la operación y vida útil del proyecto. Por lo demás, las obras están diseñadas para eventos de estas características.*

*Por otro lado, la existencia del volumen de agua (embalse) aporta mayor estabilidad a las laderas por equilibrio de presiones hidrostáticas y el muro de presa evitará el desplazamiento de material por el lecho del río.*

*La seguridad y estabilidad de las obras civiles está asegurada por el diseño, que cumple con todas las normativas técnicas y criterios de seguridad aplicables. Prueba de ello, es que el servicio competente en esta materia (Sernageomin) se ha pronunciado conforme."*

En su respuesta, se puede ver que Colbún descarta un impacto significativo de los eventuales deslizamientos de masa sin aportar argumentos científicos ni técnicos. Más grave aún, es el hecho que la empresa afirma que el agua del embalse aportará mayor estabilidad a las laderas por equilibrio de presiones hidrostáticas, lo cual no es posible de aseverar con la información disponible, tal como se argumentó en la Observación 1. La empresa señala también que "el muro de presa evitará el desplazamiento de material por el lecho del río" sin tener estudios cuantitativos rigurosos que avalen esta



afirmación. De igual forma, existen dudas sobre posibles remociones en masa asociadas a los materiales acumulados en los botaderos B y C ubicados justo al lado del río actual, aguas arriba de la futura presa, y que tienen una capacidad de acopio de cerca de 2.000.000 m<sup>3</sup> de residuos inertes provenientes de las faenas de construcción (Ver capítulo 1, Descripción del proyecto, punto 6.3.6). Este material descohesionado acumulado en estos botaderos estará sumergido por las aguas del embalse, y por lo tanto estará sujeto a mucha inestabilidad, potencialmente generando remociones en masa y acumulación en el muro de la presa.

### **Observación 3: Sobre la calidad de la roca sobre la cual se funda el muro de la presa**

En el Apéndice Geo-7 presentado por la empresa Colbún, Memoria Geológica sobre la visita de Wynfrith Riemer en Noviembre 2012, se concluye que aún persisten incertezas sobre la estabilidad de la roca sana donde se construiría el muro y propone una serie de recomendaciones, las cuales no fueron realizadas por la empresa:

*“A pesar del volumen excepcional de investigaciones del subsuelo ejecutado, el asentamiento geológico deja incertitudes que invitan controversias de interpretación. Una manera de reducir el marco de incertitudes se ofrece por registros video o ultrasónico de los pozos de perforación que permitirían la determinación de los elementos estructurales en la roca y de aclarar la naturaleza de los tramos donde no se consiguió muestreo representativo. Pero los pozos ya no son accesibles y en la situación actual resulta difícil exigir perforaciones adicionales. Otra opción será la excavación de galerías de exploración. Las galerías ofrecen la mejor información geológica y geotécnica y, adecuadamente ubicadas, pueden servir como galería de inyección y/o de drenaje. De esta forma constituyen componente productivo del proyecto definitivo y no solamente una inversión a fines académicos.*

Se recomienda entonces:

- Profundizar la evaluación hidrogeológica
- Incorporar en el análisis y diseño de las medidas de estabilización también la reacción de la roca sana en la base del material actualmente movido
- Excavar una galería de investigación y de drenaje.”

Adicionalmente, en la Conclusión 12 de la línea de base se señala lo siguiente: *“En los afloramientos de roca del flanco norte han sido reconocidas importantes grietas de 2 a 3 m de abertura y hasta unos 30 m de profundidad. A partir de la información recabada en terreno y de los análisis de los sondajes, se concluye que no existen indicios de rupturas similares al interior del macizo, por lo tanto, una vez removida la roca*

*superficial afectada por grietas, el macizo rocoso tendrá las características geotécnicas óptimas para proveer el empotramiento del estribo derecho de la presa.”*

Sin embargo, en el Apéndice Geo-7 presentado por la empresa Colbún, Memoria Geológica sobre la visita de Wynfrith Riemer en Noviembre 2012, se concluye que “No se lograba determinar claramente la causa del desarrollo de las grietas en la ladera derecha. En consecuencia, persiste incertidumbre relativa al tratamiento apropiado a aplicar. Las interpretaciones ofrecidas en los informes concuerdan en atribuir las deformaciones a una particular combinación de tensiones. Por esto se tiende a reiterar la recomendación de una determinación del campo de tensiones en la ladera derecha. Esto se puede hacer por “overcoring” o por “borehole slotting” (ver Figura 11). También puede resultar útil una evaluación interferométrica de imágenes satelitales que permite determinar pequeñas deformaciones de la superficie.”

Sin la realización de estos estudios de detalle persiste la incertidumbre sobre la calidad de la roca sana donde se pretende construir la represa y sobre el origen de las grietas reconocidas en la ladera norte (derecha). Además, cabe señalar que existen muchas incertidumbres respecto a la estructura del basamento rocoso en la ladera sur, en particular la foliación de los esquistos, la cual controla la estabilidad de esta zona. Los informes geológicos – geotécnicos entregados como anexos a la línea de base reportan resultados muy distintos respecto a la foliación predominante en el macizo rocoso. Estas inconsistencias en las conclusiones obtenidas por distintos grupos independientes de expertos son bastante preocupantes ya que no permiten definir con certeza la estabilidad del macizo rocoso.

Adicionalmente, los testigos de sondajes muestran algunas intercalaciones de litologías con presencia de grafito relativamente abundante en los esquistos del basamento de la zona del proyecto. Las proporciones de grafito descritas en los distintos informes geotécnicos son bastante variables según el informe considerado, aunque de forma general parecen ser más significativos en la ladera norte. A partir de los estudios presentados, no es posible estimar el efecto que las capas de grafito tienen frente a la estabilidad de las laderas donde se construiría el muro, pudiendo constituir una zona preferencial de deslizamiento debido a la relativa debilidad del grafito.

La línea de base no indica claramente en qué tipo de litologías fueron hechos los ensayos para estimar el ángulo de fricción de las rocas del basamento, ya que no fue presentado en el informe PT-IDR-118-54-10-2, “Análisis de Informe Final de Ensayos de laboratorio de rocas” realizado por IDIEM INGEROC (2010). Dado las variaciones litológicas observadas, en particular en relación a la proporción de niveles de grafito, no

se sabe si la cifra determinada de 29° es representativa de todo el basamento rocoso de la ladera sur o solamente corresponde a un tipo específico de esquistos.

Tampoco se indica si se consideró o no la presión de fluidos en los ensayos realizados. Se contempla que aquella presión aumentará una vez el embalse relleno, subiendo el riesgo de deslizamiento intra-foliación en los esquistos. Si los ensayos realizados no tomaron en cuenta este parámetro importante, los resultados de laboratorios tendrían poca representatividad para predecir el comportamiento real del macizo rocoso.

#### **Observación 4: Sobre los antecedentes presentados respecto a las remociones en masa del río San Pedro**

La metodología utilizada en la línea de base para hacer el análisis de riesgo de deslizamiento en el sector Fundo El Monte (Capítulo 5; sección ii.2.6, EIA 2007) *“consideró la revisión de bibliografía, entrevistas a lugareños, interpretación de fotografías aéreas y evaluación preliminar en terreno.”*

Sin embargo, el estudio fue hecho de manera muy superficial (consulta de artículos antiguos y visita de terreno) sin rigurosidad científica (análisis geotécnico de muestras, modelación de la estabilidad con cálculo de factor de seguridad, etc). Un ejemplo de esto lo constituye la información presentada en el EIA sobre el origen del deslizamiento ocurrido en el sector Fundo El Monte, a partir de la cual se concluye que esta remoción en masa habría sido causada por el terremoto de 1960. Sin embargo, un simple estudio de las fotos aéreas tomadas dos meses después del terremoto, no muestra ninguna remoción en masa en el sector, por lo cual se originó en una fecha posterior, y probablemente bastante reciente en base a la cubierta vegetal observada (Figura 1).

Específicamente, en la nueva línea de base (Capítulo 3, página 43) se hace referencia al EIA anterior destacando que:

*“En este Estudio de Impacto Ambiental resulta de especial interés el Capítulo 5.2.3, donde se abordan los temas de geología y geomorfología. Particularmente, en el documento se incluyó un análisis en el sector Fundo El Monte, ubicado en la ribera sur del río San Pedro, a 7,4 km aguas arriba de la Central, donde ocurrió un mega-deslizamiento a causa del sismo de 1960, evento no documentado en los informes consultados anteriormente.”*

En la línea de base mencionada anteriormente (Capítulo 5, página 5-30) se concluye lo siguiente sobre el origen del mega-deslizamiento del fundo El Monte:

“Respecto de su origen, podemos señalar: i) debido a su magnitud y a su ubicación frente al sector denominado “Riñihuzo”, este deslizamiento tuvo su origen en el terremoto del año 1960; ii) no corresponde o no ha sido consecuencia de un proceso erosivo de largo plazo, como es el caso de las cárcavas; iii) el volumen de material socavado y/o desprendido, contribuyó a obturar el río San Pedro en dicho sector el año 1960, aumentando, aguas arriba, el nivel de las aguas del lago Riñihue.”

Estas 3 interpretaciones son falsas. El deslizamiento del sector Fundo el Monte no fue provocado por el terremoto de 1960, y probablemente se relaciona a la erosión activa de la ladera sur (parte convexa de una curva en el río generado por el taco 3). Posiblemente, las actividades forestales sobre la ladera sur han contribuido a la erosión superficial que se transformó en un proceso erosivo de largo plazo. Esto reconoce que la ladera sur en esta zona es altamente inestable en condiciones estáticas (sin terremoto) y que incluso una pequeña perturbación antropogénica podría iniciar un proceso de deslizamientos en esta zona, sin la necesidad de un terremoto grande como el de 1960.

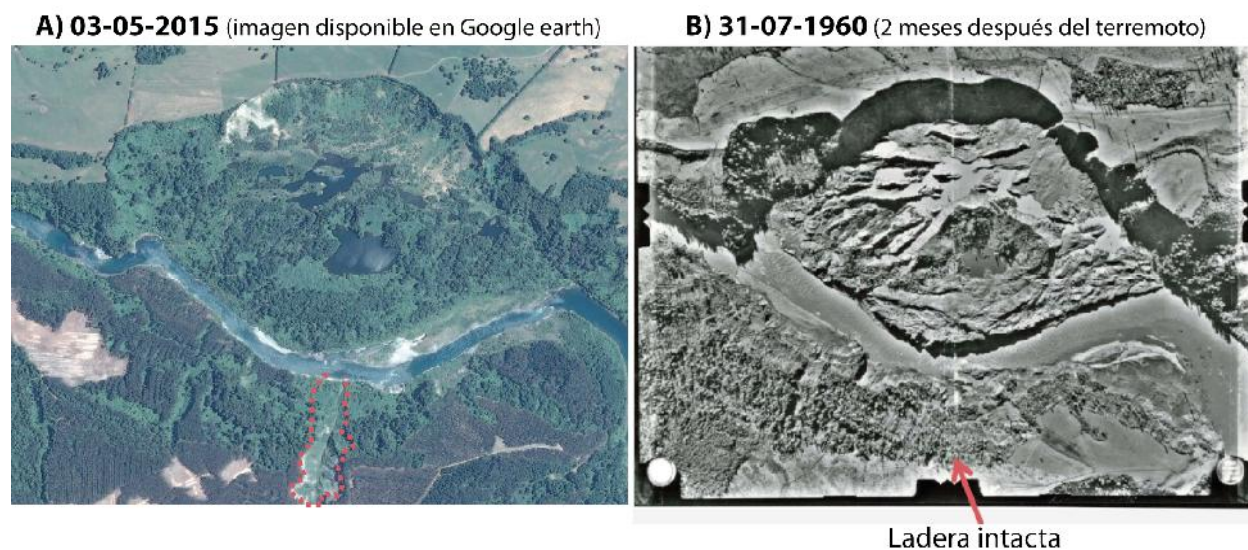


Figura 1. Fotografías aéreas de la zona del taco 3. A) Fotografía que fue tomada el año 2015. Se observa el deslizamiento conocido como Fundo El Monte (resaltado en rojo), el cual no se observa en la fotografía aérea B tomada el 31 de julio de 1960, presentando una ladera norte intacta.

Otro error de interpretación en el análisis de las remociones en masa de la zona se reconoce a partir del análisis de la Fotografía N°1: “Vista área de ubicación de megadeslizamientos” presentada en el informe n° 2970-3010-GE-RP-302 "ANALISIS DE POTENCIALES DESLIZAMIENTOS EN EL AREA DEL VASO", en la cual se indica

la ubicación del “megadeslizamiento 1575”. Esta remoción también causó el represamiento y posterior colapso del río San Pedro similar al Riñihuzo ocurrido en 1960. Al respecto, los autores Davis y Karzulovic (1961) propusieron con cierto nivel de incertidumbre una posible ubicación de esta remoción en masa en el área indicada en el EIA. Sin embargo, el reciente estudio de documentos históricos realizado por Araya et al. (2013) indica que este megadeslizamiento es prehistórico y que el deslizamiento de 1575, en cambio, fue más chico y ocurrió más cerca del desagüe del lago Riñihue. Esto significa que tacos relativamente chicos pueden tapar el río y generar un “Riñihuzo”, es decir, que no se necesita un taco gigante como el taco 3 para esto. La existencia de algunos deslizamientos que son probablemente prehistóricos, indica que la formación de tacos en el río San Pedro es un proceso recurrente y no es una singularidad de los terremotos de 1575 y 1960.

La ocurrencia de remociones en masa tampoco está restringida exclusivamente aguas arriba de la central proyectada, y por el contrario, se reconocen remociones en masa entre 2 y 4 km aguas abajo. En el EIA presentado no se mencionan estas remociones, sin embargo es posible que su ocurrencia pueda producir el represamiento de las aguas del río San Pedro y eventualmente afectar las operaciones de la central.

Estudios paleosismológicos e históricos en la Región de los Ríos (Moernaut et al., 2014) indican que el terremoto de 1575 y 1960 generaron una intensidad sísmica similar cerca del lago Riñihue. Sin embargo, documentos históricos demuestran que el taco de 1575 fue mucho más chico que el taco 3 del terremoto de 1960 (Araya et al., 2013). Se puede especular que los deslizamientos en 1575 fueron más chicos porque ocurrieron en diciembre (temporada seca), mientras en 1960 se generó un taco gigante (taco 3) porque el evento ocurrió en mayo (invierno lluvioso) tras precipitaciones significativas. Si esta hipótesis es verdadera, significa que el nivel freático y la saturación de estratos críticos es clave en la generación de los tacos. Sin embargo, en el estudio de impacto ambiental no se incluyó el análisis del nivel freático en la zona de los tacos pese a las recomendaciones acorde con lo expuesto en la Observación 1.

### **Observación 5: Sobre el análisis del peligro sísmico**

Se observa que las obras en general están diseñadas para soportar un terremoto con aceleración de 0,36g, mientras que la estructura crítica (el muro) soporta una aceleración de 0,59g, la que sería producida por el “*terremoto máximo creíble*” según concluye el estudio de impacto ambiental presentado (ver sección 6.5 sobre las áreas de riesgos geológicos y geomorfológicos, en el Resumen Ejecutivo del proyecto). Los autores del análisis determinístico del peligro sísmico afirman que en la zona de estudio

un terremoto interplaca como en 1960 es el escenario más desfavorable y que puede generar una aceleración de 0,44g.

En nuestra opinión, esto no representa la realidad sismológica de Chile (Figura 2) en que los terremotos intraplaca (hasta magnitud 8) de profundidad intermedia generan aceleraciones muy por encima de 0,5g cerca del epicentro, tal como ocurrió en el terremoto de Chillán en 1939.

El análisis realizado del peligro sísmico se enfoca principalmente a los terremotos interplacas de gran magnitud, por ejemplo como el terremoto de 1960 con rupturas más cerca de la costa. No obstante, los terremotos intraplaca de profundidad intermedia han sido los más destructivos en Chile, y tienen aspectos sismológicos (Leyton et al., 2009) y de ingeniería sísmica (Saragoni et al., 2004, Figura 2) muy diferentes a los terremotos interplacas. Los terremotos intraplaca de profundidad intermedia generan las caídas de esfuerzo más altas y las mayores aceleraciones del suelo cerca del epicentro, pero afectan una zona más acotada que los terremotos interplacas. Por ejemplo, el terremoto de Chillan en 1939, con una magnitud de solo ~8 (Ms7.8: Beck et al., 1998), es el que ha causado más víctimas (~28.000) en Chile de todos los terremotos históricos, a pesar de que el terremoto interplaca de 1960 tuvo una magnitud mucho mayor (Mw 9.5). En 1939, las intensidades llegaron a valores de IX (o X) (Beck et al., 1998), lo que en general corresponde a una aceleración de 0,65-1,24g (conversión según Wald et al., 1999). Este valor es considerablemente superior al que las obras y el muro proyectado en la central del río San Pedro podrían soportar (entre 0,36g y 0,59g).

La zona de estudio se sitúa en el mismo contexto sismo-tectónico (ángulo de subducción, grado de acoplamiento entre placas, etc.) que Chillán y la mayoría de las ciudades del Valle Central. Por lo tanto, no hay ninguna evidencia que nos permita descartar la ocurrencia de un evento intraplaca de profundidad intermedia de M8 en el área de la represa.

Para referencia, indicamos algunos terremotos de intraplaca de profundidad intermedia que han ocurrido más recientemente y que fueron registrados instrumentalmente. Estos eventos tuvieron una magnitud menor del terremoto de 1939 Chillan. Sin embargo, han generado aceleraciones muy altas.

Ubicación y año	Magnitud	Aceleración máxima	Intensidad
- Tarapacá 2005	Mw 7.9	0.72g	VIII - IX
- Punitaqui 1997	Mw 7.1	>0.34g	VIII
- Calama 1953	Ms 8.0		IX - X?
- Angol 1949	Ms 7.3.		IX?
- Chillán 1939	Ms 7.8		IX (o X)
- Santiago 1647			Intensidad mayor de los terremotos históricos en Santiago (Cisternas, 2012). Causó la muerte de un quinto (~1000) de los habitantes.

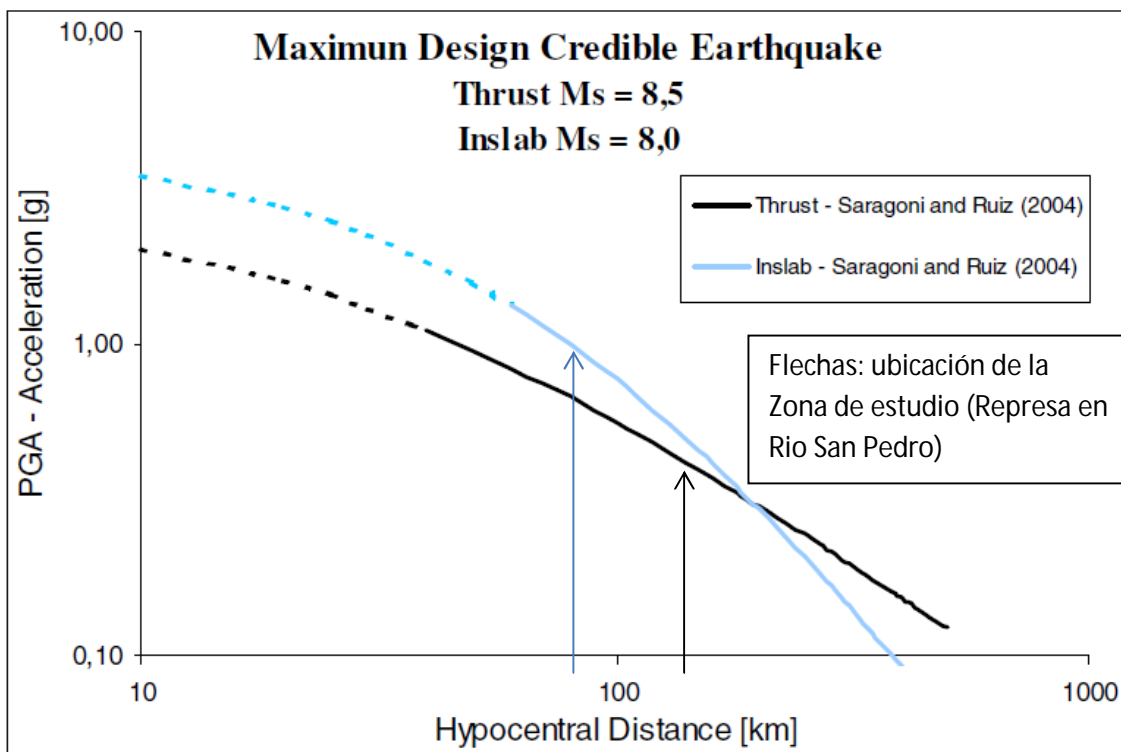


Figura 2. En esta figura tomada de Saragoni et al. (2004), se muestra que las aceleraciones (en la zona del epicentro) del “terremoto máximo creíble” de tipo intraplaca (“inslab”) son mucho más altas (~ 1g) que aquellos de tipo interplaca (“Thrust”). Las aceleraciones asociado a terremotos intraplaca disminuyen más rápido con distancia que en el caso de terremotos interplaca.

### **Observación 6: Sobre el análisis de los peligros volcánicos**

En el EIA no se evalúan adecuadamente los riesgos volcánicos asociados a una eventual erupción del volcán Mocho – Choshuenco, el cual está ubicado a poco más de 50 km de la central proyectada. Según estudios recientes, este volcán tiene una frecuencia de erupciones explosivas cada 150 años, siendo la última la de 1864 (Rawson et al., 2015). Acorde con el mapa de peligros de este volcán publicado por Sernageomin, la zona del embalse podría ser afectada por la caída de material piroclástico, mientras que el lago Riñihue y el río Enco (que une los lagos Panguipulli y Riñihue) están en una zona de muy alto peligro de ser afectadas por lahares y/o lavas, y por flujos piroclásticos con incierta probabilidad de ocurrencia.

Al contrario, el EIA estipula solamente que este volcán "*no ha presentado actividad desde el año 1937*". Consecuentemente, la información presentada no permite estimar el real riesgo asociado a la actividad del volcán Mocho-Choshuenco, el cual es uno de los más activos y explosivos de la Zona Volcánica de los Andes del Sur.

### **III) En relación a revisión del Plan de Prevención de Contingencias y de Emergencias de la Línea de Base (Capítulo 8):**

#### **Observación 7: Sobre el análisis del plan de prevención de contingencias y emergencias asociadas a riesgos geológicos**

En el plan de prevención de contingencias y de emergencias del estudio de impacto ambiental (Capítulo 8 y el ANEXO PE-3) presentado por Colbún se indican los riesgos asociados a crecidas e inundaciones, sismicidad y volcanismo, sin proponer acciones específicas frente a su ocurrencia, ya sea durante su construcción, funcionamiento, y/o posterior a su término. No se detalla qué medidas se tomarán en caso de la ocurrencia de una remoción en masa en las cercanías de la represa, frente a la formación de un aluvión por el colapso de un taco, o frente a una erupción explosiva del volcán Mocho-Choshuenco. Tampoco se considera la eventual situación de colapso de la galería de drenaje propuesta para mantener la estabilidad de la ladera de la represa, lo cual podría ser causado por un sismo de alta intensidad.

Esta observación es muy relevante, ya que el EIA presentado no reconoce la real magnitud de los peligros geológicos y aquellos derivados de la construcción de su proyecto, y tampoco propone medidas efectivas para la prevención de contingencias y emergencias frente a estos, los cuales podrían afectar zonas extensas y un número importante de personas.



## **Referencias:**

Araya, C., Cisternas, M., Gorigoitia, N., 2013. Deslizamientos generados por el terremoto gigante de Chile de 1960 en el río San Pedro, Región de Los Ríos: antecedentes históricos y datación geomorfológica de sus predecesores. Conference: XXXIV Congreso Nacional y XIX Internacional de Geografía, At Chillán.

Beck, S., Barrientos, S., Kausel, E., Reyes, M., 1998. Source characteristics of historic earthquakes along the central Chile subduction zone. *Journal of South American Earth Sciences* 11(2), 115-119.

Davis, S. N. y Karzulovic, J., 1961. Deslizamientos en el valle del río San Pedro provincia de Valdivia, Chile. Universidad de Chile, Departamento de Geología, 108 p., il; mapas, Santiago.

Wiemer, G., Moernaut, J., Stark, N., Kempf, P., De Batist, M., Pino, M., Urrutia, R., Ladrón De Guevara, B., Strasser, M., Kopf, A., 2015. The role of sediment composition and behavior under dynamic loading conditions on slope failure initiation: a study of a subaqueous landslide in earthquake-prone South-Central Chile. *International Journal of Earth Sciences* 04/2015; DOI:10.1007/s00531-015-1144-8.

Leyton, R; Ruiz, J.; Campos, J.; Kausel, E., 2009. Intraplate and interplate earthquakes in Chilean subduction zone: A theoretical and observational comparison. *Physics of the Earth and Planetary Interior* 75: 37-46.

Moernaut, J., Van Daele, M., Heirman, K., Fontijn, K., Strasser, M., Pino, M., Urrutia, R., De Batist, M., 2014. Lacustrine turbidites as a tool for quantitative earthquake reconstruction: New evidence for a variable rupture mode in south central Chile, *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 119, 1607–1633, doi:10.1002/2013JB010738.

Rawson, H., Naranjo, J.A., Smith, V.C., Fontijn, K., Pyle, D.M., Tamsin A. Mather, T.A., Moreno, H., 2015. The frequency and magnitude of post-glacial explosive eruptions at Volcán Mocho-Choshuenco, southern Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Volume 299, Pages 103-129, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.04.003>.

Saragoni, G. R., Astroza, M., and Ruiz, S., 2004. Comparative study of subduction earthquake ground motion of north, central and south America. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Canada.

Wald, D. J., Quidron, V., Heaton, T. H., Kanamori, H., 1999. Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity and modified mercalli intensity in California. *Earthquake Spectra* 15(3), 557-564.