



ASESORÍA PARA LA REVISIÓN DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD EMBALSE CODEGUA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS

INFORME FINAL

Edición	Entrega a DOH	Elaboración / Aprobación Interna TYP SA	Revisión Interna Calidad	Aprobación / Interna TYP SA	Toma Conocimiento Cliente
2	18/03/2025	Varios (Ver capítulo de firmas)	Paolo Zúñiga/Rafael Ugarte	Paolo Zúñiga	Víctor Reyes – IF DOH

TYP SA - TÉCNICA Y PROYECTOS, S.A. - Agencia en Chile

Calle Ricardo Lyon 222, piso 11, Providencia, Santiago, Tel.: (+56-02) 335228

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.3. EQUIPO DE ESPECIALISTAS	6
2. REVISIÓN INFORMES DE ETAPAS.....	9
2.1. INTRODUCCIÓN.....	9
2.2. ETAPA 1: RECOPIACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS CRÍTICO DE ANTECEDENTES ..	11
2.2.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 1	11
2.2.2. Observaciones Principales de la Etapa 1	11
2.3. ETAPA 2: TRAMITACIONES, TRABAJOS DE TERRENO Y ESTUDIOS BÁSICOS I.....	12
2.3.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 2	12
2.3.2. Observaciones Principales de la Etapa 2.....	12
2.3.2.1. Ubicación de la Presa	12
2.3.2.2. Estudio Geológico -Geotécnico	12
2.3.2.3. Estudio Hidrológico y Sedimentológico	13
2.3.2.4. Modelo de Simulación	13
2.4. ETAPA 3: TRABAJOS DE TERRENO Y ESTUDIOS BÁSICOS II	14
2.4.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 3	14
2.4.2. Observaciones Principales de la Etapa 3.....	14
2.4.2.1. Estudio Geológico	14
2.4.2.2. Hidráulica Fluvial.....	15
2.5. ETAPA 4: TRABAJOS DE TERRENO Y ESTUDIOS BÁSICOS III.....	16
2.5.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 4	16
2.5.2. Observaciones Principales de la Etapa 4.....	16
2.5.2.1. Tipología de Presa.....	16
2.5.2.2. Estudio de Canteras	16
2.5.2.3. Estudio de Geología	16
2.5.2.4. Hidráulica Fluvial.....	17
2.5.2.5. Consideraciones Finales.....	17
2.6. ETAPA 5: ANTEPROYECTO DE OBRAS, EV. ECONÓMICA Y TAMAÑO ÓPTIMO	18
2.6.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 5	18
2.6.2. Observaciones Principales de la Etapa 5.....	18
2.6.2.1. Anteproyecto Presa	18
2.6.2.2. Anteproyecto Evacuador De Crecidas.....	18
2.6.2.3. Anteproyecto Túnel de Desvío, Entrega Riego y Desagüe De Fondo.....	19

2.7. ETAPA 6: DISEÑO DE INGENIERÍA DE LAS OBRAS A NIVEL DE FACTIBILIDAD I	20
2.7.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 6	20
2.7.2. Observaciones Principales de la Etapa 6.....	20
2.7.2.1. Anteproyecto estaciones fluviométricas.....	20
2.7.2.2. Comentarios y Consideraciones Finales	21
2.8. ETAPA 7: DISEÑO DE INGENIERÍA DE LAS OBRAS A NIVEL DE FACTIBILIDAD II....	22
2.8.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 7	22
2.8.2. Observaciones Principales de la Etapa 7.....	22
2.8.2.1. Desvío, entrega y desagüe de fondo.....	22
2.8.2.2. Evacuador.....	22
2.8.2.3. Presupuesto	23
2.8.2.4. Evaluación Económica.....	23
2.8.2.5. Comentarios y Consideraciones Finales	23
2.9. ETAPA 8: BORRADOR INFORME FINAL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.....	25
2.9.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 8	25
2.9.2. Observaciones Principales de la Etapa 8.....	25
3. COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
3.1. OBSERVACIONES REALIZADAS	27
3.2. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES DE LAS ETAPAS.....	27
3.3. RECOMENDACIONES ESPECIALISTAS NACIONALES	38
3.4. RECOMENDACIONES DE EXPERTOS INTERNACIONALES.....	42

ANEXOS

ANEXO 1: INFORMES DE ETAPA

ANEXO 2: PRESENTACIONES

ANEXO 3: MINUTAS DE REUNION

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO GENERAL

La Dirección de Obras Hidráulicas del MOP, mediante Resolución N° 158 del 25/02/2022 adjudicó a la empresa Técnica y Proyectos S.A. (TYP SA) el contrato “ASESORÍA PARA LA REVISIÓN DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD EMBALSE CODEGUA, REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS”.

El propósito principal de la Asesoría es asistir al Inspector Fiscal y su equipo, en los aspectos técnicos y administrativos, para la revisión de las etapas que conforman el Estudio de Factibilidad desarrollado por la Consultora SMI Ingenieros. A continuación, se detallan cada una de las Etapas del estudio:

Tabla 1-1 Etapas de la Consultoría: “Estudio de Factibilidad, Embalse Codegua, Región del Libertador Bernardo O'Higgins”.

Etapas	ETAPA
1	Recopilación, Revisión y Análisis Crítico de Antecedentes
2	Tramitaciones, Trabajos de Terreno y Estudios Básicos I
3	Trabajos de Terreno y Estudios Básicos II
4	Trabajos de Terreno y Estudios Básicos III
5	Anteproyecto de Obras, Evaluación Económica y Tamaño Óptimo
6	Diseño de Ingeniería De Las Obras a Nivel de Factibilidad I
7	Diseño de Ingeniería de las Obras a Nivel de Factibilidad II
8	Borrador Informe Final Estudio de Factibilidad

Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas

El presente documento corresponde al **Informe Final** de la Asesoría para la revisión del estudio de factibilidad, que compila en el **Capítulo N°2** las principales observaciones de los informes de cada Etapa y en el **Capítulo N°3** las conclusiones y comentarios de la Asesoría, tanto de los expertos nacionales como internacionales.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

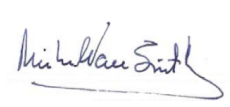
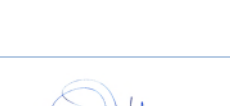
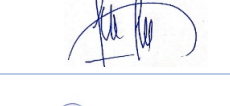
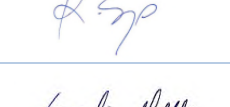
Los objetivos específicos de la presente Asesoría son:

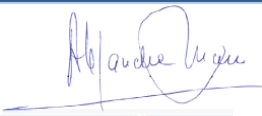
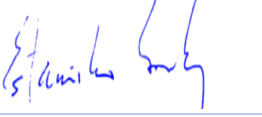
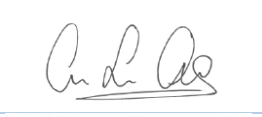
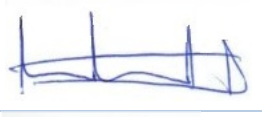
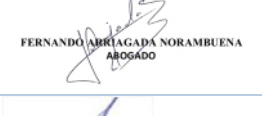
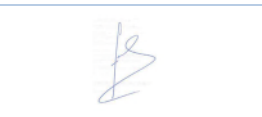
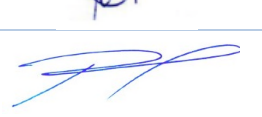
- Apoyar a la Inspección Fiscal en velar por el correcto cumplimiento del contrato "Factibilidad Embalse Codegua" tanto en sus áreas técnicas como administrativas.
- Seguimiento, control y revisión contribuyendo a la validación de los trabajos de terreno e ingeniería de apoyo (geología, geotecnia y mecánica de suelos).
- Revisar los Informes de Etapas e Informes de etapas Corregidas de la consultoría "Estudio de Factibilidad Embalse Codegua".
- Validar el Programa de Inversiones, analizando la determinación de los costos de construcción y operación de la infraestructura del proyecto.
- Asistir a la Inspección Fiscal respecto a las discrepancias técnicas entre la DOH y el Consultor (del Estudio de Factibilidad en desarrollo).
- Seguimiento de los acuerdos adoptados en el desarrollo del contrato, así como verificar que las observaciones efectuadas, por parte de la IF, se corrijan.
- Asistir y/o gestionar reuniones técnicas en Santiago, en terreno o mediante videoconferencias, solicitadas por la DOH (IF), haciendo participar al Jefe de proyecto, especialistas y profesionales que la IF determine o el consultor estime conveniente, elaborando las respectivas actas de las reuniones.
- Confeccionar presentaciones técnicas en PowerPoint o similar y eventualmente exponerla a la DOH, cuando el IF lo solicite.
- Asesorar en el cumplimiento de las exigencias relacionadas con el Estudio de Expropiaciones.
- Efectuar comentarios y/o recomendaciones del proyecto en revisión (Factibilidad), y que mejoren cualquier aspecto del proyecto.
- Asistir a la IF con la Gestión Documental del Proyecto, incluyendo la conformación, actualización y revisión de la Carpeta Digital del contrato de Factibilidad, como de la presente Asesoría.

1.3. EQUIPO DE ESPECIALISTAS

Durante la Asesoría participó el siguiente equipo profesional:

Tabla 1-2 Equipo Profesional TYP SA

N°	NOMBRE	CALIDAD PROFESIONAL	CARGO EN LA CONSULTORA	FIRMA
1	Paolo Zúñiga	Ingeniero Civil	Jefe de la Consultoría y Especialista en Diseño Hidráulico en Presas	
2	Rafael Ugarte	Ingeniero Civil Industrial	Coordinador Asesoría	
3	César Navarrete	Ingeniero Civil en Obras Civiles	Especialista en Diseño de Sistemas de Riego	
4	Alfonso Ugarte	Ingeniero Civil	Especialista en Hidrología y Modelación	
5	Michel Van Sint Jan	Ingeniero Civil	Especialista Geotécnico Presas y Especialista Geotécnico en Mecánica de Suelos y Rocas. Especialista Estructural	
6	Sergio Morales	Ingeniero Civil	Especialista Estructural, Hormigones y Sosténimiento de Obras Hidráulicas	
7	Marcia Escobar	Geólogo	Especialista Geología	
8	José Antonio Olmedo	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos	Especialista en Presas	
9	Maxs Ardiles	Ingeniero Civil	Ingeniero A	
10	Rodrigo Suazo	Ingeniera Civil en Obras Civiles	Ingeniero B	
11	Camila Núñez	Ingeniera Civil en Obras Civiles	Ingeniero C	

Nº	NOMBRE	CALIDAD PROFESIONAL	CARGO EN LA CONSULTORA	FIRMA
12	Alejandra Marín	Ingeniero Agrónomo	Especialista en Estudios Agroeconómicos	
13	Cristián Schmitt	Abogado	Especialista en Derechos de Agua y Pertenencias Mineras	
14	Estanislao Godoy	Geólogo	Especialista Geología	
15	Carmen Aguayo	Ingeniero Civil	Especialista en Hidrogeología	
16	Leonardo Bustamante	Ingeniero Civil en Obras Civiles	Especialista en Riesgo Sísmico de Presas	
17	Herbert Rowland	Ingeniero Civil	Especialista Mecánico	
18	Fernando Arriagada	Abogado	Especialista Expropiaciones	 FERNANDO ARRIAGADA NORAMBUENA ABOGADO
19	Tatiana Gutiérrez	Ingeniero Civil Industrial	Especialista tasación de expropiaciones	
20	Rafael López Manzano	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos	Experto Internacional en Presas CFRD	
21	Jose Luis Arévalo	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos	Experto Internacional en Túneles	
22	Dr. Francisco Sánchez Caro	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos	Experto Internacional en Grandes Presas	
23	Manuel Sepúlveda	Ingeniero en Electricidad.	Especialista Eléctrico	
24	Paolo Zúñiga	Msc Ing. Civil, MBA	Especialista Evaluación Social	

Nº	NOMBRE	CALIDAD PROFESIONAL	CARGO EN LA CONSULTORA	FIRMA
25	Sergio Anabalón	Ingeniero Constructor	Proyectista	
26	Jorge Castellón	Constructor Civil- Ingeniero Constructor	Especialista en Caminos	
27	Pedro Sanzana	Dr. Ingeniero Civil	Especialista Cambio Climático y Modelación	 Pedro Sanzana Cuevas

2. REVISIÓN INFORMES DE ETAPAS

2.1. INTRODUCCIÓN

Una vez que la empresa SMI entregaba el informe de Etapa correspondiente, este asesor procedía a la revisión de la misma emitiendo un informe con comentarios y observaciones, el cual era entregado al Inspector Fiscal, quien a su vez remitía dicho informe a la empresa SMI para su revisión interna y posterior revisión conjunta con el IF para finalmente proceder con las respuestas y/o correcciones. Este procedimiento de revisión a informes de etapa de SMI se repetía 3 o 4 veces.

En total se emitieron 1.421 observaciones en toda la Asesoría, las que fueron categorizadas en graves, de consideración, leves y levantadas. En la siguientes Tablas y gráficos se presentan el número de observaciones realizadas por parte de esta asesoría:

Figura N° 2-1: Observaciones Realizadas por la AIF

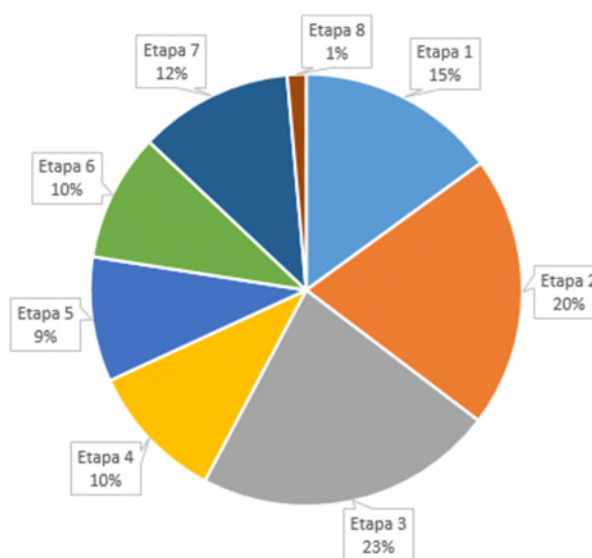
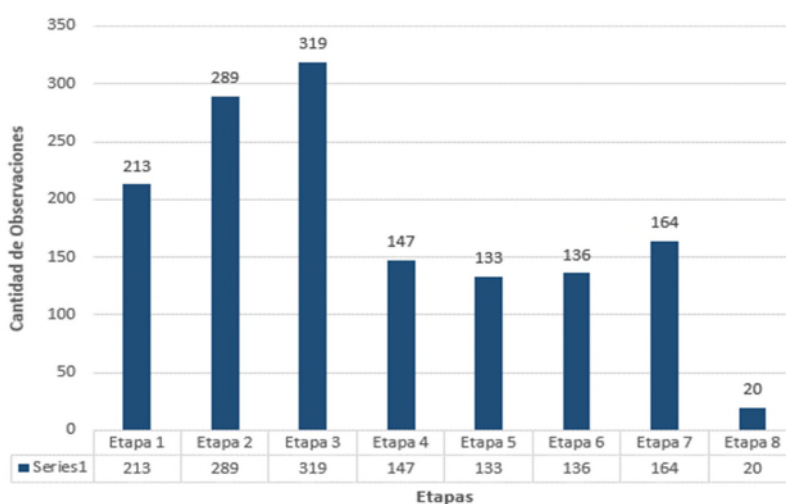
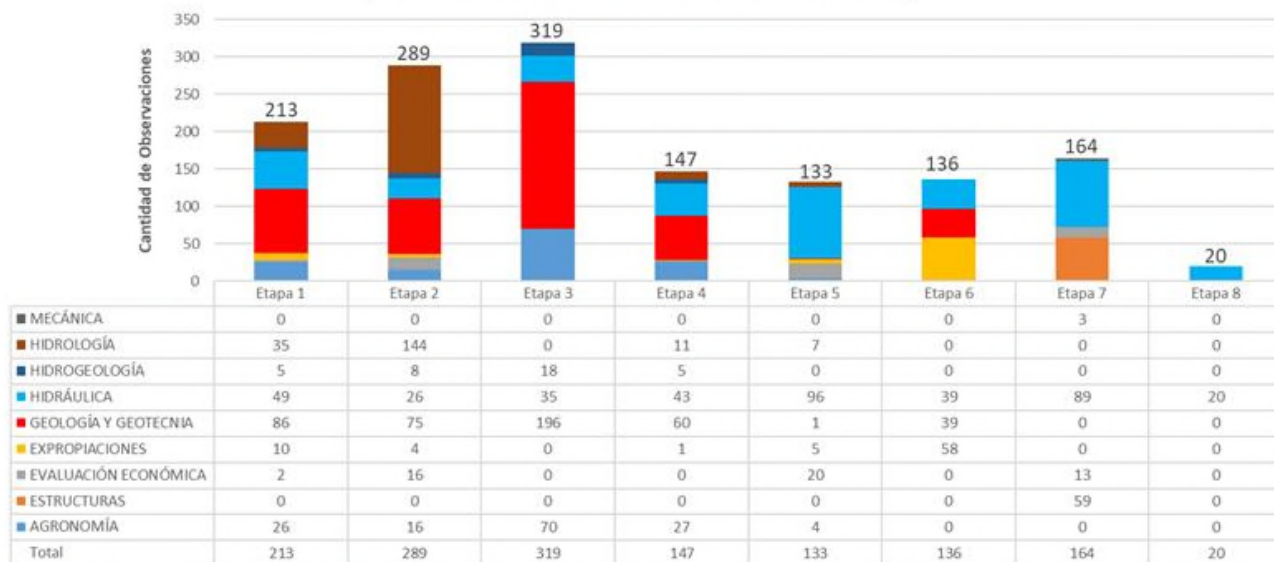


Figura N° 2-2: Observaciones por especialidad Realizadas por la AIF

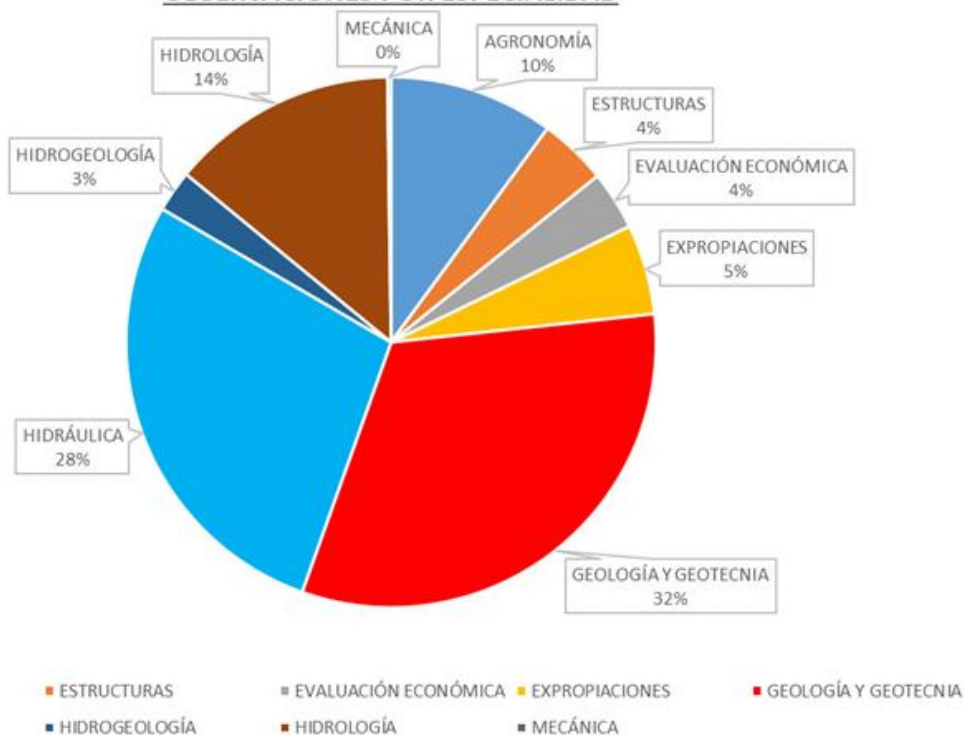
OBSERVACIONES SEGÚN ESPECIALIDAD POR ETAPAS



Observaciones por Etapas

■ AGRONOMÍA ■ ESTRUCTURAS ■ EVALUACIÓN ECONÓMICA ■ EXPROPIACIONES ■ GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
 ■ HIDRÁULICA ■ HIDROGEOLOGÍA ■ HIDROLOGÍA ■ MECÁNICA Total

OBSERVACIONES POR ESPECIALIDAD



A continuación, se presenta una síntesis de los informes de revisión de cada una de las etapas de la Asesoría. En Anexo, de este Informe Final, se incluyen los informes de etapa en detalle.

2.2. ETAPA 1: RECOPIACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS CRÍTICO DE ANTECEDENTES

2.2.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 1

La Etapa 1 consideró, de parte del Consultor del estudio de Factibilidad (SMI Ingenieros), el análisis crítico de la información y estudios existentes, principalmente el estudio de Prefactibilidad. Junto con esto se entregaron los diagnósticos de las distintas especialidades y disciplinas del proyecto. Por último, se desarrollaron los programas de trabajo (campañas de terreno) propuestos para la Etapa 2 del estudio de factibilidad.

2.2.2. Observaciones Principales de la Etapa 1

En general, el Consultor cumplió en abordar los temas de Derechos de Agua; Diseños de Ingeniería de la Pre-Factibilidad; Consideraciones Geotécnicas y Geológicas; Propuesta de Trabajos de Terreno; permisos de acceso y gestiones. Las materias faltantes, se abordaron en la Etapa 2.

La principal conclusión de la Etapa 1 se refiere a la existencia de interferencias de Derechos de Aguas No Consuntivos de un tercero, hallazgos arqueológicos en el Sitio 1 (analizado nivel de Prefactibilidad como óptimo) y oposición de los habitantes respecto a este sitio.

Los aspectos relevantes que se recomendó poner énfasis en la siguiente etapa son:

- Análisis multicriterio para redefinir sitio optimo a ubicar la presa.
- Plan de reconocimiento geológico y geotécnico
- Revisión red de Riego y principales obras
- Revisión de condiciones geomorfológicas del cauce del Estero Codegua
- Reconocimiento de aspectos productivos del valle
- Revisión de interferencias (camino, redes de alta tensión).

2.3. ETAPA 2: TRAMITACIONES, TRABAJOS DE TERRENO Y ESTUDIOS BÁSICOS I

2.3.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 2

La Etapa 2 consideró, de parte del Consultor SMI, presentar las condiciones topográficas y geomorfológicas del terreno donde se emplazarán las obras del embalse y la red de canales, para realizar posteriormente la ingeniería a nivel de Factibilidad de las obras seleccionadas. Junto con esto, se debían iniciar los estudios legales de Derechos de Agua y propiedad, pertenencias mineras, ingeniería de apoyo (topografía, mecánica de suelos), ensayos in situ y de laboratorio, estudios agroeconómicos, estudios básicos (mecánica fluvial, hidrológicos, hidrogeológicos, sedimentológicos, sísmicos, geológicos, geotécnicos etc.) y cualquier otro estudio requerido para el desarrollo de los anteproyectos, a desarrollar en etapas posteriores.

2.3.2. Observaciones Principales de la Etapa 2

2.3.2.1. Ubicación de la Presa

- Del análisis multicriterio se concluyó por parte del consultor SMI, continuar el estudio en terreno en el nuevo Sitio 3 (a 500 m agua arriba del Sitio 3 del estudio de Prefactibilidad). Luego, este Asesor hace presente realizar un Plan Geológico y Geotécnico contundente de forma de tener una buena caracterización de la zona a proyectar las obras.

2.3.2.2. Estudio Geológico -Geotécnico

- Falta información de superficie que permita correlacionar a escala de proyecto, esto es 1:5.000 o idealmente 1:1.000, las unidades de suelo y roca presentes en superficie con aquellas detectadas en los sondeos.
- El trabajo de Godoy (2009) no está en discusión, ya que su alcance es de carácter regional y a escala 1:100.000. Se debe realizar un levantamiento geológico estructural de superficie, a escala de proyecto, que permita afirmar o descartar lo indicado por Godoy (2009).
- Se acuerda que en las Etapas 3 y 4, se realizará el marco geológico estructural del área del proyecto, a escala de proyecto, esto es 1:5000 o idealmente 1:1.000.
- Se recomienda que la información referente a los loggeos de los sondeos se complemente en siguientes etapas.
- Como recomendación, la cartilla de mapeo debe abarcar información estratigráfica (unidades de suelo y roca con su desde y hasta); estructural (discontinuidades con su desde y hasta, espesor, tipo de relleno, rugosidad, etc.); IRS, Recuperación, RQD, etc., con la finalidad de poder clasificar el macizo rocoso, de acuerdo con Bieniawski (a escala de sondeo) y conocer la existencia de fallas u otras discontinuidades que pudieran afectar al proyecto de algún modo.
- El consultor SMI indicó que la definición del sitio a estudiar era clave para profundizar el levantamiento de información geológico-geotécnica a partir de sondeos y superficie. La asesoría considera clave que se colecten muestras y se hagan descripciones petrográficas, ensayos de densidad, pruebas químicas, ensayos de desgaste, etc., lo anterior debido a que las rocas

volcánicas son bastante heterogéneas, en especial aquellas de texturas brechosas siendo relevante conocer sus variaciones y comportamientos frente a estructuras como las de un embalse.

- Las exploraciones geofísicas son una herramienta indirecta, muy útil para la caracterización de las unidades que componen el subsuelo. No obstante, debido a que los resultados son interpretaciones en las que se construye un modelo en capas, basado en las diferentes velocidades en que las ondas sísmicas atraviesan los materiales. Es muy importante, que estos perfiles sean calibrados tanto por elementos reconocidos en superficie, como afloramientos y por sondajes, que permitan correlacionar las diferentes unidades de suelo y rocas detectadas, con las velocidades con que las ondas sísmicas atraviesan esas unidades. Por lo mismo, se recomienda que la totalidad de las muestras perforadas estén contenidas en los perfiles sísmicos, con la finalidad de caracterizar con más elementos las unidades detectadas por los sondajes.

2.3.2.3. Estudio Hidrológico y Sedimentológico

- El informe de SMI presenta justificaciones para validar la inclusión de la estación El Yeso en los análisis. A juicio de esta Asesoría, los resultados obtenidos indican que se debe ampliar el análisis presentado, debido a la influencia de dicha estación, lo que indica que faltan datos en elevaciones intermedias.
- Se tienen diferencias en las estimaciones de caudales obtenidas en los estudios de la CNR y los actuales, situación que podría ser importante y que el consultor debe comentar. En el estudio de la CNR se descartó de plano usar la estación El Yeso, por problemas de homogeneidad, pero en el presente si se usa y tiene importancia en los resultados, por lo que debería ser analizado.

2.3.2.4. Modelo de Simulación

- El enfoque adoptado por el consultor es que se utiliza una serie sintética (Modelo WEAP Claro Hacienda las Nieves, en que falta presentar parámetros de eficiencia particularmente altos y subestima los caudales más altos, pese a que esté aprobado en otro estudio) para luego transponer caudales hacia la cuenca del estero Codegua y luego con estos datos calibrar otro modelo WEAP del estero Codegua. Lo anterior hace que el supuesto del consultor no se cumpla, ya que en los resultados promedios presentados del modelo WEAP en la cuenca de Codegua, la componente nival supera a la componente pluvial, lo que no debería ocurrir. Por lo tanto, se recomienda analizar esta materia en etapas posteriores.
- Se debe revisar con especial cuidado este punto y los posteriores resultados del modelo ya que inciden en el desarrollo posterior del proyecto, ya que se podría estar sobre valorando los recursos disponibles para el proyecto, dado que el coeficiente de escorrentía determinado (74%) es inusualmente alto y se debe presentar la explicación que valide esa determinación. Esos valores implican la existencia de extensas zonas de la cuenca muy impermeables, o que deber ser revisado en detalle.

2.4. ETAPA 3: TRABAJOS DE TERRENO Y ESTUDIOS BÁSICOS II

2.4.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 3

La Etapa 3 consideró, de parte del Consultor SMI, presentar las condiciones topográficas y geomorfológicas del terreno donde se emplazarán las obras del embalse y la red de canales, para realizar posteriormente la ingeniería a nivel de Factibilidad de las obras seleccionadas.

Junto con esto, se deben iniciar los estudios legales de Derechos de Agua y de Propiedad de los Terrenos, pertenencias mineras, ingeniería de apoyo (topografía, mecánica de suelos), ensayos in situ y de laboratorio, estudios agroeconómicos, estudios básicos (mecánica fluvial, hidrológicos, hidrogeológicos, sedimentológicos, sísmicos, geológicos, geotécnicos etc.) y cualquier otro estudio requerido para el desarrollo de los anteproyectos, a desarrollar en etapas posteriores.

2.4.2. Observaciones Principales de la Etapa 3

2.4.2.1. Estudio Geológico

- La información presentada por SMI se encontraba disgregada, por lo que se recomienda en las próximas etapas realizar el análisis crítico de los resultados complementados con los ensayos.
- Faltó entregar el levantamiento de la información de superficie, por lo que se recomienda completarlo en las próximas etapas.
- La información obtenida a partir de los sondajes, ha sido sub analizada, entendiendo que se estuvo a la espera de los resultados de los ensayos, los cuales se complementarán en las próximas etapas.
- Se debieron corregir errores conceptuales respecto a temáticas como permeabilidad, resistencia a la compresión, RQD y RMR.
- Se presenta un análisis geomecánico (RMR) general, con tramos de entre 10 y 30 m, que faltó agregar en el análisis de la variabilidad del macizo rocoso.
- Se recomienda que la escala de la información de calidad de Macizo rocoso (Bieniawski), se levante a escala de sondajes. Esto es cada 1,5m o 2 m, o bien, en cada cambio en la densidad de fracturas.
- Se recomienda agregar el análisis de fotolineamientos y su elevación con las estructuras regionales y aquellas reconocidas en el área del proyecto.
- Sería importante que se incorpore una tabla maestra con información de sondaje, desde hasta, tipo de ensayo, resultado y observaciones.
- Por lo anterior se estima que la información presentada se debe completar y las estimaciones presentadas son preliminares. Falta justificar la elección de Sitio 3 en términos geológicos, en particular en lo relativo al tema de la ladera izquierda del muro y del nivel de estudio del macizo rocoso de la ladera derecha.

- El asesor queda a la espera de los resultados de los ensayos, de compresión simple, desgaste de Los Ángeles y del mapeo de los sondajes.

2.4.2.2. Hidráulica Fluvial

- Como complemento al análisis y resultados del estudio, en la siguiente etapa se deben entregar los modelos y los resultados geo-referenciados, junto con los mapas o planos de inundación. Cabe señalar que los TR incluyen la obligación de hacer mapas de inundación en las Etapas 7 y 8, para lo cual geo-referenciar los Modelos HEC-RAS es imprescindible.
- Los modelos entregados deben incluir un análisis para determinar el cauce principal y las planicies de inundación con sus respectivos coeficientes de rugosidad, debido a esto se presenta una situación anómala, dado que aguas arriba el consultor determina un coeficiente de rugosidad mayor para el cauce que para las zonas de inundación, situación que debe ser analizada y discutida en el informe.
- Se debe agregar un análisis o justificación de las secciones que presentan flujos divididos, las que deben ser analizadas y justificadas en todos los casos.
- Para los flujos divididos y definición de cauce principal y coeficientes de rugosidad, se aprecia de las imágenes de las secciones transversales, que para un periodo de retorno $T = 2$ años el flujo, que se puede considerar habitual, sale del cauce principal definido.
- Considerando lo anteriormente expuesto, la dificultad para determinar el cauce principal, la existencia de flujos divididos (especialmente en el modelo aguas abajo del embalse) y que la zona es difícil de modelar correctamente mediante un modelo 1D, se debe considerar realizar, en un futuro estudio o en los diseños, el estudio de hidráulica fluvial con un modelo de flujo en 2D, que se puede realizar con el mismo software utilizado por el consultor.

Un modelo de flujo en 2 dimensiones tiene las siguientes ventajas:

- Se pueden definir diferentes áreas de rugosidad según la cobertura del suelo.
- No presenta la dificultad (o limitaciones) para el manejo de flujos cruzados o divididos, que si presenta el modelo 1D.
- Permitiría de mejor manera determinar la real zona afectada por inundación del estero Codegua para distintos periodos de retorno, ya que se trabaja sobre una superficie continua.

2.5. ETAPA 4: TRABAJOS DE TERRENO Y ESTUDIOS BÁSICOS III

2.5.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 4

La Etapa 4 consideró, de parte del Consultor SMI, presentar las condiciones topográficas y geomorfológicas, continuando las prospecciones en el lugar donde se emplazarán las obras del embalse y su red de canales.

El consultor, debe presentar información suficiente para validar el tipo de presa propuesto en el estudio de Prefactibilidad (CFRD), el estudio hidrogeológico deberá concluir y definir la necesidad de incorporar una pared moldeada al proyecto, el estudio de sedimentología deberá determinar el caudal sólido en suspensión que llegará a la presa y estimar la sedimentación en el embalse durante su vida útil y cómo afecta la capacidad el embalse.

2.5.2. Observaciones Principales de la Etapa 4

2.5.2.1. Tipología de Presa

- El consultor SMI realizó un análisis de alternativas de tipología de presa, tanto técnica como económica entre un tipo CFRD y RCC presentada primeramente a DOH y TYP SA. Luego, se procedió en junio del 2023 a realizar una reunión con los expertos internacionales Bayardo Materon, Rafael López Manzano y Luis San Martín, de manera de exponerles estos antecedentes para sus opiniones.
- De estas reuniones, se concluyó que la tipología de presa que continua en las siguientes etapas del estudio correspondería a CFRD.

2.5.2.2. Estudio de Canteras

- El consultor SMI presentó planos de explotación, identificación de materiales, cantidades de material a extraer entre otros. Si bien este avance permite tener una dimensión de los materiales, hay temas que mejorar y completar con los ensayos de materiales que se presentaron.

2.5.2.3. Estudio de Geología

- Dado que la campaña de prospecciones se debe completar en futuros estudios, el levantamiento de la información de superficie es general. Esto es especialmente válido en la zona donde se emplazaría la obra de seguridad en la ribera derecha del valle.
- Se presenta un análisis geomecánico (RMR) general, con tramos de entre 10 y 30 m. Luego, SMI debe complementar esta información y analizar la variabilidad del macizo rocoso.
- En estribo derecho, la información obtenida a partir de los sondeos futuros a realizarse, debe ser analizada, por ejemplo, respecto a temáticas como Permeabilidad, Resistencia a la compresión, RQD y RMR.

2.5.2.4. Hidráulica Fluvial

- Se evidencia que la mayoría de las observaciones respecto a la metodología han sido levantadas por el consultor SMI.
- Se observa que falta una parte del cauce a analizar, lo cual responde a un acuerdo técnico con el IF al inicio del contrato. Luego, se recomienda agregar zonas de hidráulica fluvial en los próximos estudios.

2.5.2.5. Consideraciones Finales

De acuerdo con los TR del proyecto, en esta Etapa 4 se finalizan los estudios básicos, que son la base del posterior diseño de las obras. De acuerdo a lo observado en esta Etapa y en las anteriores, es posible señalar que persisten algunas materias por completar. A continuación, se señalan los más relevantes:

- **Geología - Geotecnia.** Es necesario un perfil estructural regional aguas arriba del sitio y un mejor desarrollo del estudio de Avalancha de Detritos, ya que la caracterización de esta unidad es aún insuficiente. La Asesoría muestra preocupación en la ubicación del evacuador en la ribera derecha, debido a la falta de estudios en dicha zona, para lo cual es necesario realizar estudios adicionales, para tener información fidedigna en el campo geológico y geotécnico. Junto con lo anterior, es importante incluir en el informe los resultados cuantitativos obtenidos de los diversos ensayos realizados.
- **Modelo de Simulación.** Se deben revisar los resultados del modelo en lo relacionado con los escenarios y volúmenes considerados, ya que se tiene que el embalse se llena alrededor del 90% de los años en todos los casos analizados, lo que no corresponde a una situación de operación usual para este tipo de obras en la zona central de Chile. Otro punto a tener en consideración es el nivel de acuífero; se debe realizar un análisis ambiental del impacto que puede suponer un descenso del orden de los 10 m. Se recomienda validar los estudios regionales que presentan descensos similares a los calculados por SMI.
- **Hidrogeología.** A la luz de los resultados del Modelo Hidrogeológico, se estima que sería relevante contar con nuevos antecedentes relativos a pozos en la zona ubicada aguas abajo del embalse, en los cuales se puedan realizar pruebas de bombeo actualizadas, que permitan mejorar la calibración del modelo subterráneo. Sobre la base de la revisión del modelo integrado, se ha determinado que sería importante que SMI incorpore, para validar sus estimaciones, un complemento considerando información pública y oficial que la DGA actualmente tiene disponible de libre descarga.

2.6. ETAPA 5: ANTEPROYECTO DE OBRAS, EV. ECONÓMICA Y TAMAÑO ÓPTIMO

2.6.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 5

La Etapa 5 consideró, de parte del Consultor SMI, luego de realizar los estudios en las Etapas anteriores, disponer de toda la información de terreno y gabinete para analizar al menos 5 escenarios o alternativas de proyecto, con el fin de buscar el tamaño óptimo del embalse.

2.6.2. Observaciones Principales de la Etapa 5

2.6.2.1. Anteproyecto Presa

- El consultor SMI realizó un análisis de tamaño óptimo, concluyendo que el Volumen técnico y económico eficiente es de 25Hm³. La evaluación social presenta un $R2 = 1$ con 3 puntos analizados (14, 20 y 25 Hm³); se han omitido los resultados de 17 y 22 Hm³. Por ello se recomienda incluir un volumen de 30 y 40 Hm³ en la evaluación realizada, en donde los beneficios agronómicos no sigan aumentando, de manera tal de justificar adecuadamente los 25Hm³.
- Se recomienda modificar el ancho de coronación del muro, que con 8 m según lo proyectado por SMI tiene un valor menor al recomendado por la literatura técnica y en particular la del ICOLD, la presa debería tener un ancho mínimo de 10 m. Se ha adjuntado un documento con referencias sobre el tema y se recomienda que el actual Consultor, o el futuro estudio del Diseño, tome en cuenta lo observado respecto de este aspecto.
- Este tema es relevante, no solo por el tema de estabilidad de la presa, sino que también por razones operativas, ya que dado la ubicación de todas las obras hidráulicas del embalse están en el estribo derecho, todas las actividades de operación y mantenimiento deberán contar con un camino adecuado para la circulación de maquinaria apropiada, por lo que un camino de 8 m sería muy estrecho. Como referencia en Chironta, con una altura de 88 m, su ancho coronamiento es de 10 m. Por lo tanto, en este caso se estima que 10 m sería un valor mínimo para el ancho del coronamiento del muro de Codegua.
- Posteriormente, el consultor SMI, consideró el ancho de coronamiento de 8 m en el modelo estructural, verificándose la estabilidad de la presa. Por lo que se recomienda, ver este tema en detalle en próximas fases de ingeniería.

2.6.2.2. Anteproyecto Evacuador De Crecidas

- Se ha recomendado al Consultor SMI, o en el futuro estudio de Diseño, que considere la recomendación del USACE para optimizar el diseño del vertedero del embalse. Se ha sugerido consultar el texto de Horacio Mery, en el que se explica el método señalado en la observación. Según el texto de H. Mery, se acostumbra a diseñar con una carga de diseño $= 4/3H_o$ para así mejorar el coeficiente de gasto y poder diseñar un vertedero más corto. Ese límite se basa en que hasta ese valor de H no se producen efectos negativos aguas abajo del umbral del vertedero.

Lo anterior se relaciona con el ancho definido para el evacuador, en el sentido de justificar el valor adoptado. Se hace este comentario, atendiendo a que esta estructura tiene relación con la altura del muro, que influye en el costo de la obra, junto con el costo del mismo vertedero. Por lo anterior se recomienda un análisis del ancho óptimo de esa estructura de seguridad.

- Se recomienda la verificación de toda la información de la geología y la geotecnia de la ribera derecha del valle donde se emplazaría esta obra. Debido a esto, es importante revisar el largo del rápido sobre la base de esta información. Esta zona de la ladera de la ribera derecha quedaría expuesta al impacto del agua evacuada por el salto de esquí para un amplio rango de caudales, menores al de diseño. En este caso se recomienda analizar el uso de un dissipador USBR tipo VII (Basin VII).
- También se ha recomendado revisar el diseño de la longitud del vertedero. Se recomienda consultar el proyecto del embalse Pocuro (2018) en el cual la empresa MN realizó el mismo análisis que se ha recomendado en este caso, en el que los caudales de diseño son de importancia.

2.6.2.3. Anteproyecto Túnel de Desvío, Entrega Riego y Desagüe De Fondo

- Se propone un cambio de diseño de las obras de entrega a riego, y del desagüe de fondo, separando los ductos del desagüe de fondo del destinado a la entrega a riego, siguiendo el diseño realizado en el embalse Chironta.

Al respecto es posible señalar que la definición de este tema será instruida por el IF de la DOH, por lo que los posibles cambios serán incluidos en la Etapa 7 del proyecto, de acuerdo con lo que la IF señale.

- No obstante, lo anterior, se reitera la recomendación de profundizar los estudios que permitan obtener una caracterización más completa del tema del aporte de sedimentos al embalse, tanto en su régimen normal como en régimen de eventos extremos (lluvias y crecidas importantes). Esto es importante para poder analizar y cuantificar adecuadamente los fenómenos de remoción en masa que pudieren ocurrir en la cuenca, la que muestra zonas con laderas muy inestables, que podrían llegar a afectar la operación del embalse. Se ha considerado aconsejable revisar el diseño de las obras de desagüe de fondo de esta obra, de tal manera que sea posible realizar maniobras de “flushing”. Lo anterior, requiere contar con dos líneas de desagüe de fondo, mediante un ducto totalmente separado del correspondiente a la entrega a riego, siguiendo el mismo estilo usado en el embalse Chironta, captando desde el fondo del valle en un ducto separado de que está destinado a la entrega de riego.

2.7. ETAPA 6: DISEÑO DE INGENIERÍA DE LAS OBRAS A NIVEL DE FACTIBILIDAD I

2.7.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 6

Con la determinación del tamaño óptimo, la Etapa 6 consideró de parte del Consultor SMI desarrollar los diseños de ingeniería a nivel de factibilidad que permitan contar con los dimensionamientos y verificaciones (hidráulicas, estructurales, geotécnicas, mecánicas, eléctricas, etc.) de las obras asociadas al proyecto (presa, obras anexas, caminos, interferencias y otros), sus cubicaciones y presupuestos. Además, se deben incluir en los alcances del diseño el equipamiento e instrumentación, con el fin de estimar las cantidades y los costos del proyecto que formarán parte de la inversión en la evaluación económica.

Finalmente, realizar los diseños de las obras propuestas a nivel de factibilidad, considerando los antecedentes obtenidos de los estudios de la consultoría y elaborar las memorias de cálculo y los respectivos planos asociados a las obras proyectadas.

También entregar una memoria de cubicaciones y si estas fuesen hechas a través de aplicaciones, adjuntar los archivos respectivos para su verificación. Respecto a los precios unitarios, las principales partidas a estudiar y aquellas partidas de incidencia minoritaria, podrán usar precios de la base de datos del consultor.

2.7.2. Observaciones Principales de la Etapa 6

2.7.2.1. Anteproyecto estaciones fluviométricas

- Se comenta la situación de cómo aforar los caudales bajos aguas arriba del embalse y de cómo serán reemplazadas las mediciones de caudal que deberían ser registradas en la estación fluviométrica de aguas abajo, que por decisión de la DOH no será incluida en este proyecto.

Al respecto, considera necesario incluir un capítulo con una descripción de todas las acciones necesarias para reemplazar esa estación fluviométrica de aguas abajo, que permitan medir la totalidad de los caudales descargados por embalse. Estas descargas son:

- i. Entrega a riego, que será conducida por un canal matriz paralelo al cauce, que no ingresa al cauce del estero Codegua.
 - ii. Descarga del desagüe de fondo
 - iii. Entrega del caudal ecológico
 - iv. Descargas de las obras de seguridad, a través del vertedero de seguridad
- Se recomienda incluir una descripción de los sistemas destinados a medir estos caudales e incluir en los planos del proyecto los dispositivos que se considere adecuados para estos fines. Aunque se han incluido unos comentarios relativos a este tema, que se consideran muy generales y deben ser ampliados. Contar con esta información es importante para una correcta planificación de la operación y control del embalse Codegua.

2.7.2.2. Comentarios y Consideraciones Finales

- En el capítulo de expropiaciones se deben actualizar los estudios correspondientes.
- En el tema de las estaciones fluviométricas, se recomienda se incluya una descripción más detallada de las acciones necesarias para reemplazar la estación fluviométrica de aguas abajo, para poder medir correctamente todos los caudales que entrega el embalse.
- En el estudio dinámico (Análisis de Estabilidad de la Presa) se debe complementar el análisis según observaciones.

2.8. ETAPA 7: DISEÑO DE INGENIERÍA DE LAS OBRAS A NIVEL DE FACTIBILIDAD II

2.8.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 7

De acuerdo con el tamaño óptimo del embalse, el consultor debe desarrollar los diseños de ingeniería a nivel de factibilidad que permitirán contar con los dimensionamientos y verificaciones (hidráulicas, estructurales, geotécnicas, mecánicas, eléctricas) de las obras asociadas al proyecto (presa, obras anexas, interferencias y otros), sus cubicaciones y presupuestos. Además, debe incluir en los alcances del diseño el equipamiento e instrumentación, con el fin de estimar las cantidades y los costos del proyecto que formarán parte de la inversión en la evaluación económica.

Realizar los diseños de las obras propuestas, a nivel de factibilidad y elaborar las memorias de cálculo y los respectivos planos asociados a las obras proyectadas.

Entregar una memoria de cubicaciones y, si fuesen hechas por medio de aplicaciones, debe adjuntar los archivos respectivos para su verificación. Respecto a los precios unitarios, las principales partidas se deben estudiar y en aquellas partidas de incidencia minoritaria, se podrá usar precios de la base de datos que posea el consultor.

2.8.2. Observaciones Principales de la Etapa 7

2.8.2.1. Desvío, entrega y desagüe de fondo

- Esta asesoría recomienda ajustar y optimizar el tipo de obras a considerar. Por ejemplo, incorporar dos líneas de desagüe, y no solo una tal como se ha realizado el diseño. Se estima recomendable que sea considerado el aspecto económico en la inclusión de mayor capacidad para evacuar en el desagüe, dado que esta inversión es marginal al costo total del proyecto y genera una alta capacidad de respuesta y resguardo ante emergencias, lo que redundará en una mayor seguridad a una obra inserta en una zona más poblada y con mayor actividad económica que los que se tiene en otros embalses.

2.8.2.2. Evacuador

- Se recomienda, en etapas futuras o en el diseño, ampliar el estudio de alternativas para definir el tipo de dissipador de energía ya que SMI decidió, por un Salto de Esquí. Se hace este comentario, de acuerdo con los problemas que han presentado los dissipadores del tipo Salto de Esquí en los embalses Corrales, El Bato y Ancoa, y por lo tanto, se estima que es necesario ser rigurosos en el análisis de esta importante estructura de seguridad.
- En este caso, donde se podría esperar caudales máximos del orden de 1.000 m³/s, es necesario analizar los potenciales efectos que podrían presentarse aguas abajo de la zona de descarga del chorro del dissipador, especialmente en lo relativo al arrastre de material y

degradación del cauce aguas abajo de esa zona del estero Codegua. Esto, se recomienda se modele.

- También la recomendación de estudiar un dissipador USBR tipo VII, con resalto ahogado, cuyo colchón aquietador sería el canalón pre excavado que se propone como obra de mitigación de la erosión asociada al Salto de Esquí.
- Además, a futuro, se recomienda un análisis del EH aguas abajo de la presa, en el que se incluya las condiciones de proyecto que consideren la pre excavación que se proyecta aguas abajo del dissipador, que tendría al menos unos 17 a 20 m de profundidad de acuerdo con los cálculos presentados.

2.8.2.3. Presupuesto

- Se debe revisar los precios unitarios, los cuales se basaron en presupuestos de construcciones de otros embalses de la DOH. Se recomienda, en futuros proyectos actualizar estos precios en función a la calidad de la roca en nuevos sondeos y analizar dichos costos insitu.
- Cabe recordar que en el Embalse Codegua será necesario contar con canteras ubicadas en la ribera derecha del cauce, en una zona donde quedan pendientes para estudios futuros los sondeos necesarios para caracterizar una potencial zona donde extraer los materiales para construir la presa. Por lo tanto, se debe revisar la justificación de los precios unitarios.

2.8.2.4. Evaluación Económica

- Es de preocupación el ítem de cantera, al variar el costo de explotación de cantera a (\$10.000 CLP) el VAN cae aproximadamente en un 88% con respecto al presentado. Esta Asesoría recomienda, evaluar esta situación que impacta en la viabilidad del proyecto.
- Al respecto, el Consultor ha señalado que los valores usados están validados por el departamento de construcción de la DOH. Se recomienda, en próximos estudios validar dichos montos.
- Se revisó la evaluación con CC y es coherente con lo expuesto en este capítulo, la TIR ronda el 7% para todos los escenarios, para el caso de la actualización a precios sociales se ve un incremento justificado debido a los flujos agronómicos.

2.8.2.5. Comentarios y Consideraciones Finales

- Dado los problemas administrativos para desarrollar los sondeos en estribo derecho del embalse, es que se recomienda realizar estudios complementarios en Geología y Geotecnia, de manera de validar los supuestos de diseño que el consultor SMI presento en el

dimensionamiento de las obras del embalse, en particular las obras anexas que se fundan en la ribera derecha.

- Se recomienda en futuros estudios, considerar dos líneas de desagüe de fondo; revisar el tipo de obra de disipación; revisar en detalle los sitios de empréstitos y los costos de los enrocados a usar en la construcción del muro de presa; revisar y complementar los cálculos del EH aguas abajo del muro, especialmente incluyendo la singularidad que el embalse incorpora en la geometría del cauce; revisar el criterio de usar los niveles de EH asociados a una crecida decamilenaria para proyectar las obras de entrega a riego.

2.9. ETAPA 8: BORRADOR INFORME FINAL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

2.9.1. Trabajos Ejecutados en la Etapa 8

Entrega del Borrador del Informe Final, que compila todas las etapas desarrolladas en el estudio de Factibilidad por SMI. Adicionalmente se abordan materias asociadas al diseño de túneles.

Además, se entrega el informe elaborado por Experto internacional en Presas Doctor Francisco Sánchez Caro en su visita a terreno y análisis de las memorias entregadas por SMI.

2.9.2. Observaciones Principales de la Etapa 8

- Se deben complementar a futuro los estudios geológicos con mapeos de superficie de la zona, especialmente en estribo derecho.
- También los estudios de los plegamientos observados en el valle, que abarcan la zona de inundación y las canteras de la ribera derecha del valle.
- Se recomienda realizar análisis geológicos y geotécnicos de la ribera derecha del valle, donde irían emplazadas las obras de entrega, desagüe de fondo y de seguridad del embalse, que no cuentan con estudios adecuados dado que por problemas administrativos no se pudieron realizar sondajes.
- Se recomienda validar en futuros estudios complementarios de terreno, los resultados de interpretación obtenidos de las prospecciones ejecutadas.
- Se recomienda realizar un análisis del material existentes en la ribera izquierda del muro, provenientes de una remoción en masa, especialmente en lo relativo a su estabilidad bajo condiciones de saturación y de sismo. De acuerdo a lo planteado por SMI, esta zona sería removida completamente, sin embargo, se recomienda estudiar en detalle o realizar un modelo geológico de manera de minimizar los riesgos.
- Revisar los precios unitarios asumidos para estimar el costo del material proveniente de canteras. En este tema, que es relevante por su impacto en el costo del proyecto, falta completar los estudios del material proveniente de las tres canteras de la ribera izquierda del valle y hacer el estudio completo de una cuarta cantera, ubicada en la ribera derecha, que debe complementar los estudios que permitan estimar su factibilidad y los posibles costos de su explotación.
- Se recomienda revisar el diseño del desagüe de fondo, que ha sido proyectado con una sola compuerta, este asesor considera importante mantener el estándar internacional que considera al menos dos compuertas en este tipo de obras.
- Revisión y corrección de los estudios del Eje Hidráulico del cauce del estero Codegua, aguas abajo de la presa, incluyendo la presencia del muro y de la descarga del dissipador de energía, que sería la fuente del caudal que escurriría por el cauce.

- Revisión del tipo de dissipador a usar. En esta etapa no se ha profundizado en el análisis de esta obra y se ha asumido que se debe usar un dissipador del tipo “Salto de Esquí”, sin estudiar con profundidad el impacto de esa obra aguas abajo de la presa. En este caso no se contó con un modelo HEC-RAS del cauce, aguas abajo del muro, en el que se incluyera la singularidad que significa tener en muro de la presa sobre el cauce y la existencia de las obras de seguridad proyectadas.
- Revisar el diseño de la estación de aforo aguas arriba del embalse, la que podría no ser adecuada para medir caudales bajos.

Los temas pendientes, no incluidos en este estudio de factibilidad son importantes para el proyecto Codegua. Se recomienda incluir en los TRs del siguiente estudio del proyecto, en el campo de la agronomía, los siguientes escenarios de adaptación:

1. Introducción de cultivos tolerantes a estrés hídrico.
2. Tecnologías de riego más eficientes.
3. Estrategias de manejo del suelo para mejorar la retención de agua

También se debería incluir en los TRs la evaluación económica de los siguientes escenarios:

1. Evaluar la rentabilidad de medidas adaptativas, como agricultura protegida o nuevas tecnologías de riego, considerando costos de implementación y beneficios a largo plazo.
2. Estimar el impacto económico de no actuar frente al cambio climático, como pérdidas de productividad o aumento de costos.

3. COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. OBSERVACIONES REALIZADAS

En forma global se han realizado en toda la asesoría más de 1.421 observaciones, donde alrededor del 60% de ellas corresponden a las primeras 3 etapas del estudio (15%, 20% y 23% respectivamente). Cabe recordar que la Etapa 1 del Estudio de Factibilidad fue la revisión de antecedentes del Estudio de Prefactibilidad proveniente de la CNR, en donde se recomendó proseguir a Factibilidad con el Sitio 1, a pesar de encontrarse en el lugar hallazgos arqueológicos, férrea oposición de los habitantes del sector y problemas de arrastre de sedimento desde una de las quebradas aportantes.

A partir de los cuestionamientos hechos por SMI, Asesor e IF, y la revisión de otros sitios identificados en el Estudio de Prefactibilidad de la CNR, y mediante la aplicación de la Metodología de la Matriz Multicriterio en Etapa 2, se seleccionó un mejor sitio, el cual permitió incluso identificar otro cercano que por las características topográficas permitía disminuir el volumen de relleno de la presa, y que en base a este se avanzó en la Factibilidad. Lo mencionado es consecuente con el hecho de haber tenido más del 50% de observaciones en las tres primeras Etapas del Estudio de Factibilidad.

Además, indica claramente que los informes de trabajos en terreno y estudios básicos, presentaron complejidades en su ejecución, dado que se estaba estudiando un sitio nuevo, el cual no fue recomendado inicialmente en la prefactibilidad.

Por otra parte, de la Figura 2-2 se puede observar que las especialidades en que se realizaron mayor cantidad de observaciones fueron las de geología y geotecnia, hidráulica e hidrología, que son justamente las especialidades que dependen de variables naturales, no dependientes del ser humano y por ende, no responden a leyes, normativas ni códigos, como si lo hacen las otras disciplinas (estructuras, expropiaciones, derechos de agua, viabilidad y evaluación económica). Es decir, que son más debatibles entre especialistas de acuerdo a conocimientos académicos, criterios y experiencias propias, lo cual refuerza el hecho que los especialistas que solicita la DOH tanto para contratos similares de consultorías, como de asesorías, tengan experiencia en grandes obras de riego.

3.2. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES DE LAS ETAPAS

En la **Etapa 1** de la Consultoría de Factibilidad se analizaron alternativas de emplazamiento del eje de presa, que permita seleccionar el sitio más apropiado tanto desde el punto de vista técnico, económico, social y medio ambiental.

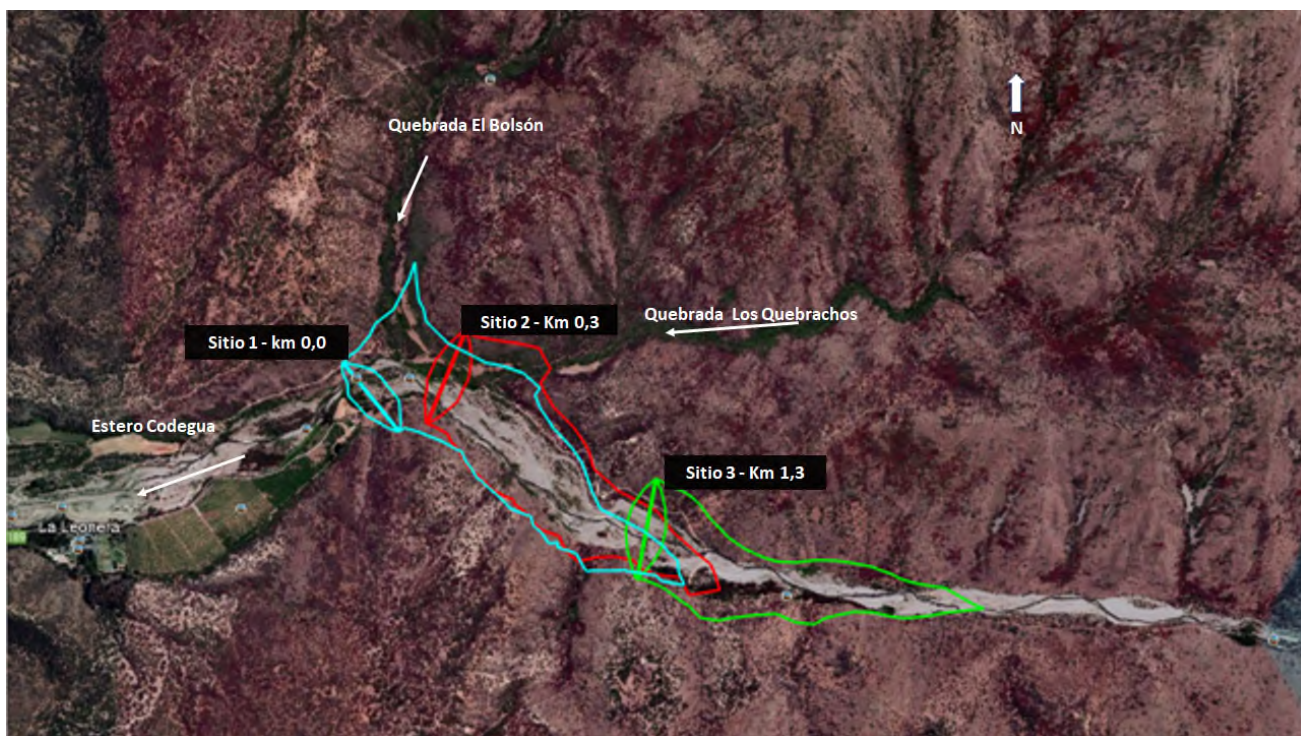
Inicialmente, en los estudios a nivel de Prefactibilidad de los años 2013 y 2015, se identificaron tres sectores para emplazar la presa, los que se denominaron Sitios 1, 2 y 3 (desde aguas abajo hacia aguas arriba, ver

Figura N° 3-1).

A continuación, se sintetiza lo indicado en cada estudio de Prefactibilidad:

- Estudio CNR 2013: El criterio de CNR fue buscar el embalse más económico que riegue la mayor cantidad de superficie posible. Del análisis realizado, se seleccionó el Sitio 1, debido principalmente a que se encontraba en la parte más baja de la cuenca (antes de la entrega a riego) captando el mayor recurso posible afluente. Se realizaron estudios geológicos y geotécnicos en este sitio.
- Estudio DOH 2015: El criterio de DOH fue buscar un embalse para almacenar 5 Hm³, en el marco del desarrollo de proyectos de pequeños embalses, y teniendo la información procedente del estudio previo CNR, donde el Sitio 1 resulta ser el más conveniente porque requiere un menor tamaño de muro para almacenar los 5Hm³ en razón que posee un mayor recurso afluente.

Figura N° 3-1: Ubicación relativa de los sitios a nivel de Prefactibilidad



Fuente: Elaboración SMI

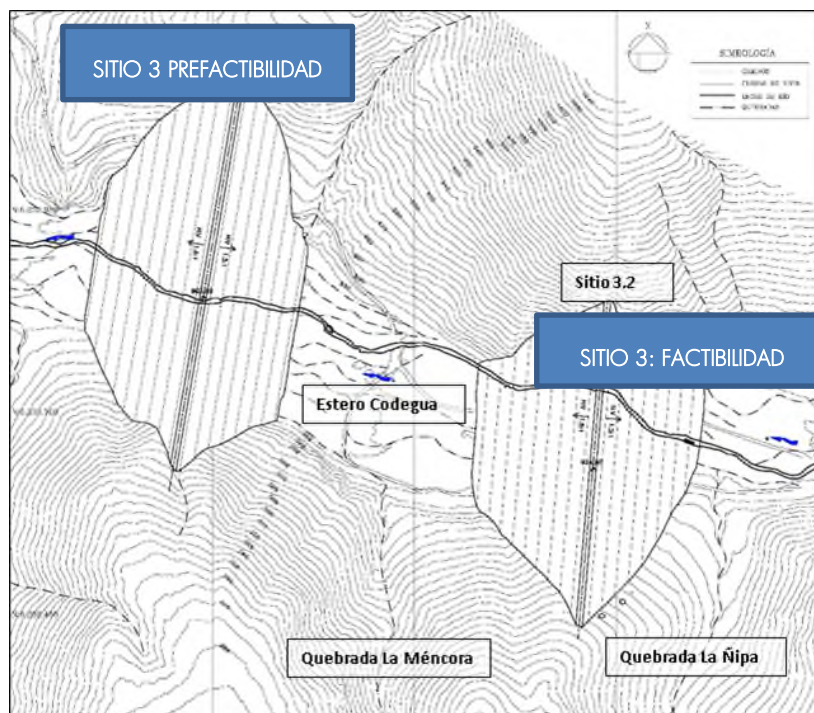
Sin embargo, en la **Etap 1** de la Consultoría de Factibilidad, se evidenciaron interferencias de Derechos de Agua No Consuntivos de terceros en el Sitio 1, además de interferencias con sitios arqueológicos y oposición de los habitantes.

Dado lo anterior, en la **Etap 2** se utilizó una matriz multicriterio de análisis de alternativas, para determinar el sitio de presa óptimo donde se tuvieran presentes los aspectos técnicos, económicos, sociales, ambientales y Derechos de Agua.

De dicho análisis, se concluyó que el Sitio 3 era el más adecuado, no obstante, en visita a terreno de SMI se identificó un mejor sitio en una angostura 500 m aguas arriba del Sitio 3 original de Prefactibilidad, el cual presenta una exposición evidente de roca, sobre todo en su estribo derecho y que además resultaba mejor desde el punto de vista del volumen de muro requerido para la construcción de la obra, situación que es importante tanto en la búsqueda y definición de materiales para la pesa, como del costo de la misma.

Teniendo presente esta caracterización, los trabajos de terreno de la **Etap 3 y 4** se concentran en el nuevo Sitio 3 de embalse, tal como se visualiza en las siguientes figuras. Al respecto de lo expuesto, esta Asesoría está de acuerdo en proseguir los trabajos en este nuevo sitio propuesto.

Figura N° 3-2: Ubicación de sitio 3



Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan las características técnicas del Sitio 3 a nivel de Factibilidad y fotografías presentadas por SMI en la caracterización del sitio:

Tabla N° 3-1: Dimensiones Sitio 3 en la Etapa 2

Sitio	Volumen embalse (hm ³)	Volumen muro (hm ³)	Altura del muro (m)	Largo coronamiento (m)	Ancho basal (sección transversal medio cauce) (m)
S3	21,5	2,4	88	365	244

Fuente: Elaboración SMI

Figura N° 3-3: Zona muro (estimativa) estribo derecho Sitio 3



Fuente: elaboración SMI

Figura N° 3-4: Zona plinto (estimado) estribo derecho Sitio 3



Fuente: elaboración SMI

Figura N° 3-5: Zona muro estribo izquierdo Sitio 3



Fuente: elaboración SMI

Tal como se ha indicado, en las **Etapas 3 y 4** del estudio de Factibilidad se realizaron todos los trabajos de terreno relativos a geología y geotecnia para prospectar adecuadamente el Sitio 3 seleccionado. Sin embargo, la ejecución de estos trabajos presentó los siguientes inconvenientes:

- Administrativos: No se contó con la aprobación de permisos correspondientes al propietario para realizar huellas de acceso en el estribo derecho, por lo que el consultor SMI no pudo realizar los sondeos planificados en dicha zona.
- Técnicos: Ante la dificultad de ejecutar los sondeos en la parte alta en terrenos privados, la alternativa técnica era ejecutar sondeos horizontales en el estribo derecho cercano al cauce,

por lo que se requiere una empresa sondejista calificada con equipos especializados para dicha tarea. Sin embargo, ello implicaba aumentar el presupuesto adjudicado a la empresa SMI en forma inmediata, lo cual, no fue posible administrativamente por DOH ya que ello ameritaba una resolución presupuestaria con financiamiento para el año siguiente.

Esta situación implicó que no se pudo caracterizar en profundidad, a través de sondajes o perfiles sísmicos como estaba contemplado, el estribo derecho, sino a través de recorrido superficial y sólo se ejecutó un sondaje inclinado al inicio/final del túnel proyectado, tal como se visualiza a continuación:

Figura N° 3-6: Perfil Geológico del plinto y ubicación de sondajes en Sitio 3

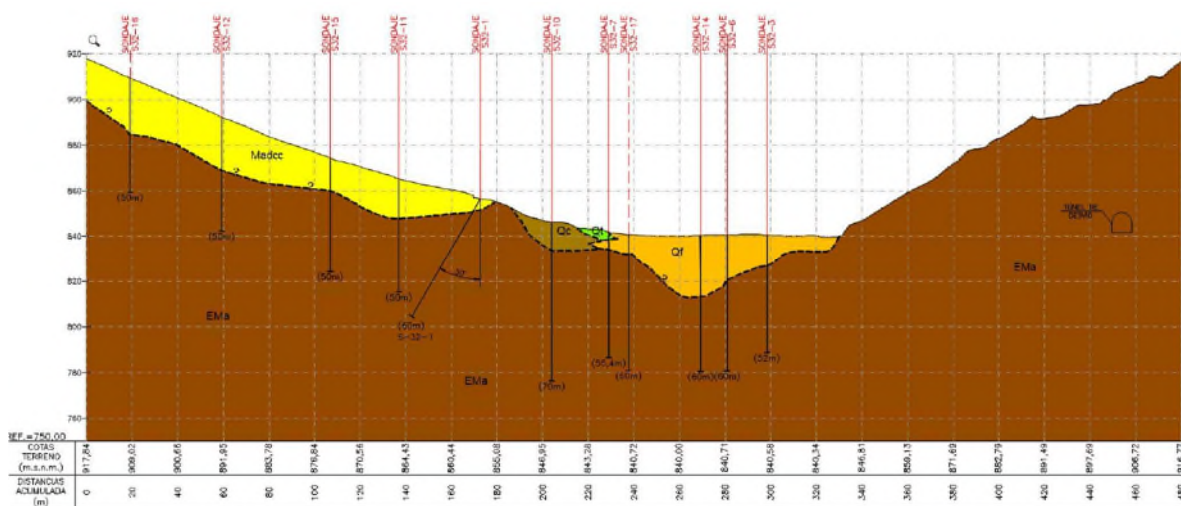


Figura N° 3-7: Ubicación Sitio 3 donde se visualiza alta pendiente en Estribo Derecho



Figura N° 3-8: Sondajes Ejecutados en el Sitio 3 de Presa, con Evacuador el ribera izquierda.

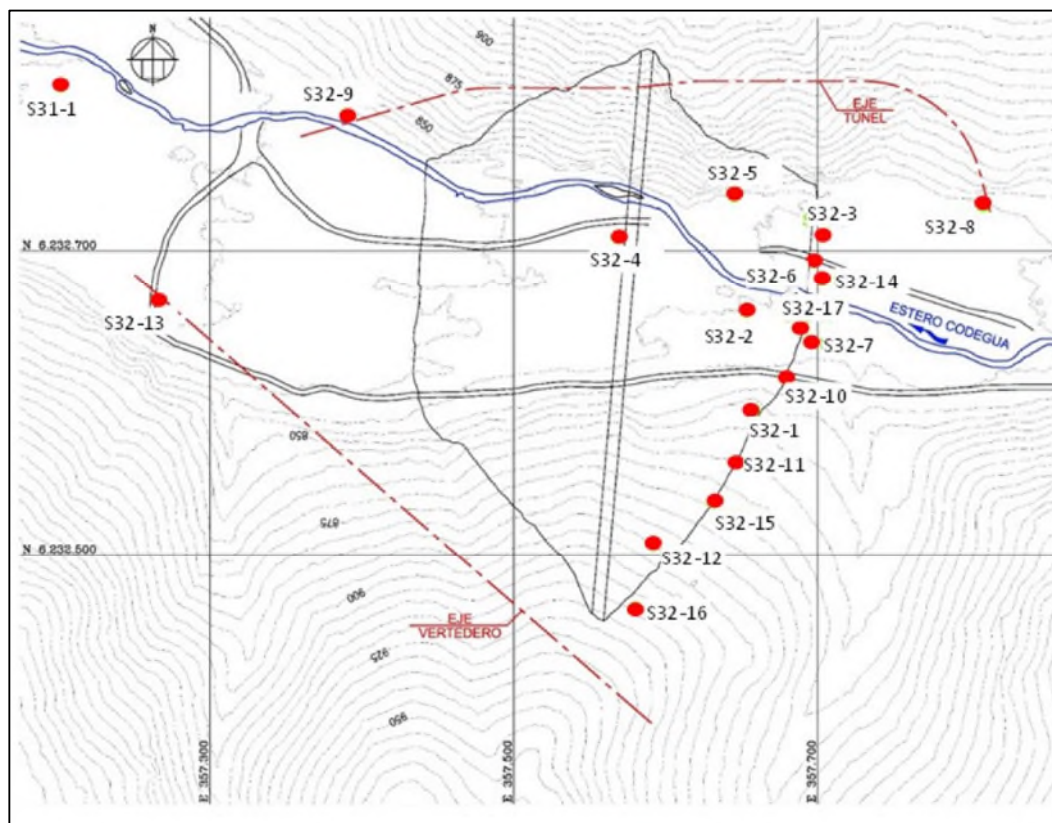


Figura N° 3-9: Perfiles Sísmicos en Sitio 3 con Evacuador en ribera izquierda.



Con la información disponible en **Etapla 4** se procedió a realizar una reunión con los expertos internacionales contratados por SMI y TYP SA (Srs. Bayardo Materon, Sr. Rafael López Manzano y Sr. Luis San Martín). En función a la información presentada, concluyeron que los resultados obtenidos de los trabajos y estudios desarrollados a la fecha les parecían correctos y adecuados a las condiciones determinadas para el embalse Codegua, a su vez, Bayardo Materon comenta que el estudio le parece bien organizado metodológicamente y que comparte las conclusiones referentes a que, en este caso, la presa de tipo CFRD presenta ventajas comparativas respecto de una presa tipo RCC, ya que, en este último caso, existe influencia de la distancia desde la cual se transporta el cemento hasta el sector de la presa respecto del costo final de la misma. Luego, se continúa el diseño del anteproyecto (**Etapla 5 y 6**) de una presa tipo CFRD.

Por otra parte, en **Etapla 5**, las Obras Anexas del embalse (canal evacuador entre otros) preliminarmente se habían ubicado en la ribera izquierda (ver figura anterior 3-8), sin embargo, dado el material que se encontró en dicha ladera, este no permitiría fundar adecuadamente el evacuador de crecidas, por lo que se reubicaron las obras en la ladera derecha. Si bien es cierto, esta ubicación presentaba roca superficial, ésta no contaba con sondajes dados los problemas mencionados anteriormente.

Posteriormente, se procedió a determinar el tamaño óptimo del embalse (25 Hm³) y su dimensionamiento junto con el presupuesto de obras.

En la **Etapla 6** esta Asesoría propone un cambio de diseño de las obras de entrega a riego, y del desagüe de fondo, separando los ductos del desagüe de fondo del destinado a la entrega a riego, siguiendo el diseño realizado en el embalse Chironta, lo cual es acogido por SMI. No obstante, lo anterior, se recomienda profundizar los estudios que permitan obtener una caracterización más completa del tema del aporte de sedimentos al embalse, tanto en su régimen normal como en régimen de eventos extremos (lluvias y crecidas importantes). Esto es importante para poder analizar y cuantificar adecuadamente los fenómenos de remoción en masa que pudieren ocurrir en la cuenca, la que muestra zonas con laderas muy inestables, que podrían llegar a afectar la operación del embalse. Se ha considerado aconsejable por parte de esta Asesoría, revisar el diseño de las obras de desagüe de fondo de esta obra, de tal manera que sea posible realizar maniobras de "flushing". Lo anterior, requiere contar con dos líneas de desagüe de fondo, mediante un ducto totalmente separado del correspondiente a la entrega a riego, siguiendo el mismo estilo usado en el embalse Chironta, captando desde el fondo del valle en un ducto separado de que está destinado a la entrega de riego.

Luego, en **Etapla 7** considerando los beneficios de riego (márgenes agrícolas), determinados en el estudio agronómico, finalmente se realizó la evaluación socioeconómica del proyecto, donde se concluye que el proyecto presenta una TIR del 8%, por lo que es rentable socialmente. A continuación, se presentan los resultados:

Tabla 3-1 Indicadores de rentabilidad

Volumen Embalse (Hm ³)	Superficie regada con 85% seguridad (ha)	A precios sociales 2023			A precios sociales 2024		
		VAN (MM\$)	TIR (%)	IVAN	VAN (MM\$)	TIR (%)	IVAN
25 Hm ³	3.354	33.993	7,9%	0,3	47.101	7,9%	0,5

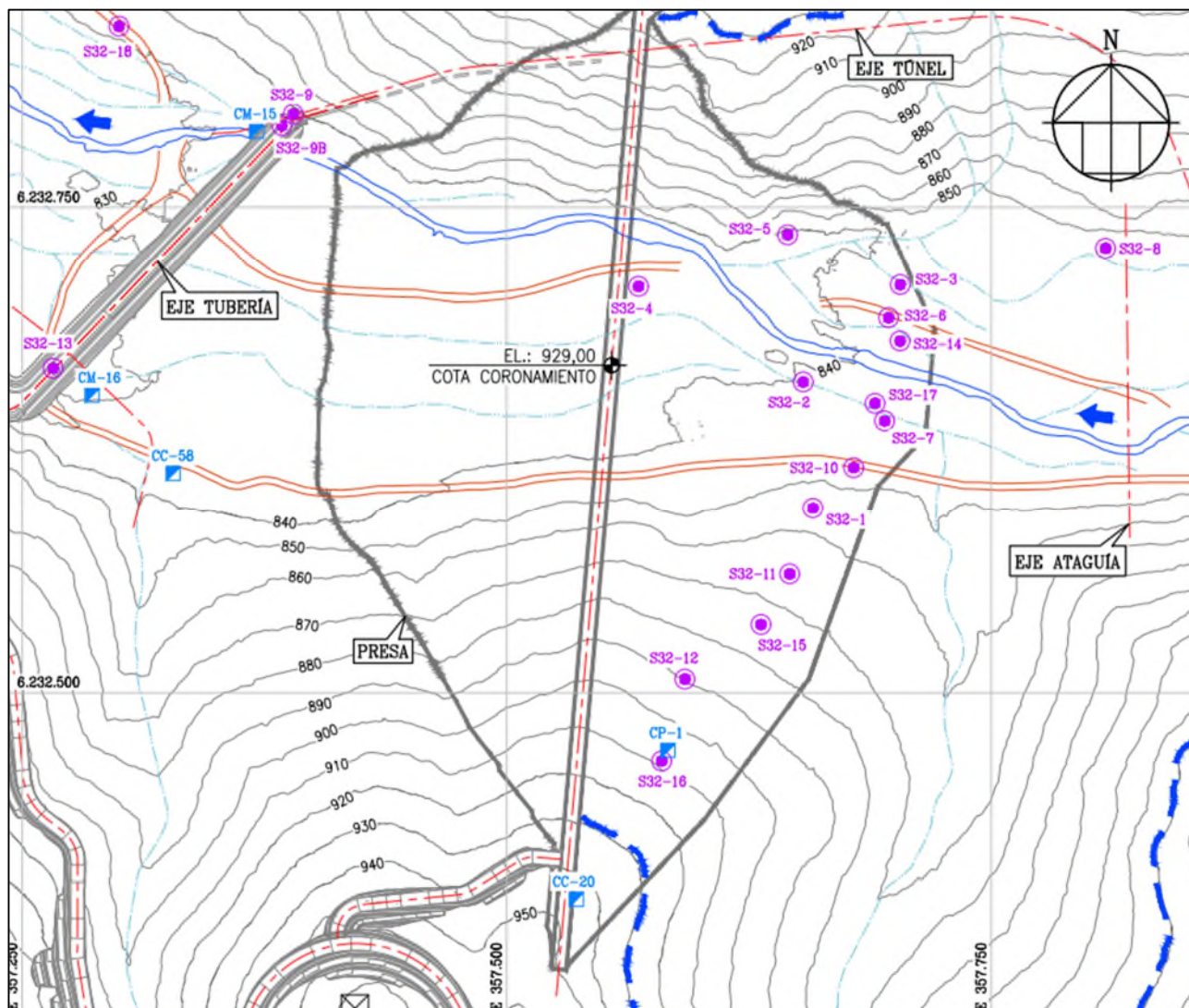
Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que el costo del ítem “Explotación de Canteras” corresponde al 13% del monto total de la obra de embalse, ello pues la presa considera una cantidad de 3.158.034 m³ en explotación de canteras. Por lo que esta Asesoría recomienda realizar trabajos complementarios de manera de realizar sondeos profundos en dichas zonas para establecer con mayor seguridad y certeza el precio de explotación correspondiente, que puede aumentar considerablemente el costo de las obras.

Por tanto, se requiere realizar estudios complementarios geológicos y geotécnicos de trabajos en terreno, en especial en la ribera derecha donde no se realizaron prospecciones, de manera de validar los supuestos utilizados por SMI en el Informe de Factibilidad desarrollado. Además, se recomienda que se optimicen las obras anexas, como el evacuador de crecidas, dado que no se dispone de sondeos o calidad de roca en la zona de impacto del salto de esquí.

Al término de la Asesoría, se tiene reunión con el experto internacional Sr. Sanchez Caro, quien coincidió en estas conclusiones y ratifica que es necesario realizar estudios complementarios para despejar incertidumbres geotécnicas en especial en el estribo derecho.

Figura N° 3-10: Sondajes Ejecutados en el Sitio 3 de Presa, con Evacuador el ribera derecha.



3.3. RECOMENDACIONES ESPECIALISTAS NACIONALES

A continuación, se presentan las recomendaciones de cada especialidad para los próximos estudios a realizar en el Embalse Codegua:

Tabla 3-2 Recomendaciones por Especialidad para los Trabajos Futuros

Especialidad	Recomendación de la Asesoría
Hidráulica	- Revisar el diseño de la estación de aforo aguas arriba del embalse, especialmente para medir caudales bajos. - Revisar el tipo de dissipador Salto de Esquí diseñado y estudiar el impacto de esa obra aguas abajo de la presa. Se recomienda un análisis de otras alternativas dissipador en función de nuevos sondeos y calicatas en el sector de impacto del agua. - Realizar un modelo HEC-RAS al menos en 2D del cauce, aguas abajo del muro, en el que se incluyan las obras de seguridad y desagüe de fondo proyectadas de manera de representar de mejor forma el flujo cruzado o dividido que se presenta en el Estero Codegua.
Hidrología	- Se recomienda actualizar los estudios de caudales afluentes al embalse, dado que los resultados obtenidos en el presente estudio han determinado un aumento del orden del 50% por sobre los estimados en el estudio de prefactibilidad. En lo ideal incorporando modelos de cambio climático actualizados de manera de establecer el impacto del cambio climático en los estudios de crecidas y de caudales mínimos en la cuenca del embalse. - Dado que el estudio actual ha incluido los últimos años de sequía, no resulta evidente que se obtenga un aumento en los caudales disponibles, especialmente si se incluyen aspectos relativos al cambio climático, que en otras zonas de Chile han estimado a la baja los recursos en comparación con estudios anteriores, analizar esta situación. - Analizar en detalle el impacto del cambio climático en los estudios de crecidas y de caudales mínimos en la cuenca del embalse.
Hidrogeología	- Estudiar la factibilidad de complementar las necesidades hídricas de la zona del embalse mediante aguas subterráneas. - Analizar en detalle el impacto del embalse en los niveles de aguas subterráneas del valle, aguas abajo de la presa, en la zona de riego.

Especialidad	Recomendación de la Asesoría
	- Para la caracterización hidrogeológica, se recomienda realizar pruebas de bombeo con el objetivo de determinar con mayor precisión los parámetros del acuífero. En la siguiente fase del proyecto, se deben realizar pruebas en las primeras etapas de manera de actualizar la información de la hidrogeología del valle. - Realizar nuevas pruebas de bombeo en la zona aguas abajo del muro.
Geotecnia	Realizar trabajos complementarios en campañas de prospecciones y estudios a fin de respaldar la calidad del terreno donde se apoya el muro, en especial las obras anexas que no pudieron ser prospectadas.
Geología	- Realizar y Complementar: - Mapeo geológico de toda la zona de emplazamiento del embalse; - Estudio geológico de la zona de emplazamiento norte del muro y de las obras de desvío, entrega a riego, desagüe de fondo, y de las obras de seguridad; - Estudio detallado del problema del apoyo izquierdo del muro, donde hay un gran depósito de material de detritos, que podría afectar la seguridad del muro; - Prospecciones en Canteras, para estimar volumen y calidad con que se cuenta para realizar el proyecto. Ello tanto de las tres identificadas como la cuarta, de la que solo se conoce su ubicación aproximada. - Profundizar en los factores condicionantes y desencadenantes, especialmente en relación con el comportamiento de los suelos bajo condiciones sísmicas y con suelo saturado; esto último es particularmente importante en el caso del apoyo izquierdo del muro, donde se ha detectado la existencia de detritos provenientes de remociones en masa, realizando un detallado análisis de las remociones en masa. - En el caso del estribo derecho de la presa, se recomienda completar los estudios geológicos en el macizo rocoso existente, lugar donde se han proyectado las obras hidráulicas del proyecto - Se recomienda en el próximo estudio analizar la remoción de una gran cantidad de material proveniente de la zona del estribo izquierdo del muro, donde se encuentra material proveniente de remociones en masa. Es importante incluir en detalle el tema de los

Especialidad	Recomendación de la Asesoría
	botaderos donde debería ser dispuestos estos materiales removidos. Hay que estimar bien los costos de todo esto; se trata de un tema no analizado en profundidad y que puede incidir en los costos del proyecto.
Agronomía	Realizar una sensibilización de los caudales e incluir escenarios de demanda adicionales que consideren la variabilidad estacional.
Estructuras	- Dado que no se pudo realizar sondeos en la zona de emplazamiento de las obras del evacuador y anexas, se recomienda verificar los factores de diseño utilizados en el presente estudio de factibilidad o bien asumir que la roca es de calidad regular, de manera de tener diseños de secciones más robustos y conservadoras. - Actualizar, en los trabajos complementarios, la geometría del modelo estático y dinámico. De manera de validar que las estructuras dimensionadas no sufran cambios a raíz de los nuevos coeficientes de suelo. Esto también podría impactar en los costos de la obra, pues podría incrementarse el espesor de la pantalla aguas arriba. - En la próxima fase, se recomienda contemplar diseños estructurales más conservadores si la calidad de la roca encontrada es menor a la considerada en el estudio de factibilidad de SMI. Ello podría implicar en el futuro un aumento en los costos del proyecto.
Túneles	- Realizar sondeos horizontales o verticales en la zona de emplazamiento del túnel, de manera de bajar la incertidumbre del tipo de roca que se perforará. - De lo anterior también es recomendable contar con la longitud de pase del diseño, de manera de estimar los costos del túnel con menor grado de incertidumbre.
Evaluación Económica	- Una vez realizados nuevos trabajos complementarios en el terreno para verificar el tipo de roca que se tiene, se recomienda analizar los precios unitarios adoptados para estimar el costo de explotación proveniente de canteras y a su vez, dado los 3 millones de m³ necesarios en este tipo de relleno, estimar el costo del transporte requerido con mayor certeza. - Analizar el tema de la remoción de una gran cantidad de material proveniente de la zona del estribo izquierdo del muro, donde se

Especialidad	Recomendación de la Asesoría
	encuentra material proveniente de remociones en masa. Es importante incluir en detalle el tema de los botaderos donde debería ser dispuestos estos materiales removidos.

3.4. RECOMENDACIONES DE EXPERTOS INTERNACIONALES

A continuación, se presentan las principales conclusiones de los informes realizados por 3 expertos internacionales en diferentes etapas del estudio:

Tabla 3-3 Recomendaciones de Expertos Internacionales

Etapas y Expertos	Conclusión y Recomendación
Etapas 4 – Junio 2023 Rafael López Manzano Bayardo Materon	▪ Rafael López indica que la presentación y los resultados obtenidos de los trabajos y estudios desarrollados a la fecha, le parecen correctos y adecuados a las condiciones determinadas para el embalse Codegua. ▪ Bayardo Materon comenta que el estudio le parece muy bien organizado metodológicamente y que comparte las conclusiones referentes a que, en este caso, la presa de tipo CFRD presenta ventajas comparativas respecto de una presa tipo RCC, ya que, en este último caso, existe mucha influencia de la distancia desde la cual se transporta el cemento hasta el sector de la presa respecto del costo final de la misma. En específico recomienda: a) Considerar que la parte superior de la presa (30%H) debe ser diseñada con un talud más conservador, como reconocimiento de una estructura construida en una zona sísmica (1.6H:1V). b) El material aluvial de gravas debe ser utilizado en la zona 2B como soporte de la losa de hormigón, para proporcionar una zona bien compactada con alto módulo de compresibilidad. c) Las gravas aluviales pueden ser mezcladas con el enrocado evitando que queden expuestas en el talud de agua abajo (1.4H:1V). d) Si se adopta una presa con parapeto simple o con doble parapeto, la junta perimetral horizontal entre el parapeto y la losa de hormigón debe quedar encima del nivel máximo de operación del embalse. e) Se recomienda utilizar compactadores vibratorios para la construcción de la presa de enrocado.
Etapas 8 – Enero 2025 Sanchez Caro	Al finalizar el estudio de factibilidad el Sr. Sanchez Caro opina lo siguiente:

Etapa y Expertos	Conclusión y Recomendación
	■ Se echa en falta algún tipo de fotointerpretación geológica (asociando aspectos tectónicos y estructurales), orientación del “layering” de los materiales ígneos efusivos, cartografía geológica general y de detalle, entre otros. ■ La ladera derecha es, aparentemente, competente (Formación Abanico de tipo andesítico-basáltica), conviene realizar reconocimientos geotécnicos adicionales. Se quiere advertir que, la Formación Abanico puede conformar un material de naturaleza volcánica que dista mucho de ser un material homogéneo. ■ La ladera izquierda está conformada por la Avalancha de Detritus Colón-Coya, con espesores que parecen superar los 20-25 metros. Con independencia de la elevada permeabilidad del material de la Avalancha de Detritus Colón-Coya, lo cierto es que el Anexo Geológico-geotécnico asigna valores de permeabilidad a la roca (Formación Abanico), con cierta frecuencia, tan elevados con 10-4 cm/s (y superiores), llegándose incluso hasta valores de 4,17·10⁻³ cm/s a 36 metros de profundidad en el sondeaje S32-16. Estos valores hacen sospechar a quien suscribe que el material de la Formación Abanico no es, en absoluto, homogéneo. ■ En el Anteproyecto (Documento DOH-SMI-21-03-INF-100), se realiza un único ensayo de Colapso (Calicata CP-1) que arroja un asentamiento del material del 2% (bajo una carga de 2,5 T/m²). La recomendación que realiza el proyectista es la “extracción total de este material arcillo gravoso bajo la fundación de la presa”. Quien suscribe desconoce si, de acuerdo con esta afirmación, se pretende eliminar la totalidad del material de la Avalancha de Detritus Colón-Coya que se localice en toda la zona de apoyo de la Escollera (enrocado) de la margen izquierda del cuerpo de presa. De no ser así, una carga típica de los cuerpo de presa será de 115,0 T/m² (2,30 T/m³ · 50 m), esto es, más de 45 veces la carga de ensayo. Aun admitiendo ese 2% como porcentaje de Colapso para la carga real (poco conservador), en los 25 metros de espesor del material se produciría un asiento instantáneo al saturarse del orden del medio metro (un cálculo más realista podría ser del orden del doble o aún mayor), que podría afectar a la deformación de la propia pantalla (precarizando su integridad). En cualquier caso, ello supondría la eliminación de unos 150.000 – 200.000 m³ de material (cuya

Etapa y Expertos	Conclusión y Recomendación
	excavación presenta unas connotaciones de estabilidad muy complicadas), que no parecen reflejarse en el presupuesto. - Respecto a la Estabilidad de Ladera izquierda, existe la necesidad de evaluación de la resistencia al corte del material de la Avalancha de Detritus Colón-Coya en las condiciones de saturación previstas. En la etapa de anteproyecto (Documento DOH-SMI-21-03-INF-100), en condiciones saturadas, este material fue ensayado (Calicata CP-1), arrojando los siguientes resultados: - Ensayo Triaxial CIU: $c = 0,3 \text{ T/m}^2$ $\phi = 13,3^\circ$ - Corte directo: $c = 0,5 \text{ T/m}^2$ $\phi = 15,0^\circ$ A pesar de la escasa representatividad de estos ensayos (la granulometría ensayada nada tiene que ver con la realidad), se pone claramente de manifiesto la escasísima resistencia al corte del material ensayado. Se trata, de un material que, en condiciones saturadas, presenta una matriz que podría asemejarse a un “fango” y su inestabilización es segura al entrar el embalse en explotación, salvo que se adopten medidas estructurales contundentes de estabilización (tipo “peine de pilotes” de gran diámetro, convenientemente encepados y anclados). Se quiere comentar, además que, a cotas más altas de la presa, la resistencia al corte del material de la Avalancha de Detritus Colón-Coya puede no estar plenamente en condiciones no saturadas, puesto que, en momentos de pluviometría elevada, se puede reducir notablemente la resistencia al corte indicada en el punto anterior. Esta ladera puede ser un elemento de preocupación continua durante la explotación de la presa, muy especialmente ante sismos severos. - Ubicación de Obras Anexas, no parecen existir reconocimientos en la margen derecha que permitan definir mínimamente los aspectos geotécnicos de este elemento hidráulico. - Un aspecto de interés es la forma de restituir los caudales al río, mediante un “salto de esquí”, que debe analizarse con rigor. El posible impacto directo del “chorro” en la margen izquierda y/o las “corrientes de remolino” que puedan afectar a esa margen delicada, pueden aconsejar adoptar soluciones con un cuenco como elemento amortiguador.

Etapa y Expertos	Conclusión y Recomendación
	■ Asimetría geométrica de estribos. Necesidad de analizar con detalle el comportamiento tensodeformacional de la presa (deflexiones en la propia pantalla, compresiones y distensiones excesivas incompatibles con las juntas, etc.), y, muy especialmente, el propio comportamiento de la pantalla ante condiciones sísmicas severas. ■ Ubicación de la Presa. Quien suscribe desconoce si es posible localizar una alternativa donde no aflore el denominado material de la Avalancha de detritus Colón-Coya. Quizá convendría replantearse la situación. De ser estrictamente necesario el mantenimiento de la ubicación actual, quizá debieran contemplarse otras potenciales secciones tipo alternativas a la CFRD, con soluciones que contemplen un elemento impermeable más confinado, del tipo de núcleo arcilloso central, núcleo asfáltico, etc., por ejemplo. ■ Canteras: Deben hacerse todos los esfuerzos necesarios para asegurar este extremo, incrementando los reconocimientos y ensayos, ya que constituye un aspecto esencial del proyecto, verificando la calidad de los materiales explotados (resistencia, potencial carácter evolutivo, etc.) y su aprovechamiento potencial con volúmenes muy superiores a los necesarios para conformar el cuerpo de presa. La existencia de intercalaciones tobáceas (mucho menos resistentes) pueden encarecer la explotación de la cantera de manera significativa. Los taludes considerados para las excavaciones asociadas a la explotación de las canteras parecen ser el 1H:4V, que se consideran excesivamente verticalizados (sólo coherentes para las andesitas sanas), al menos en cuanto se refiere a las intercalaciones tobáceas y, también, a los 10-15 metros más superficiales (en estos casos, podría ser necesario adoptar taludes tan tendidos como el 1H:1V). Otro aspecto que debe evaluarse con rigor es el correspondiente a la potencial afección medioambiental, no sólo por la propia geometría de cada cantera, sino, también, por la necesidad de disponer de botaderos para los materiales no aprovechables (materiales tobáceos y andesíticos alterados).