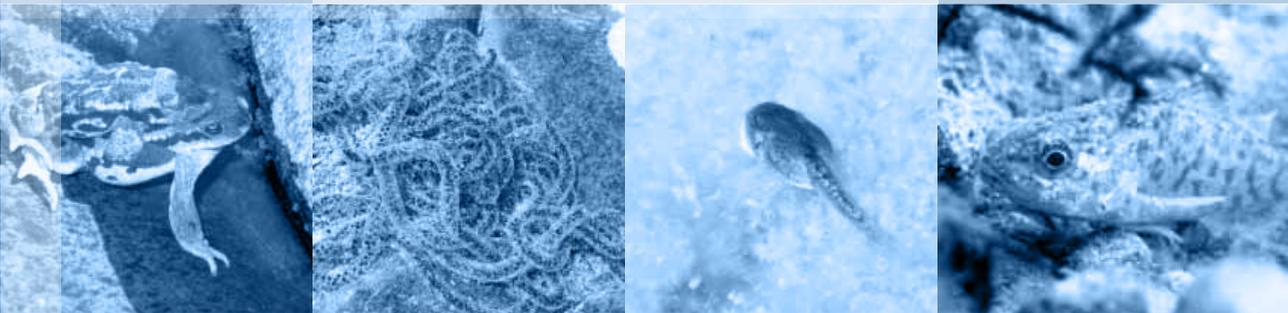


# Introducción al Cálculo de Caudales Ecológicos

Un análisis de las tendencias actuales

endesa chile  


Una empresa del Grupo Enersis



## Introducción al Cálculo de Caudales Ecológicos

Un análisis de las tendencias actuales

© Derechos Reservados  
Primera Edición: Marzo 2011  
Tiraje: 300 ejemplares

Empresa Nacional de Electricidad S.A.  
Endesa Chile  
Santa Rosa 76, Santiago de Chile  
Teléfono: (56 2) 630 9000  
Fax: (56 2) 635 3938  
[www.endesa.cl](http://www.endesa.cl)

Inscripción en el Registro de Propiedad Intelectual:  
N° 201471  
I.S.B.N. N° 978-956-8191-11-5

Se autoriza su reproducción citando la fuente

Diseño y Producción  
Leaders S.A.

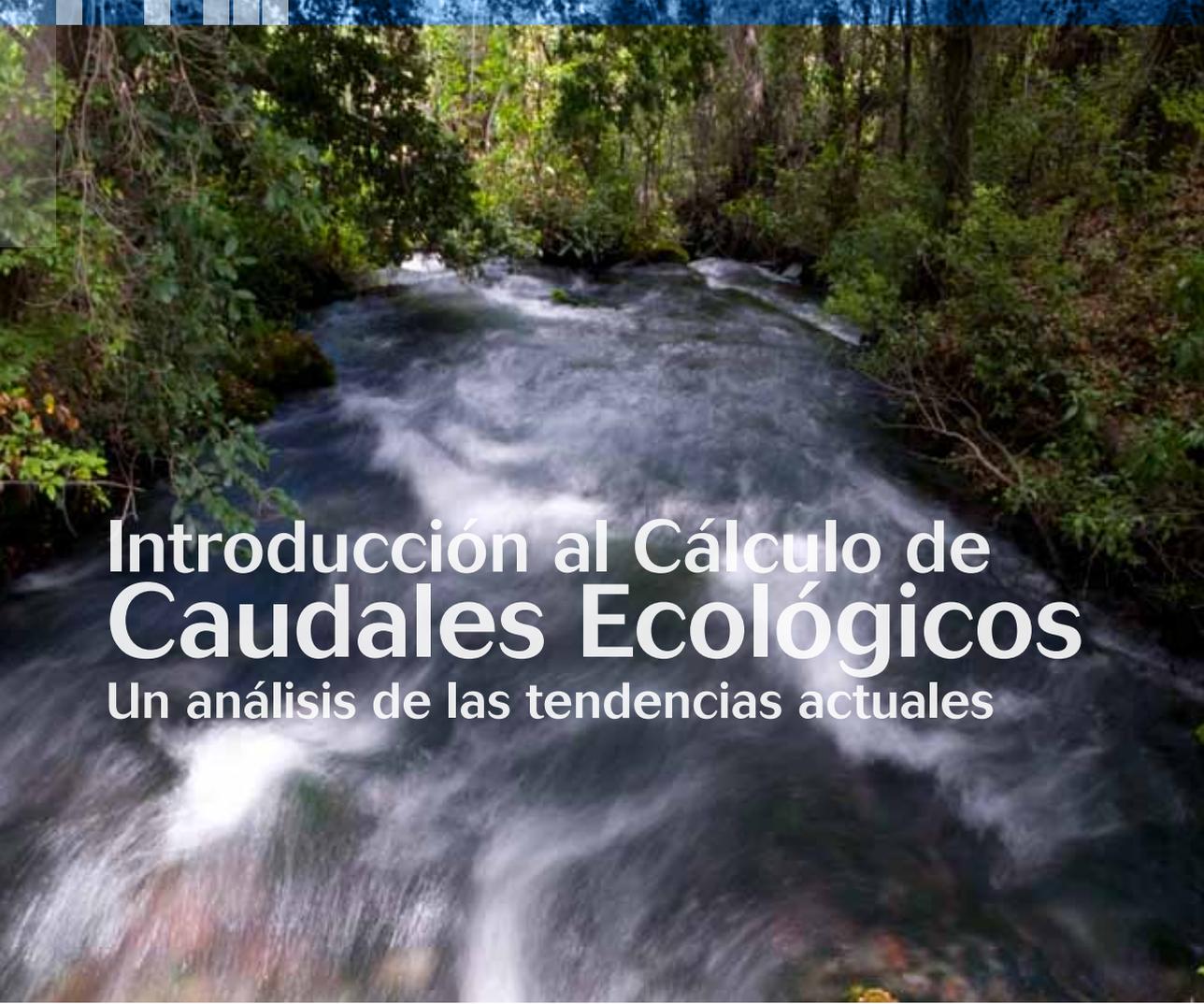
Impresión:  
World Color

Impreso en Chile/Printed in Chile

Portada  
Camping Santa Laura, alto Biobío, archivo Endesa Chile

Página 1  
Río Puelo, sector Pasarela, en la parte alta de la cuenca, Fotografía de Pablo Reyes 2010.

Fotografías páginas 4, 6, 8, 12 y 36  
por Pablo Reyes



# Introducción al Cálculo de Caudales Ecológicos

Un análisis de las tendencias actuales

**endesa**chile  
**E**

Una empresa del Grupo Enersis

# Contenido

<b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>8</b>
<b>3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>12</b>
3.1 Metodologías genéricas.....	13
3.1.1 Métodos hidrológicos .....	13
3.1.2 Métodos hidráulicos .....	14
3.1.3 Métodos de simulación de hábitat .....	15
3.1.4 Métodos holísticos.....	16
3.2 Metodologías utilizadas en países líderes en el tema.....	17
3.2.1 Estados Unidos de Norteamérica .....	17
3.2.1.1 Estado de Washington.....	18
3.2.1.2 Estado de California.....	19
3.2.1.3 Estado de Texas.....	20
3.2.2 Nueva Zelanda.....	21
3.2.2.1 Criterios vigentes .....	22
3.2.2.2 Objetivos de la nueva política.....	23
<b>4. SITUACIÓN EN CHILE.....</b>	<b>26</b>
4.1 Inicio y evolución .....	27
4.2 Análisis a estudios de Qeco presentados al SEIA .....	29
4.3 Estudio de caso; efectividad del Qeco en la CH Ralco .....	32
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>36</b>

**ANEXO A.**

Bibliografía .....	38–43
--------------------	-------

**ANEXO B.**

Tablas .....	44–49
--------------	-------

**ANEXO C.**

Extracto del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, Dirección General de Aguas (DGA 2008) .....	50–53
--	-------

**ANEXO D.**

Resolución DGA fija criterios para el Cálculo del Caudal Ecológico al constituirse derechos de aprovechamiento de aguas .....	54–57
--	-------

**ANEXO E.**

Observaciones efectuadas por la Autoridad a los estudios de caudal ecológico de proyectos hidroeléctricos .....	58–180
--	--------

E.A.1 Central Hidroeléctrica San Pedro de Colbún .....	58–71
--	-------

E.A.2 Central Hidroeléctrica Ñuble de CGE Generación .....	72–112
--	--------

E.A.3 Central Hidroeléctrica Angostura de Colbún .....	113–136
--	---------

E.A.4 Proyecto Hidroaysén de Endesa – Colbún .....	137–180
--	---------

# Resumen Ejecutivo

La Dirección General de Agua de Chile (DGA) fija un máximo para los caudales ecológicos en 20% del Caudal Medio Anual (CMA), recomendando fijarlo en 10%.

Río Puelo en la parte alta de la cuenca, sector de Primer Corral.

A partir de 1998, la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile, considera, al momento de otorgar nuevos derechos de agua (DGA, 1999), un caudal mínimo, con el propósito de “preservar los ecosistemas y los valores paisajísticos”. La misma DGA estableció como norma en 2005, la necesidad de contar con un caudal ecológico (Qeco) al momento de otorgar derechos de aprovechamiento de agua, limitándolo a un máximo de 20% del caudal medio anual (CMA) del cuerpo de agua sobre el que se solicitan los derechos, recomendando fijarlo en 10% del CMA. A su vez, el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), adopta, a fines de la década de 1990, el Qeco como una medida de mitigación, para garantizar el agua mínima necesaria para preservar los valores ecológicos en el cauce de un río o estero sujeto a aprovechamiento.

Bajo la normativa descrita, el presente documento analiza las observaciones efectuadas por la Autoridad a las propuestas de caudal ecológico de cuatro proyectos hidroeléctricos de Chile (tres aprobados y uno en proceso). Los resultados del análisis indican lo siguiente:

- Las “mega centrales” reciben menos observaciones a sus estimaciones de Qeco que las centrales medianas o pequeñas. Es probable que mientras menos agua disponible tenga el Titular, éste trate de optimizarla, estableciendo menos Qeco en virtud de turbinar mayor volumen de agua;
- Existe una relación inversa entre el caudal que el Titular destine a Qeco, con la cantidad de observaciones que emite la Autoridad al respecto, lo que –finalmente- repercute en la duración del proceso de evaluación ambiental;
- El análisis de 160 observaciones efectuadas por la Autoridad a los estudios de Qeco de los cuatro proyectos estudiados, indica que corresponden básicamente a trece tipos. De ellas, siete presentan una frecuencia mayor a 5%, además, requieren tiempo y recursos para ser aclaradas.

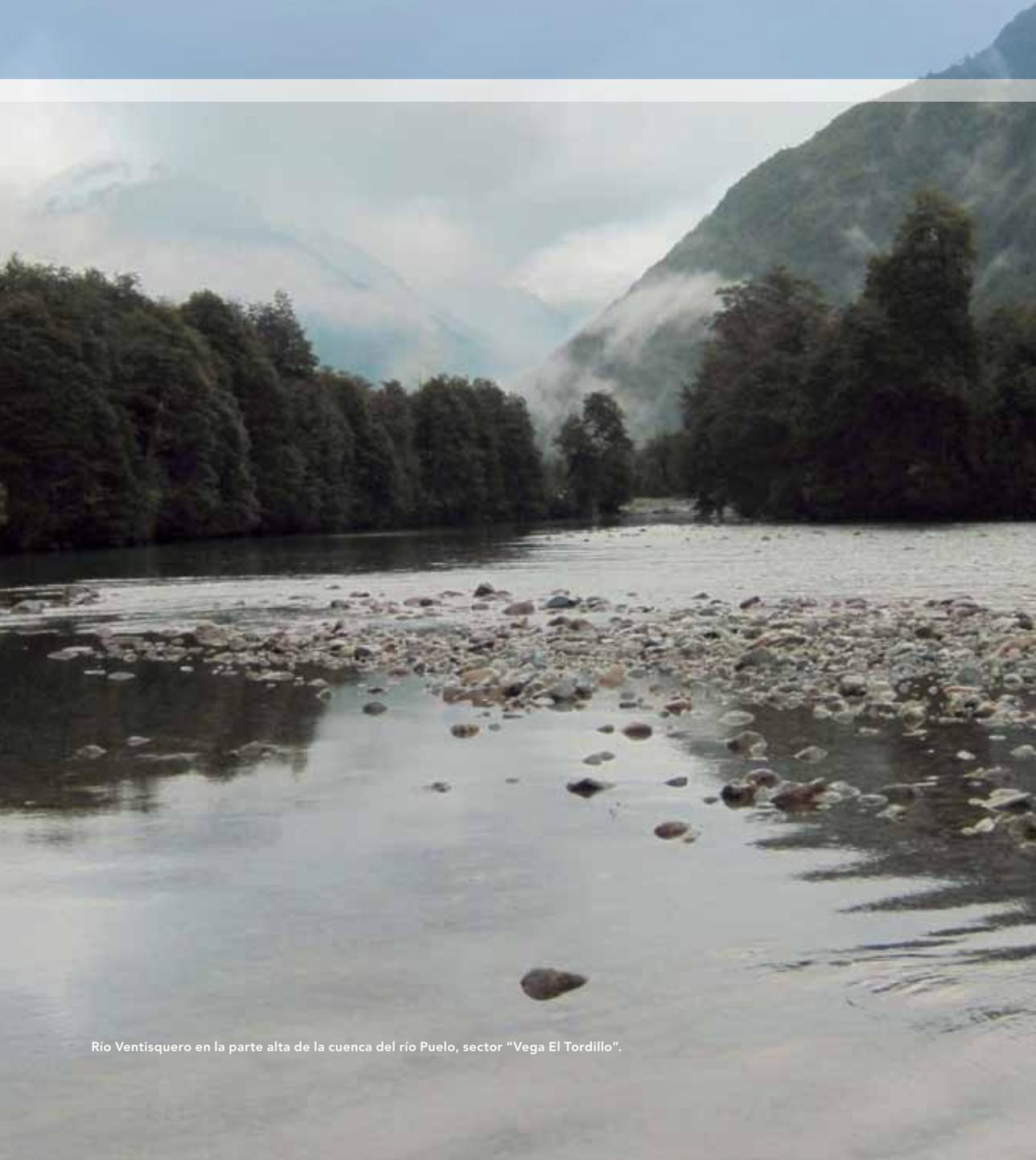
Otras seis, presentan frecuencia menor a 5% y requieren pocos recursos y tiempo. El porcentaje en el cual se presentan estas observaciones tipo (“difíciles” o “fáciles”), aumenta o disminuye según el modelo empleado por el Titular para definir Qeco; y

- La Autoridad es más afín a la propuesta del Titular, cuando los métodos para definir Qeco se basan en las sugerencias de la DGA.

En relación con la estimación de Qeco en situaciones similares a Chile, se analiza la realidad norteamericana. El modelo PHABSIM (que aporta información al modelo IFIM), es el más empleado en los Estados de Washington y California, cuyas características climáticas e hidrológicas se asemejan a las de la zona centro y sur de Chile.

Respecto a Nueva Zelanda, los métodos actualmente empleados son hidrológicos, como por ejemplo un porcentaje de la media anual (siete días) de caudales de mínimos o de estiaje (MALF), e IFIM. Actualmente, el Gobierno neocelandés se encuentra desarrollando una propuesta para normar a nivel nacional los criterios y metodologías empleados para determinar Qeco.

# 1. Introducción



Río Ventisquero en la parte alta de la cuenca del río Puelo, sector "Vega El Tordillo".



La expresión caudal ecológico (Qeco), referida a un río o a cualquier otro cauce<sup>1</sup> de agua corriente, es una expresión que puede definirse como el agua mínima necesaria para preservar los valores ecológicos del cauce, entendidos estos como:

- Los hábitats naturales de la flora y fauna;
- Las funciones de dilución de contaminantes;
- Los parámetros climatológicos e hidrológicos;
- El paisaje; y
- Su uso antrópico (e.g. recreación).

La determinación del Qeco de un río o un arroyo se hace según un cuidadoso análisis de las necesidades mínimas de los ecosistemas existentes en el área de influencia de una estructura hidráulica (e.g. una represa), que en alguna forma va a modificar el caudal natural del río o arroyo.

En Estados Unidos, Canadá y algunos países miembros de la Unión Europea, hace tres décadas se aplican los “*instream flow*” (caudales ecológicos) para garantizar una cierta cantidad de agua (caudal) en un cauce intervenido. En Chile, este instrumento se adoptó a finales de la década de 1990, bajo el nombre de Caudal Ecológico (Qeco), con el objetivo de conservar los ecosistemas de agua dulce (CONAMA<sup>2</sup> 1998). Desde entonces, ha existido una amplia discusión acerca de su efectividad y de los métodos utilizados.

El presente documento analiza la situación de los estudios de caudal ecológico y la legislación vigente en Chile. Además, se analizan las metodologías empleadas en Estados Unidos de Norteamérica y en Nueva Zelandia, países que se consideran líderes en el tema tratado.

---

1 El cauce es la parte del fondo de un valle por donde discurren las aguas en su curso: es el confín físico normal de un flujo de agua, siendo sus confines laterales las riberas (Cadiñanos 2005).

2 Comisión Nacional del Medioambiente.

## 2. Antecedentes

A wide river flows through a lush, forested valley. The water is a vibrant blue-green color, and the surrounding landscape is dominated by dense green trees and vegetation. In the background, a range of mountains is visible, with some peaks covered in snow or light-colored rock. The sky is a clear, bright blue with a few wispy clouds. The overall scene is a beautiful natural landscape.

Río Puelo en la parte alta de la cuenca, sector de Santo Domingo.  
En la imagen se observa el encajonamiento del cauce en dicho sector.

La instalación de obras hidráulicas en un curso de agua origina una regulación artificial de los caudales, la cual afecta a la fauna acuática por la disminución de los niveles de agua (García de Jalón & González del Tánago s/f).

Un caudal puede considerarse ecológico, siempre que sea capaz de mantener el funcionamiento, la composición y la estructura de un ecosistema fluvial, igual que en condiciones naturales (Martínez 2002). Existen muchos caudales que pueden ser “ecológicos” para un cauce, pues éste de forma natural presenta fluctuaciones y extremos máximos y mínimos de caudal (Figura 2).



Figura 2. Algunos ríos en la zona centro sur de Chile presentan grandes fluctuaciones estacionales de caudal. En años de sequía, estos ríos pueden incluso secarse (como el de la imagen que corresponde a un tributario del río Maule), siendo re-colonizados por la biota acuática al contar nuevamente con agua.

Foto de: Pablo Reyes 2009.

En los casos más frecuentes, las obras hidráulicas extraen agua de un río (de modo temporal o parcial), por ello interesa especialmente conocer

el valor mínimo de caudal del cauce. Sin embargo, hay casos en que interesa también conocer el valor máximo, por ejemplo, cuando hay que efectuar aportes de agua a un cauce (e.g. recibir agua de otro cauce en riesgo de inundación).

Según García de Jalón y González del Tánago (s/f), existen dos tipos de técnicas para conocer el límite máximo de aguas que se pueden extraer del río, sin afectar significativamente a sus comunidades naturales:

- Métodos que se basan en datos históricos sobre estiajes<sup>3</sup> que de forma natural han ocurrido; y
- Métodos basados en las pautas de variación del hábitat de la fauna y flora acuática según el régimen de caudales.

El primer criterio estudia en especial los estiajes naturales de los ríos, bajo la hipótesis que sus comunidades de flora y fauna han evolucionado sometidas a fluctuaciones de caudal, y por tanto, sus ciclos biológicos y sus requerimientos ecológicos están adaptados a dichas fluctuaciones. Por lo mismo, las comunidades de flora y fauna están adaptadas a tolerar caudales mínimos durante un estiaje relativamente largo, e incluso, pueden tolerar caudales muy pequeños durante uno o varios días.

El segundo criterio se basa en metodologías que relacionan los requerimientos de hábitat de las comunidades de flora y fauna de un río, con las variaciones de éste según el régimen de caudales. La base de esta metodología es conocer los requerimientos de caudal de algunas especies o comunidades acuáticas y su distribución en el tiempo.

3 El Estiaje es nivel más bajo o caudal mínimo que en ciertas épocas del año tienen las aguas de un río, estero, laguna, etc., por causa de la sequía (RAE 2001).

En ambas metodologías el criterio para determinar un caudal ecológico reside en calcular la respuesta de las comunidades del ecosistema a la disminución de caudal. Si la disminución de caudal cae por abajo de un determinado umbral, la respuesta de la comunidad biológica dejará de ser elástica para convertirse en plástica. Es decir, los cambios en ella dejan de ser reversibles y la comunidad no se recupera de las perturbaciones ocasionadas por la falta de agua. Por lo tanto, el cálculo de caudales ecológicos, busca determinar valores de caudal por encima de estos umbrales (Stalnaker 1979, Bovee 1982).

Al momento de definir un caudal ecológico es necesario considerar las especies acuáticas en

todos los estados de su desarrollo (e.g. ovas de peces, alevines, peces adultos y otros), pues sus requerimientos de hábitat cambian a lo largo de su ciclo de vida (Muñoz *et al.* 2002). Por ejemplo, en primavera, cuando el caudal de los ríos aumenta, muchas especies de sapos usan las riberas inundadas para encontrar pareja, reproducirse, poner sus huevos y desarrollarse (figuras 3, 4 y 5), en este período, también hay muchos peces, como el pejerrey, que depositan sus ovas<sup>4</sup> en la vegetación terrestre que se encuentra temporalmente sumergida por las crecidas, donde se desarrollan hasta convertirse en alevines, antes que disminuya el caudal del río y las plantas queden nuevamente secas, de lo contrario las ovas también se secan y mueren.



Figura 3.

Pareja de "Sapo de Rulo" (*Rhinella arunca*) reproduciéndose en un plano de inundación provocado por una crecida estacional de primavera. La hembra depositará los huevos fertilizados, para que los embriones se desarrollen en el agua mientras dura la crecida primaveral. La fotografía fue captada en el sector Los Cóndores, de la cuenca alta del río Maule.

Foto de: Bernardino Camousseigt 2009.

4 Los óvulos de pez fertilizados reciben el nombre de "ova".



Figura 4.  
Ovas de "Sapo de Rulo" (*Rhinella arunco*) desarrollándose en una ribera, inundada durante una crecida primaveral. De las ovas surgirán larvas de sapo, las que requerirán agua para desarrollarse. La fotografía fue captada en el sector Los Cóndores, de la cuenca alta del río Maule.

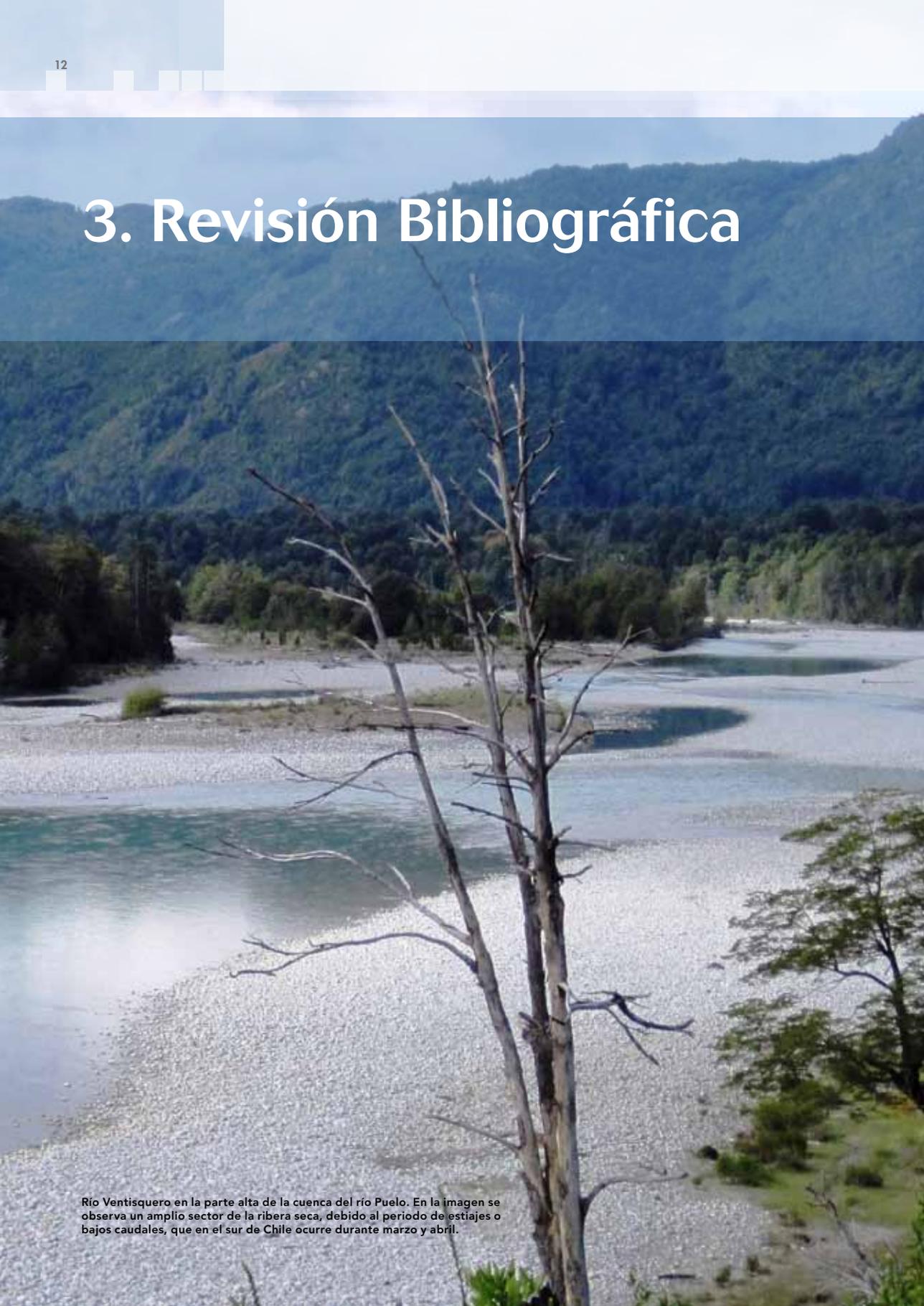
Foto de: Bernardino Camousseigt 2009.



Figura 5.  
Larva de "Sapo de Rulo" (*Rhinella arunco*) preparándose para adquirir patas (metamorfosis). Este proceso ocurre antes que las riberas inundadas se sequen, luego los sapos salen del agua y buscan lugares húmedos para vivir. La fotografía fue captada en el sector La Mina, de la cuenca alta del río Maule..

Foto de: Pablo Reyes 2010.

# 3. Revisión Bibliográfica

A wide river with a large, dry, leafless tree in the foreground, set against a backdrop of lush green mountains. The river is filled with light-colored gravel and sand, and the water is a pale blue-green color. The background shows a dense forest of green trees covering the mountains.

Río Ventisquero en la parte alta de la cuenca del río Puelo. En la imagen se observa un amplio sector de la ribera seca, debido al periodo de estiajes o bajos caudales, que en el sur de Chile ocurre durante marzo y abril.

A continuación se presenta una revisión bibliográfica, enfocada en conocer las principales metodologías para estimar caudales ecológicos en el mundo. Posteriormente, la revisión se localiza en los países que se encuentran a la vanguardia en este tema. De este modo, se pudo determinar que existen metodologías genéricas o comúnmente aceptadas.

### 3.1 Metodologías genéricas

Las metodologías existentes para determinar caudales ecológicos son numerosas a nivel mundial. Sin embargo, las más aceptadas se pueden agrupar en los siguientes métodos: a) hidrológicos; b) hidráulicos; c) de simulación de hábitat, y d) holísticos. A continuación, se presenta el detalle sobre cada método.

#### 3.1.1 Métodos hidrológicos<sup>5</sup>

Esta metodología considera que los organismos de las comunidades ribereñas están adaptados a las variaciones estacionales propias de un régimen hídrico. Estas variaciones naturales afectan el comportamiento, los ciclos biológicos y la producción biológica de las poblaciones. Entre los métodos hidrológicos más utilizados, se encuentran:

##### 3.1.1.1 Método de Curva de Permanencia ( $Q_{330} - Q_{347}$ )

Consiste en la construcción de una curva a partir de datos de caudales diarios, mensuales o anuales, donde se presenta la relación entre los rangos de caudal con el porcentaje de tiempo en que cada rango de caudal es igualado o excedido. Este método permite, por ejemplo, determinar el caudal medio diario que es excedido durante 330 ó 345 días de un año ( $Q_{330}$  o  $Q_{345}$ ), que corresponden respectivamente, al 90% y 95% del tiempo (respecto a 365 días) (Silveira & Silveira 2003).

##### 3.1.1.2 Método de caudal mínimo de siete días con período de ocurrencia de 10 años ( $7Q_{10}$ )

Este método entrega el valor de un caudal mínimo estadístico, que corresponde al valor que en promedio de cada diez años (10), será igual o menor que el caudal medio ( $Q$ ) en cualquier evento de siete días (7), de sequía consecutivas ( $7Q_{10}$ ) (Ames s/f). También existen otras aproximaciones similares, utilizando la estadística hidrológica que describe las condiciones de sequía como el " $7Q_2$ " y " $10Q_5$ ". El método supone que a valores menores, se puede generar un estrés ecológico, ya que la falta de agua produce una sobrecarga de tensión que se ve reflejada en el ecosistema, por la aparición de anomalías y anormalidades que impiden el normal desarrollo y funcionamiento de las comunidades biológicas que ahí viven (Figura 6). Por ello, este método es considerado en países como Brasil, adecuado para calcular un  $Q_{eco}$  (Benetti et al. 2003).



Figura 6.  
Las poblaciones de los organismos acuáticos que habitan en los ríos andinos de Chile, no se extinguen durante el período de bajos caudales, pues se encuentran adaptadas al régimen hidrológico del río. En la fotografía se observa el río Cipreses en la cuenca alta del río Maule, durante el período de estío.

Foto de: Pablo Reyes 2009.

5 Hidrología. Ciencia geográfica que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración, entre otros.

### 3.1.1.3 Método de Aproximación por Rangos de Variabilidad (Range of Variability Approach - RVA)

Este método ha sido ideado para casos en que se tenga como primer objetivo de manejo la conservación de los ecosistemas. Se basa en datos de largos períodos, donde se describe la variabilidad hidrológica antes y después de instalada una represa. Consiste en tener una descripción del flujo natural, a través de 32 parámetros, definidos por *Ritcher* (1996) como claves en el funcionamiento del ecosistema, para luego estimar un rango de variación máximo de estos parámetros. Con este método se recomienda un sistema de manejo con objetivos anuales, intentando emular o "imitar" las características del flujo natural después del funcionamiento de la represa o central hidroeléctrica. Esta metodología considera un monitoreo continuo para la redefinición de sus objetivos (Figura 7).



Figura 7.  
Actividades de monitoreo de la calidad del agua y de la flora y fauna acuática, aguas abajo de la "Bocatoma Maule" de la central hidroeléctrica Isla de Endesa Chile.

Foto de: Pablo Reyes & Daniela Peirano 2009.

### 3.1.1.4 Método de Tennant

Está basado en un estudio realizado por la *US Fish and Wildlife Service*, en 11 arroyos ubicados en Estados Unidos de Norteamérica, en los Estados de Montana, Nebraska y Wyoming. El objetivo del mismo fue encontrar una relación entre el caudal y la disponibilidad de hábitat para la biota acuática. *Tennant* (el investigador líder), dividió el año en un período seco y otro lluvioso, para los cuales

propuso caudales expresados como porcentajes del caudal medio anual (CAM), relacionándolos con grados de conservación. A partir del mismo, se determinó que el hábitat comenzaba a degradarse cuando el flujo era inferior a 10% del flujo medio anual; esto asociado a una velocidad media de 0,25 m/s, a una profundidad media de 0,3 m (*Tennant* 1976).

### 3.1.1.5 Método de Diagnóstico y Tratamiento de Ecosistemas (Ecosystem Diagnosis and Treatment (EDT) Method)

El método EDT fue diseñado para proporcionar datos para el desarrollo y ejecución de planes de manejo de cuencas hidrográficas con un enfoque integral. Utiliza 43 atributos diferentes, con los que los usuarios deben calificar la condición de un ecosistema fluvial, y luego comparar el hábitat ideal para las necesidades de la especie objetivo. El resultado es una predicción de la abundancia de los peces y la distribución potencial en puntos determinados en el tiempo, que pueden ayudar a identificar los factores ambientales que más limitan a una especie determinada (*Lestelle et al.* 1996).

## 3.1.2 Métodos hidráulicos<sup>6</sup>

Se considera que variables hidráulicas simples como el perímetro mojado o la profundidad máxima, juegan como factores limitantes en la biota. Estos métodos, generalmente, se basan en estudios de una sección transversal de un río, para así relacionar la magnitud de la descarga con la profundidad de los cauces, velocidad y perímetro mojado.

### 3.1.2.1 Método Toe-Width Washington

Está diseñado para determinar el caudal que proporciona la profundidad y velocidad más adecuada en una sección transversal del cauce, donde los peces prefieren desovar. Las mediciones estiman un promedio de los anchos del canal estudiado. Dichos números se utilizan en ecuaciones que generan un valor único de caudal preferido por truchas y salmones para el desove. Los valores típicamente generados son más o menos comparables con los obtenidos, a través del IFIM con PHABSIM. Aunque este método es simple, económico, rápido y útil para determinar caudales, se considera que sólo es aplicable a peces que viven en pequeños arroyos de Washington occidental, y por lo tanto, no se recomienda a nivel científico (*Swift* 1976).

<sup>6</sup> Hidráulico. Es una rama de la física y la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos. Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa (fuerza) y empuje de la misma.

### 3.1.2.2 Método del Perímetro Mojado

Este es uno de los más conocidos y comúnmente utilizado en Estados Unidos de Norteamérica (Bragg et al. 1999 y Benetti et al. 2003). En él, se asume que la integridad del hábitat está directamente relacionada con el área húmeda. Consiste, básicamente, en la construcción de curvas que muestran la relación entre el caudal con el perímetro mojado. A partir de ellas, puede observarse que hasta un cierto volumen de agua, el perímetro crece rápidamente a medida que aumenta la descarga, pero sobrepasado este volumen, el perímetro se mantiene casi constante. Generalmente, el flujo recomendado es aquel cerca de este punto de inflexión, pues se presume es el nivel óptimo para el desove de peces o para la producción de invertebrados bentónicos (Stalnaker et al. 1995) (Figura 8).



Figura 8.  
La nutria de río o huillín (*Lontra provocax*) basa su alimentación en pequeños cangrejos (llamados "pancoras"). Dichos invertebrados bentónicos viven en zonas ribereñas, muy dependientes del área húmeda del cauce. En la fotografía se observa un huillín en el río Chepu, isla de Chiloé.

Foto de: Pablo Reyes 2008.

### 3.1.3 Métodos de simulación de hábitat

Las especies de peces están mejor adaptadas a ciertas características hidráulicas, estructurales y geomorfológicas. Al conocer cómo afecta el caudal a estas características, se puede predecir el caudal óptimo para mantener las poblaciones de estos peces.

### 3.1.3.1 Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)

La metodología *Instream Flow Incremental Methodology* (IFIM), fue desarrollada por el *US Fish and Wildlife Service*, e integra modelos hidráulicos con parámetros de calidad del agua, sedimentos, estabilidad de los cauces, temperatura y otras variables que afectan a los peces (Figura 9). El IFIM contiene un modelo que relaciona el caudal con los datos de hábitat (*Physical Habitat Simulation System - PHABSIM*). El modelo construye índices que exponen el grado de adaptación de las especies objetivo, a diferentes valores de velocidad, profundidad y características geomorfológicas específicas del río (*Washington Department of Fish and Wildlife* 2003).



Figura 9.  
Los ríos con zonas de baja velocidad de corriente y gran cantidad de troncos sumergidos, proporcionan alimento y refugio para los peces, aumentando así la calidad del hábitat y su abundancia. En la fotografía se observa el río Traidor, en la cuenca alta del río Puelo.

Foto de: Pablo Reyes 2009.

### 3.1.3.2 Método de Simulación Física de Hábitat

El PHABSIM, es el método más utilizado en el Estado de Washington para calcular caudales ecológicos, ya que produce un modelo que muestra la relación entre los niveles de caudal y corriente con el hábitat físico de varias especies de peces, en diferentes etapas de su vida. El modelo utiliza mediciones reales (profundidad, velocidad y material de base) de transectos a través del río

para crear modelos hidráulicos. Estos se combinan con “criterios de idoneidad de las especies” (curvas de habitabilidad), para producir un índice que da cuenta de la cantidad de hábitat que es capaz de aprovechar un pez (una o varias especies) en las diferentes fases de su desarrollo, según diferentes niveles de caudal. El uso más valioso del PHABSIM es identificar y cuantificar las áreas de un cauce que no son adecuadas para las etapas específicas de la vida de un pez, pues se considera mejor determinar el umbral más bajo de caudal que el umbral óptimo. Los críticos se quejan que este método ha sido muy empleado por consultores, sin que las necesidades de hábitat de muchas especies de peces sean conocidas<sup>7</sup>. Además, este método supone que los transectos seleccionados (e.g. perfiles batimétricos) son representativos de todo el tramo del río estudiado. Finalmente, este método no evalúa la alteración del hábitat en el tiempo.

### 3.1.4 Métodos holísticos

Estos métodos asumen que si son identificadas las características esenciales del flujo hídrico que pueden generar un impacto ecológico y son incorporadas dentro de un régimen de flujo modificado, entonces la biota y la integridad funcional del ecosistema será mantenida. Los métodos holísticos, generalmente, tienen dos aproximaciones distintas o combinan estas dos (Arthington et al. 1998).

#### 3.1.4.1 Método de Building Block - Aproximación Bottom-up

Se realiza sobre la base de grupos de trabajos multidisciplinarios, tomando en cuenta trabajos de investigación ya realizados, modelos para entender la respuesta caudal-características hidráulicas y juicios de expertos. Uno de los pasos críticos es la estimación de la importancia económica y social del área de estudio, realizándose una evaluación de la dependencia social y económica de los ecosistemas ribereños, en conjunto con la comunidad (figuras 10 y 11). Se determinan y describen en términos de duración y magnitud los flujos que se recomendarán. La descripción de cada uno de los componentes del flujo son considerados como los *building block*, conformando los “Requerimientos de Caudal” para una cuenca o río (*Instream Flow Requirements - IFR*). Se denomina de tipo *Bottom-Up*, ya que el caudal recomendado es estimado a partir de un flujo mínimo hacia valores más altos.



Figura 10. La pesca recreativa, en Chile, genera ingresos de entre 5 a 7,5 millones de dólares por año. En la imagen, un guía local de río Puelo, Región de Los Lagos, liberando viva una trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) tras su captura.

Foto de: Emma Elgueta 2009.

#### 3.1.4.2 Benchmarking - Aproximación Top-down

Se basa en principios similares al método *Building Block*. A diferencia del mismo, el caudal es determinado desde un flujo máximo aceptable, hacia valores menores (aproximación *Top-Down*). Con la información disponible, modelos conceptuales y juicio de experto, se identifican indicadores hidrológicos que son considerados ecológicamente relevantes. Con estos indicadores, son caracterizados cauces escogidos dentro de un río como *benchmark* o de referencia. En estos cauces de referencia no existe necesariamente un caudal natural (puede estar regulado), pero cumplen con los variados niveles de caudal que se requieren en la cuenca. Posteriormente, en estos sitios se relacionan determinados impactos ecológicos en función de cambios en el caudal. De esta manera, se investiga cuánto puede cambiar el caudal antes que el ecosistema sea degradado (Brizga et al. 2002).

<sup>7</sup> Comentario que se incluye en el tipo 1 de observaciones efectuadas en Chile por la Autoridad a los estudios de caudal ecológico de centrales hidroeléctricas (ver Tabla 3).



Figura 11. El kayak es uno de los usos antrópicos de los ríos del sur de Chile, en especial en aquellos con alto caudal y pendiente. En la fotografía se observa un piragüista bajando el salto La Leona del río Fui, en la Región De Los Rios.

Fuente: Anexo W del EIA Central Hidroeléctrica Neltume, de Endesa Chile.

### 3.2 Metodologías utilizadas en países líderes en el tema

Gran parte de las metodologías descritas en el numeral anterior han sido diseñadas en Estados Unidos, por lo que se considera un país líder en cuanto a cálculo de caudales ecológicos. Por esta razón, en el presente numeral analizaremos las políticas y metodologías empleadas en parte de Estados Unidos, para definir caudales ecológicos. Complementariamente, se analiza el desarrollo del área en Nueva Zelandia, ya que posee características geográficas y climáticas semejantes a las existentes en el área centro sur de Chile.

#### 3.2.1 Estados Unidos de Norteamérica

En el presente numeral se estudian los criterios para definir caudales ecológicos, empleados en dos de las mayores regiones productoras de energía hidroeléctrica de Estados Unidos; el Pacífico Noroeste (16.195.298 MWh, mayoritariamente Washington) y el Estado de California (40.892.958 MWh) (Hall et al. 2004). Los lugares seleccionados presentan cuencas de borde oriental, como las de Chile. El área de Washington es asimilable al área sur de Chile, debido a su hidrología constante a través del año. California, por su parte, se asimila al área central de Chile, de clima mediterráneo y marcada estacionalidad. A modo comparativo, además, se estudió un Estado con bajo desarrollo hidroeléctrico (127 MW), Texas (Hall et al. 2004), cuyas metodologías para determinar Qeco –eventualmente- serían aplicables al área del valle central de Chile, por la presencia de ríos similares; es decir, sinuosos y con baja velocidad de corriente (Figura 12).



Figura 12. Estados estudiados para el análisis metodológico de determinación de caudal ecológico en Estados Unidos de Norteamérica.

Fuente: Google Earth. Fecha de captura: 01-10-2009.

EUA se rige por leyes federales (que aplican por sobre todos los estados miembros de la federación) y por leyes estatales, que sólo aplican en un Estado. Dentro de las leyes estatales se encuentran aquellas que reglamentan la determinación de caudales ecológicos, pues se asume que cada Estado presenta características particulares.

La gran mayoría de las leyes estatales sobre caudales ecológicos se basan en principios de restauración de ríos degradados, lo que es concordante con el grado de industrialización de EUA y el uso intensivo y extensivo al cual han sido sometidos sus cuerpos de agua. Otro patrón común para la determinación de caudales ecológicos, es la recuperación de las poblaciones migrantes de peces salmónidos (truchas y salmones) los cuales son nativos del país, y por lo tanto, presentan gran importancia cultural (en especial para las culturas indígenas). Además, la pesca recreativa de estos peces contribuye con billones de dólares, anualmente, a la economía de los estados (e.g. sólo la venta de equipos de pesca recreativa de salmón genera 2,4 billones de dólares al año).

La Figura 13 presenta el plano energético asociado a la hidroelectricidad en Estados Unidos de Norteamérica, donde se observan las centrales existentes (amarillo) y los sitios con alto potencial (naranja). Finalmente, el color violeta representa las zonas excluidas de desarrollo de energía hidroeléctrica, recurso que actualmente genera cerca del 7% de la electricidad empleada por EUA (Hall et al. 2004).



Figura 13.

Mapa temático de la energía hidráulica en Estados Unidos. En amarillo las hidroeléctricas existentes, en naranja los sitios con alto potencial y en violeta las zonas de exclusión.

Fuente: <http://www.nationalatlas.gov>.

### 3.2.1.1 Estado de Washington

El Estado de Washington ha promulgado una serie de leyes que apuntan a proteger los caudales de sus ríos. La legislación formula, desde 1949, una política de protección en los ríos usados como hábitat por diferentes especies de peces, cuando el entonces Departamento de Pesca y Caza estaba obligado a examinar las solicitudes de los nuevos derechos de agua y asegurar caudales adecuados para la recreación y los peces<sup>8</sup>. Desde 1967, la Ley autoriza al Estado a establecer normas mínimas de caudales ecológicos para proteger a los peces, la vida silvestre, la recreación y los valores estéticos. A su vez, la Ley Estatal de Recursos Hídricos de 1971, establece un programa integral para “el mantenimiento y mejora de la vida silvestre, la recreación, y la preservación del medio ambiente y los valores estéticos y todos los demás usos compatibles con el goce de las aguas públicas del Estado”<sup>9</sup>. Por la misma razón, existe una “cláusula de escape” mediante la cual un Qeco puede ser suprimido si hay “razones imperiosas de interés público” (e.g. agua para consumo humano). Finalmente, en 2002, la Corte Suprema del Estado de Washington, determinó que la mantención ecológica puede demandar un determinado nivel de caudal dentro de un río aguas abajo de una represa, incluso si esto significa limitar el derecho del Titular a ejercer en plenitud su derecho de agua<sup>10</sup>.

Respecto a las leyes federales vinculadas con caudales ecológicos, la Ley Federal de Electricidad (AAP), establece que las nuevas represas deben ser autorizadas por la *Federal Energy Regulatory Commission* (FERC) antes de su construcción, y que

las represas existentes deben ser re-licenciadas cada 30 ó 50 años para continuar en operación. En la entrega de licencias para centrales hidroeléctricas, la FERC debe dar “igual consideración” al poder de generación (no a los valores de potencia) y a “la protección, mitigación de daños y la mantención de los peces y la fauna asociada (incluida la protección de zonas de desove); a la protección las zonas de recreación y la conservación de otros aspectos de la calidad ambiental”<sup>11</sup>. Cualquier licencia que emita la FERC debe incluir –también– “adecuadas” y “equitativas” medidas para proteger a los peces y la fauna silvestre y su hábitat. Así, la FERC condiciona (no impone), requisitos de Qeco en sus permisos hidroeléctricos (Figura 14).

En el pasado, el Estado de Washington ha favorecido el cálculo de caudales ecológicos sobre la base de distintos modelos de evaluación, según la situación. Sin embargo, el Washington *Department of Fish and Wildlife* (WDFW), en la actualidad utiliza el método PHABSIM<sup>12</sup>. Entre los métodos reconocidos en el pasado por el WDFW se encuentran:

- *Tennant*;
- *Toe-Width Washington*;
- *Physical Habitat Simulation System* – PHABSIM;
- *Instream Flow Incremental Methodology* – IFIM;
- *Ecosystem Diagnosis and Treatment (EDT) Method*; y
- *Range of Variability Approach* – RVA.

Estos métodos ya se explicaron en el numeral 3.1 (Metodologías Genéricas) del presente documento.

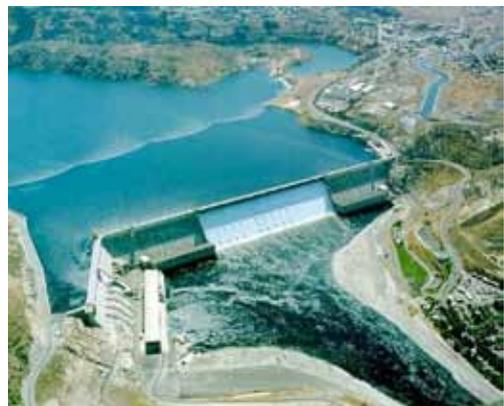


Figura 14. La central hidroeléctrica Grand Coulee del Estado de Washington, es la mayor estructura de concreto de EUA. Posee una capacidad instalada de 6.809 MW.

Fuente: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Grand\\_Coulee\\_Dam](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Grand_Coulee_Dam).

8 RCW § 75.55.050.

9 RCW 90.54.020(1).

10 PUD No. 1 of Pend Oreille County v. Dept. of Ecology, No. 70372-8.

11 U.S.C. Section 803(a).

12 Washington Dep't. of Ecology, A Guide to Instream Flow Setting in Washington State – DRAFT, at 58 (Feb 2002).

### 3.2.1.2 Estado de California

Los esfuerzos para determinar caudales ecológicos en el Estado de California se enfocan, básicamente, en la restauración de las poblaciones de salmónidos y de sus hábitats. Las primeras normas de control de caudal se adoptaron en 1978 (*Bay/Delta Plans*) y se enfocaron en la mantención de caudales que aseguraran la salinidad en áreas estuariales, dada su importancia como zonas productivas<sup>13</sup>, para lograr su objetivo ese año el plan se propuso preservar el caudal de los ríos Sacramento y Vista.

El plan fue revisado y actualizado en 1995 en base a seis criterios; (1) hidrología, (2) salinidad, (3) recursos acuáticos, (4) vegetación ribereña y fauna silvestre, (5) uso terrígeno, y (6) recreación (CEPA 1995). A su vez, la evaluación de los efectos ambientales asociados a la determinación de los caudales por parte del Estado se dividió en: (1) hidrología, (2) temperatura del agua, (3) hábitat acuático (4), vegetación y vida silvestre, (5) erosión, (6) uso del suelo, (7) desarrollo urbano (8), energía (9), recreación, (10) estética, (11) recursos culturales, y (12) bombeo de agua subterránea.

Los aspectos hidrológicos de los ríos se modelaron con el programa DWRSIM<sup>14</sup>, mientras que el hábitat de las especies acuáticas se determinó con el modelo RVA (*Range of Variability Approach*).

El Plan *Bay/Delta* de 1995, fue actualizado mediante el *California Water Plan Update 2005*, a través del cual se determinaron nuevos requerimientos no satisfechos por los caudales ecológicos establecidos en el plan de 1995, entre ellos, duplicar la población de salmón. La principal hipótesis para actualizar el plan, fue que en 1995 no se empleó el modelo correcto para determinar los caudales ecológicos (DWRSIM + RVA).

Ese mismo año, la *Resources Agency* del Estado de California efectuó la primera determinación de caudales ecológicos vinculados a centrales hidroeléctricas. Determinó el hábitat de salmones adultos y juveniles, en ambos casos empleando el modelo PHABSIM (Mills *et al.* 2004, 2005).

Finalmente, en 2007, el *State Water Resources Control Board (State Water Board)*, modificó el Código de Aguas de California y exigió al Estado adoptar, el 1 de enero de 2008, una política de mantención de caudales ecológicos desde el río *Mattole* hasta San Francisco, y en la

desembocadura de la Bahía de San Pablo. La política fue denominada "Política de Caudales de la Costa Norte".

En la Tabla B1 del Anexo B, se presentan los parámetros considerados para estimar caudales ecológicos a partir de 2008, entre los que se encuentra el período de desviación de caudal (tiempo), el flujo mínimo para permitir la migración de peces y el máximo acumulado de desviación de agua desde un curso.

La Política de Caudales de la Costa Norte, además, implantó la prohibición de instalar represas en afluentes pequeños, más allá de los que ya están legalmente permitidos. Salvo excepciones, que pueden darse en el caso que la desviación de agua propuesta se encuentre en un afluente Clase III (sin presencia de vida acuática). Las tres clases de afluente se describen a continuación:

- Clase I: Peces siempre o temporalmente presentes en el lugar, e incluye hábitat para sustentar la migración o mantención de los peces;
- Clase II: Peces siempre o temporalmente presentes a 1000 pies<sup>15</sup> aguas abajo del lugar, y/o no hay hábitat para especies acuáticas. Excluye cursos tributarios de aguas Clase I; y
- Clase III: No hay vida acuática presente. bajo condiciones de alto caudal, el curso de agua presenta evidencias de ser capaz de transportar sedimento aguas abajo, a cursos Clase I o II.

Las tablas B2 y B3, del Anexo B, explican la política que establece los criterios para restringir aquellos proyectos que involucran una barrera en un río, según clases de cursos de agua. Los ríos de Clase I, es decir, donde son detectados peces durante las prospecciones (e.g. estudios de línea base), no están disponibles para la entrega de permisos de agua, si los proyectos involucran barreras (e.g. centrales hidroeléctricas de embalse o pasada).

La Política de Caudales de la Costa Norte, también establece criterios para definir "caudales mínimos para migración" (*minimum bypass flow* (MBF)) los que se presentan en la Tabla B4, del Anexo B. El MBF provee el primer nivel de protección para peces que migran por cursos de agua durante la temporada reproductiva. Como se observa, existen diversos criterios, dependientes de las características de cada caso analizado.

13 Un estuario es la parte más ancha y profunda de la desembocadura de un río en el mar. La salinidad intermedia de los estuarios permite el proceso de esmultificación, el cual es la transformación que permite a un salmón o trucha pasar de vivir del agua dulce al mar y vice versa. Los ecosistemas de los estuarios suelen caracterizarse por presentar una de las mayores productividades biológicas y biodiversidad del planeta (Dyer 1979).

14 <http://modeling.water.ca.gov/hydro/studies/extract.html>.

15 1 pie = 0,3048 metros.

Además, el Estado de California reglamenta la cantidad de agua que puede ser extraída de un cauce, en busca de evitar cambios en la morfología de los cursos de agua y salvaguardar ciertos niveles de caudal para la biota acuática, riego y otros. (Figura 15) (Tabla B5, Anexo B)<sup>16</sup>.

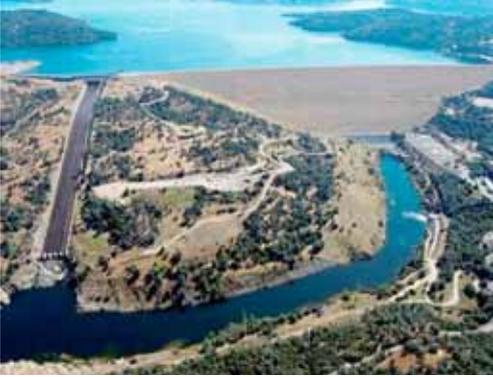


Figura 15. El embalse Oroville del Estado de California abastece de agua a regantes, opera para controlar subidas de caudal y entrega agua a la central hidroeléctrica Edward Hyatt, que funciona acoplada con la central Thermalito. Thermalito puede bombear agua de regreso al embalse para ser reutilizada por la central Hyatt.

Fuente: [http://www.water.ca.gov/newsroom/photo/facilities-swp/oroville\\_dam.jpg](http://www.water.ca.gov/newsroom/photo/facilities-swp/oroville_dam.jpg).

El último informe acerca de la situación del agua en el Estado de California (*Department of Water Resources 2009*) da cuenta del estado particular de las principales cuencas y de la efectividad de los planes de manejo de los caudales ecológicos, determinados hasta el momento (2009). En algunos casos la falta de lluvia ha impactado fuertemente los planes hídricos de las cuencas, afectando los caudales ecológicos establecidos. En otros casos, los caudales necesarios han sido obtenidos o mantenidos gracias a la reducción del suministro hídrico para actividades industriales o productivas, como la agricultura, permitiendo alcanzar los logros ambientales propuestos al Estado, como la conservación del salmón.

### 3.2.1.3 Estado de Texas

Los hábitats acuáticos favorecen significativamente a la economía de Texas, a través de sus usos contribuyen al Estado con 2,9 billones de dólares anuales.

Desde 1985, todos los nuevos permisos para el uso de aguas deben considerar suministros de caudal para uso público. A su vez, la *Texas Commission on Environmental Quality* (TCEQ) puede establecer condiciones especiales en los permisos de aprovechamiento para los Titulares de derechos de agua, que los obliga a limitar el uso de aguas de ríos y arroyos cuando los caudales estén por abajo de cierto nivel. Sin embargo, la mayoría de los derechos de agua de Texas (alrededor del 92%), fueron entregados antes de 1985. Así, determinados ríos han sido excluidos de condiciones para fines ambientales y de uso público. A su vez, la mayoría de los derechos de agua en Texas no tienen condiciones de caudales ecológicos establecidos en las concesiones, por lo tanto, las condiciones impuestas en los permisos nuevos no pueden corregir los permisos ya existentes. Así, desde 1985, los proyectos para la construcción de embalses o represas requieren un permiso estatal y uno federal. El permiso federal, además, exige a los solicitantes considerar un caudal para el hábitat de la biota acuática (Figura 16).



Figura 16. Los ríos del Estado de Texas son sinuosos y con baja velocidad de corriente, es decir, con características similares a las de los ríos del valle central y costera de Chile. En la imagen se observa el Río Grande.

Fuente: <http://debbienathan.com/wp-content/uploads/2007/08/rio-grande-river.jpg>.

La estimación de la cantidad de agua necesaria para mantener la viabilidad de los hábitats acuáticos es problemática en Texas. El Gobierno Federal considera que la metodología *Instream Flow Incremental Methodology* (IFIM) no es adecuada, pues fue desarrollada empleando como modelo a ríos de montaña, fríos y con alta velocidad de

<sup>16</sup> Para mayores detalles de las metodologías empleadas para definir cada aspecto, se sugiere consultar la referencia: California State Water Resources Control Board. 2007. North Coast Instream Flow Policy: Scientific Basis and Development of Alternatives Protecting Anadromous Salmonids. Task 3 Report Administrative Draft. State Water Resources Control Board. 166 pp.

corriente, siendo que los ríos de Texas son lentos, sinuosos y de agua tibia. Es así como el Estado creó, en 2001, el *Texas Instream Flow Program* (TIFP), para evaluar la mantención de un ambiente ecológico apropiado. El programa es administrado por tres organismos: la Comisión de Calidad Ambiental de Texas (*Commission on Environmental Quality*); el Departamento de Parques y Vida Silvestre de Texas (*Texas Parks and Wildlife Department*), y la Junta de Desarrollo del Agua de Texas (*Texas Water Development Board*). Así, las agencias estatales y la ciudadanía colaboran en los estudios científicos para determinar la cantidad de agua que debe fluir por los ríos.

El TIFP se enmarca en el Código de Aguas de Texas (TWC), que especifica que cada cuenca debe contar con caudales ecológicos recomendados, considerando las necesidades ambientales del río y de la bahía asociada. El TWC también especifica que el análisis de los regímenes de caudal se desarrollará a través de un proceso de colaboración, destinado a lograr un consenso entre los actores interesados, aun que durante el desarrollo de las recomendaciones, los equipos científicos deben tener en cuenta sólo una base ambiental, sin considerar la necesidad de agua para fines productivos. Así, las recomendaciones del equipo científico se basan sólo en argumentos ambientales (*Texas Commission on Environmental Quality*, 2009).

En la actualidad, el TIFP se encuentra trabajando en los siete principales ríos del Estado (Sabine, Trinity, Colorado, Guadalupe, Nueces, Río Grande y Brazos), cuyos planes de manejo de caudales ecológicos estarán listos entre abril de 2011 y abril de 2013 (Tabla B6, Anexo B).

Finalmente, la metodología recomendada en Texas para calcular caudales ecológicos, es el Programa de Hidrología Ambiental basado en Régimen de Caudales (*Hydrology Based Environmental Flow Regime - HEFR*), metodología que consiste en el cálculo estadístico de los datos hidrológicos, con el fin de llenar una matriz preliminar de régimen de caudales. Tal análisis de datos hidrológicos proporciona sólo una estimación inicial de las necesidades de caudal. Estos análisis hidrológicos son complementados con superposiciones que abordan la calidad del agua, la biología, y la geomorfología del río estudiado (Brandes et al. 2009).

### 3.2.2 Nueva Zelanda

En este numeral se analiza el desarrollo de los caudales ecológicos en Nueva Zelanda (Figura 17). Este país se encuentra entre los 34° S y 46° de latitud sur, coordenadas que corresponden al área de Chile continental, comprendida entre la Región Metropolitana y la Región de Aysén. Por esa razón, Nueva Zelanda y Chile poseen características geográficas y climáticas equivalentes. Adicionalmente, ambos países presentan en sus ríos especies de peces comunes (e.g. puye *Galaxias maculatus*, lamprea *Geotria australis* y varias especies de peces introducidos, especialmente salmones y truchas) (McDowall 2001); por lo tanto, los métodos de simulación de hábitat para definir caudal ecológico (e.g. IFIM-PHABSIM) podrían ser homologables en ambos países.



Figura 17.  
Islas de Nueva Zelanda.

Fuente: Google Earth. Fecha de captura: 01-10-2009.

En la actualidad, el Gobierno neocelandés se encuentra desarrollando el *National Environmental Standard on Ecological Flows and Water Levels*, una propuesta de Norma Nacional de Medio Ambiente sobre caudales ecológicos y niveles de agua (MfE 2008).

La legislación neocelandesa define los caudales ecológicos y los niveles de agua como “los caudales y los niveles de agua necesarios en un cuerpo de agua, para establecer la función ecológica de la flora y fauna presente dentro de esa masa de agua y sus márgenes” (Figura 18).

La propuesta de la Norma Nacional de Medio Ambiente sobre Caudales Ecológicos y Niveles de Agua pretende complementar y mejorar la gestión

de los recursos establecidos en la Ley 1991 de Medio Ambiente (*Resource Management Act 1991* (RMA)), que establece caudales ecológicos y niveles de agua, a través de distintos planes regionales.



Figura 18.  
En la fotografía se observa un "Puye" (*Galaxias maculatus*), especie común a los ríos y lagos de Nueva Zelanda y Chile.

Foto de: Daniela Castro 2009.

La norma, que actualmente se encuentra en etapa de participación ciudadana, tiene por objeto dar coherencia a la manera de decidir la cantidad de agua que fluye en los ríos, sistemas de aguas subterráneas, lagos y humedales. La norma propuesta debería:

- Establecer los límites para la alteración de los caudales y/o niveles de agua de ríos, humedales y sistemas de aguas subterráneas que actualmente no tienen límites impuestos a través de los planes regionales; y
- Proporcionar un proceso de selección de métodos técnicos apropiados para la determinación de caudales ecológicos y niveles de agua en ríos, lagos, humedales y sistemas de aguas subterráneas.

La Figura 19 muestra los componentes que debe considerar un Qeco según la normativa neocelandesa, incluyendo caudales para valores ecológicos, recreacionales, para *tangata whenua* ("gente de la tierra" en Maori) y para paisaje. Los valores de caudal dependerán de las características individuales de cada curso de agua y se determinan por los resultados de cada componente individual. Como muestra la Figura 4, varios de los valores individuales pueden coincidir e incluso traslaparse (coincidir) en una medida importante.

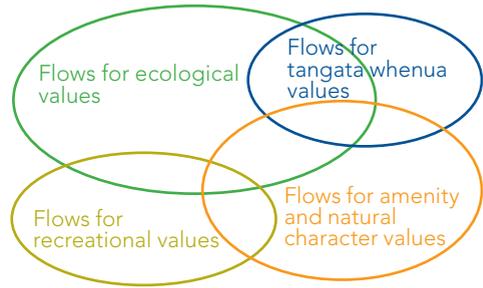


Figura 19.  
Componentes considerados para el cálculo de caudal ecológico en Nueva Zelanda.

Fuente: New Zealand Ministry for the Environment.

### 3.2.2.1 Criterios vigentes

A la fecha, los Consejos Regionales utilizan una gran variedad de enfoques para la determinación de caudales ecológicos y niveles de agua. Los enfoques varían desde una modelación detallada, basada en la evaluación de los impactos potenciales según distintos escenarios de uso del agua, hasta simples enfoques, basados en datos históricos de caudal (hidrológicos).

En la actualidad, no existen en Nueva Zelanda directrices específicas sobre los medios técnicos a utilizar para determinar caudales ecológicos. Aún cuando en 1998 el Ministerio de Medio Ambiente entregó directrices para determinar caudales ecológicos y niveles de agua en cuerpos superficiales, no determinó su aplicación a un entorno físico en particular. Como resultado, los consejos regionales determinan –individualmente– los caudales ecológicos y los niveles de agua, según consideren adecuado sobre la base de las características de su región.

Los métodos clave para la determinación de caudales ecológicos y los niveles de agua empleados por los Consejos Regionales son, por defecto, hidrológicos, por ejemplo, sobre la base de un porcentaje de la media anual (siete días) de caudales de estiaje (*Mean Annual (seven-day) Low Flow - MALF*) y métodos para definición de hábitat (IFIM o WAIORA<sup>17</sup>). Los métodos de modelación descritos, en general, han sido utilizados en grandes ríos y arroyos, porque esos cuerpos de agua tienen más información disponible sobre los caudales. Los consejos regionales han identificado la dificultad de determinar los caudales ecológicos

<sup>17</sup> WAIORA (Water Allocation Impacts on River Attributes) es un modelo computacional que calcula si la extracción de agua o una descarga pueden tener un impacto negativo en el oxígeno disuelto, amonio total, la temperatura del agua y hábitat para la vida acuática.

cuando hay un mínimo de datos disponibles (sobre caudales y parámetros ecológicos), especialmente, en zonas con pequeños cursos de agua, como arroyos.

En muchas regiones, el proceso de determinación de caudales ecológicos y niveles de agua, ha demostrado ser costoso, lento y polémico. La elaboración de disposiciones específicas relativas a la cantidad de agua, puede verse obstaculizada por la falta de información para caracterizar un recurso y por la falta de claridad en torno a los métodos técnicos más adecuados para evaluar el impacto potencial vinculado a la captación de agua, de ahí que surja la necesidad de establecer una reglamentación clara.

### 3.2.2.2 Objetivos de la nueva política

El objetivo general de la propuesta para hacer frente a los caudales ecológicos y los niveles de agua, es cumplir con los planteamientos del Programa de Acción Sostenible del Agua a nivel nacional.

Las actividades del Programa de Acción Sostenible del Agua tienen por objeto:

- A. Proporcionar a la creciente demanda sobre los recursos hídricos una gestión eficiente, a través de una Dirección Nacional, en colaboración con los gobiernos locales, para identificar opciones, apoyar y mejorar la toma de decisiones y desarrollar mejores prácticas; y
- B. Ofrecer seguridad a los intereses ambientales, a los de la comunidad, y los usuarios de agua en:
  - Proporcionar los valores de caudal ecológico; y
  - Velar por la cantidad de agua disponible para satisfacer las demandas actuales y futuras.

En ausencia de caudales ecológicos establecidos, la Dirección Nacional puede proporcionarlos. Este enfoque garantizará la protección adecuada hasta que los órganos pertinentes efectúen una evaluación más detallada y la respectiva consulta a la comunidad (Figura 20).



Figura 20. Los ríos de Nueva Zelanda presentan características similares a las de los ríos de Chile, en cuanto a paisaje, relieve, régimen hidrológico, vegetación ribereña y flora y fauna acuática.

Fuente: [http://www.alangrinberg.com/photos/NewZealand/SouthPage03/3872\\_Siberian.jpg](http://www.alangrinberg.com/photos/NewZealand/SouthPage03/3872_Siberian.jpg).

La Dirección Nacional también puede dar coherencia a los métodos utilizados para determinar los caudales ecológicos y los niveles de agua. Los consejos regionales han solicitado claridad sobre los métodos ecológicos apropiados para una situación dada. La especificación de métodos con base científica para proporcionar seguridad al medio ambiente, la comunidad y los intereses de desarrollo al determinar caudales ecológicos, ayudaría a reducir parte del debate que surge durante el proceso de planificación regional y permitiría que la determinación de Qeco sea más eficaz y a un costo más conveniente, dada la disponibilidad de las metodologías existentes. De esta manera, la Dirección Nacional determinará la idoneidad de los métodos técnicos para mejorar la gestión de la creciente demanda de agua.

Para contribuir al resultado de las políticas propuestas, los objetivos específicos son:

- **Objetivo 1:** Garantizar que las decisiones respecto a solicitudes de uso de agua para represas y desvío desde ríos, lagos, humedales y acuíferos, posean un límite claro respecto a los niveles de agua que pueden ser empleados;
- **Objetivo 2:** Garantizar que todas las decisiones respecto a solicitudes de uso de agua para represas y desvío desde ríos, lagos, humedales y acuíferos estén en el contexto del agua disponible; y

- **Objetivo 3:** Reducir los conflictos y garantizar coherencia en los métodos técnicos empleados para evaluar los caudales ecológicos y los niveles de agua.

Mientras se desarrolla la propuesta sobre caudales ecológicos, existe una propuesta de límites interinos en el caso de ríos y arroyos:

Para conocer claramente los requisitos necesarios antes de establecer un caudal ecológico, se debe contar con la siguiente información:

- Caudal mínimo: un caudal en el cual la captación de agua debe cesar;
- Límite de asignación: un límite a la cantidad de agua que puede extraerse y que garantice de la variabilidad del caudal que se mantiene; y
- Que el río no llevará un caudal mínimo durante períodos excesivos de tiempo.

Para ríos y arroyos con caudal medio inferior o igual a 5 m<sup>3</sup>/s:

- Un caudal mínimo de 90% del promedio anual de estiaje (*Mean Annual Low Flow*, MALF), calculado por el consejo regional que asignará un límite, cualquiera que sea pero mayor a 30% del promedio anual de estiaje (MALF), calculado por la entidad.

Para ríos y arroyos con caudal medio mayor a 5 m<sup>3</sup>/s

- Un caudal mínimo de 80% del promedio anual de estiaje (*Mean Annual Low Flow*, MALF), calculado por el consejo regional que asignará un límite, cualquiera que sea pero mayor a 30% del promedio anual de estiaje (MALF), calculado por el consejo regional.

Finalmente, en el marco de la asignación de criterios, el Ministerio de Medio Ambiente encargó a científicos de cinco organismos desarrollar un proceso de selección de métodos apropiados para la determinación de caudales ecológicos. El resultado de este trabajo está contenido en el documento técnico *Draft Guidelines for the Selection of Methods to Determine Ecological Flows and Water Levels*, publicado para consulta pública (MfE 2008). Se pretende que el documento sea la referencia en la Norma Ambiental Nacional y constituya la base para la selección y aplicación de métodos para determinar caudales ecológicos y niveles de agua.

Las tablas B7, B8 y B9 del Anexo B, resumen los criterios propuestos para la determinación de Qeco en Nueva Zelanda, por el *Draft Guidelines for the Selection of Methods To Determine Ecological Flows and Water Levels*.

A continuación, la Tabla 1, resume las metodologías usadas por Estados Unidos de Norteamérica y Nueva Zelanda para determinar Qeco.

**Tabla 1. Métodos para evacuación de caudal ecológico empleados por EUA y Nueva Zelanda.**

Territorio	Metodología	Referencia	Nota
Washington	Multidisciplinaria, con apoyo de PHABSIM	<i>American Rivers &amp; the Washington Environmental Council</i>	El <i>Washington Department of Fish and Wildlife</i> (WDFW) determina el Qeco que respetará el Titular. El mayor énfasis se encuentra en la protección de ríos degradados por actividad antrópica.
California	PHABSIM	<i>The Resources Agency, Department of Water Resources, State of California</i>	El <i>Department of Water Resources del Estado de California</i> determina el Qeco que respetará el Titular. El mayor énfasis se encuentra en la protección de los salmones que migran por sus ríos.
Texas	Multidisciplinaria ( <i>Texas Instream Flow Program</i> ). Con base hidrológica HEFR	<i>Environmental Flows Advisory Group of Texas</i>	El <i>Texas Natural Resource Conservation Commission</i> , determina el caudal ecológico específico de cada río, el cual debe ser respetado por el Titular.
Nueva Zelanda	MALF (hidrología), IFIM o WAIORA (definición de hábitat)	<i>New Zealand Ministry for the Environment</i>	Actualmente, el Gobierno neocelandés discute el <i>National Environmental Standard on Ecological Flows and Water Levels</i> , en busca de un plan nacional que regule la determinación de caudales ecológicos.



Monitoreo de peces en laguna La Invernada, lugar de captación de agua de la central hidroeléctrica Cipreses de Endesa Chile. En la imagen un especialista ambiental de Ingendesa estudia la velocidad de la corriente, la composición del lecho y la profundidad, en un sector donde abundan “bagres grandes” (*Diplomystes nahuelbutaensis*) y “bagres chicos” (*Trichomycterus areolatus*). Esta es la única laguna conocida en Chile donde no han sido introducidas truchas (arcoiris o café), lo cual ha permitido mantener las poblaciones de los peces nativos (que en el resto del país presentan serios problemas de conservación) en condiciones únicas.

## 4. Situación en Chile



#### 4.1 Inicio y Evolución

Antes de la puesta en marcha del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en 1994, la Autoridad no exigía caudales ecológicos en los proyectos que intervenían un curso de agua, sólo que se respetaran los derechos de agua de terceros usuarios.

Un ejemplo de ello se observa en la central hidroeléctrica Pangue (Figura 21), que entró en operación en 1997, con un Qeco de  $11 \text{ m}^3/\text{s}$ , que corresponde a 4% del caudal medio anual del río Biobío en la zona de la represa ( $269,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ). El criterio empleado para definir el Qeco de Pangue fueron los derechos de agua de los regantes, y no "preservar los ecosistemas y los valores paisajísticos".



Figura 21.  
Área del caudal ecológico de la central hidroeléctrica Pangue, sobre el río Biobío.

Foto de: Pablo Reyes 2009.

La central Ralco, en cambio, entró en operación en la misma cuenca, en 2004, con el SEIA en aplicación, por lo cual debió considerar una estimación de Qeco para operar, el cual consideró en su estimación una serie de variables ambientales, entre ellas: (1) Requerimientos mínimos de subsistencia de fauna íctica; (2) Profundidades mínimas para desplazamiento de peces; (3) Ancho mojado del cauce; (4) Caudales aportados en la cuenca intermedia; y (5) Referencia a normas extranjeras (Endesa Chile 1996).

Por su parte, las bases de cálculo para determinar Qeco consideraron: (1) Morfología del cauce; y (2) Eje hidráulico en el tramo intermedio (Endesa Chile 1996).

Con los resultados y basándose en la Legislación Suiza, Endesa Chile propuso un Qeco de  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $12,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , dependiendo del año (seco, medio o húmedo). Tras una larga discusión que involucró a la CONAMA y la DGA, se determinó que el Qeco debería corresponder al 10% del CMA, es decir,  $27,1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Jamett (2005), analiza seis proyectos ingresados al SEIA en Chile entre 1998 y 2004 y sus caudales ecológicos. Los resultados señalan que en sólo un caso se utilizó el método IFIM, mientras que para los demás proyectos, se calcularon caudales bajo métodos hidrológicos. Por ejemplo, para el Embalse Illapel, se determinó un Qeco como el promedio de los caudales mensuales observados multiplicados por el factor 0,7, sin mencionar los criterios utilizados. Sólo en dos proyectos se proponen caudales variables; en uno se determinan caudales diferentes para dos estaciones del año acorde al método de Tennant (Proyecto Hidroeléctrico La Higuera) y en otro se estiman caudales con variabilidad mensual. En este último

caso, el Qeco es definido como el 20% del caudal mínimo diario por período mensual registrado. Este análisis permite establecer que los primeros estudios de Qeco efectuados en Chile, privilegiaron los métodos hidrológicos (Tabla B10, Anexo B).

Actualmente, en Chile los métodos aplicados para determinar un Qeco dependen de la instancia donde se adopta este concepto. Dentro de estas instancias, se encuentran:

- **Otorgamiento de derechos de aprovechamiento de agua:**

La Dirección General de Aguas (DGA), a partir de 1998, al momento de otorgar nuevos derechos de agua, comienza a considerar un caudal mínimo con el propósito de “preservar los ecosistemas y los valores paisajísticos” (DGA 1999).

Sin embargo, en la legislación chilena no es sino hasta 2005, cuando aparece el concepto de caudal ecológico, el cual se establece como una norma a ser respetada en el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de agua (es decir a partir de 2005) y, por lo tanto, aplica sólo unos pocos ríos en las regiones más australes del país. Éste está limitado a un valor máximo definido por el Código de Aguas, que corresponde a 20% del CMA. La misma DGA recomienda fijarlo a través de métodos de tipo hidrológicos y, explícitamente, declara que puede estimarse como el 10% del caudal medio anual, siendo este el criterio que ha sido comúnmente utilizado en Chile (Figura 22) (DGA 1999, HidroAysén 2008, Tharme 2002). Para casos excepcionales, en el mismo código se indica que el Presidente de la República tiene la atribución para definir un Qeco distinto al recién señalado, no pudiendo sobrepasar el valor de 40% del caudal medio anual, de acuerdo a la Ley 20.017, artículo 129 bis 1, Código de Aguas.

A su vez, el Oficio N° 5524 de la DGA (2005), complementa el Código de Aguas, exigiendo la especificación del uso del agua y creando una instancia en que la DGA puede priorizar los usos y rechazar la concesión a privados de derechos demandados cuando lo considere necesario.



Figura 22.

El proyecto Central Hidroeléctrica Neltume de Endesa Chile fue uno de los primeros a nivel mundial en proponer un Qeco calculado para mantener los usos antrópicos del río Fui (acuicultura, pesca recreativa, rafting, kayak y atractivos paisajísticos (saltos y cascadas)) y preservar la biota acuática y la calidad del agua. En la fotografía se observa el Salto del Huilo Huilo, con el caudal que tendrá con la CH Neltume operando.

Fuente: Anexo W del EIA Central Hidroeléctrica Neltume, de Endesa Chile.

En 2008, la DGA publicó la resolución exenta 3504-08, la cual aprobó el “Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos”, donde se establece la necesidad de estimar un caudal ecológico mínimo en la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas. Además, se establece la estimación del caudal mínimo ecológico en la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas sobre vertientes y, finalmente, los valores máximos del caudal mínimo ecológico. El numeral 5.1.3 (Caudal Ecológico Mínimo) del Manual de la DGA puede ser consultado en el Anexo C del presente documento.

En dicho manual, el inciso penúltimo del punto N° 5.1.3.2. establece: “respecto de solicitudes de derechos de aprovechamiento, en el cual previamente se ha establecido un caudal ecológico en el marco del SEIA con su respectiva RCA favorable, se deberá respetar dicho caudal al momento de resolver dicha solicitud”.

Dicho inciso, sin embargo, fue modificado en 2009, por la Resolución DGA 1796, que estableció: “Respecto de las solicitudes de derechos de aprovechamiento, asociadas a proyectos que han

sido objeto de evaluación en el marco del SEIA y a propósito del cual se ha establecido un caudal mínimo ecológico con su respectiva RCA favorable, se deberá respetar el máximo entre dicho caudal y el determinado por los criterios de estimación mensuales descritos en el punto N° 5.1.3.2. del presente manual, al momento de resolver dicha solicitud". La modificación citada, implica en la práctica que se tomará el mayor valor de caudal ecológico entre el determinado por la DGA y lo que resuelva la Autoridad en el marco del SEIA.

Finalmente, el 10 de diciembre de 2009, la DGA fija los criterios para el cálculo del caudal ecológico, al constituirse derechos de aprovechamiento de aguas, bajo la Resolución Núm. 240-09 (DGA 2009). Esta resolución no afecta los derechos de aprovechamiento de aguas ya constituidos y no establece criterios de cálculo de caudal ecológico para los titulares de proyectos que involucren aprovechamiento de aguas. Sólo fija los criterios a ser usados por la misma Autoridad. La resolución 240-09 se entrega en el Anexo D del presente documento.

#### • Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA):

La Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), encargada del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en 1998, define al Qeco como el "caudal mínimo que da cuenta de la conservación de la biodiversidad propia del curso en cuestión, adecuado para asegurar el cumplimiento de las funciones y servicios ecológicos del medio acuático<sup>18</sup> (CONAMA 1998). En el caso de construcción de embalses o proyectos hidroeléctricos que modifican significativamente el flujo hídrico, el Qeco se adopta como una medida de mitigación, donde los titulares de estos proyectos deben garantizar un flujo, ya sea variable o constante, aguas abajo de sus construcciones. En este caso, se establecen las condiciones del ejercicio de los derechos asociados al proyecto en particular.

## 4.2 Análisis a estudios de Qeco presentados al SEIA

A continuación se analizan cuatro proyectos hidroeléctricos y sus estudios de caudal ecológico. Tres de ellos han sido aprobados recientemente por el SEIA: CH Ñuble; CH San Pedro y CH Angostura. Uno se encuentra en etapa de evaluación, el Proyecto Hidroeléctrico Aysén (PHA). Las principales características de cada proyecto y sus Qeco se presentan en las tablas 2 y 3 del presente numeral.

Tabla 2. Características generales de los proyectos seleccionados

Característica/ central	ÑUBLE (CGE)	ANGOSTURA (COLBÚN)	SAN PEDRO (COLBÚN)	PHA (ENDESA CHILE-COLBÚN)
Caudal diseño (m <sup>3</sup> /s)	100	700	460	1.008,4*
Caudal medio anual del cauce en el sector de la presa (m <sup>3</sup> /s)	92,8	457	420	638,4*
Caudal Ecológico (m <sup>3</sup> /s)	8,3	45,7	37	205,8*
% del Caudal medio anual que representa el caudal ecológico	8,94	10,00	8,81	31,72*
Potencia (MW)	136	316	155	550*
Criterio empleado para determinar el caudal ecológico	HEC-RAS	10% CMA (DGA)	Permiso de Agua (DGA)	Holístico
Consultor	Jaime Illanes y Asociados	CEA <sup>19</sup>	EULA <sup>20</sup>	CEA
Método empleado para calcular el caudal ecológico	(HEC-RAS) (método primario) (7,75 m <sup>3</sup> /s) y IFIM PHABSIM (método secundario) (5-10 m <sup>3</sup> /s)	Caracterización hidrológica, morfológica, biótica e hidráulica del río Biobío	Dictamen DGA en otorgamiento de derecho de aguas	Caracterización hidrológica, morfológica, biótica, hidráulica y antrópica

\* Los valores de PHA representan el promedio de los cinco proyectos de centrales (del PHA Baker 1, Baker 2, Pascua 1, Pascua 2.1, Pascua 2.2). Fuente: EIA PHA; EIA CH Angostura; EIA CH Ñuble; EIA CH San Pedro. Elaboración: INGENDESA 2009.

<sup>18</sup> Como la mineralización y asimilación, entre otros.

<sup>19</sup> Centro de Ecología Aplicada.

<sup>20</sup> Centro de Estudio Europa-Latam, Universidad de Concepción.

**Tabla 3. Características generales de las centrales que componen el PHA y sus estudios de caudal ecológico. Los valores de la columna "Promedio" de esta Tabla, sustentan los valores de columna "PHA" de la Tabla 2.**

Característica/central	Baker 1	Baker 2	Pascua 1	Pascua 2.1	Pascua 2.2	Promedio
Caudal diseño (m <sup>3</sup> /s)	927	1.275	880	980	980	1008,4
Caudal medio anual del cauce en el sector de la presa (m <sup>3</sup> /s)	663	663	622	622	622	638,4
Caudal Ecológico (m <sup>3</sup> /s)	365	321	62	69	212	205,8
% del Caudal medio anual que representa el caudal ecológico	55,1%	48,4%	9,9%	11,1%	34,1%	31,7%
Potencia (MW)	660	360	460	770	500	550,0
Criterio empleado para determinar el caudal ecológico	Holístico	Holístico	10% del caudal medio anual	10% del caudal medio anual	Holístico	-
Método empleado para calcular el caudal ecológico	Caracterización hidrológica, morfológica, biótica, hidráulica y antrópica	-				

Fuente: EIA PHA.

Elaboración: INGENDESA 2009.

Se analizó los ICSARA (Informe Consolidado de Solicitud de Aclaraciones, Rectificaciones y/o Ampliaciones), efectuados por la Autoridad a los estudios de Qeco de los cuatro proyectos señalados en la Tabla 2. En total, se analizaron 160 observaciones.

Al asociar el porcentaje de preguntas de un ICSARA que corresponden a Qeco, versus la potencia en megawatt del proyecto, se observa que las "mega centrales" (e.g. PHA) en general recibieron menos observaciones que las centrales de potencia media (e.g. CH Ñuble). De esta manera, podríamos estimar que ambas variables no se asocian necesariamente (Figura 23).

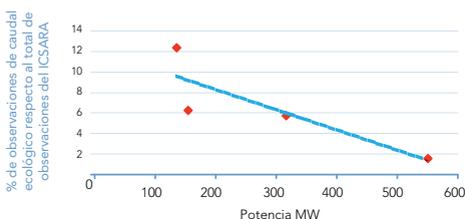


Figura 23.

Porcentaje de preguntas de un ICSARA correspondientes a caudal ecológico versus la potencia en megawatt del proyecto.

Elaboración: INGENDESA 2009.

Al asociar el porcentaje de preguntas de un ICSARA que corresponden al Qeco, versus el tamaño de un río (expresado como caudal de diseño) se observa una relación inversamente proporcional (Figura 24). Una explicación tentativa sería que mientras menos agua disponible tenga el Titular, éste tratará de optimizarla estableciendo Qeco más bajos, en virtud de turbinar mayor volumen y optimizar la generación.

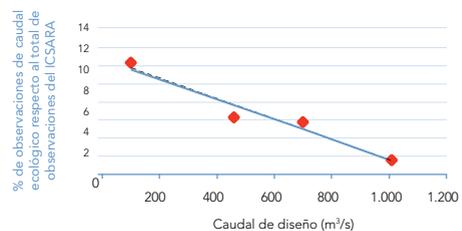


Figura 24.

Porcentaje de preguntas de un ICSARA correspondientes a caudal ecológico versus caudal de diseño.

Elaboración: INGENDESA 2009.

En la Figura 24 se observa, además, que las centrales proyectadas en áreas con mayor caudal (asumiendo que el CMA se relaciona con el caudal de diseño de la CH) presentan menos observaciones a sus estudios de Qeco que las centrales proyectadas en áreas de menor caudal, esto se debe a que las centrales proyectadas en

áreas de mayor caudal destinan un mayor volumen proporcional de agua a caudal ecológico (Figura 25).

Finalmente, existe una tendencia entre el porcentaje de preguntas de un ICSARA que corresponden al Qeco, *versus* el porcentaje del CMA que el Titular ha definido como Qeco, como muestra la Figura 25. Esta relación podría explicarse al asumir que la Autoridad velará siempre por mantener el mayor caudal en el río.

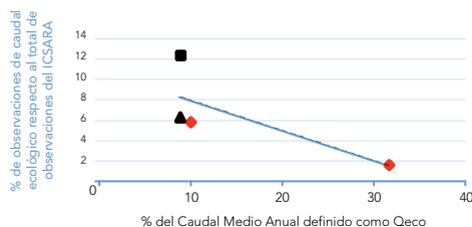


Figura 25. Porcentaje de preguntas de un ICSARA, correspondientes a caudal ecológico, *versus* porcentaje del CMA que el Titular ha definido como Qeco.

Elaboración: INGENDESA 2009.

La Figura 25 presenta el porcentaje de todas las preguntas recibidas de ICSARA por cada proyecto analizado, que corresponden al Qeco, *versus* el porcentaje del CMA que el Titular ha definido como

Qeco. Se observa un cuadrado negro (que representa los valores de la CH Ñuble) y un triángulo negro (que representa los valores de la CH San Pedro). Ambas centrales presentan aproximadamente el mismo valor porcentual de CMA, definido como Qeco (8,9% y 8,8% del CMA, respectivamente). Sin embargo, la CH Ñuble recibió más preguntas correspondientes a Qeco en su ICSARA (es decir, su evaluación ambiental fue más larga).

A pesar de presentar un valor porcentual de CMA definido como Qeco similar, la diferencia entre ambas centrales radica en que la CH San Pedro determinó su Qeco según lo establecido en el derecho de aprovechamiento de agua de la DGA (8,8% del CMA). En cambio, la CH Ñuble (cuadrado negro) lo determinó empleando únicamente el modelo hidráulico HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Centers River Analysis System*), el que no recibió buena aceptación por parte de la Autoridad. Por lo tanto, la metodología empleada para determinar caudal ecológico podría ser relevante para la Autoridad al momento de realizar una evaluación.

Respecto a las 160 observaciones efectuadas por la Autoridad a los cuatro estudios de Qeco analizados, estas correspondieron –básicamente– a 13 tipos, los que son definidos en la Tabla 4, donde, además, se indica la frecuencia de ocurrencia de cada tipo de observación.

Tabla 4. Frecuencia del tipo de observación (arquetipo), efectuada por la Autoridad a los estudios de caudal ecológico de proyectos hidroeléctricos analizados.

N°	Tipo de observación	Frecuencia %
1	Disconformidad de la Autoridad con la metodología empleada por el Titular para calcular el caudal ecológico (e.g. no incluye curvas de habitabilidad de especies nativas, no emplea el modelo adecuado, se cuestiona la fuente de los datos de caudales medios y otros).	30,00
2	Consultas destinadas a garantizar el flujo continuo de agua (cumplimiento del caudal ecológico) durante la etapa de construcción, llenado del embalse y operación (incluido como asegurar su monitoreo por parte de la Autoridad).	18,13
3	Medidas de compensación, prevención o mitigación en el área caudal ecológico (e.g. acciones referidas a protección de hábitat para el desove, crecimiento y alimentación de peces).	9,38
4	El caudal ecológico que se propone es insuficiente según la Autoridad, por lo tanto, solicita más caudal (caudal mínimo está muy cerca o es inferior al caudal ecológico definido).	8,75
5	Cuestiona los supuestos y fundamentos ecológicos considerados para el diseño y cálculo del caudal ecológico (e.g. representatividad de las áreas de importancia ecológica seleccionadas).	6,88
6	Cuestiona o solicita predicción de impactos, su valorización y áreas de influencia del proyecto.	6,88
7	Solicita considerar en el cálculo de caudal ecológico actividades turísticas y recreacionales, como balnearios, pesca, bajadas de río y otros. Además, solicita considerar napas freáticas y acuíferos (ausencia de visión holística).	5,00
8	Solicita explicar y aclarar metodologías empleadas (levantamiento de datos, fuentes bibliográficas, determinación de variables, entre otros).	5,00
9	La información es poco clara o presenta inconsistencias y contradicciones en el contenido del texto.	2,50
10	Escenarios de comportamiento del caudal ecológico frente a condiciones hidrológicas distintas a las consideradas por el modelo.	2,50
11	Diferencias conceptuales respecto a lo que debe "ser" un Qeco o con qué condiciones debe cumplir.	2,50
12	Obras y equipos requeridos para asegurar el cumplimiento del caudal ecológico.	1,88
13	Solicita cambiar la central de embalse a central de pasada por caudal ecológico insuficiente.	0,63

Fuente: ICSARA PHA; ICSARA 1, 2 y 3 CH Ñuble; ICSARA 1, 2 y 3 CH San Pedro; ICSARA 1 y 2 CH Angostura. Elaboración: INGENDESA 2009.

La observación tipo 1 presenta una frecuencia promedio de 30%, siendo la más recurrente en los proyectos analizados. Ésta, sin embargo, disminuye a cero (0,0%) cuando el Titular define un Qeco, según lo establecido en el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de agua de la DGA. A su vez, cuando el Titular define como Qeco el 10% del CMA (como sugiere la DGA en su "Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos" de 2005), la frecuencia de la observación 1 es menor que el promedio (Figura 8).

Las observaciones del tipo 1 a 7 presentan una frecuencia mayor a 5% de ocurrencia y, además, se consideran de fondo, es decir, requieren de tiempo y recursos para ser aclaradas y, en algunos casos, incluso, obligan al Titular a modelar nuevamente su Qeco con metodologías distintas (e.g. CH Ñuble, en adenda 3, debió emplear PHABSIN, pues el consultor no logró sustentar el uso exclusivo de la metodología con HEC-RAS). Por el contrario, las observaciones tipo 8 a 13, presentan una frecuencia menor a 5% y son, básicamente, explicaciones, aclaraciones, correcciones y definición de conceptos. Es decir, corresponden a observaciones posibles de aclarar con pocos recursos y tiempo. En la Figura 27, se observa el comportamiento de cada uno de los 13 tipos de observaciones, según el modelo adoptado por el Titular para definir el caudal ecológico.

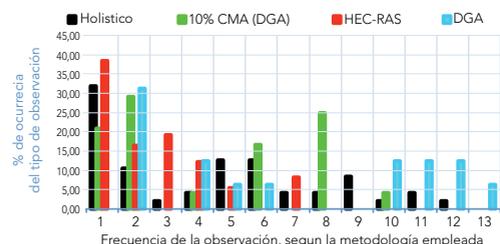


Figura 26. Frecuencia de las observaciones de la Autoridad, según el modelo empleado por el Titular para definir caudal ecológico.

Elaboración: INGENDESA 2009.

Respecto a la duración del proceso de evaluación ambiental, el uso del modelo HEC-RAS sin apoyo de otras metodologías llevó al proyecto CH Ñuble a tres ICSARA, con más observaciones (en cantidad y porcentaje) que las efectuadas al Qeco del PHA (Figura 27).

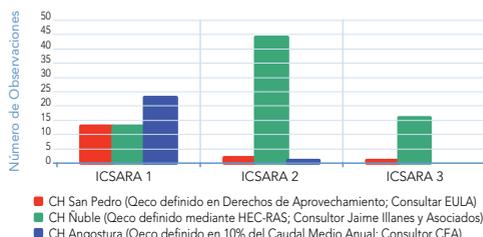


Figura 27. Duración de la evaluación ambiental de los EIA en términos de las observaciones a los estudios de caudal ecológico.

Elaboración: INGENDESA 2009.

Inversamente a lo observado en el estudio de Qeco de la CH Ñuble, el estudio de Qeco de la CH Angostura se prolongó sólo dos ICSARA, con muy pocas observaciones. El consultor (CEA) determinó el Qeco mediante métodos hidrológicos y lo verificó mediante métodos de simulación de hábitats, estableciéndolo finalmente como el 10% del CMA. Es decir, el consultor emplea una visión holística que resultó efectiva.

#### 4.3 Estudio de caso: efectividad del Qeco en la CH Ralco

Se analiza el efecto sobre la biota acuática en un tramo del río Biobío, generado por la disminución de un CMA de 269,7 m<sup>3</sup>/s, a 27,1 m<sup>3</sup>/s producto de la operación de la central hidroeléctrica Ralco. Para ello, se analiza la evolución de la abundancia (número de especímenes) y riqueza (número de especies) del fitobentos, fitoplancton, zoobentos, zooplancton y peces en el tramo de caudal ecológico.

El análisis de datos se realizó empleando el software Limnodata-Ralco, de Endesa Chile, escogiendo como punto de análisis la estación R-11 (caudal ecológico) del "Programa de monitoreo de la biota y calidad del agua en la cuenca alta del río Biobío". Se consideraron datos desde el 26 de noviembre de 2002, hasta el 4 de noviembre de 2008 (Figura 28). En abril de 2004, comenzó el llenado del embalse y el flujo de caudal ecológico, por lo tanto, esta fecha se considera como T=0.

El análisis temporal de la riqueza y abundancia de los cinco grupos biológicos funcionales (fitobentos<sup>21</sup>, fitoplancton<sup>22</sup>, zoobentos<sup>23</sup>, zooplancton<sup>24</sup> y peces), indica que tras cinco años de operación de la CH Ralco, en el área de

21 Conjunto de los organismos autotróficos que viven en el sustrato de los ecosistemas acuáticos, incluye muchos tipos de bacterias, algas y plantas acuáticas.

22 Conjunto de los organismos acuáticos autótrofos que viven en suspensión en el agua, incluye muchos tipos de bacterias y algas.

23 Conjunto de los organismos heterótrofos que viven en el sustrato de los ecosistemas acuáticos, incluye muchos tipos de crustáceos e insectos.

24 Conjunto de los organismos acuáticos heterótrofos que viven en suspensión en el agua, incluye muchos tipos de crustáceos.

Qeco, han disminuido la abundancia y riqueza de fitobentos (figura 29 y 30, respectivamente), y la abundancia de zooplancton (Figura 35). Por otra parte, no se ha evidenciado alteración de la abundancia y riqueza del fitoplancton (figuras 31 y 32, respectivamente), la abundancia y riqueza de zoobentos (figuras 33 y 34) y la riqueza

de zooplancton (Figura 36). Finalmente, han aumentado la riqueza y la abundancia de peces en el área. Tanto el aumento como la disminución de la riqueza y abundancia, denotan un impacto (positivo o negativo) sobre los parámetros poblacionales de los grupos biológicos analizados.



Figura 28. Estación R-11 de monitoreo de la biota acuática en el área del caudal ecológico de la CH Ralco de Endesa Chile (punto rojo en el mapa).

Fuente: Endesa Chile.

Los resultados de riqueza y abundancia de cada grupo biológico se analizan individualmente en la Tabla 5 y en las figuras 29 a 37.

Tabla 5. Evolución de la riqueza y abundancia de la biota acuática del área de caudal ecológico de la CH Ralco, noviembre/2002, a noviembre/2008

	Fitobentos	Fitoplancton	Zoobentos	Zooplancton	Peces
Abundancia	Menor	Igual	Igual	Menor	Mayor
Riqueza	Menor	Igual	Igual	Igual	Mayor

Elaboración: INGENDESA 2009. Fuente: Endesa Chile 2010.

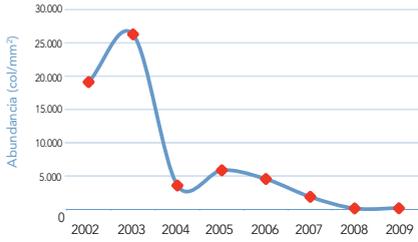


Figura 29 Evolución de la abundancia de fitobentos.  
Fuente: Limnodata, Endesa Chile 2010.

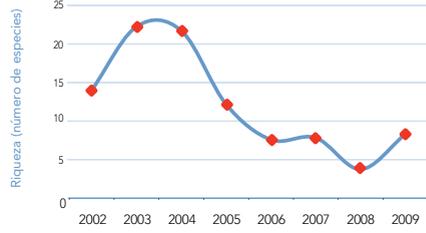


Figura 30 Evolución de la riqueza del fitobentos.  
Fuente: Limnodata, Endesa Chile 2010.

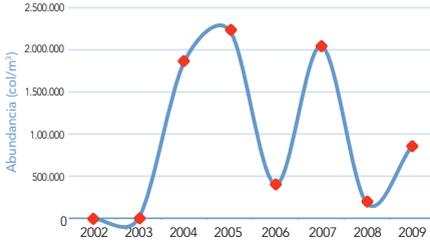


Figura 31 Evolución de la abundancia de fitoplancton.  
Fuente: Limnodata, Endesa Chile 2010.

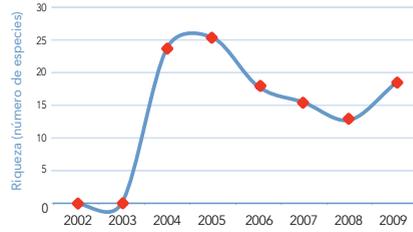


Figura 32 Evolución de la riqueza del fitoplancton.  
Fuente: Limnodata, Endesa Chile 2010.

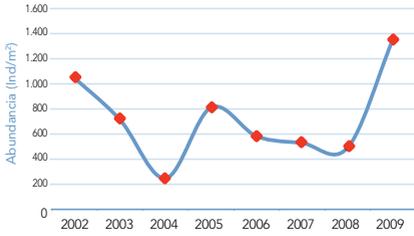


Figura 33 Evolución de la abundancia de zoobentos.  
Fuente: Limnodata, Endesa Chile 2010.

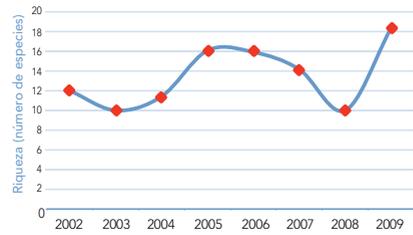


Figura 34 Evolución de la riqueza del zoobentos.  
Fuente: Limnodata, Endesa Chile 2010.

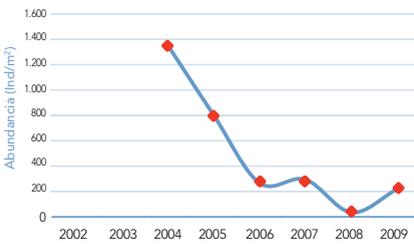


Figura 35 Evolución de la abundancia de zooplancton.  
Fuente: Limnodata, Endesa Chile 2010.



Figura 36 Evolución de la riqueza del zooplancton.  
Fuente: Limnodata, Endesa Chile 2010.

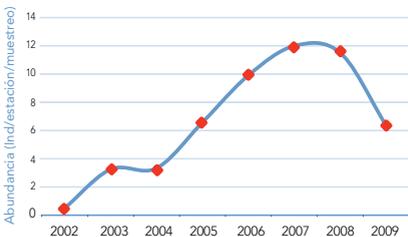


Figura 37 Evolución de la abundancia de peces.  
Fuente: Limnodata, Endesa Chile 2010.

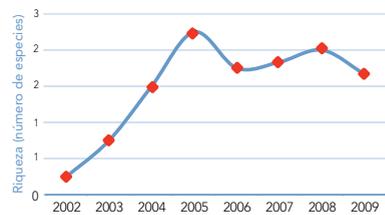
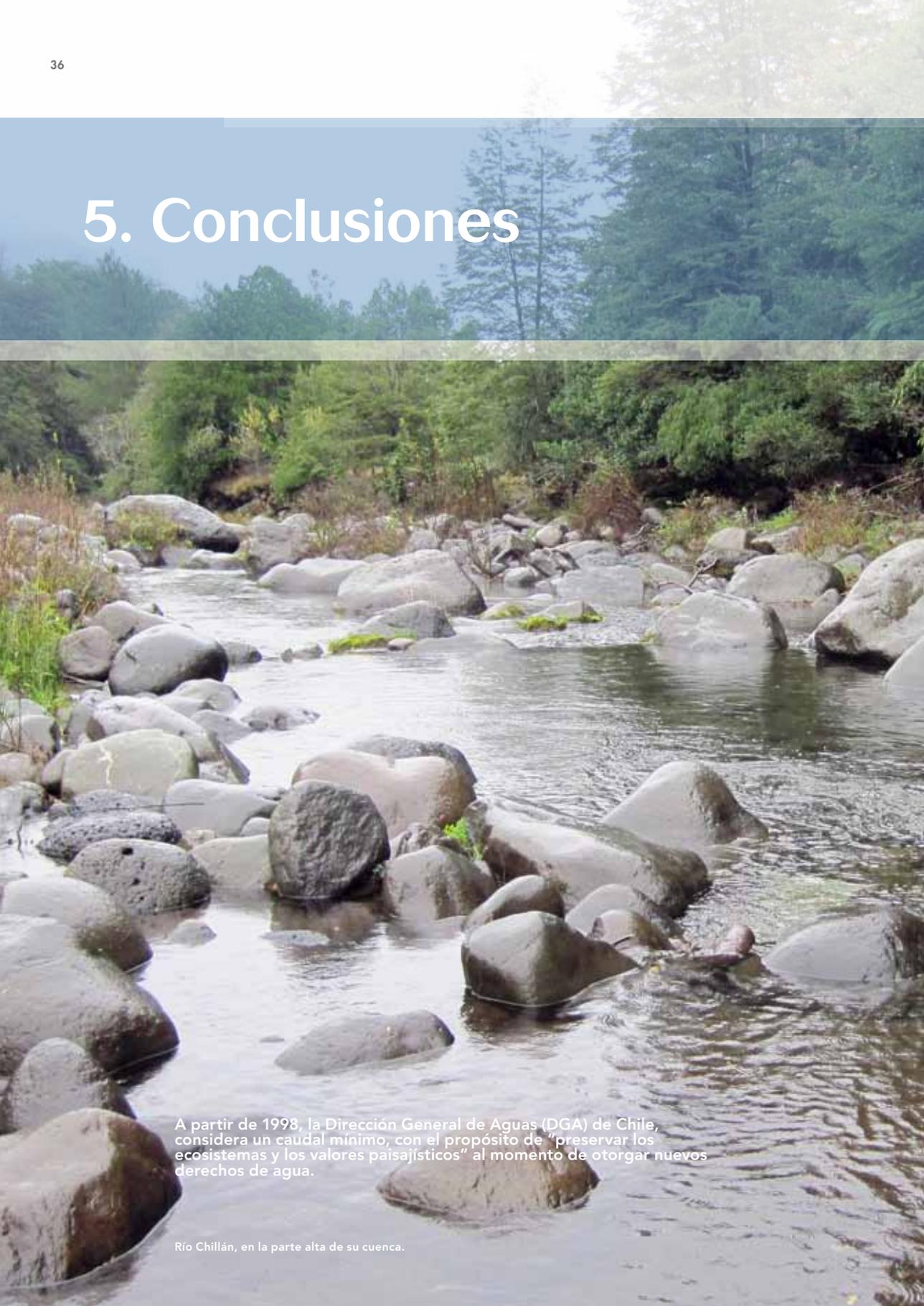


Figura 38 Evolución de la riqueza de peces.  
Fuente: Limnodata, Endesa Chile 2010.



La especie nativa "bagre chico" (*Trichomycterus areolatus*), cuya categoría de conservación es "Vulnerable" en Chile (es decir, a un paso de encontrarse en "Peligro de Extinción"), ha aumentado su abundancia en el área del caudal ecológico de la central hidroeléctrica Ralco. Esta situación es posible gracias a la estabilidad de los caudales, que favorece el desarrollo de hábitats idóneos para los peces, gracias a la disminución de los trastornos ambientales asociados a las grandes crecidas. Fotografía de Pablo Reyes 2010.

## 5. Conclusiones



A partir de 1998, la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile, considera un caudal mínimo, con el propósito de "preservar los ecosistemas y los valores paisajísticos" al momento de otorgar nuevos derechos de agua.

Río Chillán, en la parte alta de su cuenca.

En 2005, aparece en Chile el concepto de caudal ecológico, el que se instaura como una norma en los nuevos otorgamientos de derecho de agua, limitándolo a un máximo de 20% del CAM. La misma DGA recomienda fijarlo a través de métodos hidrológicos que pueden estimarse como el 10% del caudal medio anual.

Por su parte, a fines de la década de 1990, el SEIA adopta el Qeco como una medida de mitigación en el caso de un proyecto que modifique el flujo hídrico, para que los Titulares garanticen un flujo de aguas.

Bajo este contexto, el análisis a 160 preguntas de ICSARA de los proyectos hidroeléctricos Ñuble, San Pedro, Angostura y el PHA, permite concluir lo siguiente;

- Las “mega centrales” reciben menos observaciones que las centrales medianas o pequeñas. Es probable que mientras menos agua disponible tenga el Titular, éste tratará de optimizarla, estableciendo menos Qeco, en virtud de turbinar mayor volumen de agua. Por ello, existe una relación entre el caudal que el Titular destine a Qeco, con la cantidad de observaciones que emite la Autoridad al respecto, lo cual, finalmente, repercute en la duración del proceso de evaluación ambiental;
- Las observaciones efectuadas por la Autoridad a los estudios de Qeco corresponden básicamente a 13 tipos. Siete presentan una frecuencia mayor a 5% de ocurrencia, y corresponden a observaciones de fondo, que requieren de tiempo y recursos para ser aclaradas. Otras cinco observaciones presentan una frecuencia menor a 5% y son, básicamente, definiciones, es decir, observaciones posibles de aclarar con pocos recursos y tiempo. La frecuencia promedio de cada tipo de observación, varía en función de la metodología empleada por el Titular para determinar el Qeco; y

- La Autoridad es más afín a la propuesta del Titular cuando los métodos para definir el Qeco se basan en las sugerencias de la DGA. Al contrario, cuando el Titular trata de definir el Qeco a través de modelos alternativos (e.g. uso exclusivo de HEC-RAS), la Autoridad presenta gran cantidad de observaciones a los estudios de Qeco.

El estudio de caso acerca de la efectividad de los caudales ecológicos de la central Ralco, sobre la base de 10 parámetros poblacionales de biota acuática, señala que tras cinco años de operación, tres de los diez parámetros han disminuido; cinco no han evidenciado alteración y dos han aumentado (ambos en peces).

Respecto a la realidad norteamericana, existen normas federales que se asocian a la implementación de caudales ecológicos en EUA. Sin embargo, la responsabilidad de determinar el método idóneo y la cantidad de agua que se destinará a caudal ecológico depende de cada Estado.

PHABSIM predomina como modelo para determinar Qeco en Washington y California, cuyas características geográficas y climáticas se asimilan a las de la zona centro y sur de Chile. En EUA la metodología PHABSIM es apoyada por medidas holísticas que, dependiendo del Estado, buscan proteger los intereses estéticos y recreacionales de los cuerpos de agua a intervenir, entre otros.

En la actualidad, el Gobierno de Nueva Zelandia se encuentra desarrollando el *National Environmental Standard on Ecological Flows and Water Levels*, una propuesta que busca normar a nivel nacional los criterios y metodologías empleados para determinar caudales ecológicos, que, actualmente, están en manos de consejos regionales, quienes emplean métodos hidrológicos, por ejemplo, sobre la base de un porcentaje de la media anual (siete días) de caudales de estiaje (*Mean Annual (seven-day) Low Flow (MALF)*) y métodos para definición de hábitat (IFIM).

# Anexo A

Ames, D. s/f. *Estimating 7Q10 Confidence Limits from Data: A Bootstrap Approach*. 21 pp. Referencia electrónica disponible en: [http://www.hydromap.com/publications/ames\\_7q10\\_conf.pdf](http://www.hydromap.com/publications/ames_7q10_conf.pdf). Fecha de consulta: 15-10-2009.

Arthington, A., Pusey, B., Brizga, S., Mccosker, R., Bunn, S. & I. Growns. 1998. *Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment techniques: R & D Requirements*. LWRRDC Occasional paper 24/98.

Baldi, J., Freeman, R. & K. Ransel. 2003. *Instream Flow Tool Kit. Advocacy Guide to Healthy River and Stream Flows in Washington. American Rivers and the Washington Environmental Council*. Washington, 60 pp.

Benetti, A., Lanna, E., & M. Cobalchini. 2003. *Metodologías para determinação de vazões ecológicas em rios. Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol.8, N°2, p. 149-160.

Bovee, K. 1982. *A Guide to Stream Habitat Analysis using the Instream Flow Incremental Methodology. Instr. Flow Inf. Paper 12. USDI Fish and Wildl. Serv. Washington*. 248 pp.

Brandes, R., Heitmuller, F., Huston, R., Jensen, P., Nelly, M., Manhart, F., Montagna, P., Ward, G. & J. Wiersema. 2009. *Use of Hydrologic Data in the Development of Instream Flow Recommendations for the Environmental Flows Allocation Process and the Hydrology-Based Environmental Flow Regime (HEFR) Methodology. Senate Bill 3 Science Advisory Committee for Environmental Flows. Document Version Date: April 20, 2009. Report # SAC-2009-01-Rev1*. Referencia electrónica disponible en: [http://www.tceq.state.tx.us/assets/public/permitting/watersupply/water\\_rights/eflows/hydrologicmethods04202009.pdf](http://www.tceq.state.tx.us/assets/public/permitting/watersupply/water_rights/eflows/hydrologicmethods04202009.pdf). Fecha de consulta: 01-10-2009.

Bragg, O., Black, A. & R. Duck. 1999. *Anthropogenic impacts on the hydrology of rivers and lochs. Scotland & Northern Ireland Forum for Environmental Research. Report N° W98 (50) I1. University of Dundee. Stirling-Escocia*.

Brizga, S., Arthington, A., Pusey, B., Kennard, M., Werren, G., Craige, N. & S. Choy. 2002. *Benchmarking a Top –Down Methodology for Assesing Environmental Flows in Australian Rivers. Environmental Flows in River Systems. International Working Conference on Assesment and Implementation, incorporating the 4th International Ecohydraulics Symposium. Conference Proceeeding. Cape Town. South Africa*.

# Bibliografía

**Cadiñanos, J. 2005.** Geografía y evolución del paisaje. Capítulo 3, Elementos hidrológicos del paisaje. Referencia electrónica disponible en <http://www.ehu.es/pregeoarq/adjuntos/14245533CA/ApuntesPaisajeTema3.pdf>. Fecha de consulta: 13-10-2009.

**California Environmental Protection Agency (CEPA). 1995.** *EIR for the Consolidated and Conformed Place of Use and the Final EIR for Implementation of the 1995 Bay/Delta Water Quality Control Plan. San Francisco Bay/Sacramento-San Joaquin Delta Estuary (Bay-Delta) Program. CEPA. Division of Water Right. Water Board.* Referencia electrónica disponible en: [http://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water\\_issues/programs/bay\\_delta/eirs/eir1999/index.shtml](http://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/bay_delta/eirs/eir1999/index.shtml). Fecha de consulta: 05-10-2009.

**California State Water Resources Control Board. 2007.** *North Coast Instream Flow Policy: Scientific Basis and Development of Alternatives Protecting Anadromous Salmonids. Task 3 Report Administrative Draft. State Water Resources Control Board.* 166 pp.

**CGE Generación S.A. 2006.** Estudio de Impacto Ambiental Central Nuble de Pasada. Referencia electrónica disponible en: <http://www.e-seia.cl/>. Fecha de consulta: 13-10-2009.

**Colbún S.A. 2007.** Estudio de Impacto Ambiental Central Hidroeléctrica San Pedro. Referencia electrónica disponible en: <http://www.e-seia.cl/>. Fecha de consulta: 13-10-2009.

**Colbún S.A. 2008.** Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Central Hidroeléctrica Angostura PCH-Angostura. Referencia electrónica disponible en: <http://www.e-seia.cl/>. Fecha de consulta: 13-10-2009.

**Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). 1998.** Documento de Discusión: Gestión Integrada del Recurso Agua. Referencia electrónica disponible en: [www.conama.cl/cds/cat\\_10acta](http://www.conama.cl/cds/cat_10acta)

**Department of Water Resources. 2009.** *California Water Plan update 2009. Public Review Draft Rollout & Comment Schedule. Public review draft. California State.* Referencia electrónica disponible en: <http://www.waterplan.water.ca.gov/cwpu2009/index.cfm#comments>. Fecha de consulta: 05-10-2009.

**Dirección General de Aguas (DGA). 1999.** Política Nacional de Recursos hídricos. Referencia electrónica disponible en: [http://www.dga.cl/otros/documentos/Politica\\_Recursos\\_Hidricos.pdf](http://www.dga.cl/otros/documentos/Politica_Recursos_Hidricos.pdf). Fecha de consulta: 02-10-2009.

**Dirección General de Aguas (DGA). 2008.** Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, República de Chile. Santiago, 429 pp.

**Dirección General de Aguas (DGA). 2009.** Fija Criterios para el Cálculo del Caudal Ecológico al Constituirse Derechos de Aprovechamiento de Aguas. (Resolución). Diario Oficial de la República de Chile. Martes 15 de Diciembre de 2009.

**Dirección General de Aguas (DGA). 2009.** Modifica Resolución D.G.A. N° 3504 Exenta, de 17 de diciembre de 2008. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Administración de Recursos Hídricos. Santiago, 18 de junio de 2009.

**Dyer K. (editor). 1979.** *Estuarine hydrography and sedimentation*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 230 p.

**Endesa Chile S.A. 1996.** Estudio de Impacto Ambiental Central Hidroeléctrica Ralco. Referencia electrónica disponible en: <http://www.e-seia.cl/>. Fecha de consulta: 5-10-2009.

**Endesa Chile. 2009.** Monitoreo de la biota y calidad del agua en la cuenca alta del río Bío-Bío. Central Hidroeléctrica Ralco. Segundo trimestre 2009. Centro de Ecología Aplicada, agosto de 2009. Santiago, 88 pp.

**Espinoza, C., Vargas, X. & M. Pardo. 1999.** Metodología Incremental para la Asignación de Caudales Mínimos aconsejables IFIM. Conferencia Internacional Recursos Hídricos de América Latina en el Umbral del Siglo XXI. Temas Claves para su Desarrollo, VI Jornadas del CONAPHI – Chile, Stgo, Mayo 1999.

**García de Jalón, D. & M. González del Tánago. s/f.** El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles. Referencia electrónica disponible en: <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/ejercicios-proyectos-y-casos-1/jalon-tanago-1998.pdf>. Fecha de consulta: 30-09-2009.

**Hall, D., Shane, C., Reeves, K., Lee, R., Carroll, G., Sommers, G., & K. Verdin. 2004.** *Water Energy Resources of the United States with Emphasis on Low Head/Low Power Resources. Prepared for the U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Wind and Hydropower Technologies, Idaho Operations Office. Idaho National Engineering and Environmental Laboratory.* 71 pp.

**Hayden, A. 2005.** *California Water Plan Update 2005. Recommendations Regarding Scenarios and Application of Environmental Water "Demands" in the State Water Plan Update & Quantification of Unmet Environmental Objectives in State Water Plan 2003 Using Actual Flow Data for 1998, 2000, and 2001.* 9 pp. Referencia electrónica disponible en: <http://www.waterplan.water.ca.gov/docs/cwpu2005/vol4/vol4-environment-recommendationsregarding-scenarios.pdf>. Fecha de consulta: 05-10-2009.

**HidroAysén. 2008.** Estimación del caudal ecológico del proyecto hidrológico Aysén: análisis del artículo 129 bis 1 del código de aguas. Eyzaguirre-Philippi, Yrarrázabal, Pulido & Brunner Ltda. Abogados. Santiago de Chile, 19 pp.

**HidroAysén S.A. 2008.** Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Hidroeléctrico Aysén. Referencia electrónica disponible en: <http://www.e-seia.cl/>. Fecha de consulta: 13-10-2009.

**Jamett, G. 2005.** Evaluación del concepto caudal ecológico para alcanzar la conservación de ecosistemas lóticos. Tesis de Post-grado en desarrollo para optar al título de Master en Gestión y Planificación Ambiental. Programa de Inter - facultades, Universidad de Chile.

**Jamett, G. & A. Rodrigues. s/f.** Evaluación del instrumento caudal ecológico, panorama legal e institucional en Chile y Brasil. Referencia electrónica disponible en: <http://www.eclac.cl/samtac/noticias/documentosdetrabajo/1/23391/DrSam00805.pdf>. Fecha de consulta: 30-09-2009.

**Lestelle, L., Mobrand, L., Lichatowich, J., Mobrand Biometrics Inc. & T. Vogel. 1996.** *Ecosystem Diagnosis & Treatment (EDT) Applied Ecosystem Analysis - A Primer, Report to Bonneville Power Admin. Project No. 199404600, Contract No. 1994AM33243, 112 electronic pages (BPA Report DOE/BP-33243-2).* Referencia electrónica disponible en: <http://pisces.bpa.gov/release/documents/documentviewer.aspx?pub=133243-2.pdf>. Fecha de consulta: 09-10-2009.

**Martínez, F. 2002.** Preferencias de microhábitat de *Barbus bocagei*, *Chondrostoma polylepis* y *Leuciscus pyrenaicus* en la cuenca del río Tajo. Ecosistemas 11 (1). Referencia electrónica disponible en [http://www.revistaecosistemas.net/index\\_frame.asp?pagina=http%3A/www.revistaecosistemas.net/articulo.asp%3FId%3D318](http://www.revistaecosistemas.net/index_frame.asp?pagina=http%3A/www.revistaecosistemas.net/articulo.asp%3FId%3D318). Fecha de consulta: 8-10-2009.

**McDowall, R. 2001.** *Freshwater fishes of New Zealand*. Reed Books. Auckland, N.Z. 95 pp

**MfE. 2008.** *Proposed National Environmental Standard on Ecological Flows and Water Levels – Discussion Document*. Wellington: Ministry for the Environment. Referencia electrónica disponible en: <http://www.mfe.govt.nz/publications/water/draft-guidelines-ecological-flows-mar08/draft-guidelines-ecological-flows-mar08.pdf>. Fecha de consulta: 06-10-2009.

**Mills, T., Sommer, T., Cavallo, B., Payne, T. & M. Allen. 2004.** *Phase 2 report evaluations of project effects on instream flows and fish habitat sp f-16. Oroville Facilities Relicensing FERC Project No. 2100. State of California. The Resources Agency. Department of Water Resources*. 53 pp. Referencia electrónica disponible en: [http://www.water.ca.gov/orovillereicensing/docs/wg\\_study\\_reports\\_and\\_docs/EWG/02-25-04\\_env\\_att\\_7.pdf](http://www.water.ca.gov/orovillereicensing/docs/wg_study_reports_and_docs/EWG/02-25-04_env_att_7.pdf). Fecha de consulta: 05-10-2009.

**Mills, T., Sommer, T., Cavallo, B., Payne, T. & M. Allen. 2005.** *Addendum to Phase 2 Report - Evaluation of Project Effects on Instream Flows and Fish Habitat Oroville Facilities P-2100 Relicensing. State of California. The Resources Agency. Department of Water Resources*. 16 pp. Referencia electrónica disponible en: [http://www.water.ca.gov/orovillereicensing/docs/wg\\_study\\_reports\\_and\\_docs/EWG/F16\\_phase\\_2\\_addendum.pdf](http://www.water.ca.gov/orovillereicensing/docs/wg_study_reports_and_docs/EWG/F16_phase_2_addendum.pdf). Fecha de consulta: 05-10-2009.

**Muñoz, G. Valdevenito, G. & M. George-Nascimento. 2002.** La dieta y la fauna de parásitos metazoos del torito *Bovichthys chilensis* Regan 1914 (Pisces: Bovichthyidae) en la costa de Chile centro-sur: variaciones geográficas y ontogenéticas. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 661-671

**Real Academia Española (RAE). 2001.** *Diccionario de la lengua española*. 23 Edición. Referencia electrónica disponible en: [http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO\\_BUS=3&LEMA=estiaje](http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=estiaje). Fecha de consulta: 07-10-2009.

**Ritcher, B., Baumgartener, J., Powell, J. & D. Braun. 1996.** *A Method for assessing Hydrologic Alteration within Ecosystem. Conservation Biology*. Vol.10, N°14, p. 1163-1174.

**Silveira, A., & G. Silveira. 2001.** *Vazões mínimas*. En: Paiva, J. B. D. y Paiva, E. M. C. D. *Hidrología Aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre, Brasil: Ed. Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

**Stalnaker, C. 1979.** *The use of habitat structure preference for establishing flow regimens necessary for maintenance of fish habitat*. En: *The Ecology of Regulated Rivers*. J.V. Ward y J. Stanford. 326-337. Plenum Press.

**Stalnaker, C., Lamb, B., Henriksen, J., Bovee, K. & J. Bartlow. 1995.** *The Instream Flow Incremental Methodology. A Primer for IFIM*. US Department of Interior National Biological Service, Washington D.C.

**Swift, C. 1976.** *Estimation of Stream Discharges Preferred by Steelhead Trout for Spawning and Rearing in Western Washington*. USGS Open-File Report 75-155. Tacoma, Washington. (Toe-width)

**Tennant, D. 1976.** *Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and related Environmental Resources*. *Procs. on Instream Flow Needs Symp.* 326-327.

**Texas Commission on Environmental Quality (TCEQ). 2009.** *Texas Instream Flow Program*. Referencia electrónica disponible en: <http://www.tceq.state.tx.us/>. Fecha de consulta: 01-10-2009.

**Tharme, R. 2002.** *A global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of Environmental flow methodologies for rivers*. *Proceedings of the International Conference on Environmental Flows or River Systems, 4th International Ecohydraulics Symposium*. Unpublished proceedings. Cape Town- South Africa.

**Washington Department of Fish And Wildlife. 2003.** *A guide to instream flow setting in Washigton State*. Estados Unidos.

**White, R. 1976.** *A methodology for recommending stream resource maintenance flows for large rivers*. *Procs. on Instream Flow Needs Symp.* 376-386.

# Anexo B

Diversion Season (DS)	Minimum Bypass Flow (MBF)	Maximum Cumulative Diversion (MCD)
<b>DS1.</b> 12/15 - 3/31	<b>MBF1.</b> February median daily flow	<b>MCD1.</b> MCD Rate = 15% of 20% Winter (12/15-3/31) exceedance flow
<b>DS2.</b> Year Round	<b>MBF2.</b> 10% Exceedance Flow	<b>MCD2.</b> MCD Rate = 5% of 1.5 yr flood peak flow
<b>DS3.</b> 10/1 - 3/31	<b>MBF3.</b> Drainage Area (DA) < 290 mi <sup>2</sup> : $Q_{MBF} = 8.7 Q_m (DA)^{-0.47}$ Drainage Area > 290 mi <sup>2</sup> : $Q_{MBF} = 0.6 Q_m$ $Q_m$ = unimpaired mean annual flow (cfs); For streams above anadromous habitat, DA is determined at the upper limit of anadromy	<b>MCD3.</b> MCD Volume = 10% estimated unimpaired flow (no restriction on diversion rate)
	<b>MBF4.</b> Drainage Area < 0.11 mi <sup>2</sup> : $Q_{MBF} = 8.7 Q_m (DA)^{-0.47}$ Drainage Area = 0.11-500 mi <sup>2</sup> : $Q_{MBF} = 5.1 Q_m (DA)^{-0.71}$ Drainage Area ≥ 500 mi <sup>2</sup> : $Q_{MBF} = 0.06 Q_m$ For streams above anadromous habitat, DA is determined at the upper limit of anadromy	<b>MCD4.</b> MCD Rate = diversion rate which results in a maximum reduction of the time flow is above the MBF to 1/2 day during a 1.5 yr flood event

Tabla B1

Cuadro sinóptico de los parámetros considerados a partir de 2008 para estimar caudales ecológicos en el Estado de California.

Fuente: State Water Resources Control Board, California.

# Tablas

Stream Class	Permitting of On-stream Dams (DP)
Class I	<b>DP1.1</b> On-stream dams may not be issued water right permits.
	<b>DP1.2</b> New on-stream dams may not be issued water right permits. A water right permit may be considered for an existing, unauthorized on-stream dam that was built prior to 7/19/2006 if the following criteria are met: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fish passage and screening is provided;</li> <li>2. A passive bypass system is provided to bypass the minimum instream flow requirements;</li> <li>3. An exotic species eradication plan is implemented;</li> <li>4. A gravel and wood augmentation plan or bypass system is implemented; and</li> <li>5. Disturbed riparian habitat will be mitigated</li> </ol>
Class II	<b>DP2.1</b> On-stream dams may not be issued water right permits.
	<b>DP2.2</b> New on-stream dams may not be issued water right permits. A water right permit may be considered for an existing, unauthorized on-stream dam that was built prior to 7/19/2006 if the following criteria are met: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. A passive bypass system is provided to bypass the minimum instream flow requirements;</li> <li>2. An exotic species eradication plan is implemented;</li> <li>3. A gravel and wood augmentation plan or bypass system is implemented; and</li> <li>4. Disturbed riparian habitat will be mitigated.</li> </ol>

Tabla B2

Caracterización de los cuerpos de agua fluviales según la biota que alberguen (Parte A).

Fuente: *State Water Resources Control Board, California.*

Stream Class	Permitting of On-stream Dams (DP)
Class II (cont)	<p><b>DP.2.3</b></p> <p>A water right permit may be considered for an on-stream dam if the following criteria are met: 1. A passive bypass system is used to bypass the minimum instream flow requirements; 2. An exotic species eradication plan is implemented; 3. A gravel and wood augmentation plan or bypass system is implemented; and 4. Disturbed riparian habitat will be mitigated.</p>
Class III	<p><b>DP3.1</b></p> <p>A water right permit may be considered for an on-stream dam if the following criteria are met: 1. The on-stream dam will not dewater a Class II stream; and 2. The on-stream dam will cause less than 10% cumulative instantaneous flow impairment at locations where fish are seasonally present.</p> <p><b>DP3.2</b></p> <p>A water right permit may be considered for an on-stream dam if the following criteria are met: 1. A passive bypass system is used to bypass the minimum instream flow requirements; 2. An exotic species eradication plan is implemented; and 3. A gravel and wood augmentation plan or bypass system is implemented.</p> <p><b>DP3.3</b></p> <p>A water right permit may be considered for an on-stream dam.</p>

Tabla B3

Caracterización de los cuerpos de agua fluviales según la biota que alberguen (Parte B).

Fuente: State Water Resources Control Board, California.

Policy Element: Minimum Bypass Flow		
Alternative	Regionally Protective?	Basis
<b>MBF1:</b> February Median Daily Flow	Partially	Protective of upstream passage and spawning habitat flow needs in streams draining more than about 5 mi <sup>2</sup> . Under-protective in smaller streams.
<b>MBF2:</b> 10% Exceedance Flow	Partially	Protective of upstream passage and spawning habitat flow needs in streams draining more than about 4 mi <sup>2</sup> . Under-protective in smaller streams.
<b>MBF3:</b> <u>Drainage Area (DA) &lt; 290 mi<sup>2</sup>:</u> $Q_{MBF} = 8.7 Q_m (DA)^{-0.47}$  <u>Drainage Area &gt; 290 mi<sup>2</sup>:</u> $Q_{MBF} = 0.6 Q_m$  $Q_m$ = unimpaired mean annual flow (cfs); For streams above anadromous habitat, DA is determined at the upstream limit of anadromy	Yes	Generally protective of upstream passage and spawning habitat flow needs across a wide variety of stream sizes in the region. Protects winter rearing habitat as well. Does not affect outmigration, channel and riparian maintenance, and estuarine habitat flow needs.
<b>MBF4:</b> <u>Drainage Area &lt; 0.11 mi<sup>2</sup>:</u> $Q_{MBF} = 8.7 Q_m (DA)^{-0.47}$  <u>Drainage Area = 0.11-500 mi<sup>2</sup>:</u> $Q_{MBF} = 5.1 Q_m (DA)^{-0.71}$  <u>Drainage Area ≥ 500 mi<sup>2</sup>:</u> $Q_{MBF} = 0.06 Q_m$  For streams above anadromous habitat, DA is determined at the upstream limit of anadromy	No	Protective of upstream passage and spawning habitat flow needs in some streams, but a majority of streams in the region are under-protected with respect to upstream passage and spawning habitat flow needs for steelhead and coho. Appears to under-protect Chinook upstream passage and spawning habitat flow needs in nearly all streams. In all cases, the MBF is sufficiently low that adverse effects could occur to upstream passage and spawning opportunities even with small diversion rates.
<b>Biological Recommendation: Apply Alternative MBF3</b>		
1 Drainage area (DA) is evaluated in square miles.		

Tabla B4

Criterios del Estado de California para definir "caudales mínimos para migración de peces".

Fuente: State Water Resources Control Board, California.

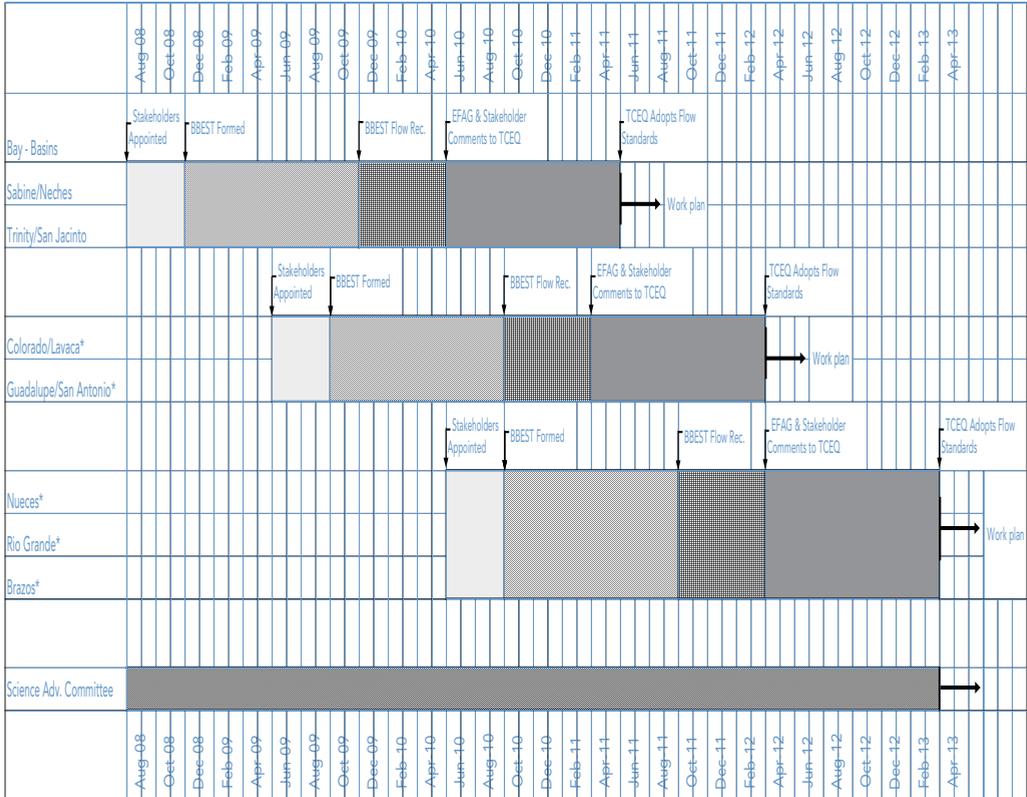
Policy Element: Maximum Cumulative Diversion		
Alternative	Regionally Protective?	Basis
MCD1 (Rate): MCD Rate = 15% of 20% Winter (12/15-3/31) Exceedance Flow	Yes	Generally allows the lowest instantaneous rate of diversion. Likely results in negligible channel change over the long term.
MCD2 (Rate): MCD Rate = 5% of 1.5 yr flood peak flow (annualized series)	Yes	Allows a higher instantaneous rate of cumulative diversion than MCD1 and MCD4. This alternative will likely result in long term adjustment and reduction in channel size, but the potential change is thought to be minor in terms of bankfull width, depth, and surface grain size distribution. Basing a MCD rate on the 1.5 year flood peak flow rate more directly accounts for the relation between channel size and instream flow need.
MCD3 (Volume): MCD Volume = No restriction on diversion rate, stop diversion after the ratio of total cumulative diverted volume to unimpaired runoff volume = 10%	Partially	May not be protective of coho and Chinook upstream passage and spawning habitat flow needs during the first month of the diversion season (for DS1 or DS3) in dry and average years. May not be protective of channel maintenance flow needs. Protectiveness is related more defensibly to flow rate rather than volume.
MCD4 (Rate): MCD Rate = Diversion rate that corresponds to a half-day reduction in the duration of time that flow is above the MBF during a 1.5 year flood event	Yes, but impractical to apply	Provides a comparable level of instantaneous diversion rate to MCD1 (15% of 20% winter exceedance flow). Likely results in negligible channel change over the long term. Impractical because its implementation requires detailed hourly hydrograph information for each stream.
Biological Recommendation:	Apply Alternative MCD2. There is uncertainty in defining the maximum amount of change in channel maintenance flows that could occur that would still be protective of anadromous salmonid habitat. Regardless of which MCD alternative is chosen for the Policy, effectiveness monitoring data collected over a period of 10 to 20 years would be needed to assess whether the Policy could be reopened in the future to include a less restrictive MCD that would still be protective of channel maintenance flows while offering the opportunity for higher diversion rates.	

Tabla B5

Criterio del Estado de California para reglamentar la cantidad de agua que puede ser extraída de un cauce.

Fuente: State Water Resources Control Board, California.

### SB3/HB3 Revised Schedule



\* Note: Exact schedule for these bay-basins to be determined by the Environmental Flows Advisory Group.

Tabla B6  
 Cronograma de los planes de manejo de caudales ecológicos desarrollados en el Estado de Texas.

Fuente: Texas Commission on Environmental Quality (2009).

Mean Flow (m <sup>3</sup> /s)	Inanga*, upland bully, Crans bully, banded kopopu*	Roundhead galaxias, flathead galaxias, lowland longjaw galaxias, redfin bully*, common bully*	Salmonid spawning and rearing, torrentfish*, bluegill bully*	Adult trout+
<0.25	High	High	High	High
< 0.75	Moderate	High	High	High
< 5.0	Low	Moderate	High	High
< 15.0	Low	Low	Moderate	High
15–20	Low	Low	Low	Moderate
> 20	Low	Low	Low	Low

Tabla B7  
 Evaluación de los riesgos nocivos al hábitat acuático, de acuerdo a las especies presentes y al flujo natural del caudal medio.

Fuente: Draft guidelines for the selection of methods to determine ecological flows and water levels. Los datos en la columna de "Salmonid spawning and rearing, torrentfish, bluegill bully", pueden ser aplicados genéricamente a invertebrados y a la alimentación de aves ribereñas (por ejemplo, aves zancudas y patos).

Risk of deleterious effect						
Low risk and high baseflow	Low risk and low baseflow	Moderate risk and high baseflow	Moderate risk and low baseflow	High risk and high baseflow	High risk and low baseflow	Degree of hydrological alteration
<20%	<15%	<15%	<10%	<15%	<10%	Low
20–40%	15–30%	15–30%	10–25%	15–30%	10–20%	Medium
>40%	>30%	>30%	>25%	> 30%	>20%	High

Tabla B8

Relación entre el grado de alteración hidrológica y el total de extracción expresado como % del caudal medio anual para varias clasificaciones de riesgo, basada en el tamaño del cauce y la composición de especies.

Fuente: *Draft guidelines for the selection of methods to determine ecological flows and water levels.*

Degree of hydrological alteration	Significance of instream values		
	Low	Medium	High
Low	Historical flow method Expert panel	Historical flow method Expert panel	Generalised habitat models 1D hydraulic habitat model Connectivity/fish passage Flow duration analysis
Medium	Historical flow method Expert panel Generalised habitat models	Generalised habitat models 1D hydraulic habitat model Connectivity/fish passage	1D hydraulic habitat model 2D hydraulic habitat model Dissolved oxygen model Temperature models Suspended sediment Fish bioenergetics model Groundwater model Seston flux Connectivity/fish passage Flow variability analysis
High	Generalised habitat models 1D Hydraulic habitat model Connectivity/fish passage Periphyton biomass model	Entrainment model 1D Hydraulic habitat model 2D Hydraulic habitat model Bank stability Dissolved oxygen model Temperature models Suspended sediment Fish bioenergetics model Inundation modelling Groundwater model Seston flux Connectivity/fish passage Periphyton biomass model	Entrainment model 1D Hydraulic habitat model 2D Hydraulic habitat model Bank stability Dissolved oxygen model Temperature models Suspended sediment Fish bioenergetics model Inundation modelling Groundwater model Seston flux Connectivity/fish passage Periphyton biomass model Flow variability analysis

Tabla B9

Métodos empleados para determinar requerimientos de caudal ecológico según grados de alteración hidrológica y significancia para cursos de agua.

Fuente: *Draft guidelines for the selection of methods to determine ecological flows and water levels.*

Nombre del Proyecto	Región de Chile	Año de ingreso al SEIA	Tipo de método	Forma de determinación de un caudal ecológico ( $Q_e$ )
Embalse Illapel	IV	1999	Hidrológico simple	$Q_e = X (Q_{\text{mensual}} * 0,7)$
Embalse Corrales	IV	1998	Hidrológico simple	$Q_e = 0,2 * Q_{\text{mensual}} * Q_{\text{mini modiarimensual}}$
Convento Viejo Etapa II	VI	2004	Hidrológico simple (Tennat)	$Q_e = \text{CAM}10\%$
Proyecto Hidroeléctrico La Higuera	VI	2004	Hidrológico simple	$Q_e = 10\% \text{CAM}$ corregido por resultados aplicando Ley francesa y Norma suiza
Central Hidroeléctrica Quilleco	VIII	1998	Simulación de hábitat	$Q_e$ según método IFIM
Central Hidroeléctrica Lago Atravesado	XI	1998	Hidrológico simple	$Q_e$ según análisis estadísticos simples sobre caudales observados de 1979 a 1997

Tabla B10

Métodos utilizados para determinar un caudal ecológico por proyectos ingresados al SEIA hasta el año 2004.

Fuente: Jamett 2005.

# Anexo C

## Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, Dirección General de Aguas (DGA 2008)

### 5.1.3 CAUDAL ECOLOGICO MINIMO<sup>25</sup>

#### 5.1.3.1 GENERALIDADES

El artículo 129 bis 1 de la Ley 20.017 de 2005, que modificó el Código de Aguas, señala que “al constituir los derechos de aprovechamiento de aguas, la Dirección General de Aguas velará por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, debiendo para ello establecer un Qeco mínimo, el cual sólo afectará a los nuevos derechos que se constituyan, para lo cual deberá considerar también las condiciones naturales pertinentes para cada fuente superficial”.

El Qeco mínimo debe ser establecido y por ello, formar parte de la resolución respectiva, para toda nueva solicitud relacionada a la adquisición y ejercicio de los derechos de aprovechamiento de aguas que resuelva la Dirección General de Aguas.

#### 5.1.3.2 ESTIMACION DEL CAUDAL ECOLOGICO MINIMO EN LA CONSTITUCION DE DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS

Para el caso de las Solicitudes de Derechos de Aprovechamiento de Aguas y Traslado del Ejercicio de Aprovechamiento los métodos de base hidrológica, es decir todos aquellos que se basan en el análisis de registros estadísticos de caudales, serían los más indicados para la estimación de los caudales ecológicos mínimos.

Históricamente, la Dirección General de Aguas ha considerado como caudal mínimo ecológico un determinado porcentaje del caudal del río, establecido en forma constante, utilizando para ello algunos de los criterios siguientes:

<sup>25</sup> Los numerales mantienen el orden que tienen en el documento original de la DGA

## Extracto del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, Dirección General de Aguas (DGA 2008)

- Caudal igual al 10 % del caudal medio anual.
- Caudal igual al 50 % del caudal mínimo de estiaje del año 95%.

La estadística hidrológica que se requiere para la aplicación de estos métodos de base hidrológica, en forma óptima, debe considerar un mínimo de 25 años hidrológicos, con una estadística a nivel medio mensual.

Por otro lado, la sustentabilidad e integridad de un ecosistema acuático no se asegura con el mantenimiento de un caudal mínimo constante a través de todo el año, ya que los requerimientos para la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente está dada principalmente por el régimen natural de caudales.

Es por ello, que al momento de definir el caudal ecológico mínimo se busca considerar las variaciones en los caudales de flujo del cauce, a lo menos dentro de un período anual (estacionalidad), estableciendo un caudal variable que permita mantener en forma proporcional al cauce sin intervención, las variaciones de caudal estacional.

El procedimiento a utilizar, para definir un caudal ecológico mínimo variable, considera los siguientes escenarios:

a) Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo del 10% Q<sub>ma</sub>:

Se consideraran los caudales asociados a 50% del caudal con probabilidad de excedencia del 95% (50% del Q<sub>95%PE</sub>), para cada mes, con las restricciones siguientes:

- Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del Q<sub>95%PE</sub> es menor al caudal determinado para el 10%Q<sub>ma</sub>, entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 10%Q<sub>ma</sub>.

- Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del Q<sub>95%PE</sub> es mayor al caudal determinado para el 10%Q<sub>ma</sub> y menor que el caudal determinado para el 20% Q<sub>ma</sub>, entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 50% del Q<sub>95%PE</sub>.

- Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del Q<sub>95%PE</sub> es mayor al caudal determinado para el 20%Q<sub>ma</sub>, entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 20% Q<sub>ma</sub>.

b) Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo del menor 50% del Q<sub>95%</sub>:

Se consideraran los caudales asociados a 50% del caudal con probabilidad de excedencia del 95% (50% del Q<sub>95%PE</sub>), para cada mes, con las restricciones siguientes:

- Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del Q<sub>95%PE</sub> es menor al caudal determinado para el 20%Q<sub>ma</sub>, entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 50% del Q<sub>95%PE</sub>.

- Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del Q<sub>95%PE</sub> es mayor al caudal determinado para el 20%Q<sub>ma</sub>, entonces el caudal ecológico mínimo en esos meses será el 20% Q<sub>ma</sub>.

c) Cauce sin derechos constituidos o sin caudal ecológico mínimo definido:

En estos casos se aplicara el criterio establecido en la letra b) con las mismas restricciones.

El valor que se asumirá para el caudal ecológico mínimo en el análisis de disponibilidad, deberá quedar debidamente justificada en el Informe Técnico que resuelve la solicitud.

Por otro lado, es importante considerar la metodología utilizada en cada cuenca en forma histórica en la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas, es decir, si en la cuenca se han establecido los caudales ecológicos mínimos en forma histórica con el 10% del caudal medio anual o 50% del caudal mínimo con probabilidad de excedencia del 95%, se deberá revisar la factibilidad de aplicar el criterio antes detallado.

Como ejemplo de aplicación de los criterios establecidos se tiene la siguiente situación de caudales:

(m <sup>3</sup> /s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
10%	3,49	4,47	5,94	12,80	42,32	48,44	49,01	41,13	26,88	21,41	10,64	7,64
85%	1,82	1,53	0,99	2,77	4,77	13,79	19,61	17,99	15,40	8,39	4,96	3,37
95%	1,54	1,15	0,62	2,50	2,68	9,10	15,41	13,99	13,31	3,38	2,36	1,78

Además se ha establecido:

- Caudal medio anual = 10,00 m<sup>3</sup>/s.

- 10% Q<sub>ma</sub> = 1,00 m<sup>3</sup>/s.

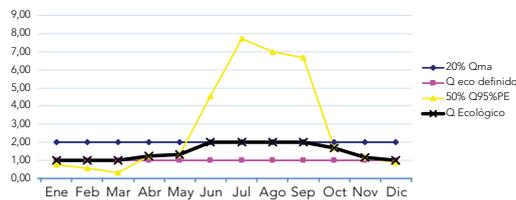
- 20% Q<sub>ma</sub> = 2,00 m<sup>3</sup>/s.

a) Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo con criterio del 10% Q<sub>ma</sub> = 1,00 m<sup>3</sup>/s:

(m <sup>3</sup> /s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
20% Q <sub>ma</sub>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Q eco definido	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
50% Q <sub>95%</sub> PE	0,77	0,57	0,31	1,25	1,34	4,55	7,70	6,99	6,65	1,69	1,18	0,89

Por lo tanto el caudal ecológico mínimo a establecer es:

(m <sup>3</sup> /s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q Ecológico	1,00	1,00	1,00	1,25	1,34	2,00	2,00	2,00	2,00	1,69	1,18	1,00

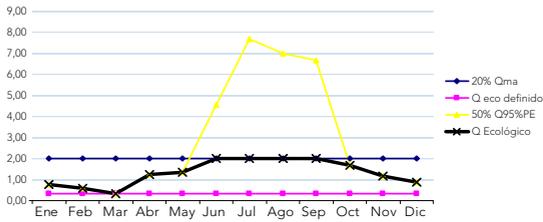


b) Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo con criterio del menor 50% del Q<sub>95%</sub> PE = 0,31 m<sup>3</sup>/s:

(m <sup>3</sup> /s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
20% Q <sub>ma</sub>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Q eco definido	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
50% Q <sub>95%</sub> PE	0,77	0,57	0,31	1,25	1,34	4,55	7,70	6,99	6,65	1,69	1,18	0,89

Por lo tanto el caudal ecológico mínimo a establecer es:

(m <sup>3</sup> /s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q Ecológico	0,77	0,57	0,31	1,25	1,34	2,00	2,00	2,00	2,00	1,69	1,18	0,89



quedar especificado lo siguiente: “El Titular del derecho de aprovechamiento deberá dejar pasar en forma libre y permanente aguas abajo del punto de captación, el caudal ecológico mínimo (l/s o m<sup>3</sup>/s), el que no podrá ser inferior a:

Las características del ejercicio del derecho de aprovechamiento otorgado y su condición de respetar el caudal mínimo ecológico deberán ser verificadas en la correspondiente aprobación del proyecto de construcción de bocatoma.

Respecto solicitudes de derechos de aprovechamiento, en la cual previamente se ha establecido un caudal mínimo ecológico en el marco del SEIA con su respectiva RCA favorable, se deberá respetar dicho caudal al momento de resolver dicha solicitud.

Frente a discrepancias respecto de la determinación del caudal ecológico mínimo por parte de la Dirección General de Aguas, será responsabilidad del petionario efectuar los estudios de detalle de acuerdo con las pautas que al efecto le fije la Dirección General de Aguas.

(l/s o m <sup>3</sup> /s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Caudal Ecológico Mínimo	Valor											

### 5.1.3.3 ESTIMACION DE CAUDAL MINIMO ECOLOGICO EN CONSTITUCION DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SOBRE VERTIENTES

En el caso de vertientes, se deberá considerar para la estimación del caudal mínimo ecológico lo siguiente:

- 1.- El 10% del caudal del promedio de los afloros, como valor constante sin variación mensual.
- 2.- El caudal ecológico deberá escurrir en forma libre por el cauce en forma permanente, lo que deberá quedar establecido en la Resolución.

### 5.1.3.4 VALORES MAXIMOS DEL CAUDAL MINIMO ECOLOGICO

De acuerdo a lo establecido en el artículo 129 bis 1 de la Ley 20.017 que modifico el Código de Aguas, al constituir los derechos de aprovechamiento de aguas, la Dirección General de Aguas deberá establecer un caudal ecológico mínimo, que “no podrá ser superior al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial”.

Se podrá establecer caudales ecológicos mínimos de hasta el 20% del caudal medio anual permanentes todo el año.

Por otro lado el Artículo 129 bis 1 inciso tercero, establece que: “En casos calificados, y previo informe favorable de la Comisión Regional del Medio Ambiente respectiva, el Presidente de la República podrá, mediante Decreto fundado, fijar caudales ecológicos mínimos diferentes, sin atenerse a la limitación del 20% del caudal medio anual, no pudiendo afectar derechos de aprovechamientos existentes. Si la respectiva fuente superficial natural recorre más de una Región, el Informe será evacuado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente. El Caudal Ecológico que se fije en virtud de lo señalado anteriormente, no podrá ser superior al 40% del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial”.

Respecto solicitudes de derechos de aprovechamiento, en la cual previamente se ha establecido un caudal mínimo ecológico en el marco del SEIA con su respectiva RCA favorable, se deberá respetar dicho caudal al momento de resolver dicha solicitud.

# Anexo D

Santiago, 10 de diciembre de 2009.- Con esta fecha el Director Gral. de Aguas, ha resuelto lo que sigue:

Núm. 240.- Vistos: El Dictamen N° 30.101, de 10 de junio de 2009, de la Contraloría General de la República; el artículo 129 bis 1 del Código de Aguas; el N° 3.5.10 del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos S.I.T. N° 78, aprobado mediante resolución D.G.A. N° 1.503 exenta, de 31 de mayo de 2002; el N° 5.1.3 del Capítulo V del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos S.I.T. N° 156, aprobado mediante resolución D.G.A. N° 3.504 exenta, de 17 de diciembre de 2008; y las atribuciones que me confiere el artículo 300 letra c) del Código de Aguas, y,

Considerando:

Que, el Código de Aguas, en su artículo 129 bis 1, fija potestad a la Dirección General de Aguas para el establecimiento de caudales ecológicos mínimos para nuevos derechos de aprovechamiento de aguas que se constituyan.

Que, el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos S.I.T. N° 78, aprobado mediante resolución D.G.A. N° 1.503 exenta, de 31 de mayo de 2002, en el N° 3.5.10, estableció criterios recomendados para la estimación de los caudales ecológicos para la resolución de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas.

# Resolución DGA Fija Criterios para el Cálculo del Caudal Ecológico al Constituirse Derechos de Aprovechamiento de Aguas

Que, mediante resolución DGA N° 3.504 exenta, de 17 de diciembre de 2008, se dejó sin efecto la resolución D.G.A. N° 1.503 de 31 de mayo de 2002 y Aprueba nuevo “Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos” S.I.T. N° 156, el cual en el N° 5.1.3 de su Capítulo V, establece normas en virtud de las cuales la Dirección General de Aguas fija criterios y procedimientos técnicos para definir los caudales ecológicos mínimos para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas.

Que, la Contraloría General de la República, interpretando en virtud de sus atribuciones, el artículo 129 bis 1 del Código de Aguas, ha señalado en su Dictamen N° 30.101, de 10 de junio de 2009, que debe dictarse un acto administrativo que establezca un caudal ecológico mínimo en la fuente en la que se constituye el derecho, con objeto de garantizar el cumplimiento de las normas establecidas en el Código de Aguas, así como su aplicación sin discrecionalidad por parte de la autoridad.

Que, la generación de los recursos hídricos en el curso de cada cauce, depende entre otros factores del área aportante al punto sobre el cual corresponda resolver y de la precipitación en dicha área, por lo tanto, los caudales generados a distintas probabilidades de excedencia varían al ser dependientes de estos parámetros, lo que implica una variación en consecuencia de los caudales ecológicos estimados.

Que, la Dirección General de Aguas consideró históricamente como caudal ecológico mínimo un determinado porcentaje del caudal del río, establecido en forma constante, utilizando para ello principalmente alguno de los criterios siguientes: 1) Caudal igual al diez por ciento (10%) del caudal medio anual y 2) caudal igual al cincuenta por ciento (50%)

del caudal mínimo de estiaje del año con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia.

Que, la sustentabilidad e integridad de un ecosistema hídrico no se asegura con el mantenimiento de un caudal mínimo constante a través de todo el año, ya que los requerimientos para la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente está dada principalmente por el régimen natural de caudales los que responden a una estacionalidad de las fuentes.

Que, la Dirección General de Aguas en el nuevo Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos (diciembre 2008), adecuó el caudal ecológico a las variaciones en los caudales del cauce, a lo menos dentro de un período anual (estacionalidad), estableciendo un caudal ecológico mínimo variable.

Que, el procedimiento a utilizar, para definir un caudal ecológico mínimo variable, considera los siguientes escenarios:

a) Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo utilizando el criterio del diez por ciento (10%) del caudal medio anual:

Se considerarán el cincuenta por ciento (50%) del caudal con probabilidad de excedencia del noventa y cinco por ciento (95%), para cada mes, con las restricciones siguientes:

- Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es menor al diez por ciento (10%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el diez por ciento (10%) del caudal medio anual.

- Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es mayor al diez por ciento (10%) del caudal medio anual y menor al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia.
- Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el veinte por ciento (20%) del caudal medio anual.

b) Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo del menor cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia:

Se considerarán los caudales asociados al cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia, para cada mes, con las restricciones siguientes:

- Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es menor al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia.
- Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el veinte por ciento (20%) del caudal medio anual.

c) Cauce sin derechos constituidos o sin caudal ecológico mínimo definido:

En estos casos se aplicará el criterio establecido en la letra b) con las mismas restricciones.

Que, una situación especial la constituyen aquellas fuentes que presentan un comportamiento hídrico que no se ajusta a los caudales calculados con metodologías de análisis de recursos superficiales.

Estos se resolverán mediante el uso de aforos directos en los puntos en análisis. Lo anterior se presenta principalmente en vertientes por lo cual, el criterio para establecer el caudal ecológico mínimo en estas fuentes es el diez por ciento (10%) del caudal del promedio de los aforos, como valor constante sin variación mensual. Dicho valor, garantiza que su magnitud no será superior en ningún caso al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual.

Que, cabe señalar, que de acuerdo a lo establecido en el Código de Aguas, artículo 129 bis 1, inciso tercero: "en casos calificados y previo informe favorable de la Comisión Regional del Medio Ambiente respectiva, el Presidente de la República podrá mediante decreto fundado fijar caudales ecológicos mínimos diferentes, sin atenderse a la limitación establecida en el inciso anterior, no pudiendo afectar derechos de aprovechamiento existentes. Si la respectiva fuente natural recorre más de una región, el informe será evacuado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente. El caudal ecológico mínimo que se fije en virtud de lo dispuesto en el presente inciso, no podrá ser superior al cuarenta por ciento (40%) del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial."

Que, el establecimiento de los caudales ecológicos, no podrá afectar derechos de aprovechamiento de aguas constituidos.

Que, es necesario fijar criterios uniformes orientados al establecimiento de caudales ecológicos, a través de una resolución que establezca normas generales para la determinación del caudal ecológico mínimo, en términos de porcentajes mínimos y máximos, donde de alcanzarse éste último, será siempre coincidente con el veinte por ciento (20%) del caudal medio anual, con objeto de garantizar que:

a) La normativa establecida en el Código de Aguas se cumpla.

b) Los valores determinados no constituyan un acto discrecional o arbitrario por parte de la autoridad.

c) Sus variaciones no implican condiciones de inequidad ni especial gravamen, sino que responden única y exclusivamente a la realidad de escorrentía natural de las fuentes en base a estadísticas observadas de carácter público.

Que, en el contexto anterior, la Dirección General de Aguas dictará un acto administrativo para cada cuenca o subcuenca o tributarios de aguas

superficiales, definiendo el caudal ecológico mínimo en las mismas.

Resuelvo:

1. Fíjense criterios para la determinación de los caudales ecológicos a respetar para los nuevos derechos de aprovechamiento de aguas que se constituyan en los cauces de Chile:

a) Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo utilizando el criterio del diez por ciento (10%) del caudal medio anual:

Se considerarán el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia, para cada mes, con las restricciones siguientes:

- Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es menor al diez por ciento (10%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el 10% del caudal medio anual.
- Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es mayor al diez por ciento (10%) del caudal medio anual y menor al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia.
- Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el veinte por ciento (20%) del caudal medio anual.

b) Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo del menor cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia:

Se considerarán los caudales asociados al cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia, para cada mes, con las restricciones siguientes:

- Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es menor al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento (50%) del caudal con probabilidad de excedencia del noventa y cinco por ciento (95%).

- Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento (50%) del caudal con noventa y cinco por ciento (95%) de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento (20%) del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo en esos meses será el veinte por ciento (20%) del caudal medio anual.

c) Cauce sin derechos constituidos o sin caudal ecológico mínimo definido:

En estos casos se aplicará el criterio establecido en la letra b) con las mismas restricciones.

2.- En aquellos cauces contenidos en la cuenca que presenten un comportamiento hídrico que no se ajuste a los cursos superficiales, el criterio para establecer el caudal ecológico es el diez por ciento (10%) del caudal del promedio de los aforos, como valor constante sin variación mensual.

3.- Establécese que los criterios indicados en los resolvos precedentes, serán aplicados sin perjuicio de lo señalado en el artículo 129 bis 1, inciso tercero del Código de Aguas.

4.- Establécese que la fijación de los caudales ecológicos, no podrá afectar derechos de aprovechamiento de aguas constituidos.

5.- Comuníquese la presente resolución a la Direcciones Regionales de Aguas, a la División de Estudios y Planificación y al Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas.

Anótese, comuníquese, tómese razón y publíquese.- Rodrigo Weisner Lazo, Director General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.

Lo que transcribo a Ud., para su conocimiento y fines pertinentes.- Antonio Espinoza Radronich, Oficial de Partes, Dirección General de Aguas, MOP.

# Anexo E

## A.1 CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN PEDRO DE COLBÚN

### A.1.1 Adenda 1

1. Pregunta 9.3 (COREMA Región de Los Ríos)  
Adecuación tramo Presa-Obra de Devolución:  
En el Capítulo 2.9 (Pág. 33) el titular señala que se rebajará el lecho del río en un tramo de 600 metros, entre el punto de restitución y la presa, con la finalidad de que el agua se devuelva "parcialmente" aguas arriba, generando un flujo y recirculación constante de agua en ese tramo del río.

Observación: Se requiere aclarar qué manera garantizará que el tramo de 800 m entre las cañerías de restitución y la presa, permanecerá con un flujo continuo de agua, en circunstancias que el rebaje del río será solo de 600 metros. Cabe señalar además que en el punto 2.9.3.3 "Cumplimiento del Caudal Ecológico" el titular afirma que a lo menos un caudal de 37 m<sup>3</sup>/s (Caudal Ecológico) se devolverá hacia el pie de la presa, con lo cual el río se mantendrá permanentemente con agua. Por lo anterior no queda claro si la totalidad o solo una parte del tramo entre el punto de restitución y la presa, tendrán un flujo permanente de agua con un caudal no inferior al Caudal Ecológico (37 m<sup>3</sup>/s).

# Observaciones Efectuadas por la Autoridad a los Estudios de Caudal Ecológico de Proyectos Hidroeléctricos

## Respuesta:

Se solicita ver la respuesta a la pregunta 11 de la sección de Descripción del Proyecto de la presente Adenda. En ella se entrega una caracterización fundamentada de la propuesta de continuidad del río para el tramo entre el pie de presa y el punto restitución de las aguas al río.

2. Pregunta 10.13 (COREMA Región de Los Ríos)  
Se le aclara al titular que el caudal ecológico de  $37\text{m}^3/\text{s}$  debe ser respetado en todo momento del llenado. Esto es de relevancia por cuanto el titular indica "se mantienen caudales pasantes superiores al 60% del caudal afluente", lo cual es aceptable si el 60% es superior a  $37\text{ m}^3/\text{s}$ .

## Respuesta:

Durante el proceso de llenado el caudal aguas abajo de la presa será siempre mayor o igual a  $37\text{ m}^3/\text{s}$ . Ver respuesta a pregunta 10.12 de la Descripción de Proyecto.

3. Pregunta 11 (COREMA Región de Los Ríos)  
Respecto a la zona del proyecto ubicada entre de la devolución de las aguas turbinadas y la presa, se solicita al titular:

- Explicar detalladamente las obras y equipos requeridos para que se produzca la recirculación del río desde la zona de descarga hasta la presa.
- Indicar qué supuestos fueron considerados para su diseño
- Fundamentar por qué se escogió este método
- Indicar cómo funciona esta propuesta en los siguientes escenarios:

- Caudales del río San Pedro menor al caudal de diseño
- Caudales del río San Pedro mayor al caudal de diseño y
- Caudales del río San Pedro en el rango entre el caudal mínimo y máximo de diseño

## Respuesta:

a) Es necesario aclarar que la proposición efectuada por COLBÚN S.A. garantiza la existencia de un cuerpo de agua en el tramo comprendido desde el pie de la presa hasta el punto de restitución, asegurando así la continuidad del espejo de agua entre estos dos puntos y hacia aguas abajo. No se debe entender como un flujo de agua que permanentemente circulará o recirculará desde el punto de devolución hacia la presa y viceversa.

Las obras previstas para obtener el cuerpo continuo de agua señalado en el párrafo anterior fueron indicadas en la página 2.52 del EIA y a continuación se transcriben nuevamente:

Con posterioridad a la puesta en servicio de la central, se secará provisoriamente un tramo de 0,6 km ubicado aguas abajo del pie de la presa.

Una vez seco el tramo, donde proceda rebajar el lecho del río para mantener la continuidad del cuerpo de agua, se excavará un canalón de ancho basal 62 metros y taludes 1:1.

El rebaje se realizará mediante tronaduras controladas en los sectores con roca más dura y con máquina retroexcavadora en los sectores de rellenos fluviales; el material extraído se llevará al botadero A adyacente.

La siguiente figura muestra un corte típico del perfilamiento del cauce del río San Pedro, donde se presenta su geometría original y la que tendría luego de los trabajos destinados a establecer las condiciones necesarias para crear el cuerpo de agua.

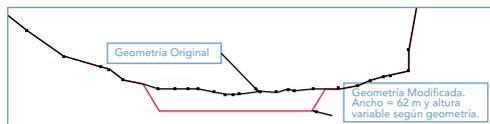


Figura 3:  
Perfilamiento del cauce  
Fuente: EIA CH San Pedro, Colbún 2007.

b) Previo a explicar el significado y supuestos ecológicos de esta propuesta, es importante tener presente que el impacto global del Proyecto San Pedro sobre la ecología fluvial ya ha sido dimensionado en detalle en el EIA.

Al mismo tiempo, se debe indicar que el sistema fluvial, aguas abajo de la restitución de las aguas turbinadas, conservará su régimen natural de caudal intacto, sin alteraciones.

Esto permitirá que 25 km del río San Pedro, y su continuidad en el sistema Calle-Calle/Valdivia, mantengan sus características ecológicas, y por ende lo más valioso de este sistema ambiental, cual es la disponibilidad de hábitats para la fauna de peces nativos presentes en este río.

Por la naturaleza y características del Proyecto, el único tramo que quedará en términos prácticos con la necesidad de crear un cuerpo de agua para mantener las condiciones bióticas adecuadas, corresponde al comprendido entre el pie de la presa y el punto de restitución al río.

Para dicho tramo se ha propuesto efectuar un rebaje del lecho que asegure, en aquellos períodos donde el caudal en dicho tramo sea inferior

a  $37 \text{ m}^3/\text{s}$ , la existencia de un cuerpo de agua continuo y con renovación que permita cumplir con el objetivo del caudal ecológico.

c) y d) Existen dos razones fundamentales por las cuales se ha definido la propuesta en mención: la continuidad y la renovación del curso de agua que permitan mantener condiciones bióticas adecuadas en dicho tramo.

### Continuidad del curso de agua

Para todos los escenarios hidrológicos y de operación, los estudios de ingeniería hidráulica han indicado que el cuerpo de agua existente en dicho tramo llegará hasta el colchón dissipador que existirá al pie de la presa.

En el caso más desfavorable (correspondiente al mínimo de operación de  $75 \text{ m}^3/\text{s}$ ), el ancho del río quedará confinado al perfilamiento de 62 m de ancho indicado en la Figura 3. Es necesario destacar que un caudal de  $75 \text{ m}^3/\text{s}$  en el río San Pedro tiene una probabilidad de excedencia mayor al 98%, por lo tanto, la ocurrencia de caudales de este orden de magnitud se puede considerar como muy baja.

### Renovación del curso de agua

#### Renovación natural

Cuando el caudal en el río San Pedro sea mayor al caudal máximo de generación, se verterá la diferencia desde la presa, la que escurrirá por el tramo intervenido (considerando las estadística de los caudales medios diarios en la Estación San Pedro en desagüe Lago Riñihue). El cuerpo de agua que existirá en dicho tramo se renovará naturalmente durante un 29% de los días del año, con una distribución mensual (% días del mes con vertimiento) que se presenta en la siguiente tabla. Esto corresponde a los días para los cuales habría un caudal superior a los  $460 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tabla 5. Porcentaje de días-mes con vertimiento natural

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2%	0%	0%	3%	21%	59%	69%	67%	56%	29%	23%	16%	29%

Fuente: EIA CH San Pedro, Colbún 2007.

Lo anterior no considera los vertimientos que ocurran cuando el caudal entrante sea inferior al mínimo de operación de la central. Respecto de ello, se destaca que en este escenario la central quedará fuera de operación y todo el caudal entrante será vertido por la presa renovando el tramo comprendido entre la presa y el punto de restitución.

### Renovación asistida y controlada

Para los períodos en que no exista vertimiento natural desde la presa, debido a que los caudales afluentes están en el rango de operación de la central ( $75$  a  $460 \text{ m}^3/\text{s}$ ), el volumen de agua de este cuerpo será renovado mediante vertimientos controlados desde la presa. Estos vertimientos se realizarán:

- En función de los parámetros de temperatura y oxígeno medidos en el agua, los cuales serán controlados con sensores específicos en tiempo real a unos 400 metros aguas abajo del pie de la presa, en comparación con los valores correspondientes medidos inmediatamente aguas abajo de la restitución.
- Con una frecuencia máxima de una vez por día, en horas de la madrugada (01 a 05 hrs) y limitados al volúmen que posea el cuerpo de agua antes del vertimiento (lo que implica vertimientos que fluctuarán entre 1 y 12 m<sup>3</sup>/s). La lógica hidráulica que permitió llegar a estas cifras es la renovación completa del cuerpo de agua en dicho tramo en un máximo de 24 horas.

Para completar el comportamiento indicado en los puntos anteriores, se presentan gráficos representativos de la modelación hidráulica que permitió cuantificar los alcances técnicos de la propuesta.

En la Figura 4 se presenta el perfil longitudinal del cauce del río San Pedro entre el punto de restitución de la central al río y la zona al pie de presa, así como el nivel que tendría el cuerpo de agua para el caudal de generación medio. En la Figura 5 se presenta una vista 3D del tramo comprendido entre la zona al pie de presa y el punto de restitución de la central al río, para el caudal de generación medio.

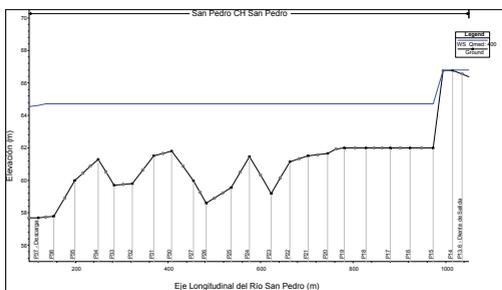


Figura 4:  
Perfil longitudinal del cauce del río San Pedro entre el punto de restitución de la central al río y la zona al pie de presa  
Fuente: EIA CH San Pedro, Colbún 2007.

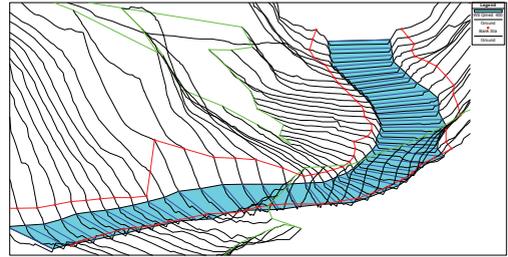


Figura 5:  
Vista 3D del tramo comprendido entre la zona al pie de presa y el punto de restitución de la central al río  
Fuente: EIA CH San Pedro, Colbún 2007.

Las medidas anteriores favorecerán la renovación de la masa de agua en el tramo, de modo de mantener una biota acuática de aguas de buena calidad, a la vez que se logra evitar incrementos de temperatura y disminución en la concentración de oxígeno en la columna de agua. Estas acciones ayudarán a regular dos condiciones esenciales de la columna de agua, su temperatura y concentración de oxígeno. Al respecto, debe dejarse en claro que en épocas de bajo caudal, se espera que dicho tramo no sigan albergando la misma ictiofauna, debido a que las especies que habitan dicho tramo en la actualidad presentan requerimientos de hábitat de aguas más correntosas. Por lo anterior, en este tramo se beneficiarán especies adaptadas a ambientes más lénticos, tales como el Cheirodon galusdae.

Como conclusión se destaca que esta propuesta permite asegurar que el cuerpo de agua que se generará en el tramo entre pie de presa y el punto de restitución, poseerá las características de calidad adecuadas para la presencia de biota acuática de buena calidad.

4. Pregunta 13.2 (COREMA Región de Los Ríos)  
El titular destaca que el proyecto considera un caudal ecológico de 37m<sup>3</sup> por segundo. Sin embargo, la información aportada en el estudio no coincide con el concepto que maneja esta Secretaría respecto a caudales ecológicos, por lo tanto se solicita al titular aclarar tal situación.

#### Respuesta:

Se solicita ver la respuesta a la pregunta 11 de la sección de Descripción de Proyecto de la presente Adenda. En ella se entrega una caracterización fundamentada de la propuesta de continuidad del río para el tramo entre el pie de presa y el punto restitución de las aguas al río.

5. Pregunta 14.5 (COREMA Región de Los Ríos)  
 En el punto 2.1.2 el titular manifiesta que dará fiel cumplimiento al caudal ecológico con 37 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo, este servicio considera que este concepto no es aplicable al proyecto, por tanto se requiere aclarar tal situación evitando ambigüedades en el uso de los términos a utilizar.

**Respuesta:**

Se solicita ver la respuesta a la pregunta 11 de la sección de Descripción de Proyecto de la presente Adenda. En ella se entrega una caracterización fundamentada de la propuesta de continuidad del río para el tramo entre el pie de presa y el punto de restitución de las aguas al río.

6. Pregunta 16.3 (COREMA Región de Los Ríos)  
 El caudal ecológico que proponen es insuficiente para resguardar las características fluviales, hábitat y especies acuáticas del río San Pedro.

**Respuesta:**

Se solicita ver la respuesta a la pregunta 11 de la sección de Descripción del Proyecto de la presente Adenda. En ella se entrega una caracterización fundamentada de la propuesta de continuidad del río para el tramo entre el pie de presa y el punto restitución de las aguas al río.

7. Pregunta 16.4.  
 El caudal ecológico que proponen es de 37 m<sup>3</sup>/s, el cual en época de invierno se dejará un pequeño torrente y en época de verano esta agua se estancará y formarán pequeños pozos en esa zona que corresponden a 800 m desde la presa hasta la restitución del río. En este trayecto se modificarán las condiciones del río San Pedro, por lo tanto se solicita aumentar el caudal ecológico propuesto que mantengan y resguarden la biota fluvial del río San Pedro y realmente se pueda considerar como una central de pasada.

**Respuesta:**

Se solicita ver la respuesta a la pregunta 11 de la sección de Descripción del Proyecto de la presente Adenda. En ella se entrega una caracterización fundamentada de la propuesta de continuidad del río para el tramo entre el pie de presa y el punto restitución de las aguas al río.

8. Pregunta 16.6 (COREMA Región de Los Ríos)  
 El proyecto establece que en época de invierno (durante época de crecidas) el agua pasará por sobre la presa cayendo sobre el cauce del caudal ecológico de 37m<sup>3</sup>/s presa abajo. Esta caída de considerable altura, genera gran turbulencia en las aguas, lo que aportará una constante turbidez río abajo, afectando la excelente calidad del río San Pedro aguas abajo. Se solicita que se realice un estudio de factibilidad de realizar una central de pasada, considerando lo que implica, sin alteración del curso de agua, mantener el caudal del Río San Pedro sin modificaciones, para que mantenga la excelente calidad de sus aguas.

**Respuesta:**

El Proyecto sometido a evaluación posee las características técnicas descritas en el Capítulo 2 del EIA (Descripción de Proyecto), siendo una central que opera como central de pasada. En todo caso, no corresponde en el marco del SEIA, evaluar alternativas por cuanto ello alteraría las condiciones sobre las cuales se informó a los organismos públicos competentes y a la ciudadanía.

Sin perjuicio de lo anterior, se debe mencionar que se hicieron estudios en su momento para evaluar la factibilidad de realizar una central de pasada. No obstante, ésta resultó inviable debido a que las características de la caja del río (angosta y profunda) requeriría prácticamente construir un río paralelo y que los suelos de la parte superior del río (zona aguas abajo del desagüe del lago Riñihue) no son aptos o seguros para construir un canal de grandes dimensiones.

9. Pregunta 5 (COREMA Región de Los Ríos)  
 La tabla 6.9 causa-efecto, no es concordante con la información entregada en la tabla 6.8, donde se identifican los posibles elementos susceptibles de ser afectados, en relación al medio físico agua. En la tabla 6.9 falta incorporar el régimen hidrológico, el que se afectará en el llenado del embalse.

**Respuesta:**

Efectivamente existe una omisión involuntaria. En el párrafo que sigue a la Tabla 6.8 del EIA, además de los elementos Suelo y Valor Arqueológico, debió también incluirse la justificación para Régimen Hidrológico.

La afectación del régimen hidrológico en la fase de llenado, será transitoria, muy restringida temporalmente y gradual. Por esto, se prevé que no generará efectos permanentes en los componentes del sistema fluvial que vayan a afectar su integridad. Por otro lado, durante el llenado se mantendrá siempre un caudal pasante significativo en el río aguas abajo de la presa, que será dependiente de las condiciones hidrológicas que existan cuando se realice el llenado, pero que será siempre mayor o igual al caudal ecológico de 37 m<sup>3</sup>/s.

#### 10. Pregunta 3 (COREMA Región de Los Ríos)

En relación al monitoreo del régimen del río el titular debe instrumentalizar la medición del nivel del embalse así como las entradas o salidas de él. Además, debe medir el caudal ecológico devuelto entre el pie de presa y la obra de restitución.

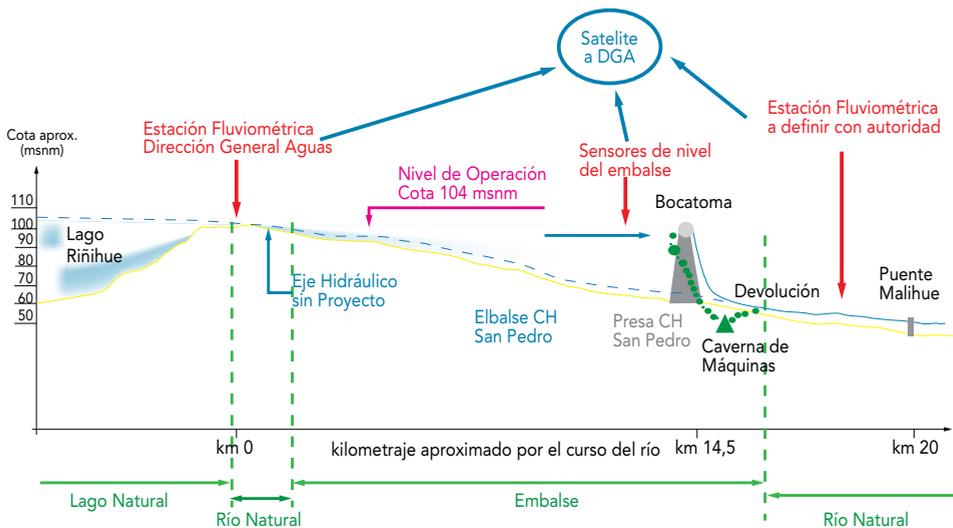
#### Respuesta:

Esta observación se encuentra incorporada en el EIA (página 2-86 referente al caudal ecológico y

página 2-87 referente al control de la operación) por cuanto el Proyecto considera:

- Agregar la instrumentación necesaria para que la estación fluviométrica de la DGA "Río San Pedro en desagüe río San Pedro" se conecte a la red satelital de la DGA.
- Instalar una estación fluviométrica en el río San Pedro aguas abajo del Proyecto en un punto a definir con la DGA, que también se conectará a la red satelital DGA.
- Uno de los sensores de nivel de las aguas del embalse ubicado en la zona de presa, se conectará a la red satelital de la DGA.
- Toda esta información estará disponible en tiempo real (en forma horaria).

Cabe destacar que COLBÚN S.A. mantiene, desde hace varios años, instrumentación de medición de similares características conectadas a la red satelital DGA en la cuenca del río Maule, VII Región.



Fuente: EIA CH San Pedro, Colbún 2007.

La figura anterior muestra la ubicación de los lugares de monitoreo del caudal y nivel del embalse.

En cuanto al caudal ecológico, se solicita ver la respuesta a la pregunta 11 de la sección de Descripción del Proyecto de la presente Adenda. En ella se entrega una caracterización fundamentada de la propuesta de continuidad del río para el tramo entre el pie de presa y el punto restitución de las aguas al río.

#### 11. Pregunta 10 (COREMA Región de Los Ríos)

En relación al monitoreo del régimen de caudales del río San Pedro, el titular deberá medir la cota del embalse, los caudales afluentes, incluyendo el río Mañío, y efluentes, incluyendo el caudal ecológico. Al respecto se reitera la necesidad de que el titular instrumentalice dichas mediciones de tal forma de contar con información en tiempo real.

#### Respuesta:

Esta observación se encuentra incorporada en el EIA y fue precisada en mayor medida en la respuesta a la observación 3 de esta sección de la presente Adenda.

El Proyecto no ha considerado medir el caudal del río Mañío por cuanto se trata de un cauce menor (caudal medio inferior a los 5 m<sup>3</sup>/s, en contraste con el caudal medio del río San Pedro que supera los 400 m<sup>3</sup>/s).

#### A.1.2 Adenda 2

#### 1. Pregunta 29 (COREMA Región de Los Ríos)

Se hace presente al titular que el establecimiento de un caudal ecológico, obliga a que éste debe ser medido al pié de la presa, por lo que de entregarle aguas debajo de este, las obras que el titular propone realizar en el cauce del río, entre el muro y la restitución, deben asegurar dicho caudal. Respecto de lo anterior la solución propuesta por el titular en la página 11 de la Adenda, sólo permite tener una continuidad del río y que el 70% de días del año, equivalente a 255 días no habría una renovación natural o vertimientos de aguas sobre la presa. Es decir el titular no habrá circulación en forma permanente sino más bien sólo cuando haya vertimiento, el resto del tiempo se produce una lámina de agua sin movimiento. En cuanto a este punto se solicita al titular evaluar y fundamentar las medidas que correspondan.

#### Respuesta:

Previo a analizar la solución que se está planteando para minimizar los impactos del Proyecto en el tramo entre la presa y el punto de restitución de las aguas al río San Pedro, es importante tener presente que el impacto global del Proyecto San Pedro sobre el ecosistema ha sido identificado y dimensionado en detalle en el EIA.

En efecto, en el capítulo 6 del EIA de Predicción y Evaluación de Impactos Ambientales, se identificaron y jerarquizaron los impactos potenciales del Proyecto, concluyéndose que los más relevantes son la alteración de hábitats fluviales y ribereños y, la pérdida parcial de las comunidades de flora y fauna que viven en dichos hábitats.

Consecuentemente, la localización física de las áreas donde se generan estos impactos se condice con la ubicación de las obras principales del Proyecto en la caja del río San Pedro, a saber: la superficie inundada por el embalse que se extiende desde la cola del embalse hasta la presa que lo genera y, el tramo de 800 metros que queda aguas abajo de la presa hasta el punto de restitución de las aguas. En particular, respecto de esta última zona, la alteración y disminución del hábitat fluvial en dicho tramo se determinó como "impacto alto" (ver ISF-3 en páginas 6-34 y 6-112 del EIA).

Al mismo tiempo, se debe indicar que dado el funcionamiento que tendrá la Central en cuanto a que no regulará los caudales pasantes, el sistema fluvial aguas abajo de la restitución de las aguas conservará su régimen natural de caudal intacto, sin alteraciones. Esto permitirá que los 25 km del río San Pedro aguas abajo del embalse, y su continuidad en el sistema fluvial Calle-Calle/Valdivia hasta el Océano Pacífico, mantengan sus características ecológicas, y por ende, lo más valioso de este sistema ambiental, cual es la disponibilidad de hábitats para la flora y fauna de peces nativos presentes en este río.

En este sentido, cabe destacar que el criterio de no regular los caudales aguas abajo de la restitución se considera el elemento fundamental y más relevante para velar por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, cual es el objetivo de la disposición de establecer un caudal ecológico según lo indicado en la modificación del Código de Aguas del año 2005.

A ello debe sumarse que el Titular condujo un cuidadoso proceso de investigación y caracterización del ecosistema afectado (con particular énfasis en los peces) para identificar las medidas de mitigación y/o compensaciones más apropiadas. Estas medidas, descritas en el Capítulo 7 del EIA, son específicas para cada

una de las 13 especies identificadas de peces nativos y consideran los acabados conocimientos generados con respecto de su estructura, abundancia, patrones de comportamiento y migración y, en opinión de los expertos que realizaron la investigación (Centro EULA), son suficientes para cumplir con el objetivo de conservar la dinámica y estructura del sistema fluvial.

Respecto del tramo entre la presa y el punto de devolución de las aguas, que es considerado parte del Proyecto, y por lo tanto área intervenida, Colbún S.A. está proponiendo como medida de mitigación del impacto en dicha zona, mantener un espejo de agua con renovación natural y/o asistida en los términos señalados más adelante, para asegurar que se mantengan las condiciones bióticas adecuadas para la sustentabilidad de un ecosistema.

Es también opinión de los expertos del Centro EULA, que el escurrimiento de un determinado caudal en dicho tramo no tiene relevancia ambiental por cuanto no modifica ni disminuye el impacto del Proyecto sobre las poblaciones y comunidades de peces nativos del río San Pedro, siendo su contribución más bien escénica, en un sector del río (entra la presa y el punto de devolución al río) donde actualmente no hay acceso libre por tratarse de predios particulares y, a futuro, y por razones de seguridad del Proyecto, el acceso también será restringido.

Para dicho tramo se ha propuesto una medida de mitigación ambiental con dos ejes fundamentales: la continuidad y la renovación

del cuerpo de agua que permitan mantener condiciones bióticas adecuadas en dicho tramo.

### Continuidad del cuerpo de agua

Para los escenarios hidrológicos y de operación, los estudios de ingeniería hidráulica han indicado que el cuerpo de agua existente en dicho tramo llegará hasta el colchón dissipador que existirá al pie de la presa.

En el caso más desfavorable, correspondiente al mínimo de operación de 75 m<sup>3</sup>/s y que tiene una ocurrencia muy baja (1,2% del tiempo), el río quedará confinado aproximadamente al rebaje y perfilamiento propuesto para el cauce de 62 m de ancho (para más antecedentes del rebaje, ver respuesta a la pregunta 22 de la presente Adenda).

### Renovación del cuerpo de agua

#### Renovación natural

Cuando el caudal en el río San Pedro sea mayor al caudal máximo de generación, se verterá la diferencia desde la presa, la que escurrirá por el tramo intervenido (considerando la estadística de los caudales medios diarios en la Estación San Pedro en desagüe Lago Riñihue de la DGA). El cuerpo de agua que existirá en dicho tramo se renovaría naturalmente durante un 29% de los días del año, con una distribución mensual (porcentaje de días del mes con vertimiento) que se presenta en la siguiente tabla. Esto corresponde a los días para los cuales habrá un caudal superior a los 460 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 11. Porcentaje de días-mes con vertimiento natural

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2%	0%	0%	3%	21%	59%	69%	67%	56%	29%	23%	16%	29%

Fuente: Porcentajes estimados a partir de la estadística de Caudales Medios Diarios en Estación San Pedro en desagüe Lago Riñihue (1985-2007).

Fuente: EIA CH San Pedro, Colbún 2007.

Lo anterior no considera los vertimientos que ocurran cuando el caudal entrante sea inferior al mínimo de operación de la Central (75 m<sup>3</sup>/s). Respecto de ello, se destaca que en este escenario la Central quedará fuera de operación y todo el caudal entrante será vertido por la presa renovando el tramo comprendido entre la presa y el punto de restitución.

La medición de los caudales vertidos en forma natural está asociada a la curva de descarga del vertedero de la presa; la que será desarrollada antes del periodo de llenado del embalse y calibrada una vez que el proyecto entre en operación. En la etapa de operación se llevará un registro en tiempo real del caudal vertido.

## Renovación asistida y controlada

Para los períodos en que no exista vertimiento natural desde la presa, debido a que los caudales afluentes estarán dentro del rango de operación de la central (75 a 460 m<sup>3</sup>/s), el volumen de agua del tramo de 800 metros comprendido entre la presa del embalse San Pedro y el punto de restitución, podrá ser renovado mediante vertimientos controlados desde el vertedero de la presa.

Ello no implicará variaciones en el volumen o nivel del embalse sino simplemente que una fracción de las aguas salientes del embalse serán utilizadas para renovar el tramo en vez de ser generadas por la Central y entregadas en el punto de restitución.

Esta renovación será asistida y controlada, se efectuará en períodos sin vertimiento natural y cuando sea necesario evitar un cambio significativo de las condiciones de calidad del agua en el tramo, en consideración a lo siguiente:

- Con una frecuencia máxima de una vez por día (durante periodos en que no existan vertimientos naturales), durante horas de la madrugada (00:00 horas a 05:00 horas) y limitados al volumen que posea el cuerpo de agua antes del vertimiento (lo que implica vertimientos que fluctuarán entre 1 y 12 m<sup>3</sup>/s para un cuerpo de agua entre 18.000 m<sup>3</sup> y 216.000 m<sup>3</sup>). Los vertimientos que se realicen en cada oportunidad deberán permitir la renovación completa del cuerpo de agua en dicho tramo, en un plazo máximo de 5 horas.
- Estos vertimientos se generarán en función de los parámetros de temperatura y oxígeno medidos en el agua, los cuales serán controlados con sensores específicos en tiempo real y serán comparados con los valores correspondientes medidos inmediatamente aguas abajo de la restitución (Estación E-3 de la línea de base y plan de seguimiento).

Las condiciones de normalidad de temperatura y oxígeno serán referidas a lo determinado en el estudio de línea base (Capítulo 6 del EIA); es decir, para los parámetros indicados los valores debieran encontrarse entre los rangos de mínimo y máximo, según el parámetro que se trate, teniendo especial atención a las condiciones en primavera y verano, estaciones del año donde se expresan los procesos ecológicos y biológicos de mayor significado para la conservación de

la biota acuática. Al igual que la línea base, las mediciones se harán a nivel de superficie.

No obstante lo anterior, se definen como umbrales que gatillarán la necesidad de iniciar un vertimiento controlado, un valor máximo de 22°C para temperatura y un mínimo de 8 mgO<sub>2</sub>/L para oxígeno disuelto. Ello se define con el objetivo de:

- o Evitar un cambio significativo de las condiciones de calidad del agua, en particular impedir que se produzcan eventos de calentamiento y/o disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto de la columna de agua.
- o Evitar el crecimiento de algas planctónicas y bentónicas filamentosas, las cuales podrían ocupar parte importante del tramo, generando finalmente un ambiente anóxico no apto para los eslabones superiores de la cadena trófica que estaba establecida en el sistema fluvial no intervenido o hacia aguas abajo.

Sin perjuicio de ello, se propone desarrollar un estudio específico que permita precisar los rangos y umbrales correspondientes para ambos indicadores. Por otra parte, la selección del sitio específico de emplazamiento de los sensores se determinará sobre la base de las topografías y perfiles batimétricos del tramo señalado, una vez efectuado el perfilamiento del cauce.

En adición a ello, debe considerarse que la componente calidad del agua en el tramo ha sido incorporada en el Plan de Seguimiento Ambiental del proyecto (Anexo XII de la Adenda 2) por lo que los parámetros serán monitoreados y reportados en forma permanente (tanto en períodos de renovación natural como asistida). De esta manera, los datos que entregarán los sensores en tiempo real, se complementarán con los datos del resto de los parámetros físicos, químicos, microbiológicos, más los muestreos biológicos que se deberán a lo menos medir en las 4 estaciones del año, como parte del Plan de Seguimiento Ambiental.

Las medidas anteriores favorecerán la renovación de la masa de agua en el tramo, de modo de mantener una calidad de aguas adecuada para la biota acuática. Al respecto, considerando el cambio de las condiciones del cauce en este sector, se espera la presencia de especies

adaptadas a ambientes más lénticos, tales como el Cheirodon australe (Pocha) o Galaxias maculatus (Puye chico), en vez de especies con requerimientos de hábitat de aguas más correntosas.

En conclusión, con las medidas mencionadas anteriormente para el tramo de 800 metros comprendido entre la presa del embalse San Pedro y el punto de restitución de la central homónima, que forma parte del área intervenida del Proyecto, con las medidas de mitigación propuestas se está asegurando el cumplimiento de los requerimientos de la modificación del Código de Aguas del año 2005 respecto a velar por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, y, lo más relevante, el Proyecto permite que aguas abajo de la restitución, se conserve el régimen fluvial, manteniendo las características ecológicas y de hábitat para la flora y fauna existentes.

## 2. Pregunta 30 (COREMA Región de Los Ríos)

El titular indica en la pregunta N°11 del adenda N°1 que desde el pie de la presa hasta el punto de restitución el caudal ecológico corresponde a un espejo de agua eso se puede entender que en época de alto nivel se formará un flujo de agua de 37 m<sup>3</sup>/s, sin embargo, para época de bajo nivel se formarán pozones en este sector. Al respecto, el titular deberá aclarar si esta condición generará efectos relacionados con la modificación de las características oligotróficas del río.

### Respuesta

Según lo expuesto en la respuesta a la pregunta anterior, incluso en épocas de bajo nivel el tramo entre la presa y el punto de restitución mantendrá un cuerpo de agua continuo. En ningún caso se formarán en el tramo pozones aislados.

Respecto de las características de calidad del hábitat del tramo, se velará por mantener una calidad de aguas adecuada para la biota acuática. Lo anterior se logra monitoreando dos condiciones esenciales de la columna de agua: su temperatura y concentración de oxígeno. En el caso de que se presenten eventos en que las condiciones de temperatura o concentración de oxígeno estén fuera de los rangos considerados como aceptables, se generará un vertimiento en las condiciones que se mencionan en la respuesta a la pregunta 30.

Al respecto, debe dejarse en claro que en épocas de bajo caudal, se espera que dicho tramo no siga albergando la misma ictiofauna, debido a que las especies que habitan dicho tramo en la actualidad presentan requerimientos de hábitat de aguas más correntosas. Por lo anterior, en este tramo se beneficiarán especies adaptadas a ambientes más lénticos, tales como el Cheirodon australe (Pocha).

Como conclusión y tal como se indicó en la Adenda N°1 se destaca que esta propuesta permite asegurar que el cuerpo de agua que se generará en el tramo poseerá las características de calidad adecuadas para la presencia de biota acuática de buena calidad.

### A.1.3 Adenda 3

#### 1. Pregunta 4 (COREMA Región de Los Ríos)

Como bien señala el titular en consideración al impacto propio de la creación de la represa de aislamiento e interrupción del cauce natural del río, se considera relevante para la mantención de la fauna de peces del río San Pedro el asegurar la conservación del tramo bajo la presa y caudal ecológico por lo cual se reiteran las observaciones emitidas mediante oficio Ord Sernapesca N° 145 del 30 de abril de 2008 a las cuales esta Subsecretaría se sumó mediante Of Ord N° 769 del 23 de abril de 2008, en cuanto a que el caudal ecológico debiera ser aquel caudal de agua no intervenido por el proyecto para el mantenimiento no sólo de las condiciones físicas o hídricas sino también bióticas, fundamentalmente de las comunidades de peces nativos que alberga, lo anterior puesto que el caudal será entubado por más de 650 metros además de turbinado.

### Respuesta:

El diseño del proyecto, en particular su modo de operación sin regulación de caudales pasantes y sus medidas de manejo ambiental, en particular aquellas de carácter bióticas que incluyen evitar el ingreso de fauna íctica al túnel de aducción, que han sido definidas en el EIA y sus adenda, se hacen cargo de los impactos identificados y permitirán el mantenimiento de las comunidades de peces nativos en la zona del río San Pedro.

Los sistemas comprometidos para evitar el ingreso de fauna íctica al túnel de aducción, y en consecuencia a las turbinas, aseguran el mantenimiento de las condiciones bióticas que pudieran verse afectadas por el entubamiento o turbinado del caudal.

### A.1.3 Resolución de Calificación Ambiental (RCA) (Extracto relacionado al caudal ecológico)

República de Chile  
Comisión Regional del Medio Ambiente  
Región de Los Ríos

RESOLUCIÓN EXENTA N° 0118 / 2008  
Valdivia, 23 de octubre de 2008

#### CONSIDERANDO Tiempo de llenado

De acuerdo con lo indicado en el EIA y los adendas N°1 y N°2:

El llenado se realizará bajo las siguientes premisas:

- Este debe ser lento para permitir la migración de especies terrestres y rescate de las mismas, según los planes de mitigación indicados,
- El llenado de los 30 millones de m<sup>3</sup> demorará unos doce días aproximadamente para lo cual se utilizará un caudal máximo de llenado de 30 m<sup>3</sup>/s.
- Durante el proceso de llenado el caudal aguas abajo de la presa no podrá ser inferior a 37m<sup>3</sup>/s, de manera de asegurar un caudal pasante significativo en el río. De este modo, bajo las condiciones hidrológicas que presenten caudales salientes del lago Riñihue inferiores a 67m<sup>3</sup>, el llenado del embalse durará más de doce días.

Por lo señalado, se entiende por caudal pasante significativo al caudal saliente del Lago Riñihue disminuido en 30 m<sup>3</sup>/s, con un inferior de 37m<sup>3</sup>/s.

#### Operación para manejo de Caudal Ecológico.

La DGA, en el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas indica: " la titular de los derechos de aprovechamiento deberá dejar pasar aguas abajo de los puntos de captación, un caudal no inferior a 37m<sup>3</sup>/s para preservar el equilibrio del sector.

En el EIA el titular señala que estos 37m<sup>3</sup>/s serán utilizados para la producción de energía, siendo turbinados y devueltos al cauce 800 metros aguas abajo de la presa.

Entre el pie de la presa y la devolución de la aguas turbinadas al río (aprox.800 m.), las obras previstas permitirán que parte del agua se devuelva hacia el pie de la presa, manteniendo un espejo de agua con renovación natural y/o asistida en los términos señalados más adelante, para asegurar que se mantengan las condiciones bióticas adecuadas para la sustentabilidad de un ecosistema.

Las obras para dar cumplimiento a lo expuesto se encuentran detalladas en el Adenda N°2, las cuales consistirán en un canalón excavado en el fondo del lecho del río San Pedro, inmediatamente aguas abajo de la presa y el dissipador de energía.

Esta obra se ejecutará con posterioridad a la puesta en servicio de la central, para lo cual se secará provisoriamente un tramo de 0.6 km del río.

Una vez seco el tramo, donde proceda rebajar el lecho del río para mantener la continuidad del cuerpo de agua, se excavará un canalón de ancho basal 62 m y taludes 1:1. El rebaje se realizará

mediante tronaduras controladas en los sectores con roca más dura y con máquina retroexcavadora en los sectores de rellenos fluviales; el material extraído se llevará al botadero A adyacente.

### Porcentaje de días-mes con vertimiento natural

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2%	0%	0%	3%	21%	59%	69%	67%	56%	29%	23%	16%	29%

Fuente: Porcentajes estimados a partir de la estadística de Caudales Medios Diarios en Estación San Pedro en desagüe Lago Riñihue (1985-2007).

Lo anterior no considera los vertimientos que ocurran cuando el caudal entrante sea inferior al mínimo de operación de la Central. Respecto de ello, se destaca que en este escenario la Central quedará fuera de operación y todo el caudal entrante será vertido por la presa renovando el tramo comprendido entre la presa y el punto de restitución.

La medición de los caudales vertidos en forma natural está asociada a la curva de descarga del vertedero de la presa; la que será desarrollada antes del periodo de llenado del embalse y calibrada una vez que el proyecto entre en operación. En la etapa de operación se llevará un registro en tiempo real del caudal vertido.

### Renovación asistida y controlada

Para los períodos en que no exista vertimiento natural desde la presa, debido a que los caudales afluentes estarán dentro del rango de operación de la central, el volumen de agua del tramo de 800 metros comprendido entre la presa del embalse San Pedro y el punto de restitución, podrá ser renovado mediante vertimientos controlados desde el vertedero de la presa.

Ello no implicará variaciones en el volumen o nivel del embalse sino simplemente que una fracción de las aguas salientes del embalse serán utilizadas para renovar el tramo en vez de ser generadas por la Central y entregadas en el punto de restitución.

Esta renovación será asistida y controlada, se efectuará en períodos sin vertimiento natural y cuando sea necesario evitar un cambio significativo de las condiciones de calidad del agua en el tramo, en consideración a lo siguiente:

Con una frecuencia máxima de una vez por día (durante periodos en que no existan vertimientos naturales), durante horas de la madrugada (00:00 horas a 05:00 horas) y limitados al volumen que posea el cuerpo de agua antes del vertimiento (lo que implica vertimientos que fluctuarán entre 1 y 12 m<sup>3</sup>/s para un cuerpo de agua entre 18.000 m<sup>3</sup> y 216.000 m<sup>3</sup>). Los vertimientos que se realicen en cada oportunidad deberán permitir la renovación completa del cuerpo de agua en dicho tramo, en un plazo máximo de 5 horas.

- Estos vertimientos se generarán en función de los parámetros de temperatura y oxígeno medidos en el agua, los cuales serán controlados con sensores específicos en tiempo real y serán comparados con los valores correspondientes medidos inmediatamente aguas abajo de la restitución (Estación E-3 de la línea de base y plan de seguimiento).
- Las condiciones de normalidad de temperatura y oxígeno serán referidas a lo determinado en el estudio de línea base (Capítulo 6 del EIA); es decir, para los parámetros indicados los valores debieran encontrarse entre los rangos de mínimo y máximo, según el parámetro que se trate, teniendo especial atención a las condiciones en primavera y verano, estaciones del año donde se expresan los procesos ecológicos y biológicos de mayor significado para la conservación

de la biota acuática. Al igual que la línea base, las mediciones se harán a nivel de superficie. No obstante lo anterior, se definen como umbrales que gatillarán la necesidad de iniciar un vertimiento controlado, un valor máximo de 22°C para temperatura y un mínimo de 8 mgO<sub>2</sub>/L para oxígeno disuelto. Ello se define con el objetivo de:

- Evitar un cambio significativo de las condiciones de calidad del agua, en particular impedir que se produzcan eventos de calentamiento y/o disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto de la columna de agua.
- Evitar el crecimiento de algas planctónicas y bentónicas filamentosas, las cuales podrían ocupar parte importante del tramo, generando finalmente un ambiente anóxico no apto para los eslabones superiores de la cadena trófica que estaba establecida en el sistema fluvial no intervenido o hacia aguas abajo.

Sin perjuicio de ello, se propone desarrollar un estudio específico que permita precisar los rangos y umbrales correspondientes para ambos indicadores. Por otra parte, la selección del sitio específico de emplazamiento de los sensores se determinará sobre la base de las topografías y perfiles batimétricos del tramo señalado, una vez efectuado el perfilamiento del cauce.

En el Adenda 3 el titular agrega que la profundidad del cuerpo de agua que existirá en el tramo entre el pie de la presa y la descarga de la central es variable debido a lo irregular del fondo del río. Lo anterior se traduce en que la profundidad del cuerpo de agua variará entre 0,9 m y 4,0 m para el escenario de 72 m<sup>3</sup>/s y entre 3,2 m y 6,0 m para el escenario de 460 m<sup>3</sup>/s. De este modo es posible señalar que para todo el rango de caudales afluentes al embalse San Pedro, para los cuales existirá vertimiento controlado, la profundidad mínima que podrá tener el cuerpo de agua en algunos puntos será de 0,9 m, en tanto que la mayor podrá ser de 6,0 m dependiendo del caudal existente. Para los vertimientos controlados se obtendrá una lámina de agua que fluctuará entre 62,90 m.s.n.m. para 72 m<sup>3</sup>/s en el río San Pedro, y 65,20 m.s.n.m. para 460 m<sup>3</sup>/s.

Estas fluctuaciones serán graduales y progresivas y responden a las posibles variaciones naturales de nivel para distintos caudales en el río, dada la geometría propuesta para el tramo entre el pie de presa la zona de restitución.

Por su parte, el volumen de agua en el tramo comprendido entre el pie de presa y la restitución, define el caudal que se debe verter en forma controlada desde la presa con la finalidad de asegurar su renovación total, en un lapso de tiempo de 5 hrs cuando sea necesario para mantener la calidad del agua:

- Caudal de renovación para 72 m<sup>3</sup>/s = 18.000 m<sup>3</sup>/ 5 hrs = 1 m<sup>3</sup>/s
- Caudal de renovación para 460 m<sup>3</sup>/s = 216.000 m<sup>3</sup>/ 5 hrs = 12 m<sup>3</sup>/s

Sin perjuicio de ello y sobre la base de las topografías y perfiles batimétricos, que resulten una vez efectuado el perfilamiento del cauce del tramo entre el pie de la presa y la zona de la restitución, el titular se compromete a definir registro verificables del volumen y altura de agua del tramo y de los caudales vertidos en forma controlada:

- Volumen: se establecerá una curva que relacione el caudal generado con el volumen existente en el cuerpo de agua.
- Caudales: se llevará un registro en tiempo real de los vertimientos controlados.
- Altura de agua: se determinará la ubicación de regletas de nivel, entre el pie de presa y la zona de restitución, que permitan relacionar la altura medida con el volumen existente en el cuerpo de agua.

Lo anterior se entregará a la autoridad ambiental durante el primer año de operación de la central y en la forma de un proyecto final de la modificación del cauce del tramo.

En la ejecución del proyecto el titular deberá cumplir con las siguientes condiciones o exigencias realizadas por esta Comisión y por los órganos del Estado con competencia ambiental que participaron en la evaluación ambiental:

En relación con las obras de modificación de cauce a realizarse aguas abajo de la presa, el titular deberá presentar a la autoridad competente para su aprobación el proyecto correspondiente. Para que dicha condición cumpla con el objetivo que se propone, esto es dar cumplimiento a la renovación del cuerpo de agua ubicado en los 800 metros aguas abajo de la presa (operación para manejo del caudal ecológico), resulta indispensable que dicho proyecto sea presentado a la autoridad competente previo a la fase de construcción de la central, a fin de que dicha modificación de cauce se encuentre completamente operativa desde el momento en que la central entre en operación.

#### **LA COMISIÓN REGIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DE LA REGION DE LOS RÍOS RESUELVE:**

**CALIFICAR FAVORABLEMENTE** el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto " Central hidroeléctrica San Pedro" del titular Colbún S.A., sujeto al cumplimiento estricto de todos los requisitos, normas, medidas, condiciones, exigencias, compromisos y/u otras obligaciones establecidas en la presente Resolución, en el Estudio de Impacto Ambiental y sus Adendas, en el informe Consolidado de Evaluación, y demás antecedentes que constan en el expediente de evaluación de impacto ambiental, todos los cuales se entienden formar parte integrante de este acto administrativo. Sin perjuicio de ello, las condiciones y exigencias establecidas expresamente en el presente acto administrativo prevalecerán sobre aquellas condiciones y exigencias contenidas en los documentos antes señalados, si aquellas pugnan con estas últimas.

Notifíquese y archívese

**Iván Flores García**  
**Intendente**  
**Presidente Comisión Regional del Medio Ambiente**  
**Región de Los Ríos**

## A.2 CENTRAL HIDROELÉCTRICA ÑUBLE DE CGE GENERACIÓN

### A.2.1 Adenda 1

#### 1. Pregunta 4.2.3.2 (CONAF):

De la Tabla HD-4, que contiene los caudales medios mensuales en la bocatoma del proyecto, se desprende que en el periodo estival, más específicamente entre los meses de enero a mayo, el caudal medio mensual de casi 60 años no alcanza el caudal de diseño y para los meses de marzo y abril el caudal mínimo esta muy cerca o es inferior al caudal ecológico definido. Se solicita informar las consecuencias de ello para con la operación del proyecto durante dichos meses.

#### Respuesta:

El caudal de diseño de una central hidroeléctrica de pasada se determina a partir de los recursos de agua disponibles conforme a estudios técnico-económicos. En el caso de la Central Ñuble, se llegó así a definir un caudal de diseño (máximo) de 100 m<sup>3</sup>/s.

Siendo los caudales del río variables a lo largo del tiempo, tanto dentro del año como de un año a otro, en una central de pasada, que no cuenta con un embalse de regulación (que es el caso de este proyecto), los caudales utilizables para ser generados serán también variables entre un cierto valor mínimo y el caudal máximo de diseño de la central. El caudal mínimo de operación está relacionado con el número y características de las turbinas hidráulicas que se instalen en la central. En el caso de la central Ñuble, se considera la instalación de dos unidades generadoras, con un caudal mínimo de operación de cada una de ellas de alrededor de 15 m<sup>3</sup>/s.

En consecuencia, el caudal de operación de la Central será igual al caudal del río Ñuble en la bocatoma menos el caudal ecológico que se deberá dejar pasar a todo evento (7,75 m<sup>3</sup>/s conforme a los estudios que se incluyen en el EIA), con un límite mínimo de 15 m<sup>3</sup>/s y un límite máximo de 100 m<sup>3</sup>/s. Esto significa que cuando el caudal del río Ñuble, en el sitio de bocatoma, sea inferior a 22,75 m<sup>3</sup>/s la central estará detenida y podrá funcionar cuando se disponga de caudales superiores a este mínimo y lo hará hasta con un máximo de 100 m<sup>3</sup>/s.

Sin perjuicio de lo anterior, de acuerdo a la estadística fluviométrica disponible para el río

Ñuble, en el sitio de la bocatoma de la central, para el período Abril 1942 – Marzo de 2005, el caudal medio mensual del río varía entre un mínimo de 6,8 m<sup>3</sup>/s (Abril 1999) y 476,7 m<sup>3</sup>/s (Octubre de 1944), siendo su valor promedio de 91,6 m<sup>3</sup>/s. Considerando el caudal ecológico de 7,75 m<sup>3</sup>/s a entregar a todo evento y los caudales mínimos (15 m<sup>3</sup>/s) y máximo (100 m<sup>3</sup>/s) de operación, se llega a que el caudal generable en la central variará entre 15 m<sup>3</sup>/s y 100 m<sup>3</sup>/s, siendo el valor promedio de 62,2 m<sup>3</sup>/s.

Como consecuencia de lo señalado en los párrafos anteriores, en términos de operación, el proyecto no podrá operar cada vez que el río en el área de bocatoma cuente con un caudal menor a 22,75 m<sup>3</sup>/s y cada vez que en este punto se sobrepasen aproximadamente los 120 m<sup>3</sup>/s se comenzarán a abrir las compuertas para que lentamente escurra el exceso por el actual lecho del río.

#### 2. Pregunta 1.5 (SERNAPESCA)

En relación con la determinación del caudal ecológico (Punto 1.4.3), que en el EIA se realiza a través de la metodología del “perímetro mojado”, se debe indicar que éste método sólo considera aspectos hidráulicos y no a la componente biótica; por tanto se solicita al Titular, que presente otras metodologías que permitan determinar caudales mínimos aconsejables, por ejemplo, aplicando la metodología IFIM-PHABSIM que corresponde a la Metodología Incremental para la Determinación de Caudales Mínimos Aconsejables (IFIM: Instream Flow Incremental Methodology), la que incluye un sistema de simulación de hábitat de tipo modular (PHABSIM), compuesto por una librería de modelos de simulación interconectados que permiten describir las características temporales y espaciales del hábitat que resulta de una determinada alternativa de regulación de un río. En este sentido, esta metodología es de tipo adaptativa, ya que los distintos modelos que la componen pueden ser combinados para adaptarse a distintos escenarios de análisis.

#### Respuesta:

La determinación del caudal ecológico se realizó mediante la metodología del perímetro mojado, que aún cuando considera básicamente aspectos hidráulicos también utiliza aspectos biológicos en cuanto a la restricción de la altura y ancho del lecho mínimos.

Sin perjuicio de lo anterior, y de acuerdo a lo solicitado por la autoridad, se modeló el caudal ecológico utilizando la Metodología

Incremental para la Determinación de Caudales Mínimos Aconsejables IFIM<sup>19</sup> Phabsim. Cabe destacar que este modelo, elaborado por el USGS<sup>20</sup>, de Estados Unidos, requiere de una base de datos significativa para su aplicación, situación no disponible para la gran mayoría de nuestros cuerpos de agua. El modelo requiere de registros completos que incluyan 5 áreas prioritarias: hidrológica, hidráulica, calidad físico química, calidad microbiológica y biótica.

En Chile, la aplicación del modelo se ha realizado sólo en contadas ocasiones: Proyecto Hidroeléctrico Quilleco en el río Laja y EIA Embalse Punilla en el mismo río Ñuble, por ejemplo. Sin embargo, todos estos casos corresponden a una adaptación del método, ya que no se ha contado con toda la base de información requerida.

Además, de acuerdo con la información presentada en la VI Jornadas del CONAPHI, 1999, ya desde ese año se estaría trabajando en la verificación de la aplicabilidad del método en nuestro país, no existiendo información disponible de sus resultados, a la fecha.

Sin perjuicio de lo anterior, para el caso específico de este proyecto, la aplicación del modelo realizado, consideró las 5 áreas prioritarias, utilizando la mejor información disponible, registrada en las distintas labores de terreno realizadas como parte de la etapa de levantamiento de información del proyecto. De acuerdo a lo anterior, en Anexo 13, se presentan los resultados de la aplicación de la Metodología Incremental para la Determinación de Caudales Mínimos Aconsejables IFIM Phabsim, utilizando toda la información hidráulica y biológica disponible, y su adaptación a los requerimientos del modelo.

Cabe destacar que el modelo no entrega como resultado un número sino un área superficial de un hábitat óptimo, el cual varía en función de las especies y el estado de desarrollo considerados en el estudio. De la caracterización de las variables, se asignó como óptimo un rango entre 5 y 10 m<sup>3</sup>/s para las especies *Diplomystes nahuelbutaensis* y *Trichomycterus aerolatus* (utilizadas por ser nativas). Por lo que se confirma que el caudal ecológico calculado mediante en método de Perímetro Mojado (7,75 m<sup>3</sup>/s) responde favorablemente al rango óptimo determinado mediante IFIM Phabsim.

### 3. Pregunta 3.6 (SERNAPESCA)

Según el Punto 4.3.3.3, referido a resultados sobre muestreo de fauna íctica, se reconoce que los sitios o estaciones 3, 6 y 7 presentan una mayor riqueza de especies, de las cuales la mayoría corresponde a especies en categoría de conservación vulnerable y en peligro de extinción. En este sentido, considerando que es justamente este tramo del río el que dispondrá sólo del caudal ecológico, se requiere de medidas compensatorias sobre la fauna íctica y la biota acuática, en general, como por ejemplo, acciones referidas a protección de hábitat para el desove, crecimiento y alimentación.

#### Respuesta:

Al respecto se debe considerar, que las características de las especies nativas que habitan el área del proyecto, utilizan preferentemente pozones de agua con bajo caudal y por lo tanto la disminución de agua producto de las actividades del proyecto no deberían generar impactos significativos. Sin perjuicio de lo anterior, y en caso que los resultados de los monitoreos muestren efectos en la fauna íctica producto de la operación del proyecto, CGE Generación S.A. ampliará el Plan de Rescate y Relocalización (ver detalle en la respuesta a la consulta del numeral 3.1 de este mismo oficio) no sólo al área de la poza y la barrera de bocatoma sino que también a aquellas áreas que estén entre la bocatoma y la descarga y cuenten con la presencia de las especies objetivo.

### 4. Pregunta 4.3 (SERNAPESCA)

En esta misma componente se debería agregar el impacto sobre el "hábitat de cuales la mayoría corresponde a especies en categoría de conservación vulnerable y en peligro de extinción. En este sentido, considerando que es justamente este tramo y de la zona de caudal ecológico, que tendrán efectos sobre el sistema del Río Ñuble.

#### Respuesta

Por favor, remitirse a respuesta entregada a consulta anterior. Sin perjuicio de lo anterior, cabe destacar que CGE Generación S.A. asume el impacto señalado en la consulta, razón por la que está comprometiendo medidas que mitiguen su efecto.

### 5. Pregunta 5.5 (SERNAPESCA)

Asociado al Párrafo 3.6. del presente informe de evaluación del EIA, se solicita al Titular incorporar medidas compensatorias para la biota acuática y fauna de peces nativos, en

particular, frente al impacto que generará la disminución de caudal del Río Ñuble, en el tramo del caudal ecológico.

#### Respuesta

Por favor, ver respuesta consulta 5.4 de este apartado.

#### 6. Pregunta a.1.6 (DGA)

El EIA incorpora un cálculo del caudal ecológico de 7,75 m<sup>3</sup>/s, mediante el Método del Perímetro Mojado, considerando una profundidad media de 30 cm.

#### Respuesta

Por favor remitirse a respuesta entregada en esta Adenda a pregunta 1.5 elaborada por Sernapesca.

#### 7. Pregunta a.1.7 (DGA)

Este valor es similar al menor caudal que se puede determinar a partir de metodologías basadas en antecedentes estadísticos de caudal, entre las cuales existen otras que determinan valores superiores al propuesto.

#### Respuesta

Por favor remitirse a respuesta entregada en esta Adenda a pregunta 1.5 elaborada por Sernapesca.

#### 8. Pregunta a.1.8 (DGA)

Por otro lado, el valor propuesto en el EIA es similar al caudal registrado en la temporada de estiaje 1998/99, correspondiente a un período de escasez hidrológico en el país.

#### Respuesta

Por favor remitirse a respuesta entregada en esta Adenda a pregunta 1.5 elaborada por Sernapesca.

#### 9. Pregunta a.1.9 (DGA)

Por lo expuesto, este Servicio estima que el caudal ecológico a respetar, debe considerar en su determinación, aspectos relacionados con las especies efectivamente existentes en el nivel acuático local en estudio, y que aseguren mantener otras actividades turísticas y recreacionales que se efectúan en el área en estudio, como balnearios, pesca, bajadas de río, etc. las cuales no son compatibles para profundidades de agua de 30 cm, propuesto en el EIA.

#### Respuesta

Por favor remitirse a respuesta entregada en esta Adenda a pregunta 1.5 elaborada por Sernapesca.

#### 10. Pregunta 15.1.3 (SUBPESCA)

La central tendría un caudal de diseño es de 100 m<sup>3</sup>/s, pero operaría a un caudal medio de 62 m<sup>3</sup>/s. Según Tabla HD-4 (Pág. 4-18), de acuerdo a datos obtenidos en el sector de la bocatoma, habrían 4 meses (enero-abril) en que el caudal promedio sería menor al de operación, por lo tanto, deberá indicar cómo operará durante ese período, para dar cumplimiento y mantener el caudal ecológico.

#### Respuesta:

El caudal de diseño de una central hidroeléctrica de pasada se determina a partir de los recursos de agua disponibles conforme a estudios técnico-económicos. En el caso de la Central Ñuble, se llegó así a definir un caudal de diseño (máximo) de 100 m<sup>3</sup>/s.

Siendo los caudales del río variables a lo largo del tiempo, tanto dentro del año como de un año a otro, en una central de pasada, que no cuenta con un embalse de regulación, los caudales utilizables para ser generados serán también variables entre un cierto valor mínimo y el caudal máximo de diseño de la central. El caudal mínimo de operación está relacionado con el número y características de las turbinas hidráulicas que se instalen en la central. En el caso de la central Ñuble, se considera la instalación de dos unidades generadoras, con un caudal mínimo de operación de cada una de ellas de alrededor de 15 m<sup>3</sup>/s.

En consecuencia, el caudal de operación de la central Ñuble será igual al caudal del río Ñuble en la bocatoma menos el caudal ecológico que se deberá dejar pasar a todo evento (7,75 m<sup>3</sup>/s conforme a los estudios que se incluyen en el EIA), con un límite mínimo de 15 m<sup>3</sup>/s y un límite máximo de 100 m<sup>3</sup>/s. Esto significa que cuando el caudal del río Ñuble en el sitio de bocatoma sea inferior a 22,75 m<sup>3</sup>/s la central estará detenida y podrá funcionar cuando se disponga de caudales superiores a este mínimo y lo hará hasta con un máximo de 100 m<sup>3</sup>/s.

Sin perjuicio de lo anterior, de acuerdo a la estadística fluviométrica disponible para el río Ñuble, en el sitio de la bocatoma de la central, para el período Abril 1942 – Marzo de 2005, el caudal medio mensual del río varía entre un mínimo de 6,8 m<sup>3</sup>/s (Abril 1999) y 476,7 m<sup>3</sup>/s (Octubre de 1944), siendo su valor promedio de 91,6 m<sup>3</sup>/s. Considerando el caudal ecológico de 7,75 m<sup>3</sup>/s a entregar a todo evento y los caudales mínimos (15 m<sup>3</sup>/s) y máximo (100 m<sup>3</sup>/s) de operación, se llega a que el caudal generable en la central variará entre 15 m<sup>3</sup>/s y 100 m<sup>3</sup>/s, siendo el valor promedio de 62,2 m<sup>3</sup>/s.

Como consecuencia de lo señalado en los párrafos anteriores, en términos de energía generable anual, el proyecto no podrá operar cada vez que el río en el área de bocatoma cuente con un caudal menor a  $22,75 \text{ m}^3/\text{s}$  y cada vez que en este punto se sobrepasen aproximadamente los  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  se comenzarán a abrir las compuertas para que lentamente escurra el exceso por el actual lecho del río.

#### 11. Pregunta 15.1.8 (SUBPESCA)

El titular deberá referirse a las acciones para el manejo de la ribera a fin de evitar o minimizar la erosión y o el aporte por escurrimiento de productos vegetales o desechos de ganadería (material fecal), como consecuencia de la precipitación. Deberá referirse a los efectos previstos en la calidad del agua y productividad.

#### Respuesta:

A parte de las compuertas de la barrera móvil, la poza que forma la barrera de la bocatoma tendrá 3 obras para evacuar el caudal afluente a ella. Estas corresponden a la obra de entrega del caudal ecológico que se ubica a la cota 581 m.s.n.m. (la cota de fondo en la zona de compuertas es la 577,0 m.s.n.m. y la de operación normal de la barrera es la 590,6 m.s.n.m.), la bocatoma del canal de aducción de la central cuyo umbral se ubica a la cota 583,9 m.s.n.m. y la barrera fija, que constituye un vertedero cuya cresta está ubicada a la cota 590,60 m.s.n.m.

La operación de la barrera y bocatoma es la siguiente:

Todo el caudal que ingresa a la poza es evacuado desde ella haciendo uso de las obras de evacuación mencionadas más arriba. Es decir, el caudal afluente a la poza es idéntico al efluente y en consecuencia no existe ningún tipo de regulación de caudales.

Para caudales afluentes menores que  $107,75 \text{ m}^3/\text{s}$ , que corresponde al caudal de diseño de la central más el caudal ecológico recomendado en el EIA, éste es evacuado de la poza por la obra de entrega del caudal ecológico ( $7,75 \text{ m}^3/\text{s}$ ) más la captación por la bocatoma del canal de aducción (hasta  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Para caudales afluentes a la poza de valores entre  $107,75 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  el caudal se evacua de la poza por la entrega del caudal ecológico ( $7,75 \text{ m}^3/\text{s}$ ), la bocatoma del canal de aducción ( $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y por sobre el vertedero que constituye la parte fija de la barrera (hasta  $12,25 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Para caudales superiores a los  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  se abren las compuertas de la barrera para dejar pasar río abajo todo el caudal que excede los  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , que es lo que en esas condiciones capta el canal de aducción.

Por otra parte, existe una compuerta desripadora cuyo objetivo es mantener libre de sedimentos la zona de bocatoma que será operada periódicamente durante la época de caudales bajos.

En estas condiciones de operación no tiene sentido de hablar de tiempo de residencia del agua en la poza y no existe posibilidad de estratificación de la columna de agua. Por otra parte el aporte de productos vegetales o desechos de ganadería (material fecal) como consecuencia de la precipitación se produciría principalmente en invierno cuando los caudales afluentes a la poza son de valores que obligarán a tener abiertas las compuertas de la barrera móvil.

En consideración a los antecedentes anteriores se puede afirmar que no existirán problemas de calidad de aguas y productividad en la poza de la barrera de la bocatoma.

#### 12. Pregunta 15.7.2 (SUBPESCA)

Considerando que el funcionamiento de la central será permanente, el titular deberá referirse a acciones que realizará cuando el caudal sea inferior al mínimo requerido, considerando además el compromiso de mantener el caudal ecológico.

#### Respuesta:

La Central respetará el caudal ecológico en todos los periodos en que el caudal afluente a la zona de barrera y bocatoma sea mayor o igual al caudal ecológico. Como la poza no tiene ningún poder de regulación de las aguas que acceden a ella, en los periodos en que el caudal afluente a ella sea igual o menor que el afluente la central no podrá generar y se deberá detener.

#### 13. Pregunta 15.8.2 (SUBPESCA)

Deberá incorporar un plan de seguimiento permanente durante el periodo estival, para medir el caudal y para confirmar que el caudal ecológico cumple con el caudal mínimo aconsejable determinado mediante método de "perímetro mojado" (Anexo DP-2) definido para este cuerpo de agua y que corresponde a 30 cm de profundidad y 20 m de ancho mojado.

#### Respuesta:

Se instalará una estación limnigráfica aguas abajo de la barrera de la bocatoma en el lugar más próximo a ésta que sea técnicamente adecuado.

### A.2.2 Adenda 2

1. Pregunta 14 (COREMA Región del Bío-Bío) Página 72 y 73 de la Adenda, se requiere

que se presente un diagrama señalando la ubicación de los acuíferos con sus respectivas caracterizaciones hidrológicas y que se señalen los aportes de caudal hacia el río, tanto en el lado norte como en el lado sur, dado que, la disminución de caudal en los 20 km aproximados de río podría afectar la disponibilidad de agua.

#### Respuesta:

En la sección del Adenda N°1 señalada en la pregunta se presenta una caracterización de los cauces superficiales afluentes al río Ñuble y se indica el aporte de cada uno de éstos al río. En la pregunta que ahora se responde se solicita el aporte de los acuíferos señalando que la disminución de caudal en el tramo de caudal ecológico podría afectar la disponibilidad de agua.

En el Adenda N° 1, respuesta a las preguntas N° 4. y 5. formuladas por la Dirección General de Aguas, en que esta repartición solicitó un estudio hidrogeológico que, entre otras cosas determinara el sentido del escurrimiento subterráneo se concluye que el escurrimiento de los acuíferos es hacia el río y en consecuencia ellos alimentan al río y no viceversa.

El no considerar los aportes de los acuíferos al río en el tramo afecto al caudal ecológico corresponde entonces al peor escenario que se podría presentar respecto de la disponibilidad de agua. El titular del proyecto lo ha presentado de esta forma, de modo que la evaluación del impacto esté por el lado de la seguridad.

#### 2. Pregunta 16 (COREMA Región del Bío-Bío)

Es en esta instancia donde debe quedar claro que la construcción del proyecto no afectará los niveles freáticos de la zona a intervenir, esto quiere decir que, debe hacerse cargo tanto del lado norte como del lado sur del río Ñuble y establecer un Programa de Monitoreo que se debe evaluar y calificar en esta instancia.

#### Respuesta

La pregunta N° 2, letra i., formulada en el ICSARA N° 1 por la Dirección General de Aguas se pidió analizar las alteraciones de los niveles freáticos de los acuíferos presentes en el área de influencia del proyecto.

En relación con esa pregunta y refiriéndola al sector norte del río Ñuble, en su primer párrafo se señaló:

“el canal de aducción dispondrá de un revestimiento impermeable de hormigón y un sistema de drenaje que asegura mantener la napa bajo el radier del canal, además considera un número considerable de obras para el paso de la escorrentía superficial sobre éste. Las aguas que pasen sobre el canal como también las aguas que entregue el sistema de drenaje del revestimiento serán descargadas en los mismos cursos de agua que intercepta el canal.”

Por otra parte según lo señalado en la pregunta 7 del ICSARA N° 2, del Capítulo Descripción del Proyecto, el sentido del escurrimiento de los acuíferos del lado norte sería desde el cerro hacia el río.

De lo anterior se concluye que las obras de la central no afectarán el nivel freático del sector norte del río Ñuble.

Respecto del sector sur, se realizó una inspección en terreno sobre el abastecimiento de agua para bebida de todas las viviendas ubicadas vecinas al río Ñuble en el tramo sujeto a caudal ecológico y a una altitud de hasta 30 metros superior al nivel de aguas actual del río. Todas estas viviendas se abastecen de agua para bebida de vertientes permanentes que surgen en sus vecindades. Dado que las vertientes son surgencias de la napa a flor de tierra se puede afirmar que el nivel freático es bastante superficial y en consecuencia el sentido de su escurrimiento necesariamente debe ser hacia el río Ñuble. Las nuevas viviendas y sus fuentes de abastecimiento catastradas se han incluido en los planos Vertientes, pozos y cauces de agua, modificación 1 enero 2007 e Identificación de construcciones, modificación 1 enero 2007. En este último plano también se agregaron otras construcciones del sector sur del río Ñuble. (Ambos planos se muestran en el Anexo 1, adjunto a este Adenda N° 2)

De ésta manera se concluye que una baja de caudal en el río no afectará el nivel freático del acuífero del sector sur del río Ñuble.

#### 3. Pregunta 17 (COREMA Región del Bío-Bío)

El catastro de aguas presentado en el anexo 4 de la Adenda 1, sólo se realizó en el trayecto del canal de aducción, no se consideró el lado sur del río Ñuble. Para conocer los reales efectos que la baja de caudal puede tener sobre el comportamiento hidrológico con el consecuente impacto negativo para las personas que viven al lado sur del río. Es necesario que el Titular

extienda dicho catastro hacia esta área y a lo largo de todo el tramo afectado donde se ubiquen viviendas u otros usos del recurso hídrico. A la vez, ha de indicar en forma clara y precisa cual es la dirección en cual se mueven los acuíferos en el área afectada del río (lado norte y lado sur).

### Respuesta

Respecto del movimiento de los acuíferos, ellos se mueven desde el cerro hacia el río, tanto en el sector norte como en el sur del río Ñuble, tal como se explicó en la respuesta a la pregunta anterior.

En relación con el catastro solicitado, éste se completó para el sector sur del río en lo necesario para determinar el sentido del escurrimiento del acuífero del sector sur del río, lo que fue posible investigando el tipo de abastecimiento de agua de las viviendas ubicadas cercanas a las márgenes del río en el sector sur del río Ñuble que quedará expuesto al caudal ecológico a altitudes que no superen los 30 metros sobre el nivel de agua del río, lo que considera un amplio margen de seguridad ya que cursos de agua, superficiales o subterráneos, situados a una diferencia de altura respecto del río similar a los 30 metros de ninguna forma podrán ser afectados por una baja en el nivel de las aguas producto de la disminución de caudal en el tramo de caudal ecológico.

Por otra parte, en el sector sur del río Ñuble, en el tramo que interesa no existen otros usos del recurso hídrico que puedan ser afectados por la baja del caudal del río.

Los antecedentes recogidos en terreno se han agregado en el plano Vertientes, pozos y cursos de agua, modificación 1 enero 2007, incluido en el Anexo 1.

#### 4. Pregunta 18 (COREMA Región del Bío-Bío)

Se le solicitó al titular un estudio hidrogeológico del área de influencia del proyecto, caracterizando los acuíferos del área de impacto directo del tramo del río afectado, no obstante, sólo se remite al área de trazado del canal, dejando fuera el lado sur del río Ñuble que se verá afectado por la drástica baja de caudales. Se solicita ampliar en detalle dicha información estimando el volumen de los acuíferos que arroje el estudio.

### Respuesta

La respuesta dada a la pregunta N° 16, de este

adenda concluye que el movimiento del acuífero en el costado sur del río es hacia el río y que no se modificarán los niveles freáticos en ese costado del río ya que éste se ubica muy por sobre el nivel de aguas de éste.

Lo anterior, indica que bajas en el nivel del río producto de la disminución de su caudal por efectos del caudal ecológico no modificarán las condiciones del acuífero. En ese escenario, el estimar el volumen de los acuíferos del sector sur no tiene relevancia para determinar impactos sobre los la napa subterránea.

#### 5. Pregunta 21 (COREMA Región del Bío-Bío)

Se solicita al titular explicar en forma detallada la manera de llenado del embalse, dado que ello pudiere afectar los derechos de aprovechamiento de ejercicio permanente y consuntivos ya otorgados aguas abajo sobre el río Ñuble y usados en riego, que fueron otorgados mediante DS del MOP 1220 del 21 de Junio de 1956, que reconocen los canales que conforman la Junta de Vigilancia del Río Ñuble y que el proyecto estaría afectando en cuanto a sus derechos. Lo anterior a fin de evaluar los efectos adversos sobre los derechos ya constituidos en el río.

### Respuesta

En el capítulo 1 "Descripción del Proyecto" del EIA y en la Adenda N° 1 se describe y amplía la información sobre las características de la zona de inundación en la poza de la bocatoma.

Sin perjuicio de lo anterior, y conforme a lo señalado en la página 10 de la Adenda N° 1, de acuerdo al avance de la ingeniería de detalle del proyecto, nuevos y mejores antecedentes topográficos, se ha podido establecer con mayor precisión la zona de inundación de la poza, disminuyendo su superficie de 37 a 29,5 ha.

El volumen de la poza a la cota de operación (590,6 m.s.n.m.) alcanza a 1.650.695 m<sup>3</sup>, según la curva de volumen de la poza que se muestra en el plano Caracterización Zona de Inundación que se incluye en el Anexo 14 de la Adenda N° 1.

Considerando que el derecho de agua con que cuenta la CGE y el derecho complementario solicitado para el Proyecto Ñuble, son ambos de uso no consuntivo y que no debe perjudicarse los derechos de terceros sobre las mismas aguas, el llenado de la poza de la bocatoma se efectuará con los caudales disponibles en

el río Ñuble en dicha sección que excedan a los necesarios para completar los derechos de aprovechamiento ya otorgados aguas abajo en los sectores en que éstos se captan. En todo caso, en cualquier evento, el llenado se deberá efectuar, al menos, respetando el caudal ecológico que se determine para el proyecto.

El llenado de la poza no significará problemas ya que con un caudal de 1 m<sup>3</sup>/s esta operación se efectuaría en alrededor 19 días y en poco menos de 2 días con un caudal de 10 m<sup>3</sup>/s. Cabe hacer notar que según la Tabla HD-4 incluida en el Capítulo 4 del EIA, existe disponibilidad de caudales suficientes en buena parte del año para efectuar el llenado de la poza cumpliendo los criterios señalados.

En resumen, el llenado de la poza se efectuará en una época en que existan caudales disponibles en el río Ñuble, en la sección de la barrera, que permitan hacerlo sin afectar los derechos constituidos aguas abajo, por lo que no se presentarán efectos adversos derivados de esta operación.

#### 6. Pregunta 53

El titular reconoce que de acuerdo a Ley 20.017/05 el caudal mínimo ecológico definido como el 20% del caudal medio anual corresponde al valor máximo de caudal que puede ser establecido. Plantea, sin embargo, que puede ser calculado bajo otra condición. Es necesario relevar que, para efectos de la evaluación ambiental, se debe trabajar siempre bajo el peor escenario. Asimismo, y aún cuando el titular presentó información más detallada sobre la cuenca del Ñuble indicando el aporte hidrográfico de cada una de las fuentes de agua existentes, deberá evaluar los impactos sobre dichos cursos y las consecuencias sobre las actividades productivas, de consumo o turísticas asociadas, en el marco de la evaluación del medio ambiente humano.

#### Respuesta

En primer término es preciso aclarar lo que al respecto establece la Ley 20.017, cuyas disposiciones quedaron incorporadas en el Código de Aguas vigente. El Art. 129 bis 1, y que señala textualmente en el inciso 1 "Al constituir los derechos de aprovechamiento de aguas, la Dirección General de Aguas velará por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, debiendo para ello establecer un caudal ecológico mínimo, el cual sólo afectará a los nuevos derechos que se

constituyan, para lo cual deberá considerar también las condiciones naturales pertinentes para cada fuente natural". En el inciso 2 establece que "El caudal ecológico mínimo no podrá ser superior al veinte por ciento del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial".

La suposición de que el valor de 20% del caudal medio anual como el máximo caudal ecológico configura el "peor escenario" por ser el valor máximo establecido en la Ley 20.017, conlleva una interpretación que va más allá de lo que ella claramente señala. En efecto:

Las disposiciones señaladas son pertinentes a los efectos de la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas por la DGA.

Lo establecido sólo afectará a los nuevos derechos que se constituyan. Para establecerlo se deberá considerar también las condiciones naturales de cada fuente superficial.

El valor de 20% del caudal medio anual como el máximo caudal ecológico, es un límite superior a la determinación de la DGA para los efectos de constituir nuevos derechos de aprovechamiento.

Como la disposición legal señalada sólo afecta a los nuevos derechos de aprovechamiento, si un proyecto cuenta con derechos otorgados con anterioridad a la Ley 20.017, la interpretación del peor escenario configurado de acuerdo a ella llevaría a un caudal ecológico nulo o al monto establecido en la Resolución que otorgó el derecho. Si el mismo proyecto estuviera basado en una combinación de derechos antiguos y nuevos, la interpretación del peor escenario configurado de acuerdo a ella, llevaría a un caudal ecológico distinto al anterior, aún cuando el proyecto sea el mismo y sólo varíe la circunstancia en la que se otorgó el o los derechos de agua a utilizar. Esto muestra que la extrapolación de las disposiciones legales a otros fines que los expresamente señalados podría llevar a situaciones absurdas.

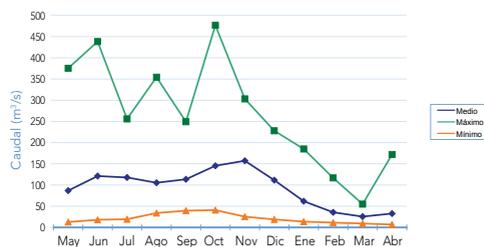
Es preciso también referirse al concepto planteado en la observación formulada "que, para efectos de la evaluación ambiental, se debe trabajar siempre bajo el peor escenario". No se explicita cual es el "peor escenario", ni los criterios para configurarlo. Debe entenderse que tratándose de una evaluación de impacto ambiental, los criterios a considerar deberían ser de índole ambiental y no puramente

numéricos basados en una interpretación de una disposición legal establecida para otros propósitos, cual es la del límite máximo de 20% del caudal medio anual señalado en la Ley 20.017. Esta interpretación de la ley implica que el “peor escenario” es para el titular del proyecto por cuanto le exige el mayor caudal que permite la Ley 20.017 para los efectos de otorgar nuevos derechos de aprovechamiento de aguas, sin tener en cuenta lo que ella dispone de considerar también las condiciones naturales de cada fuente superficial y sin mayor análisis de aspectos ambientales.

En lo que respecta a las características de la fuente superficial que interesa en este proyecto, el río Ñuble en el sitio de implantación de la bocatoma de la central, cabe tener en consideración los aspectos que se señalan a continuación.

Conforme a los antecedentes hidrológicos incluidos en el Capítulo 4 del EIA, el régimen de escurrimiento del río Ñuble en el sitio de ubicación de la bocatoma de la central es de tipo pluvio-nival. Se caracteriza por dos épocas en el año de grandes caudales, una en Invierno con máximos en Junio-Julio (componente pluvial del río) y otra en los meses de deshielo entre Octubre y Diciembre (componente nival del río), y una temporada de estiaje entre Enero y Abril con caudales comparativamente muy bajos. Este régimen de caudales se muestra en la figura que sigue, la que se preparó sobre la base de los caudales medios mensuales que aparecen en la Tabla HD-5, Capítulo 4 – Pág. 19 del EIA.

Variación Estacional de Caudales  
Río Ñuble en Bocatoma



Fuente: EIA CH Ñuble, CGE 2007.

En el gráfico anterior se puede observar que el caudal medio anual (92,8 m³/s) queda determinado por caudales que lo exceden durante la mayor parte del año, así como también por los caudales máximos que se producen durante casi todos los meses del año. Por otro lado, el caudal máximo de operación de la central de 100 m³/s, también es superado gran parte del tiempo, debiendo evacuarse en la bocatoma los excedentes que no pueden ser utilizados en la central. Es así entonces que el caudal pasante por la bocatoma hacia el río aguas abajo es un porcentaje significativo del caudal afluente.

En la tabla que sigue se indican para el punto de captación y de restitución de las aguas los valores del caudal medio afluente a la bocatoma, el caudal medio pasante (caudal excedente no utilizado en la central o caudal ecológico mínimo descargado, según corresponda) y la proporción que este último representa del primero, para el caudal ecológico de 7,75 m³/s propuesto en el EIA y verificado en la Adenda N° 1.

MES	PUNTO DE CAPTACIÓN			PUNTO DE RESTITUCIÓN		
	Q med afluente	Q med pasante	%	Q med afluente	Q medio pasante	%
May	86,71	32,58	37,6%	101,59	47,47	46,7%
Jun	121,13	46,42	38,3%	144,13	69,42	48,2%
Jul	117,79	36,38	30,9%	143,06	61,64	43,1%
Ago	105,33	25,44	24,2%	127,06	47,17	37,1%
Sep	113,50	28,39	25,0%	132,25	47,14	35,6%
Oct	145,34	50,28	34,6%	164,07	69,01	42,1%
Nov	157,17	64,02	40,7%	170,51	77,36	45,4%
Dic	111,46	31,58	28,3%	121,49	41,61	34,2%
Ene	61,82	9,84	15,9%	65,79	13,82	21,0%
Feb	35,60	7,91	22,2%	38,36	10,66	27,8%
Mar	25,49	7,75	30,4%	27,45	9,71	35,4%
Abr	32,68	9,06	27,7%	37,32	13,69	36,7%
Año	92,84	29,14	31%	106,09	42,39	40%

Fuente: EIA CH Ñuble, CGE 2007.

Se observa que en el punto de captación el caudal medio anual pasante hacia el río aguas abajo de la bocatoma alcanza al 31% del medio anual y al 40% en el punto de restitución. En el punto de captación, a lo largo del año, con una sola excepción, este porcentaje excede el 20% y en el punto de restitución esto ocurre siempre.

Los impactos sobre las actividades productivas y turísticas se tratan en el Capítulo 2 del Anexo 3, adjunto a este adenda.

7. Pregunta 61 (DGA Región del Bío-Bío)

La Dirección General de Aguas, Región del Bío-Bío ha informado que: En la Adenda 1, el titular entrega las caracterizaciones hidrológica e hidrogeológica solicitadas, especificando que no existen captaciones de aguas superficiales y subterráneas que vayan a verse afectadas por las obras asociadas al proyecto (área de inundación, bocatoma, canal de aducción, central); se entregan los antecedentes de la zona de inundación ubicada aguas arriba de la obra de captación; se especifican y caracterizan los cauces naturales intervenidos por las obras de atraveso del canal de aducción; se especifica y compromete a efectuar las regularizaciones y autorizaciones relacionados con las fuentes de abastecimiento de aguas potable; se compromete a desarrollar un Programa de Monitoreo y Seguimiento Ambiental sobre los Niveles Freáticos en pozos de control ubicados aguas abajo de la barrera de captación; y se compromete a tramitar ante la Dirección General de Aguas las autorizaciones establecidas en los Artículos 41, 171, 151 y 294 del Código de Aguas, referidos a la construcción de obra hidráulicas.

No obstante, en relación con el caudal ecológico propuesto por el proyecto, este Servicio mantiene las siguientes observaciones:

En EIA y la Adenda se propone un valor de 7,75 m<sup>3</sup>/s. La DGA, en cambio, mediante estudios hidrológicos efectuados en el río Ñuble, ha determinado los siguientes valores de caudal ecológico en puntos ubicados aguas arriba y aguas abajo, respectivamente, del punto de ubicación de la bocatoma del proyecto de CGE:

Estación Río Ñuble en Punilla = 7,76 m<sup>3</sup>/s.  
Estación Río Ñuble en San Fabián = 11,10 m<sup>3</sup>/s.

Asimismo, en el punto de captación de la Central Ñuble de Pasada, el caudal ecológico determinado mediante la misma metodología indicada para los casos anteriores alcanza un valor de 9,13 m<sup>3</sup>/s.

Se debe considerar que las metodologías que emplea la DGA para determinar el caudal ecológico se basa en la estadística de caudales medios mensuales registrados en el cauce y corresponden a criterios recomendados para la resolución de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas y determinan caudales mínimos que deberían tener en los ríos para mantener los ecosistemas presente, preservando la calidad ecológica.

### Respuesta

En el EIA se determinó el caudal ecológico mediante el método del perímetro mojado, proponiendo un valor de 7,75 m<sup>3</sup>/s. Sobre esta materia, en el ICSARA 1, la DGA Regional señaló que ese Servicio estima que el caudal ecológico a respetar, debe considerar en su determinación, aspectos relacionados con las especies efectivamente existentes en el nivel acuático local en estudio y que aseguren mantener otras actividades turísticas y recreacionales que se efectúan en el área en estudio.

Atendiendo a lo mencionado y a lo solicitado además por SERNAPESCA, en la Adenda N° 1 se modeló el caudal ecológico utilizando la Metodología Incremental para la Determinación de Caudales Mínimos Aconsejables IFIM (Instream Flow Incremental Methodology) Phabsim, de Estados Unidos. Los resultados obtenidos asignan al caudal mínimo requerido un rango entre 5 y 10 m<sup>3</sup>/s, por lo que se confirma que el caudal ecológico de 7,75 m<sup>3</sup>/s calculado mediante el método del Perímetro Mojado, responde favorablemente al rango óptimo determinado mediante IFIM Phabsim.

La DGA Regional no formuló observaciones a la aplicación del IFIM Phabsim desarrollada en la Adenda N° 1 al EIA, que como se indicó anteriormente se utilizó para responder las observaciones al respecto de este Servicio y de SERNAPESCA. En cambio, señala que este Servicio mantiene las siguientes observaciones, que no fueron planteadas con anterioridad, a las cuales se da respuesta a continuación.

Señala la DGA Regional lo siguiente:

En EIA y la Adenda se propone un valor de 7,75 m<sup>3</sup>/s. La DGA, en cambio, mediante estudios hidrológicos efectuados en el río Ñuble, ha determinado los siguientes valores de caudal ecológico en puntos ubicados aguas arriba y aguas abajo, respectivamente, del punto de ubicación de la bocatoma del proyecto de CGE:

- i. Estación Río Ñuble en Punilla = 7,76 m<sup>3</sup>/s
- ii. Estación Río Ñuble en San Fabián = 11,10 m<sup>3</sup>/s

Asimismo, en el punto de captación de la Central Ñuble de Pasada, el caudal ecológico determinado mediante la misma metodología indicada para los casos anteriores alcanza un valor de 9,13 m<sup>3</sup>/s.

En relación con los valores de caudal ecológico señalados en las letras a. y b. de las observaciones de la DGA Regional, puede señalarse que dichos valores corresponden al 10% del caudal medio anual en los lugares mencionados, según las estadísticas de caudales medios mensuales disponibles.

En la letra c. de las observaciones de la DGA Regional trascrita se señala:

Se debe considerar que las metodologías que emplea la DGA para determinar el caudal ecológico se basa en la estadística de caudales medios mensuales registrados en el cauce y corresponden a criterios recomendados para la resolución de solicitudes de aprovechamiento de aguas y determinan caudales mínimos que deberían tener los ríos para mantener los ecosistemas presente, preservando la calidad ecológica .

Respecto esta observación, cabe señalar que en el capítulo 3, numeral 3.5.10.1 del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos de la DGA, como metodología basada en la estadística de caudales medios mensuales registrados en el cauce, además de establecer el 10% del caudal medio anual para determinar el caudal ecológico, considera el 50% del caudal mínimo del estiaje del año 95%. De acuerdo a este último criterio para el sitio de la bocatoma de la central Ñuble se obtiene lo siguiente:

Estadística de Caudales Período 1941/1942 a 1998/1999 (Tabla HD-4, Cap.4 EIA)

Año 95%	= 1996/1997
Caudal mínimo del estiaje (Marzo)	= 13,4 m <sup>3</sup> /s
Caudal ecológico (50% del mínimo del estiaje)	= 6,7 m <sup>3</sup> /s

El caudal ecológico de 7,75 m<sup>3</sup>/s propuesto en el EIA y ratificado con la aplicación del método IFIM Phabsim incluido en la Adenda N° 1, se sitúa entre ambos criterios de determinación de este valor sobre la base de la estadística de caudales medios mensuales, según el manual de la DGA.

En cuanto a la aplicación de las metodologías usadas por la DGA para la resolución de solicitudes de aprovechamiento de aguas en la zona del proyecto central Ñuble, puede señalarse lo siguiente:

Caudal ecológico en derecho de aguas no consuntivo otorgado a Andrés Cortés, Resolución DGA N° 784 del 23 de septiembre de 1999: 7,73 m<sup>3</sup>/s. Punto de restitución de las aguas, aguas arriba de bocatoma central Ñuble, cercano a esa obra

Caudal ecológico en derecho de aguas consuntivo otorgado a la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP para Embalse El Mono, Resolución DGA N° 079 del 29 de enero de 2002: 8,0 m<sup>3</sup>/s. Lugar de aprovechamiento situado unos 13 km aguas abajo de la restitución de la central Ñuble.

En la Minuta DGA Ñuble N° 022, Informe Técnico, del 21 de febrero de 2006, Expediente ND-0801-2543, preparado para informar sobre el derecho de aguas adicional solicitado por CGE, en el numeral 4. Conclusiones, letra a) se estima necesario mantener el caudal ecológico mínimo de 7,76 m<sup>3</sup>/s, determinado para esta sección del río.

8. Pregunta 121 (COREMA Región del Bío-Bío)  
Las respuestas (página 106 de la Adenda 1) a las Observaciones 4.2., 4.3. y 4.4. que se refieren, en parte, al Plan de Rescate y Relocalización, y que éste debe ser presentado en forma detallada. Estima que no fueron respondidas en forma adecuada; por lo cual se solicita ampliar la información, entregando los elementos solicitados:

Modificación del hábitat

Código: OBA-2

Impacto: Modificación del hábitat.

a.1 Identificación del impacto

Este impacto es producido por la actividad:

Generación de la poza y zona del caudal ecológico.

### Respuesta

Desde el punto de vista de la alteración del hábitat, la generación de la poza alterará los sistemas actuales del río en este tramo. Esta alteración significará pasar de un área ritrón o lótico a un potamón o léntico favoreciendo aquellas especies que logren adaptarse a estas condiciones y que de acuerdo a los resultados de Línea de Base serían principalmente las truchas. En cambio en el área del caudal ecológico,

las truchas se verán perjudicadas por la baja de caudal y de profundidad de la columna de agua. Sin embargo, las especies nativas podrían verse favorecidas por la presencia de pozones y de hábitat más adecuados para su subsistencia (menor caudal) y además por la potencial desaparición, en este tramo de un predador importante como es la trucha. Esta consideración asume la obligación continua y permanente del proyecto de respetar, al menos, el caudal ecológico.

Esta alteración será permanente a partir de la generación de la poza, es decir, etapa de operación del proyecto.

## a.2 Calificación del impacto:

### Respuesta

La alteración del hábitat y ambientes limnológicos que actualmente posee el río Ñuble en el área de intervención del proyecto, se producirá, en la etapa de construcción y se prolongará durante la etapa de operación producto de la formación de la poza y la zona en la que en que bajará el caudal en el río respetando, al menos, el caudal ecológico, a este impacto un Carácter (Ca) Negativo (-1).

La Intensidad (I) del impacto ha sido calificada como Alto (0,7). Lo anterior debido a que el Grado de Perturbación que genera la actividad sobre el área será Medio, que la estructura física del río (hábitat) ya habrá sufrido su modificación más importante en la etapa de construcción. El Valor Ambiental es Muy Alta, debido a que de todas formas las características del hábitat y sus componentes acompañantes son particulares

El Riesgo de Ocurrencia (Ro) del impacto es Cierto (10) ya que la generación de la poza y la disminución de caudal, principalmente en época de estiaje, modificarán el hábitat presente en el área de intervención.

La Extensión del Impacto (E) se considera Local (0,6) ya que el impacto se generaría entre el área de la poza y la descarga de la Central.

La Duración (Du) del impacto es Media (0,6) ya que en los meses de invierno y deshielo el efecto en el río, de la poza y entre la bocatoma y la descarga, prácticamente desaparecerá, ya que el proyecto no tiene la capacidad de regular el caudal y en estas épocas el río tendrá una fisonomía y características similares a las que

posee actualmente, en esta época. Del mismo modo, el Desarrollo del Impacto (De) es Lento (0,6) ya que la modificación será paulatina debido a que en invierno y deshielo el efecto se verá prácticamente anulado.

Desde el punto de vista de la Reversibilidad (Re), se considera que el sistema posee los mecanismos naturales para revertir el impacto, ya que como se ha mencionado en invierno y crecida el efecto prácticamente no será generado. De acuerdo a lo anterior esta variable se considera Parcialmente Reversible (0,6)

En consideración con lo anterior, el rango del impacto es -6,2 lo que equivale a una Calificación Ambiental (CA) del impacto, Media (2).

Producto de esta Calificación y del impacto global en el sistema limnológico es que CGE Generación S.A. se ha comprometido con implementar un Plan de Rescate y Relocalización principalmente en la zona de la poza y construcción de la barrera de bocatoma. Además, entregará, a la autoridad, todas las herramientas técnicas para que los lugares (esteros Lara y Bullileo) que se utilizarán como receptores de la fauna trasladada puedan ser declarados áreas de protección, si la autoridad así lo estima pertinente.

## c) Modificación del hábitat

Código: OBA-2

Impacto: Modificación del hábitat.

### a.1 Identificación del impacto

Este impacto es producido por la actividad Generación de la poza y zona del caudal ecológico.

### Respuesta

Desde el punto de vista de la alteración del hábitat, la generación de la poza alterará los sistemas actuales del río en este tramo. Esta alteración significará pasar de un área rítrón o lótico a un potamón o léntico favoreciendo aquellas especies que logren adaptarse a estas condiciones y que de acuerdo a los resultados de Línea de Base serían principalmente las truchas. En cambio en el área del caudal ecológico, las truchas se verán perjudicadas por la baja de caudal y de profundidad de la columna de agua. Sin embargo, las especies nativas podrían verse favorecidas por la presencia de pozones y de hábitat más adecuados para su subsistencia (menor caudal) y además por la potencial desaparición, en este tramo de un predador importante como es la trucha. Esta

consideración asume la obligación continua y permanente del proyecto de respetar, al menos, el caudal ecológico.

Esta alteración será permanente a partir de la generación de la poza, es decir, etapa de operación del proyecto.

## a.2 Calificación del impacto

### Respuesta

La alteración del hábitat y ambientes limnológicos que actualmente posee el río Ñuble en el área de intervención del proyecto, se producirá, en la etapa de construcción y se prolongará durante la etapa de operación producto de la formación de la poza y la zona en la que en que bajará el caudal en el río respetando, al menos, el caudal ecológico, a este impacto un Carácter (Ca) Negativo (-1).

La Intensidad (I) del impacto ha sido calificada como Alto (0,7). Lo anterior debido a que el Grado de Perturbación que genera la actividad sobre el área será Medio, que la estructura física del río (hábitat) ya habrá sufrido su modificación más importante en la etapa de construcción. El Valor Ambiental es Muy Alta, debido a que de todas formas las características del hábitat y sus componentes acompañantes son particulares

El Riesgo de Ocurrencia (Ro) del impacto es Cierto (10) ya que la generación de la poza y la disminución de caudal, principalmente en época de estiaje, modificarán el hábitat presente en el área de intervención.

La Extensión del Impacto (E) se considera Local (0,6) ya que el impacto se generaría entre el área de la poza y la descarga de la Central.

La Duración (Du) del impacto es Media (0,6) ya que en los meses de invierno y deshielo el efecto en el río, de la poza y entre la bocatoma y la descarga, prácticamente desaparecerá, ya que el proyecto no tiene la capacidad de regular el caudal y en estas épocas el río tendrá una fisonomía y características similares a las que posee actualmente, en esta época. Del mismo modo, el Desarrollo del Impacto (De) es Lento (0,6) ya que la modificación será paulatina debido a que en invierno y deshielo el efecto se verá prácticamente anulado.

Desde el punto de vista de la Reversibilidad (Re), se considera que el sistema posee los mecanismos naturales para revertir el impacto,

ya que como se ha mencionado en invierno y crecida el efecto prácticamente no será generado. De acuerdo a lo anterior esta variable se considera Parcialmente Reversible (0,6)

En consideración con lo anterior, el rango del impacto es -6,2 lo que equivale a una Calificación Ambiental (CA) del impacto, Media (2).

Producto de esta Calificación y del impacto global en el sistema limnológico es que CGE Generación S.A. se ha comprometido con implementar un Plan de Rescate y Relocalización principalmente en la zona de la poza y construcción de la barrera de bocatoma. Además, entregará, a la autoridad, todas las herramientas técnicas para que los lugares (esteros Lara y Bullileo) que se utilizarán como receptores de la fauna trasladada puedan ser declarados áreas de protección, si la autoridad así lo estima pertinente.

### 9. Pregunta 128 (COREMA Región del Bío-Bío)

La autoridad ambiental señala que respecto de las medidas y acciones necesarias para prevenir y mitigar los efectos ambientales negativos sobre el medio acuático en el área de influencia del proyecto en el río Ñuble, lo siguiente:

- a) Medidas de prevención: La principal medida de prevención considerada por el titular para el medio acuático, presentado en el EIA como en la Adenda 1, ha sido la determinación de un Caudal Ecológico Mínimo (CME) de 7,75 m<sup>3</sup>/s. De acuerdo a lo detallado en este ICSARA 2 respecto al CEM, se señala al titular que las modelaciones realizadas con HECRAS y Phabsim no presentan resultados confiables que permitan definir un CME para el tramo a ser intervenido y por lo tanto no hay medidas de prevención confiables.

### Respuesta

Esta situación, se estima corregida, al comprometerse a establecer e implementar un Plan de Rescate y Relocalización de fauna íctica (cuyo detalle se entrega en la respuesta a la pregunta 11 de este acápite) y otras medidas específicas establecidas para el Medio Humano afectado por la disminución de caudal entre la bocatoma y la descarga, las que son detalladas en el Capítulo 3 del anexo 3 adjunto a este adenda.

- b) Medidas de mitigación: Con respecto al impacto producido por la drástica reducción de caudales, a un valor constante de 7,75 m<sup>3</sup>/s, en el EIA como en la Adenda 1,

sólo se incorporan medidas de mitigación referentes a la fauna íctica, sin considerar otros efectos derivados sobre:

- b.a) uso del ecosistema fluvial como balnearios
- y b) actividades de pesca deportiva.

### Respuesta

Esta consulta fue respondida en la respuesta a la consulta 127 de este acápite.

#### c) Con respecto a la fauna íctica.

Medida de mitigación 1: "El proyecto cuenta, en el vertedero de la barrera, con un dispositivo de entrega del caudal ecológico, el que consiste en dos tuberías de 1,0 m, de diámetro cada una, que permitirán satisfacer plenamente y de manera individual un caudal de 7,75 m<sup>3</sup>/s".

La autoridad ambiental considera que esta no es una medida de mitigación propiamente tal. Se solicita al titular proponer medidas de mitigación al respecto.

### Respuesta

Se implementará un plan de rescate y relocalización (cuyo detalle se entrega en la respuesta a la consulta 11 de este acápite), que trasladará los organismos de fauna íctica nativa desde área intervenir, por el proyecto, a los esteros Lara y Bullileo, con el objeto de mitigar el efecto producido por la baja de caudal y además potenciar estas últimas áreas, mediante el aporte de información, de al menos tres años de monitoreo para que la autoridad establezca las medidas de protección que estime pertinente.

#### 10. Pregunta 129 (COREMA Región del Bío-Bío)

La autoridad ambiental, tal como el titular señala en la Adenda 1, es necesario definir un Plan de Rescate y Relocalización que considere la capacidad de carga y condiciones de hábitat de las áreas de relocalización. Sin este plan no es posible evaluar adecuadamente si esta medida de mitigación puede considerarse efectiva. Sin embargo, esta medida se limita a "el área de la barrera y bocatoma" y no considera el tramo de río comprendido entre la barrera y descarga que será sometida a Caudal Ecológico Mínimo (CEM). Es muy probable que cuando se establezca el CEM se formen numerosas pozas que alberguen peces que pudiesen ser rescatados, especialmente las especies nativas en peligro.

En resumen, el aspecto central de las medidas de mitigación debe ser como revertir en mayor grado el impacto negativo que tendrá sobre la biota acuática y el turismo el establecimiento del CEM.

Este caudal por sí sólo no asegura la persistencia de las poblaciones de peces a largo plazo, por lo tanto puede requerirse de medidas adicionales tales como Mejora de Hábitat fluvial. Estas últimas posibilitan una reproducción más efectiva, mayor cantidad de alimento o una mayor capacidad de refugio. Además, su implementación permite mitigar los efectos desfavorables de otras múltiples actividades humanas.

### Respuesta

Lo señalado en los últimos 3 párrafos, no se han considerado preguntas sino más bien una opinión en la que se puede estar de acuerdo o no. Sin perjuicio de lo anterior, El objetivo del programa de monitoreo del proyecto que abarca la fauna íctica en todo el tramo que intervendrá tiene por objetivo evaluar las condiciones de este componente en el área afectada. Si de la evaluación de estas campañas se obtiene como conclusión que se deben complementar las medidas ya señaladas, se realizarán tomando la opinión de la autoridad y considerando la discusión que se dará luego de cada entrega de informe de campaña, los que aportarán información valiosa para evaluar el efecto del proyecto, independiente de las medidas que este se ha comprometido a implementar.

#### 11. Pregunta 141 (SUBPESCA)

La autoridad ambiental señala que comparte lo observado por la DGA en el ICSARA 1, en el sentido de que el caudal ecológico a respetar, debe considerar en su determinación, aspectos relacionados con las especies efectivamente existentes en el nivel acuático local en estudio, y que aseguren mantener otras actividades turísticas y recreacionales que se efectúan en el área en estudio, como balnearios, pesca, bajadas de río, etc. ...las cuales no son compatibles para profundidades de agua de 30 cm, propuesto en el EIA.

Por lo anterior, el titular debe mejorar su propuesta de CEM considerando los nuevos antecedentes arrojados por la consultoría contratada por CONAMA que son de conocimiento total por parte del titular.

El Titular da respuesta en el Adenda 1. La autoridad ambiental estima que dicha respuesta no es satisfactoria, dado las serias falencias que presenta la aplicación de las metodologías para determinar el CEM por parte del titular y además porque este no realiza un análisis riguroso de los impactos que

la drástica disminución de caudal tendrá sobre la actividad turística y sobre la conservación de la biodiversidad en el tramo afectado. Se solicita al titular remitirse al punto de CEM detallado en este ICSARA 2 a fin de mejorar esta materia.

La autoridad ambiental, señala que el CEM es el caudal que debe mantenerse en cada sector hidrográfico, de tal manera que los efectos abióticos (profundidad, velocidad de la corriente, turbulencia, ancho mojado, sustrato, etc.), producidos por la disminución de caudal no alteren significativamente la dinámica del ecosistema, permitiendo:

- Conservar las poblaciones de biota acuática (macroinvertebrados bentónicos, peces, etc.).
- Mantener el equilibrio natural de los procesos ecosistémicos (ciclos biogeoquímicos, servicios ambientales).
- Prevenir efectos de extracciones del recurso hídrico.
- Evitar cortes en el río, es decir, que el río se seque en algunos tramos.
- Mantener pozas y zonas ribereñas para distintos fines de actividades productivas y de conservación de la biodiversidad.

Considerando dichos aspectos es relevante señalar que el agua, en cantidad y calidad, y su movimiento, son los pilares básicos sobre los que se asienta toda la estructura del ecosistema fluvial.

### Respuesta

CGE Generación ha calculado el CME tomando en consideración las metodologías establecidas y solicitadas por la autoridad (Perímetro mojado en el caso de la DGA e IPHIM PHABSIM en el caso de la autoridad ambiental, respectivamente). Entendemos que ambas metodologías en distinto grado cumplen con lo señalado en los párrafos anteriores y por este motivo, en el caso del perímetro mojado, es una metodología ampliamente utilizada por la DGA y en el segundo caso (PHABSIM) fue solicitada por la autoridad.

En el anexo 7 y en una serie de respuestas a las consultas realizadas por la autoridad en este adenda, se han complementado y ampliado los análisis solicitados. En particular el tema turístico también ha sido tratado en el Anexo 3.

Por otro lado cabe señalar que en todo momento los análisis realizados no sólo en este tema sino que en todo el proceso de evaluación se ha tratado de ser lo más riguroso posible, no

siendo necesario, a nuestro entender, este tipo de calificaciones.

Sin perjuicio de lo anterior, y respecto a la aplicación del método solicitado por la autoridad quisiéramos señalar que la literatura referente al método IFIM-PHABSIM es abundante, sin embargo, una fracción muy menor corresponde a reportes de determinación post implementación de caudales ecológicos aconsejados por medio de ésta técnica. Es por este motivo que a continuación se describen algunos antecedentes recopilados sobre esta materia particular.

Armour & Taylor (1991) realizaron una prospección de 57 experiencias de aplicación de IFIM en USA. Esta revisión exhaustiva apuntó sus críticas a la simplificación exagerada del método IFIM, y la dificultad para su implementación. Las críticas metodológicas principales apuntaron a la necesidad de mejorar la resolución de las curvas de uso de hábitat, y evaluar empíricamente la relación entre WUA (área utilizable ponderada) y caudal para las poblaciones de peces evaluadas.

Por otro lado Annear & Conder (1984), evaluaron el sesgo de varios estimadores de caudal, empleando un total de 13 esteros ubicados en el Estado de Wyoming como sistema de estudio. Este análisis reveló que el método de Tennant no presentaba sesgos en las estimaciones, mientras que los métodos de perímetro mojado y PHABSIM si mostraron sesgos importantes.

Más recientemente, Kondolf & Larsen (2000) describieron una serie de problemas con los modelos de simulación de hábitat tipo PHABSIM. Después de una revisión cuidadosa de los supuestos y precisión de la modelación hidráulica, los autores han sugerido tratar con moderación la componente hidráulica, ya que este módulo aportaría poca información relevante para entender la relación no-lineal existente entre el caudal de un río y la ecología de poblaciones ribereñas.

Uno de los problemas más graves de IFIM-PHABSIM es que descansa en el supuesto de que las curvas de utilización de hábitat de cada especie han sido correctamente determinadas, y que es posible transferir dichas curvas entre hábitat ubicados en distintos ríos, o entre distintas zonas de un mismo río. Al respecto, Chapman (1995) ha mostrado que este podría no ser el caso, y que las curvas

de uso de hábitat podrían cambiar no sólo entre sitios, sino también a lo largo del tiempo (i.e., estacionalmente), lo cual complica las estimaciones de caudal ecológico basadas en curvas de hábitat estáticas. Los trabajos de Conklin et al. (1995) refuerzan esta idea, comparando regionalmente las curvas de hábitat del bagre *Ictalurus punctatus* y la carpa común *Cyprinus carpio* dentro del esquema IFIM. Este análisis reveló que las especies en cuestión seleccionan diferentes tipos de hábitat en diferentes ríos, cuestionando la noción de transferibilidad de curvas, en que se basa el IPHIM.

Por último, Orth & Maughan (1982), pusieron a prueba los supuestos elementales del método IFIM-PHABSIM, esto es que, la velocidad, profundidad y tipo de sustrato son rasgos ambientales que los peces perciben de manera independiente. Utilizando especies de peces de varios ríos de Oklahoma, estos autores mostraron que los supuestos fueron violados al menos una vez por especie.

A la luz de la breve reseña metodológica y de estado del arte en materia de aceptación del método IFIM-PHABSIM expuesta en los párrafos anteriores, es posible sugerir una vía de desarrollo para estudios de caudales aconsejables acorde a la realidad chilena, tanto en materia logística como presupuestaria.

De acuerdo a lo anterior, y debido a que no existe concordancia en el mundo respecto a que métodos y menos a cómo aplicarlos caso a caso, para calcular CME, es que se hace recomendable, independiente del método utilizado, generar otras medidas como rescate de especies y un programa de seguimiento exhaustivo (no menos a tres años de generada la alteración), con el objeto de verificar el comportamiento del cuerpo de agua afectado y además el éxito o fracaso de las medidas implementadas.

Bajo este último concepto es que CGE ha, en primer lugar, calculado el caudal ecológico mediante métodos ampliamente utilizados y aquellos recomendados y solicitados por la autoridad, pero además ha generado medidas (rescate y relocalización) y programas de seguimiento que permitirán mitigar o compensar cualquier contingencia producto de la variabilidad e inseguridad que la comunidad científica tiene frente a los métodos de cálculo de CME.

## 12.Pregunta 143 (SUBPESCA)

Se deben realizar nuevos estudios al respecto y considerar un caudal mínimo histórico que no afecta la sobre vivencia de las especies acuáticas como peces y aves, además no ocasione la pérdida del límite natural que significa el río para los vecinos que viven a cada lado del río. Considerando la ley 20.017 que establece que la DGA deberá definir el caudal mínimo ecológico con el 20% del caudal medio anual como límite, por lo cual esta Municipalidad exige que la DGA haga cumplir la ley, no admitiendo caudales inferiores al 20% del caudal medio anual.

### Respuesta

Sobre el planteamiento de la Municipalidad de San Fabián de exigir que la DGA haga cumplir la Ley 20.017, no admitiendo caudales inferiores al 20% del caudal medio anual, sólo cabe repetir lo expresado en la respuesta a la observación 142 anterior:

- a) Las disposiciones señaladas son pertinentes a los efectos de la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas por la DGA.

Lo establecido sólo afectará a los nuevos derechos que se constituyan. Para establecerlo se deberá considerar también las condiciones naturales de cada fuente superficial.

El valor de 20% del caudal medio anual como el máximo caudal ecológico, es un límite superior a la determinación de la DGA para los efectos de constituir nuevos derechos de aprovechamiento.

En consecuencia, la exigencia de la Municipalidad de San Fabián es legalmente impropcedente.

Respecto del límite natural que constituye el río, se debe considerar que el carácter de barrera natural de un río está configurado no sólo por el caudal que escurre por su cauce sino que también por su morfología general y particularmente por las condiciones topográficas del cauce y sus riberas. En consecuencia, la disminución de caudal en el río a un valor tal que pudiera hacer pensar que va a facilitar su cruce por personas y animales no basta para afirmar que el río dejará de ser una barrera natural. De acuerdo a lo señalado, en el análisis de esta situación debe considerarse en forma conjunta el caudal y las condiciones topográficas del cauce y de las riberas. En efecto, en el cauce del río, para un mismo caudal, en ciertos sectores la geometría

del cauce puede determinar que la profundidad y velocidad del escurrimiento sean tales que no permita el paso de personas y animales, mientras que en otros, se den condiciones que definan profundidades y velocidades que sí lo permitan. A este factor propio del cauce, debe agregarse el de las posibilidades de acceso al mismo. Así por ejemplo, pueden existir sectores en los que el cauce esté flanqueado en las riberas por cortes abruptos o laderas de muy fuerte inclinación que no permitan el acceso a éste. En este caso, podrían darse condiciones geométricas en el cauce mismo que pudieran hacerlo vadeable, pero seguiría existiendo la barrera natural por las condiciones de inaccesibilidad al cauce.

De acuerdo a lo anterior, se ha analizado la condición de barrera natural del río Ñuble entre la bocatoma y la restitución de la central efectuando una detallada inspección en terreno y conjuntamente desarrollando un análisis de las fotografías aéreas y de la cartografía disponible.

El análisis efectuado permite concluir que en general, por las condiciones combinadas de escurrimiento en el cauce y de accesibilidad al mismo, el río Ñuble en el tramo de interés, continuará siendo una barrera natural en las condiciones de escurrimiento del caudal ecológico.

En los km medidos, siguiendo el cauce del río Ñuble, entre la bocatoma y la descarga de la central, se han identificado 8 sectores en los cuales se dan condiciones que eventualmente permitirían el cruce en condiciones de bajos caudales, ellos son los siguientes (kilometraje medido desde la bocatoma a lo largo del río):

Km 1,7  
 Km 5,8  
 Km 11,9  
 Km 13,0  
 Km 14,6  
 Km 15,1 – 15,7  
 Km 18,2  
 Km 19,9

En situación de bajos caudales se observará la situación en estos sectores y de verificarse que en ellos se pudiera cruzar la barrera natural que constituye el río, se dispondrán cercos que resuelvan esta situación.

Respecto a la sobrevivencia de especies acuáticas, el proyecto implementará un Plan de Rescate y Relocalización de la fauna íctica nativa, para evitar y mitigar cualquier potencial efecto. En cuanto a las aves, por la capacidad de desplazamiento y lo acotado del área a intervenir se ha considerado innecesaria la implementación de medidas, situación, por lo demás que tampoco ha sido solicitada por la autoridad.

### 13. Pregunta 144 (DGA)

En relación con el compromiso del titular del proyecto para implementar los sistemas de control y monitoreo continuo de los caudales captado, restituído y ecológico, la DGA estima que se debe especificar el tipo de control y los sistemas empleados para su implementación. Al respecto, esta Dirección Regional solicita que se debe instalar estaciones de control continuo y en línea, que permitan a la autoridad ambiental efectuar el seguimiento y monitoreo de los caudales afluente, captado, ecológico y restituído frente a todo evento, para lo cual el titular del proyecto debe proponer la red de estaciones que permitan dicho control, especificando su ubicación, tipo de estación, sistema de transmisión, tipos de control y operación, que permitan visar su propuesta.

### Respuesta

En la Adenda N° 1 se acogió la observación de la DGA Regional en el sentido de incorporar sistemas de control y monitoreo continuo de los caudales captado, restituído y ecológico. Atendiendo al requerimiento de este Servicio, se especifica a continuación la forma en que se efectuarán estos controles y monitoreos.

En la figura que sigue se muestra un esquema del circuito hidráulico de la central Ñuble en la que se incluyen los puntos de control propuestos.



Fuente: EIA CH Ñuble, CGE 2007.

Como se muestra en la figura, se contemplan tres sitios de medición de caudales y un punto de control de niveles. La "Estación Control Pasante" medirá la porción del caudal afluente que no es captado por la bocatoma y desviado al canal de aducción y que corresponde a la caudal ecológico. El caudal captado por la bocatoma se medirá en la "Estación Control Captación". En la Casa de Máquinas de la central, se contará con dispositivos que permitirán medir el caudal generado en la central y restituido al río en ese punto.

Dado que la central Ñuble es netamente de pasada, el caudal afluente a la bocatoma será igual a la suma del caudal pasante, registrado en la Estación Control Pasante, y del caudal captado para ser utilizado en la central, medido en la Estación Control Captación. Adicionalmente, el Control Nivel de Aguas en la poza de la bocatoma permitirá verificar la condición anterior. Finalmente, en la casa de máquinas de la central, el "Control restitución" permitirá registrar el caudal restituido por la central al río Ñuble. Este caudal debiera ser igual al registrado en la Estación Control Captación, salvo por las diferencias que podrían provenir de las precisiones propias de los métodos de medición en dichos puntos, ya que no habrá entregas ni captación de caudales a lo largo del canal.

CONAMA, señala que el titular determinó el Caudal Mínimo Ecológico, en adelante Caudal Ecológico Mínimo, mediante la Metodología del Perímetro Mojado que es una metodología basada en aspectos hidráulicos, la que no considera criterios ecológicos, ni ambientales, ni de uso de actividades productivas como el turismo (pesca deportiva, descenso de río, etc.).

Mediante la aludida metodología, el titular propone un Caudal Ecológico Mínimo (CEM) de  $7,75 \text{ m}^3/\text{s}$ , considerando como criterios de base una profundidad de 30 cm y un ancho de 20 metros. La DGA en el ICSARA 1, ha señalado que dichas condiciones no aseguran mantener las actividades turísticas y recreacionales que se efectúan en el área en estudio, como balnearios, pesca, bajadas de río, etc.... las cuales no son compatibles para profundidades de agua de 30 cm, propuesto en el EIA, lo cual es compartido por el Comité Revisor del EIA+.

Considerando la carencia de aspectos ambientales y ecológicos de la metodología usada por el titular y que los criterios de base

que éste argumenta se consideran débiles por lo expuesto en este ICSARA 2 para estas materias y que no se consideran suficientes para: a) asegurar la viabilidad de las poblaciones acuáticas, b) asegurar la sustentabilidad de las actividades productivas, especialmente el turismo, se le señaló al titular en el ICSARA 1, que determinará dicho CEM mediante una metodología integral que considera aspectos ecológicos y ambientales, cual es la Metodología IFIM, y a la vez que dicha determinación debiera realizarla una entidad académica especialista en la materia independiente contractualmente del Estudio de Impacto Ambiental.

El titular determinó el CME mediante IFIM pero no señala en la Adenda 1 quien realizó dicho análisis, por lo que no da respuesta a lo sugerido por la autoridad.

En vista de que el CEM que propone el titular es muy restrictivo dado que es muy menor (representa el 7,7%) al 20% del caudal medio anual que señala la Ley 20017/2005 que modifica el Código de Aguas, en cuanto a asegurar la viabilidad de las poblaciones acuáticas, en especial las especies ícticas que se encuentran catalogadas en categorías de conservación (Peligro de Extinción, Vulnerable) y que el titular no acredita que dicho CEM sea el adecuado para los objetivos de conservación de la biodiversidad y para la sustentabilidad de las actividades turísticas y dado que no realiza un acabado análisis de las consecuencias que dicho CEM ( $7,75 \text{ m}^3/\text{s}$ ) tendrá sobre las actividades productivas, especialmente el turismo, en el tramo afectado por la drástica baja de caudal, es que, CONAMA Regional, considerando el Principio Preventivo de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente contrató una consultoría específica de apoyo para revisar esta variable, que es central en la evaluación ambiental de este proyecto, dado que de ella se derivan directa e indirectamente la gran mayoría de los principales impactos negativos del proyecto asociados al recurso hídrico (conservación de la biodiversidad en peligro de extinción y usos del recurso principalmente turístico y de abastecimiento humano). Dicha consultoría la realizó el Centro EULA de la Universidad de Concepción y arrojó los comentarios, observaciones, resultados y conclusiones expuestos en este ICSARA 2, que a continuación se exponen al titular a fin de que este las acoja y rectifique las debilidades, omisiones, errores detectadas en el EIA y en la Adenda 1, a fin de que presente

una determinación de dicha variable con base científica, acreditando de manera fehaciente que el CEM a proponer no pone en riesgo los objetivos ambientales y productivos ya señalados.

Nota, el día 21 de Diciembre en reunión del Comité Técnico con el titular se entregó a este una copia en papel del informe final de la mencionada consultoría.

Al respecto, la consultoría revisó las metodologías que el titular usó para determinar el CEM, Perímetro Mojado e IFIM.

#### 14.Pregunta 145

Aspectos que el Titular debe remediar. Se revisó el Anexo DP-1 del EIA: Determinación del Caudal Mínimo Aconsejable (CMA) mediante el método del perímetro mojado.

Se revisaron los principios, supuestos, datos utilizados, resultados y conclusiones obtenidas en el EIA, referentes a la determinación del CMA mediante el método del perímetro mojado. Para verificar los resultados obtenidos en el EIA, se recalcularon las curvas profundidad media/caudal y ancho superficial/caudal, empleando el modelo HEC-RAS.

Esta revisión permite concluir que el CMA determinado con este método es inadecuado debido a que presenta serias inconsistencias, de las cuales las principales son las siguientes:

- a) Falta de representatividad del área de estudio: El tramo de río que fue considerado en la modelación con HEC-RAS, cubrió desde el punto más cercano a la captación de derechos de aguas, hasta aproximadamente 1 km aguas abajo de la futura presa. Los autores no justifican la selección del área de estudio en términos biológico/ecológicos (e.g. áreas representativas de hábitats de la composición de especies y su distribución, etc.), por lo cual no es posible evaluar los criterios empleados. En este tramo se realizó un levantamiento topobatimétrico en ocho secciones transversales. El área considerada representa sólo aproximadamente un 5% del área total que será sometida al CMA, lo que se considera insuficiente respecto de su representatividad. Evidentemente los resultados obtenidos no son extrapolables a tramos del río localizados aguas abajo.

No se considera necesaria una modelación de detalle de todo el cauce comprendido entre la bocatoma y la descarga, pero sí de algunos tramos de mayor relevancia. El tramo de río considerado como crítico para su modelación, corresponde al comprendido entre la bocatoma y el Estero Lara, situado aproximadamente 5,5 km aguas debajo de la bocatoma. Se estima que este tramo sea el que presente los caudales más bajos en el tramo intervenido del Río Ñuble. Aguas abajo de este tramo, se espera que el Estero Lara sume caudales al CMA, incrementando la diversidad del hábitat disponible para la biota acuática. Estos caudales serán a la vez incrementados aguas abajo, con la incorporación de los esteros Bullileo, Los Guindos y Pangué. Los caudales de estos esteros no han sido incorporados en el análisis de los datos, para conocer los caudales reales existentes aguas arriba de la descarga, especialmente durante el período de estiaje (se solicita al titular subsanar esta omisión). Por otra parte, la modelación de la parte baja del tramo intervenido del río Ñuble sería importante incorporar por dos motivos: a) concentra una significativa diversidad de ictiofauna y b) corresponde a un área de interés turístico para los cuales la disponibilidad de agua en la estación de bajo caudal es un aspecto relevante (ancho y profundidad media).

#### Respuesta

El titular acoge las observaciones emitidas por la autoridad. En este sentido se incorporó información adicional, al modelo, para el tramo considerado como crítico, comprendido entre la Bocatoma y el Estero Lara. Para ello se hizo una modelación más exhaustiva con nuevos perfiles (al menos 30 adicionales). Esta nueva modelación consideró tres sectores donde se realizaron batimetrías adicionales aguas abajo de la bocatoma, en un tramo aproximado de seis kilómetros. La primera de ellas, en el sector inmediatamente abajo de la bocatoma, en una longitud aproximada de un kilómetro; la segunda tres kilómetros aguas abajo de la bocatoma, en una longitud aproximada de un kilómetro (áreas de meandros y curvas en el río) y por último la tercera en el área de confluencia con el estero Lara (500 metros aguas arriba y 500 metros aguas abajo de la confluencia con el estero). Mayor detalle de los resultados modelados se adjunta en el Anexo 7.

En cuanto a la incorporación de análisis hidráulico global considerando el aporte de los esteros mencionados, en la respuesta a la pregunta 15 se entrega diagramas unifilar del río Ñuble, considerando los aportes de los esteros afluentes en todo el tramo del área de influencia del proyecto. Esta información fue considerada y analizada para evaluar los impactos no solamente en el sistema acuático (variables físico-químicas y biológicas), sino que también en el ámbito recreacional, turísticos (cuya descripción esta adjunta en el Anexo 3 de este adenda), e incluso en la pesca deportiva.

- b) Falta de sustento científico de los criterios biológicos/ecológicos empleados: El método empleado por los autores del EIA considera la siguiente premisa: "Para la migración a través del cauce, los peces necesitan para desplazarse vertical y horizontalmente 3 a 4 veces la mayor dimensión transversal de los ejemplares, por lo que una profundidad media de 0,3 m como mínimo parece razonable". Este criterio se considera aceptable en términos del desplazamiento de los organismos, pero no necesariamente lo es desde un punto de vista de su conservación (e.g. alimentación, procesos reproductivos, etología, etc.). Los organismos requieren para su persistencia en un tramo de río de numerosas otras condiciones de hábitat, incluyendo temperatura, disponibilidad de alimento, microhábitats físicos, etc., los cuales son fuertemente afectados por las condiciones de caudal. La profundidad o altura de la columna de agua de 30 cm debe ser argumentada con información científica y no con juicios arbitrarios.

Bajo este criterio, considerando que la máxima longitud transversal de *Diplomystes nahuelbutaensis* es de aproximadamente 4 cm, la profundidad mínima aceptable sería entre 12 y 16 cm, lo cual es evidentemente incorrecto. Por otra parte, la profundidad aceptada de 30 cm es contradictoria con las curvas de preferencia de hábitats presentadas por los mismos autores en el Anexo 13 de la Adenda 1. Estas muestran que a profundidades de 30 cm son prácticamente incompatibles con la supervivencia de estados adultos *Diplomystes nahuelbutaensis* (Figura 2a del anexo) y de *Onchorhynchus mykiss* (Figura 3 del anexo).

Una segunda premisa considerada por los autores del EIA es la siguiente: "se deberá respetar un ancho mínimo de 20 m para aquellos sectores con una velocidad menor

que 1 m/s". Esta premisa también es arbitraria y no tiene sustento científico para el área estudiada o para ríos del centro-sur de Chile. Esta condición es de gran relevancia por estar asociada a la disponibilidad de hábitats para la macrofauna bentónica, componente alimentario básico, y por lo tanto con la carga íctica potencial del río.

En síntesis, las dos premisas fundamentales para la determinación del "Caudal Mínimo Aconsejable" (Caudal Ecológico Mínimo), no tienen sustentación científica para el tramo de río a ser intervenido, por lo cual los resultados de la modelación no son representativos de la realidad que se desea representar con el modelo.

### Respuesta

Los valores de profundidad y ancho fueron extraídos de un análisis de métodos de estimaciones de caudal ecológicos realizado por la DOH-MOP. Estos conceptos y variables, entre los que se consideran el mismo ancho y profundidad también fueron presentados por Comité Nacional de Humedales en enero de 2007 en un seminario sobre Estudio de Gestión de Humedales.

En ambos casos justifican como método hidráulico y biológico el criterio de altura mayor o igual a 30 cm y ancho igual o superior a 20 m. como variables a utilizar en los métodos hidrológicos y holísticos para la determinación del Caudal Ecológico.

De acuerdo a lo anterior, queremos reforzar la idea que, a la fecha, no existe un método único de determinación del CEM y menos una decisión y definición de las variables y parámetros a considerar en cada caso, quedando a consideración y criterio del equipo de trabajo que aplica el método respectivo.

Finalmente, y citando algunas de las conclusiones de estas presentaciones podemos señalar "Existen pocos antecedentes sobre requerimientos biológicos de la fauna íctica endémica". De acuerdo a lo anterior, independiente del valor que se fije, es necesario realizar un seguimiento tanto de los caudales como del estado de la biota potencialmente afectada por la baja de caudal.

Sin embargo, en el Anexo 7 adjunto a este adenda se entrega los resultados de una nueva modelación del método solicitado por la autoridad para calcular el CEM, que confirman el valor señalado en el EIA y en el adenda 1.

c) Debilidades en la modelación hidráulica: La utilización del modelo HEC-RAS requiere una información adecuada del perfil topobatemétrico y de coeficientes de rugosidad de Manning. El área modelada del río Ñuble es de una gran complejidad hidráulica asociada a la intrincada geomorfología fluvial, lo cual significa que se requiere de un adecuado número de puntos de medición por sección. Al respecto, el número de puntos considerados en el río es proporcionalmente bajo y por lo tanto no representativo. Otra debilidad es el coeficiente de Manning fijo de 0,058. Es evidente que este parámetro varía de una sección a otra, por lo cual es inadecuado trabajar con un valor fijo determinado en base a la literatura. Los valores de la literatura son de referencia y deben ser validados con datos determinados in situ.

#### Respuesta

Respecto a un mayor número de perfiles batimétricos, se amplió la información realizando un total aproximado de 45 perfiles adicionales, información utilizada para una nueva determinación del CME.

El coeficiente de Manning utilizado fue modificado. Sin embargo, en el caso crítico evaluado, es decir bajos caudales, el río es bastante homogéneo y por lo tanto el valor de Manning es prácticamente fijo para cada sección (situación similar aplicada en experiencias utilizadas en la región para la aplicación de este mismo modelo). Sin embargo, en aquellos casos que, en terreno, se verificó que las características del río, presentaban cambios en la sección, se aplicó un coeficiente específico. Mayores detalles en Anexo 7 adjunto.

c.1) Con respecto a la información topobatemétrica, las ocho secciones transversales definidas son adecuadas para hacer una modelación hidráulica con caudales medios y altos, donde el ancho superficial de escurrimiento es comparable a la distancia que hay entre las secciones. Sin embargo, para caudales bajos, el ancho superficial varía aproximadamente entre 20 y 45 m, estando las secciones muy alejadas. Esta mayor distancia aparente entre secciones consecutivas implica que la interpolación entre ellas será de menor calidad, perdiéndose irregularidades que pueden afectar la modelación de ejes

hidráulicos. Por ejemplo, en las fotografías del anexo "LIMNOLOGÍA" en el capítulo "C-4 Línea Base" se observa claramente las irregularidades de las secciones transversales para un caudal mayor que el CMA, y que no permiten hacer una buena representación del lecho del río con pocas secciones transversales. Por lo anterior, se recomienda considerar secciones transversales cada 30-40 metros para evaluar caudales bajos (que son los que interesan para este proyecto, dado la fuerte disminución de caudal que el Titular está proponiendo) en tramos seleccionados a lo largo del río.

#### Respuesta

De acuerdo a lo señalado en el comentario, en el tramo entre la bocatoma y el estero Lara se evaluaron tres zonas en las que en un tramo de 1 km, para cada una, se generaron al menos 16 perfiles, completando en total un número aproximado a 45. Con esta información adicional se modeló nuevamente el CEM.

c.2) La calidad de las batimetrías y de los coeficientes de Manning influyen significativamente en las estimaciones de las curvas ancho/caudal y profundidad/caudal, por lo cual se considera que los resultados obtenidos en el EIA son muy aproximados y por lo tanto no son suficientes para la estimación de CMA para las principales especies ícticas.

#### Respuesta

En Anexo 7 se entregan los antecedentes, complementando y corrigiendo la información necesaria para un cálculo más preciso del CME.

c.3) Por otra parte, la verificación de los resultados obtenidos en el EIA, recalculando con HEC-RAS las curvas profundidad media/caudal y ancho superficial/caudal, mostraron incongruencias en los resultados. El modelo HEC-RAS resuelve ejes hidráulicos considerando como supuesto principal que el escurrimiento es unidimensional, donde los valores de velocidad son promediados sobre toda la sección, y la superficie del agua se considera horizontal, existiendo variaciones hidráulicas en la dirección longitudinal. Estos supuestos son válidos para caudales altos, y eventualmente caudales medios, pero no se pueden aplicar a priori a caudales bajos, de la forma en que lo hizo el grupo de estudio.

### Respuesta

Se calculó nuevamente los resultados obtenidos en el adenda 1, obteniendo los mismos resultados. Lamentablemente al no identificar en detalle las incongruencias planteadas en la consulta no es posible responder con mayor detalle. Sin perjuicio de lo anterior, cabe destacar que en el anexo 7 se entregan nuevos antecedentes respecto al CME, incluyendo la nueva información recogida en terreno y las sugerencias y recomendaciones realizadas por la autoridad, cada vez que fue pertinente.

Debido a las características del río, con caudales bajo, es posible debido a su homogeneidad de escurrimiento aplicar a priori los supuestos considerados en el modelo.

c.4) Para caudales bajos es recomendable realizar una modelación 2-D, o las denominadas 1.5-D, que obtienen distribuciones del perfil de velocidad en planta, en función de la rugosidad del lecho. Pero en ambos casos, la distancia entre secciones transversales consecutivas debe ser al menos comparable con el ancho superficial de escurrimiento.

Los valores de profundidad y velocidad, obtenidos ya sea por mediciones directas en terreno (que es lo ideal) o por modelación, son parámetros de entrada para los modelos de hábitat, por lo tanto deben ser lo más reales posibles para representar adecuadamente el hábitat disponible para las especies que se desea proteger.

En particular, para el escenario de caudal bajo de verano, es recomendable que se hagan mediciones hidráulicas en terreno. Una alternativa para ajustar la modelación con HEC-RAS es calibrando un coeficiente  $n$ , y agregando secciones transversales que hagan una buena representación del lecho del río. La otra alternativa es haciendo mediciones de profundidad y velocidad en cada sección transversal a ingresar en el modelo de hábitat.

### Respuesta

Como se ha señalado anteriormente, para la nueva aplicación del modelo, en particular para la condición de caudal bajo, se realizaron nuevas mediciones en terreno, se ajustó el coeficiente de Manning y se agregaron secciones transversales para una mejor representación del lecho del río.

d) Inconsistencias en los resultados obtenidos con HEC-RAS: En el EIA se propone que el "Caudal Mínimo Aconsejable" (Caudal Ecológico Mínimo) debe satisfacer limitaciones físicas mínimas para el paso de peces. Como se indicó anteriormente, estas son:

1. La profundidad mínima de escurrimiento debe ser 30 cm en todas las secciones. En la sección 3, que representa la cresta de un rápido, ocurre la menor profundidad de escurrimiento del tramo de estudio y es ahí donde debe cumplirse la restricción de profundidad para el paso de peces.
2. El ancho superficial mínimo para el escurrimiento de 20 m para aquellos sectores con velocidad menor que 1 m/s. Las secciones 2 y 5 son las más encajonadas, presentando el menor ancho superficial, y es ahí donde debe cumplirse esta restricción de ancho mínimo de escurrimiento.

### Respuesta

De acuerdo a lo señalado en la adenda 1, todas las secciones modeladas mediante el método HEC-RAS satisfacen las limitaciones físicas mínimas para el paso de peces, establecidas para este caso en particular, especialmente en profundidad y ancho superficial para las secciones 2,3 y 5.

3. La asesoría contratada por CONAMA, realizó una modelación hidráulica con los mismos datos topográficos,  $n$  de Manning (0,058), y condición de borde aguas abajo (0,002) obtenidos del archivo Excel: Apéndice 1, ubicado en Anexo DP2 del EIA), para verificar los resultados entregados en el EIA (Tabla 1). Se constataron incongruencias entre los resultados obtenidos.

### Respuesta

Se volvieron a recalcular las ecuaciones y el modelo de acuerdo a las observaciones realizadas, obteniéndose los mismos resultados. Lamentablemente, como la consulta no detalla donde estaría la incongruencia o en que paso está la diferencia no es posible responder con más detalla a la consulta.

4. Revisión de Anexo 13 de Adenda 1: Determinación de caudales mínimos aconsejables mediante la aplicación del método IFIM (Phabsim).

Al igual que en el caso de la determinación del CMA mediante el método del perímetro mojado, se revisaron los principios, supuestos, datos utilizados, resultados y conclusiones indicadas en la Adenda 1, relativos a la determinación del CMA mediante la modelación del hábitat acuático empleando Phabsim. Para verificar los resultados obtenidos en el EIA, se recalcaron las curvas de área utilizable ponderada/caudal, empleando el Phabsim y los mismos datos de entrada indicados en el Anexo 13 de la Adenda 1.

Esta revisión permite concluir que las curvas de área utilizable ponderada/caudal, son inadecuadas para la estimación de un CMA debido a que presenta serias inconsistencias, de las cuales las principales son las siguientes:

- a) Falta de representatividad del área de estudio: En el análisis los autores utilizaron información de seis de las ocho secciones consideradas en la determinación del CMA empleando el método del perímetro mojado. El tramo de río que fue considerado en la modelación con Phabsim cubrió desde el punto más cercano a la captación de derechos de aguas, hasta aproximadamente 0,8 km aguas abajo. Todas las consideraciones hechas previamente para el caso del método del perímetro mojado, también son válidas para Phabsim y evidentemente los resultados obtenidos no son extrapolables a tramos del río localizados aguas abajo.

### Respuesta

La elección del área (primeros 800 m aguas abajo de la bocatoma), fue bajo el criterio de calcular el Caudal Ecológico, tal como lo pidió la autoridad, en el área más crítica, es decir donde se generará la disminución de caudal mayor.

Cabe señalar que aproximadamente a los 4,5 (en línea recta) a 6 (siguiendo el curso del río) km aguas abajo de la bocatoma se presenta el primer afluente importante, en el área de intervención del proyecto, el estero Lara, cuyo aporte de caudal amortiguará la baja de caudal que generará la Central, situación que se ve reforzada cuando aguas abajo ingresa otro afluente importante como el estero Bullileo.

Sin perjuicio de lo anterior, y acogiendo lo señalado por la autoridad, en el sentido de generar más perfiles batimétricos, en el área

crítica, que va desde la bocatoma al estero Lara, se analizaron tres zonas, bocatoma, punto 3.1 Km y zona de confluencia del río Ñuble con el estero Lara. En cada uno de estos lugares se realizaron entre 10 y 15 perfiles completando un total de, al menos, 30 perfiles en el área de estudio. Con esta información fueron implementados, nuevamente, los modelos, acogiendo, cada vez que fue pertinente, los comentarios de la autoridad, obteniendo valores de CME similares a los ya obtenidos. Confirmando que el primer cálculo entregado en el adenda 1 es un valor aproximado pero bastante certero. Detalles de la nueva modelación y antecedentes de lo afirmado en esta respuesta se incluyen en el Anexo 7 de este adenda.

- b) No fueron consideradas todas las especies relevantes: De acuerdo a lo señalado en el Anexo 13 de la Adenda N°1, las especies y estados que fueron seleccionadas para la modelación de Caudal Ecológico Mínimo, correspondieron a *Diplomystes nahuelbutaensis* (adultos y juveniles), *Trichomycterus areolatus* (adultos) y *Onchorhynchus mykiss* (adultos). Los criterios para su selección fueron según el proponente "... las características de ellas (por ejemplo categoría de conservación, representatividad en el área, etc.) y disponibilidad de información bibliográfica que permitiera analizar y discutir (comparar) con las curvas generadas para este estudio". Al respecto cabe señalar que:

Es pertinente y necesaria la inclusión de la especie *Diplomystes nahuelbutaensis*, al menos en los dos estadios considerados, dadas sus características de especie endémica, sensible a alteraciones del hábitat y en peligro de extinción (Vila et al. 19964, Campos et al. 19985, Habit 20056). Sin embargo, el hallazgo reportado en el EIA de larvas en el área de influencia podría haberse utilizado igualmente para generar curvas de preferencia de ese estadio, cuya extirpación del área podría implicar un "cuello de botella" insalvable para la viabilidad de la población.

### Respuesta

La especie *D. nahuelbutensis*, efectivamente fue incluida en el análisis realizado, en los dos estadios que se mencionan. No se conoce experiencia de curvas para larvas de especies nativas, y el generarlas podría incorporar un error importante en los cálculos. El impacto señalado,

efectivamente se puede originar, ante lo cual CGE Generación S.A. implementará un Plan de Rescate y Relocalización, para la fauna íctica nativa. Tal como ya se ha señalado, el equipo de trabajo que desarrolló la Línea de Base y estará a cargo del Plan propuesto, en la actualidad, desarrolla una experiencia similar en el norte del país.

Los resultados de ese estudio indican que a partir del año y medio se obtienen evidencias de reclutamiento, generando viabilidad de la población rescatada y mitigando el efecto cuello de botella. Toda la experiencia recogida en este y otros estudios desarrollados por el equipo de trabajo será volcada en este estudio con el objeto de obtener similares resultados.

Es pertinente y necesaria la inclusión de la especie *Trichomycterus areolatus*, aún cuando habría sido deseable al menos un comentario sobre las preferencias de juveniles y larvas, también reportadas en la línea de base del EIA. Nueva información generada en el río Biobío (García & Habit 20067), muestra que existen diferencias en la preferencia de hábitats de ellos, pudiendo estar los juveniles asociados a ambientes más someros y de menor velocidad de corriente que los adultos.

### Respuesta

La especie *Trichomycterus aerolatus* fue incluida en el análisis realizado, tal como se procedió en la Adenda N0 1 y se complementó los antecedentes en este adenda (Anexo 7). Ciertamente existen diferencias en la preferencia de hábitat de adultos y juveniles.

Sin perjuicio de lo anterior, y de acuerdo a la información bibliográfica existente. Por ejemplo la determinación de CME para Quilleco, muestran que los caudales requeridos para esta especie son levemente mayores que los resultados obtenidos para *D. nahuelbutensis*, por lo tanto una vez fijado el rango de caudal para esta última especie en su estado juvenil, Para *T. areolatus* debiera ser levemente mayor.

Sin perjuicio de lo anterior, y de acuerdo a la experiencia recogida después de tres campañas de monitoreo durante el año 2006, es posible señalar que dicha especie (*T. areolatus*) tiene un espectro amplio de uso de hábitats, concentrándose (tanto juveniles como adultos) en los esteros subsidiarios del Río Ñuble (i.e., esteros Lara, Bullileo y El Principal).

Existen seis especies nativas presentes en el área las cuales no fueron incluidas en la modelación, algunas de las cuales tienen usos y preferencias de hábitats muy diferentes a las tres especies consideradas. Ejemplo de ellas son *Percichthys trucha* y *Odontesthes sp.*, las cuales presentan una importante segregación en el uso de hábitat entre adultos y juveniles, y adultos con requerimientos de hábitats muy distintos a los bagres nativos y truchas. Según indica el proponente, en el área de estudio fueron encontradas larvas, juveniles y adultos de *P. trucha*, lo cual indica la existencia de hábitats de desove, reclutamiento, crianza de juveniles y refugio de adultos, por lo que esta especie debería ser también incluida en la modelación.

### Respuesta

En la petición por parte de la autoridad de la determinación del caudal mínimo aconsejable, ésta no determinó las especies a ser modeladas, por lo que se procedió a trabajar con aquellas especies sobre las cuales se tenía mayor información. Cabe recordar que la elección de las especies, utilizadas, a petición de la autoridad consideró experiencias anteriores, con el objeto de poder generar una suerte de comparación. En este sentido, se eligieron las mismas especies utilizadas para el proyecto Quilleco, en el río Laja, debido a que es la experiencia más cercana en términos de geografía y por lo tanto es un buen punto de referencia

Además, se menciona en la Línea de Base una especie no determinada de *Percichthys* (*Percichthys sp.*). Al respecto cabe señalar que en Chile sólo están descritas dos especies de ese género, *P. trucha* y *P. melanops*, por lo que parece raro la no determinación de ejemplares de este género. De corresponder a *P. melanops*, existiría una especie más en peligro de extinción en el área, la cual está siendo severamente afectada por distintas acciones antrópicas (Habit et al. 2006).

### Respuesta

Nos pareció poco serio entregar una clasificación sin estar 100% seguro de la especie recolectada. Sin embargo y al igual que en la tercera campaña, con mayores antecedentes podemos confirmar que la especie determinada era *P. trucha*.

De las demás especies nativas no incluidas en la modelación mediante Phabsim, *Trichomycterus chiltoni* y *Bullockia maldonadoi* están presentes

en el área en sus estados de larvas (sólo *T. chiltoni*), juveniles y adultos (según se muestra en la Línea de Base), lo que indica que el tramo de río a intervenir es una zona de reproducción y crianza de estas dos especies catalogadas como en peligro de extinción. El proponente debería al menos hacer un alcance del tipo de hábitats que utilizan estas especies y su proyección en la situación con caudal mínimo.

### Respuesta

Los tipos de hábitat que habitan estas especies están descritos en el informe de la campaña de Línea de Base, incluido en el Anexo 2 de este adenda. Sin duda se verán afectados por el proyecto, al igual que el resto de los componentes del medio acuático, cuando disminuya el caudal en el río Ñuble, en el área de intervención. Es por esta razón que CGE Generación S.A. propone la implementación de un Plan de Rescate y Relocalización, cuyos detalles se entregan en la respuesta 11 de este adenda, con el fin de mitigar el efecto e impacto que potencialmente se producirá.

Cabe destacar que la primera fase del Plan, considera complementar y afinar el estudio de microhábitat, el que consiste en ubicar aquellas zonas en el estero Lara y Bullileo, que presenten características similares a las que actualmente habitan todas las especies objeto de traslado, con el fin de asegurar la viabilidad de estos organismo y el éxito del Plan de manejo.

A pesar de lo establecido por el proponente como criterio de selección de especies a incluir en el modelo, no existen en el texto comparaciones con curvas obtenidas en otros estudios o cita de aquellas que se consideraran como antecedentes. Este aspecto es relevante de aclarar, ya que la información biológica descrita en el EIA y su Adenda se considera insuficiente para generar curvas de preferencia basadas en datos, y la experiencia del equipo de trabajo no es reconocida en el área de fauna de sistemas continentales.

### Respuesta

La comparación de curvas con otros estudios es una práctica que debiera ser evitada, pues no existe evidencia concreta que permita suponer que una especie exprese la misma curva de preferencia de hábitat en ríos distintos, pues no hay garantía que los mismos tipos de hábitat se encuentren igualmente ofertados entre estos ríos. Además, no existe una cantidad de estudios y antecedentes sobre el tema que permitan

realizar dichas comparaciones. Respecto al profesionalismo del equipo de trabajo de terreno, éste está constituido por cuatro profesionales con vasta experiencia en el campo, con grados de Doctor en Ciencias con mención en Ecología y un profesional con grado de Master especializado en Medio Ambiente, por lo que nos parece un tanto antojadizo el cuestionamiento realizado.

c) Falta de claridad en algunos y criterios utilizados para la generación de curvas de preferencia: Se determinaron las curvas de preferencia para tres variables: velocidad de corriente, profundidad e índice de canal. De éstas, la variable índice de canal no está explicada adecuadamente. Se indica en el Anexo 13 que "Channel index: índice de canal que depende de la estructura de hábitat", sin embargo no se explica a qué corresponden las categorías o escala empleada (0 – 8), lo que impide el análisis de la curva. Al mismo tiempo, se indica en la página 9 del Anexo 13 que "es poco probable encontrar preferencias muy marcadas hacia índices de canal altos, pues zonas de bolones muy grandes tienden a estar asociadas a alta corriente (condición no preferida por especies sensibles como *Diplomystes* y *Trichomycterus*)". La interpretación de esta frase es que la escala del índice de canal podría corresponder a 0=sustrato fino (arena probablemente) a 8=sustrato muy grueso (bolones). Sin embargo, ello genera varias dudas, (a) la curva de preferencia de *T. areolatus* adultos muestra una preferencia exclusiva de índice de canal igual a 1, lo cual sugeriría sustratos finos. Ello no concuerda con la preferencia real de esta especie por tipos de sustratos, ni con la definición que el proponente hace en la página 8 del Anexo 13, donde dice que *Trichomycterus* tiene "preferencia de hábitat de complejidad media (zonas de grava y bolones...)". Por otra parte, la curva de preferencia de *D. nahuelbutaensis* por índice de canal muestra una preferencia de la categoría 7, es decir, sustratos muy grandes, los cuales antes se mencionó no eran de preferencia de estas especies. Por lo tanto, es necesaria la aclaración del significado de los valores del índice de canal para hacer una correcta interpretación.

### Respuesta

Los valores de Índice de Canal corresponden a categorías de sustratos existentes en el hábitat del río prospectado, que en este caso varían

en valores comprendidos entre 1 y 8. Esta clasificación abarca sustratos entre arenas, pasando por grava y bolones, hasta tamaños grandes como rocas. La curva de preferencia de *D. nahuelbutaensis* utilizada son los IC 2 a 5 que indican predilecciones por sustratos de grava y bolones pequeños. Para el caso de *T. areolatus* la curva de preferencia de IC fueron las clasificadas desde 3 a 5, es decir, de grava media a bolones pequeños. Mayor información sobre los índices de canal utilizados y las curvas asociadas se encuentra disponible en el Anexo 7.

Algunas curvas de preferencia de hábitats incorrectas: Tal como se mencionó en el punto anterior, dado que la escala del índice de canal no está clara, los comentarios siguientes están sólo referidos a las curvas de velocidad y profundidad.

*Onchorhynchus mykiss* adultos: la curva de preferencia de velocidad indica que los adultos de trucha arcoíris no prefieren ambientes de velocidad nula, lo cual es incorrecto. Las truchas adultas habitan desde ambientes de pozones en ríos (de baja a nula velocidad) y ambientes lacustres (donde alcanzan sus mayores tallas), a sectores de ríos con alta velocidad de corriente (referida a velocidad promedio, ya que generalmente los adultos se encuentran en microhábitats de aguas detenidas, e.g. detrás de bolones).

*Trichomycterus areolatus* adultos: ambas curvas se consideran apropiadas, reflejando las preferencias generales de hábitat de los adultos, descritos previamente (e.g. río Laja, Valdovinos et al. 2000; río Biobío, García & Habit 2006).

*Diplomystes nahuelbutaensis* adultos: las curvas de velocidad y profundidad son iguales a las descritas previamente por Valdovinos et al. (op. cit.) para el río Laja.

*Diplomystes nahuelbutaensis* juveniles: la curva de preferencia de velocidad de corriente es igual a la descrita para el río Laja (Valdovinos et al., op. cit.), en tanto que la de profundidad abarca un rango más estrecho que el descrito para el río Laja. Esta puede ser una característica sitio-específica, indicando un uso de hábitat levemente diferente, lo cual es factible.

### Respuesta

Se acoge lo observado por la autoridad, Las curvas de preferencia de velocidad para *Onchorhynchus*

*mykiss* fueron modificadas para incluir todos los comportamientos de la especie a distintos hábitat. El detalle se adjunta en Anexo 7.

d) Datos hidráulicos obtenidos en forma indirecta empleando HEC-RAS: No se realizaron mediciones directas de velocidades de la corriente y profundidad en diferentes condiciones de caudal, lo cual es esencial para utilizar correctamente Phabsim. Estos valores fueron estimados empleando las mismas simulaciones realizadas con el modelo HEC-RAS para la determinación del CMA empleando el método del perímetro mojado (No hay coincidencia entre los datos de velocidad obtenidos con HEC-RAS con los empleados el Phabsim). Al respecto, ya se mencionaron las debilidades de la modelación hidráulica. Esta situación de no tener mediciones directas impide contrastar los valores calculados y medidos para las variables profundidad y velocidad de la corriente, y por lo tanto determinar la calidad de la modelación. De igual manera, las estimaciones de caudal en las secciones son similares a las mejores estimaciones de caudal, lo que impide que Phabsim haga ajustes de los valores de distribuciones de velocidad para cada uno de los puntos de las secciones.

### Respuesta

La medición de datos en terreno, particularmente la velocidad, siempre es lo óptimo y recomendable, pero para el caso del PHABSIM no es cierto que es determinante tener valores de velocidad de terreno, para su adecuado uso. En este sentido, el programa en sí simula velocidades independiente de su origen, haciendo en cualquier caso la mejor aproximación posible.

En el caso de la profundidad, la información sí se obtuvo de las tareas en terreno, lo que permitió elaborar los distintos perfiles superficiales aplicados en el modelo.

De acuerdo a lo anterior, los resultados obtenidos se consideran una buena aproximación, lo que no está exento de variabilidad asociado a cualquier tipo de modelación y en particular al PHABSIM, características reconocida y mencionada por diversos especialistas que han estudiado el tema.

e) Incongruencias con las curvas de área utilizable ponderada: La verificación de los resultados obtenidos empleando Phabsim y los mismos datos de entrada utilizadas

por los autores de la Adenda 1, mostraron importantes diferencias para el caso de las especies *Diplomystes nahuelbutaensis* (adultos y juveniles) y *Onchorhynchus mykiss*. En el caso de *Trichomycterus areolatus* las curvas son comparables.

### Respuesta

Se verificó y calculó nuevamente el modelo utilizado, obteniendo los mismos resultados entregados en el adenda 1. Lamentablemente no es posible responder con mayor detalle, debido a que la consulta no es específica para señalar en que paso se produce la incongruencia. Sin perjuicio de lo anterior, en el Anexo 7, adjunto, se entrega un nuevo modelo de CEM ajustado con la nueva información recogida en terreno y las sugerencias y aportes realizados por la autoridad en este adenda.

- f) No se argumenta un criterio para la estimación del CMA: Los autores señalan que los resultados "indican que el CMA corresponde a un rango de valores de 5 y 10 m<sup>3</sup>/s", sin dar mayores explicaciones en la interpretación de las curvas de área utilizable ponderada/caudal. Asimismo, tampoco discuten la debilidad de una modelación basada en datos estimados con un elevado grado de incertidumbre.

### Respuesta

De acuerdo a la definición de caudal ecológico como "caudal que asegure la supervivencia de un ecosistema acuático preestablecido", el titular consideró que dentro de un rango de caudales se define la condición más adecuada para las especies nativas que son las más sensibles de las presentes en el área de estudio. Este valor de caudales corresponde a la parte inferior del rango propuesto, la que proporciona el hábitat más adecuado para los ejemplares juveniles de este tipo de fauna íctica. Como se ha señalado oportunamente en la Adenda N01, los valores propuestos son valores referenciales y deben ser tomados como juicio para establecer un caudal mínimo aconsejable apropiado. Es por este motivo y debido a la debilidad, en sí, del modelo solicitado por la autoridad, que se define un rango de valores y no se establece un número, que por su naturaleza tiene cierto grado de incertidumbre. Cabe recordar que en el caso de otros estudios de CME, realizados en la región, utilizando la misma metodología se estableció un valor que luego se aumentó en consideración de establecer un rango de seguridad.

Respecto de las medidas y acciones necesarias para prevenir y mitigar los efectos ambientales negativos sobre el medio acuático en el área de influencia del proyecto en el río Ñuble.

Medidas de prevención: La principal medida de prevención considerada para el medio acuático, ha sido la determinación de un Caudal Ecológico Mínimo (CME) de 7,75 m<sup>3</sup>/s. De acuerdo a lo detallado anteriormente, las modelaciones realizadas con HECRAS y Phabsim no presentan resultados confiables que permitan definir un CME para el tramo a ser intervenido y por lo tanto no hay medidas de prevención confiables.

### Respuesta

Respecto a la confiabilidad del modelo, los argumentos fueron incluidos en la respuesta a la consulta 126 de este adenda y en el Anexo 7. La principal medida propuesta para mitigar el impacto de la disminución de caudal que generará el proyecto en el área de intervención, es el Plan de Rescate y relocalización que es independiente del valor que finalmente se fije como CME. En respuestas anteriores se han entregado los antecedentes y argumentos que permiten asegurar que la implementación de estos planes de rescate y relocalización son exitosos y confiables y responden en forma adecuada a mitigar y minimizar potenciales impactos en cuerpo de agua dulce.

Medidas de mitigación: Con respecto al impacto producido por la drástica reducción de caudales, a un valor constante de 7,75 m<sup>3</sup>/s, en el EIA sólo se incorporan medidas de mitigación referentes a la fauna íctica, sin considerar otros efectos derivados sobre:

- a) uso del ecosistema fluvial como balnearios y
- b) actividades de pesca deportiva.

### Respuesta

Esta misma pregunta fue realizada en el numeral 127 de este adenda donde es respondida, y se incorporando los antecedentes solicitados.

Con respecto a la fauna íctica.

Medida de mitigación 1: "El proyecto cuenta, en el vertedero de la barrera, con un dispositivo de entrega del caudal ecológico, el que consiste en dos tuberías de 1,0 m, de diámetro cada una, que permitirán satisfacer plenamente y de manera individual un caudal de 7,75 m<sup>3</sup>/s".

La autoridad considera que esta no es una medida de mitigación propiamente tal.

### Respuesta

Esta misma pregunta fue realizada en el numeral 129 de este adenda donde es respondida, incorporado los antecedentes solicitados.

Medida de mitigación 3: "Se realizará un Plan de Rescate y Relocalización de los organismos que habiten el área de las obras de la barrera de la bocatoma. Las características de este Plan se presentarán en la solicitud de permiso de pesca de investigación que será tramitado ante la autoridad. En este sentido, y de acuerdo a la información recogida durante la prospección de Línea de Base, es posible señalar a priori que los esteros Lara y Bullileo se presentan como alternativas interesantes para la relocalización de individuos".

Tal como el Titular señala en la Adenda 1, es necesario definir un Plan de Rescate y Relocalización que considere la capacidad de carga y condiciones de hábitat de las áreas de relocalización. Sin este plan no es posible evaluar adecuadamente si esta medida de mitigación puede considerarse efectiva. Sin embargo, esta medida se limita a "el área de la barrera y bocatoma" y no considera el tramo de río comprendido entre la barrera y descarga que será sometida a CEM. Es muy probable que cuando se establezca en CEM se formen numerosas pozas que alberguen peces que pudiesen ser rescatados, especialmente las especies nativas en peligro.

### Respuesta

Esta misma pregunta fue realizada en el numeral 129 de este adenda donde es respondida, incorporado los antecedentes solicitados.

En resumen, el aspecto central de las medidas de mitigación debe ser como revertir en parte el impacto negativo sobre la biota acuática el establecimiento del CEM. Este caudal por sí sólo no asegura la persistencia de las poblaciones de peces a largo plazo, por lo tanto puede requerirse de medidas adicionales tales como Mejora de Hábitat fluvial. Estas últimas posibilitan una reproducción más efectiva, mayor cantidad de alimento o una mayor capacidad de refugio. Además, su implementación permite mitigar los efectos desfavorables de otras múltiples actividades humanas.

La mejora de las poblaciones piscícolas debe planificarse atendiendo a los objetivos predefinidos en la gestión. En el caso de la Central Ñuble de Pasada, debiera ser primariamente la conservación

de la biodiversidad acuática y secundariamente la mantención de la pesca deportiva.

En dicho plan deben de seguirse las siguientes etapas:

1. Evaluación de las poblaciones y de su hábitat.
2. Diagnóstico de la problemática de las poblaciones, detectando sus factores limitantes.
3. Diseño de un plan de acción.
4. Implementación de las medidas planificadas.
5. Seguimiento y evaluación de resultados.

De todas estas etapas es fundamental evaluar las características de las poblaciones y comunidades biológicas, para poder reconocer los "factores limitantes" para la biodiversidad acuática (estructura y procesos). Para ello, una primera tarea es la de analizar la adecuación de las poblaciones a las características del hábitat en que se desarrollan. El fondo de esta cuestión reside en el grado de correlación existente entre el tamaño y la estructura de las poblaciones con los factores del hábitat.

La Mejora del Hábitat es quizás la mejor alternativa para la conservación de la biodiversidad acuática del tramo a intervenir. La metodología a considerar depende de las características del río y de los factores limitantes identificados.

Como se mencionó anteriormente, en el EIA sólo se incorporan medidas de mitigación referentes a la fauna íctica, sin considerar otros efectos derivados sobre:

- a) uso del ecosistema fluvial como balnearios y
- b) actividades de pesca deportiva. Para el caso de los balnearios hay medidas de mitigación simples que pueden ser adoptadas dependiendo de las características propias de las áreas afectadas. Estas medidas van desde mejoras de las áreas dentro del río (e.g. creación de pozones) hasta acciones llevadas a cabo en sus márgenes (e.g. creación de piscinas). Para el caso de la pesca deportiva, esta puede ser mitigada mediante las mismas acciones indicadas anteriormente para la conservación de la fauna íctica en general.

### Respuesta

Esta misma pregunta fue realizada en el numeral 130 de este adenda donde es respondida, incorporado los antecedentes solicitados.

La autoridad ambiental respecto de la evaluación de los planes de seguimiento de las condiciones del medio acuático en el área de influencia del proyecto en el río Ñuble.

El objetivo fundamental de los Planes de Monitoreo o Seguimiento es determinar si las medidas mitigantes (tanto aquellas incorporadas al proyecto como aquellas surgidas de la evaluación de los impactos ambientales) han sido eficaces en garantizar el cumplimiento de las normativas vigentes y las buenas prácticas ambientales. También se pretende determinar si las predicciones o estimaciones realizadas en el EIA se cumplen, o es necesario implementar medidas correctivas adicionales.

Además, es importante considerar, que de acuerdo a lo establecido en el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, el Plan de Seguimiento se elabora para aquellas variables ambientales que dieron origen al Estudio de Impacto Ambiental (indicadas en el Capítulo 3 del EIA), de allí la relevancia de desarrollar adecuadas líneas de bases ambientales.

El plan de seguimiento presentado en el EIA, para el componente fauna íctica, variables limnológicas relevantes (nutrientes, oxígeno, temperatura, pH) y comunidades bentónicas. Al respecto, se tienen los siguientes comentarios:

Estaciones de monitoreo: En las tablas S-3 y S-9 se indica que los monitoreos se realizarán en las mismas estaciones caracterizadas en la Línea de Base, y en la figura 8-2 del Capítulo 8 se explicitan nueve estaciones de monitoreo:

Estas estaciones se ajustan con las señaladas en la Tabla LIM-1 del Capítulo 4 en la cual se indican además las coordenadas de las estaciones de muestreo. En el tramo en que se determinó el CMA no hay estaciones adicionales que permitan evaluar el comportamiento de la biota en el área modelada del río.

No hay coincidencia exacta en muchas de las estaciones del primer y segundo muestreo (señalado por el titular en el Adenda 1) de la Línea de Base.

### Respuesta

Respecto a la no coincidencia entre una y otra campaña de muestreo, el tema fue abordado en la respuesta a la pregunta 12 de este

acápite. Cabe destacar que las metodologías de muestreo, en el medio ambiente acuático, generalmente consideran áreas de prospección y no puntos específicos, por ejemplo la pesca eléctrica se aplica en un trayecto lineal en el borde del río, para otros componentes se cubre un área determinada, etc.

En este sentido la ubicación de las estaciones o áreas de monitoreo deben ser consideradas como referencia o como punto de ubicación para prospectar un área en torno a este punto.

Se acoge la sugerencia en términos de incorporar estaciones de monitoreo en el área crítica del CME, debido a lo anterior se monitoreará una estación el área del evaluada a través de perfiles batimétricos denominada 3.100 (ver Anexo 7). El detalle del programa de seguimiento se entrega en el Anexo Fichas incluido en este Adenda

Metodología empleada: La metodología considerada para el monitoreo de la comunidad íctica es incompleta y la de macroinvertebrados bentónicos incorrecta. A continuación se presentan observaciones específicas para estos dos componentes.

Fauna íctica: se tienen los siguientes comentarios a las metodologías empleadas en el EIA:

1. Para describir adecuadamente la fauna de peces de un tramo de río, es necesario abarcar la totalidad de hábitats existentes en él, de tal forma de asegurar la recolección de todas las especies. Cuando sólo se muestrean los hábitats característicos (e.g. zonas de rápidos, que son los ambientes dominante en este caso), se puede subestimar la riqueza de especies, ya que pequeños sectores menos representativos, como ejemplo pequeñas pozas, podrían contener otras especies.
2. En relación a lo anterior, el muestreo de peces debe estar acompañado de una adecuada caracterización de los hábitats existentes y aquellos efectivamente muestreados (no incluido en el EIA). Las variables relevantes a medir son, al menos, velocidad de la corriente, profundidad y tipo de sustrato.

Nota: En el caso de los nutrientes no se explicita cuales serán considerados (e.g. amonio, nitrito, nitrato, nitrógeno total, ortofosfato, fósforo total, silicatos).

### Respuesta

Al respecto los revisores han especulado, erróneamente, que se han realizado faenas de muestreo sesgadas. Por el contrario, los tramos de muestreo con pesca eléctrica son en general bastante extensos (entre 100 a 500 m), incluyendo una amplia gama de hábitat que abarcan todo el gradiente, desde pozas de baja corriente hasta zonas de rápidos. Esto ha sido hecho de esta manera con el fin de abarcar la totalidad de hábitat en cada sitio de muestreo, y así maximizar la correcta representación de todas las especies del sector. La no inclusión explícita de categorías de hábitat ha sido evitada con el fin de no incluir sesgos de clasificación, pues los límites entre hábitat son, en la mayoría de los casos, difusos. Además, un muestreo estratificado por tipo de hábitat requeriría el conocimiento previo de las preferencias de hábitat de cada especie (para así distribuir el esfuerzo de muestreo en proporción al uso de hábitat), lo cual es un contrasentido a la naturaleza de una Línea de Base, en la que se desea tener una descripción de un sistema que luego debe ser ponderado con información disponible o con nuevas campañas, como ha sido este caso.

Ciertamente es posible, a futuro, incluir las variables métricas para la caracterización de hábitat, si la autoridad así lo desea. Sin embargo, cabe destacar que las variables mencionadas por la parte revisora, sólo son relevantes si se desea realizar un estudio de caudal ecológico por simulación de hábitat (lo cual no está comprometido en la EIA, ni ha sido solicitado por la autoridad). Otras variables bióticas y abióticas son igualmente importantes, y han sido medidas en las diversas campañas realizadas (e.g., temperatura, conductividad, granulometría).

Finalmente en cuanto a los nutrientes, en el programa de seguimiento serán cuantificados amonio, nitrógeno total y fósforo total)

15. Caudal Ecológico Mínimo (CEM): Como conclusión general, las modelaciones realizadas con HEC-RAS y Phabsim no presentan resultados confiables que permitan definir un CME "Caudal Mínimo Aconsejable", para el tramo a ser intervenido. Se recomienda modelar el hábitat acuático (e.g. Phabsim, Casimir) en al menos el área considerada crítica, comprendida entre la bocatoma y el Estero Lara, situado aproximadamente 5,5 km aguas abajo. Esta modelación debería realizarse con un adecuado

número de secciones representativas del tramo y considerando todas las especies nativas. En las áreas en las cuales existan actividades recreativas, en particular zonas de balnearios, debieran realizarse modelaciones con HEC-RAS para determinar si se cumplen condiciones adecuadas de ancho del río y profundidad.

### Respuesta

En Anexo 7 adjunto a este adenda, se incluyen los resultados de una nueva modelación, para el cálculo del CME, considerando, cada vez que fue pertinente las observaciones, sugerencias y recomendaciones realizadas por la autoridad.

16. Medidas de prevención y mitigación: La principal medida de prevención considerada para el medio acuático, ha sido la determinación de un CME de 7,75 m<sup>3</sup>/s. De acuerdo a lo indicado anteriormente, las modelaciones realizadas no presentan resultados confiables que permitan definir un CME para el tramo a ser intervenido y por lo tanto no hay medidas de prevención confiables. Se recomienda hacer una adecuada determinación de CME.

Con respecto al impacto producido por la drástica reducción de caudales en el tramo intervenido, a un valor constante de 7,75 m<sup>3</sup>/s, en el EIA sólo se incorporan medidas de mitigación referentes a la fauna íctica, sin considerar otros efectos derivados sobre:

- uso del ecosistema fluvial como balnearios
- actividades de pesca deportiva.

Se solicita al titular incorporar estos dos componentes en el análisis integrado del sistema.

### Respuesta

Por favor remitirse a la respuesta entregada a la consulta 127 de este acápite donde se emite idéntica pregunta.

17. Pregunta 146 (Municipalidad de Coihueco)  
Manifiesta su preocupación por lo que sucederá en la época de estío, cuando, según el titular, el cauce mínimo baje a menos de 8 m<sup>3</sup>/seg, que corresponde a la mitad del caudal mínimo medio de estío. Siendo el Río Ñuble el límite natural de los predios ribereños, así como de las comunas de San Fabián y Coihueco, con ese caudal, fuera de liquidar gran parte de la flora y fauna del río, desaparecerá la barrera natural que impide el tráfico de animales y personas extrañas de un

lato a otro, con los correspondientes problemas vecinales que esto significa, o ¿CGE construirá barreras artificiales que eviten estos problemas? Con el correspondiente daño al medioambiente y paisaje natural existente?.

### Respuesta

La observación indica que el caudal ecológico propuesto en el EIA, que es de 7,75 m<sup>3</sup>/s, corresponde a la mitad del caudal mínimo medio de estío.

De la estadística de Caudales Medios Mensuales en la Barrera de la Bocatoma de la Central Ñuble, que se presenta en la Tabla HD-4, incluida en la página 18 del Capítulo 4 del EIA, se observa que los caudales mínimos medios mensuales para el periodo de estiaje (enero-abril), son los siguientes:

Mes	Q min (m <sup>3</sup> /s)
Enero	13,7
Febrero	11,2
Marzo	9,2
Abril	6,8

Fuente: EIA CH Ñuble, CGE 2007.

El promedio de los valores consignados (caudal mínimo medio de estío) es de 10,2 m<sup>3</sup>/s y el caudal ecológico propuesto, 7,75 (m<sup>3</sup>/s), representa el 75 % de ese valor y no la mitad como indica la observación.

Respecto del límite natural que constituye el río, se debe considerar que el carácter de barrera natural de un río está configurado no sólo por el caudal que escurre por su cauce sino que también por su morfología general y particularmente por las condiciones topográficas del cauce y sus riberas.

En consecuencia, la disminución de caudal en el río a un valor tal que pudiera hacer pensar que va a facilitar su cruce por personas y animales no basta para afirmar que el río dejará de ser una barrera natural. De acuerdo a lo señalado, en el análisis de esta situación debe considerarse en forma conjunta el caudal y las condiciones topográficas del cauce y de las riberas. En efecto, en el cauce del río, para un mismo caudal, en ciertos sectores la geometría del cauce puede determinar que la profundidad y velocidad del escurrimiento sean tales que no permita el paso de personas y animales, mientras que en otros, se den condiciones que definan profundidades y velocidades que sí lo permitan. A este factor

propio del cauce, debe agregarse el de las posibilidades de acceso al mismo. Así por ejemplo, pueden existir sectores en los que el cauce esté flanqueado en las riberas por cortes abruptos o laderas de muy fuerte inclinación que no permitan el acceso a éste. En este caso, podrían darse condiciones geométricas en el cauce mismo que pudieran hacerlo vadeable, pero seguiría existiendo la barrera natural por las condiciones de inaccesibilidad al cauce.

De acuerdo a lo anterior, se ha analizado la condición de barrera natural del río Ñuble entre la bocatoma y la restitución de la central efectuando una detallada inspección en terreno y conjuntamente desarrollando un análisis de las fotografías aéreas y de la cartografía disponible.

El análisis efectuado permite concluir que en general, por las condiciones combinadas de escurrimiento en el cauce y de accesibilidad al mismo, el río Ñuble en el tramo de interés, continuará siendo una barrera natural en las condiciones de escurrimiento del caudal ecológico.

En los km medidos, siguiendo el cauce del río Ñuble, entre la bocatoma y la descarga de la central, se han identificado 8 sectores en los cuales se dan condiciones que eventualmente permitirían el cruce en condiciones de bajos caudales, ellos son los siguientes (kilometraje medido desde la bocatoma a lo largo del río):

- Km 1,7
- Km 5,8
- Km 11,9
- Km 13,0
- Km 14,6
- Km 15,1 – 15,7
- Km 18,2
- Km 19,9

En situación de bajos caudales se observará la situación en estos sectores y de verificarse que en ellos se pudiera cruzar la barrera natural que constituye el río, se dispondrán cercos que resuelvan esta situación.

Respecto a la sobrevivencia de especies acuáticas, el proyecto implementará un Plan de Rescate y Relocalización de la fauna íctica nativa, para evitar y mitigar cualquier potencial efecto. En cuanto a las aves, por la capacidad de desplazamiento y lo acotado del área a intervenir se ha considerado innecesaria la

implementación de medidas, situación, por lo demás que tampoco ha sido solicitada por la autoridad.

### A.2.3 Adenda 3

#### 1. Pregunta 1 (SUBPESCA)

El proyecto en evaluación se inserta en el Sitio Prioritario Para la Conservación de la Biodiversidad "Nevados de Chillan" que la CONAMA ha identificado en su Estrategia Nacional y Regional Para la Conservación de la Biodiversidad, que lo consideró como uno de los 5 sitios de mayor prioridad, dentro de más de 70 sitios regionales preseleccionados, para desarrollar acciones de protección. Por ello debe ser considerada como área de alto valor ambiental y de protección oficial.

#### 2. Pregunta 2 (SUBPESCA)

En lo esencial se debe destacar que el proyecto se inserta en el Área de Protección Turística Cordillerana, creada mediante D.S. 295 del 8/11/74, cuyos límites fueron modificados mediante el D.S. 391 del 1/12/78.

- Entre sus objetivos de protección se cuentan los siguientes:
- Ser un área conformada en su mayor parte por cerros y quebradas muy expuestas a la erosión, y áreas de atracción turística, no susceptibles de aprovechamiento ganadero o agrícola.
- La necesidad de proteger los últimos recursos de flora y fauna nativos del sector, en especial sectores que constituyen hábitat del huemul.
- Preservar la belleza del paisaje, su importancia turística y la necesidad de proteger los suelos, y
- El D.S. además prohíbe la corta de árboles nativos.

#### Respuesta (preguntas 1 y 2)

El Titular estima pertinente precisar los Considerando del D.S. 295 del 8/11/74, los que textualmente señalan:

"Que, en su mayor parte los terrenos de precordillera y cordillera andina en las provincias de Ñuble y Biobío, que conforman las cuencas hidrográficas del "Lago Laja" y de los ríos "Laja", "Cholguán" y "Diguillín" están formados por cerros, quebradas y áreas de atracción turística, no susceptibles de aprovechamiento agrícola o ganadero y muy expuestos a la erosión."

"Que es necesario proteger urgentemente los últimos recursos de flora y fauna del sector, preservando a la vez la belleza del paisaje y evitar la destrucción de los suelos."

"Que constituye un deber ineludible del Estado proteger a la brevedad los sistemas hidrográficos antes indicado pues constituyen la base del potencial hidroeléctrico de Endesa para esa región y el resto del país."

"Que la citada región da origen a cursos de agua que alimentarán a canales de regadío importantísimos para el desarrollo agropecuario de la región."

"Que para alcanzar los fines antes mencionados se hace indispensable prohibir la corta de árboles en dicho sector,"

A este respecto es importante destacar el tercero de los Considerando, omitido en este ICSARA, que dice que constituye un deber ineludible del Estado proteger a la brevedad los sistemas hidrográficos antes indicado pues constituyen la base del potencial hidroeléctrico de Endesa para esa región y el resto del país. Cabe aclarar que la mención a Endesa debe entenderse en el sentido que ella era en aquella época una empresa del Estado que tenía por misión específica llevar adelante el Plan de Electrificación del País, por lo que su mención no limita los alcances de este Considerando.

Este tercer Considerando establece que el desarrollo hidroeléctrico de las cuencas del área es precisamente una de las actividades sometida a protección oficial. Por lo tanto, si se usa como uno de los criterios para definir el caudal ecológico los elementos a proteger en el área según el Decreto antes mencionado, junto con los otros factores a considerar, debe tenerse presente que el monto de dicho caudal ecológico debe ser tal que sea compatible con el desarrollo hidroeléctrico, no asumiendo un valor tal que ponga en peligro la posibilidad de este desarrollo y que no se estén utilizando óptimamente los recursos hídricos disponibles.

#### 3. Pregunta 4 (SUBPESCA)

La relevancia de esta variable para viabilidad de las comunidades hidrobiológicas, en especial la fauna íctica, que para el tramo afectado de río (aproximadamente 20 km) se han identificado especies ícticas en categorías de conservación que no han sido consideradas en la

determinación del CME y por ende se desconoce sus requerimientos de caudal que determinan la disponibilidad de hábitats para ellas.

### Respuesta

Las especies en categoría de conservación, en virtud de su estatus de rareza, generalmente no permiten construir curvas de uso de hábitat confiables (muy baja abundancia equivale a baja resolución cuantitativa), por lo cual sería muy irresponsable desarrollar análisis de simulación de hábitat basados en curvas que serán sesgadas por el poco conocimiento de la biología de éstas. De las especies en peligro o vulnerables prospectadas en el presente estudio, sólo aquellas con una buena representatividad han sido consideradas. El criterio de análisis IFIM-PHABSIM consideró simular situaciones extremas empleando especies focales bien representadas, las que en un extremo inferior quedarían definidas por *D. nahuelbutaensis* en virtud de su estatus de conservación y buena representatividad numérica en el área de estudio. Cabe hacer presente que en otros estudios realizados en la región y particularmente en el río Biobío, la discusión se ha centrado en esta especie por su vulnerabilidad.

En el otro extremo, *O. mykiss*, si bien es una especie introducida y sin categoría de conservación, permite simular un extremo de uso amplio de hábitat, además de coexistir con las especies nativas de la zona permitiría describir el uso de hábitat de éstas. La inclusión de *T. areolatus*, se basa en que es la especie más abundante registrada durante las tres campañas de Línea de Base, es una especie nativa y de acuerdo a la literatura especializada (Ruiz y Marchant, 2004) utiliza hábitat similares a *B. maldonadoi* y *T. chiltoni*, ambas especies capturadas durante las campañas de terreno realizadas.

En conclusión, se estima que el incluir un mayor número de especies en la modelación, si bien podría aportar más antecedentes al análisis, no cambiaría sustancialmente las conclusiones actuales pues caerían dentro de los extremos ya modelados.

#### 4. Pregunta 5 (SUBPESCA)

La probabilidad de excedencia de caudales estimada por el Titular (Pag. 61 de Adenda 2) se tiene que en periodo de estiaje esta será muy baja 2 y 4% para los meses de Abril y Enero y, de 0% para Febrero y Marzo.

### Respuesta

La probabilidad de excedencia indicada en este Considerando ha sido extraída de la tabla que figura en la página 61 de la Adenda 2 que se refiere a las probabilidades de que los caudales afluentes a la barrera de la bocatoma excedan los 120 m<sup>3</sup>/s, mes a mes. Esta tabla se incluyó atendiendo a la solicitud de indicar la frecuencia de apertura de las compuertas, porcentaje esperado de que se excedan los 120 m<sup>3</sup>/s. En consecuencia, las probabilidades de excedencia señaladas no tienen nada que ver con el caudal ecológico propuesto o con caudales de estiaje.

#### 5. Pregunta 6 (SUBPESCA)

Que se deberán mantener caudales tales que aseguren la variabilidad natural del régimen hidrológico del río, es decir que en épocas de invierno y deshielo se debe dejar pasar caudales tales que aseguren dicha variabilidad.

### Respuesta

El caudal ecológico y su relación con el régimen natural del río Ñuble se encuentra detalladamente expuesto en el Apéndice N° 6 del Anexo 3 de la Adenda 2, el que para mayor claridad se reproduce a continuación.

Caudal ecológico y su relación con el régimen natural del río Ñuble

#### 1.- Generalidades

El caudal medio mensual del río Ñuble en la zona de la barrera de la bocatoma de la Central de Pasada Ñuble es de 92,8 m<sup>3</sup>/s, según se muestra en la estadística de caudales medios mensuales, incluida en la Tabla N° 1, al final de este documento.

La Central Ñuble tiene un caudal de diseño de 100 m<sup>3</sup>/s, el que será captado por la bocatoma del Canal de Aducción y luego conducido por éste hasta la zona de caída y Casa de Máquinas de la Central, donde es generado y luego devuelto al río mediante el canal de restitución.

#### 2.- Caudales captados por la Central Ñuble

La barrera de la bocatoma de la central Ñuble tiene la finalidad de peraltar el nivel de aguas del río en la zona de la bocatoma de modo que se pueda captar el caudal afluente a ese sector. Producto de ello, aguas arriba de la barrera se formará una poza de aproximadamente 25 hectáreas.

La Central Ñuble es una central de pasada y en ese contexto su canal de aducción captará los caudales afluentes a la zona de la barrera limitados a 100 m<sup>3</sup>/s, que es su capacidad de diseño, y descontado el caudal ecológico que se debe dejar pasar por la barrera a todo evento. La central regula los caudales afluentes a la bocatoma, es decir aguas abajo del punto en que la central devuelve las aguas al río siempre existirá el mismo caudal que fluiría en la situación sin proyecto.

En el entendido anterior, el caudal que escurrirá hacia aguas abajo de la barrera de la bocatoma equivale al caudal afluente a ese punto menos 100 m<sup>3</sup>/s. Si el caudal afluente a la barrera es menor que 100 m<sup>3</sup>/s, la obra de toma del canal de aducción de la central captará la diferencia entre el caudal afluente y el caudal ecológico, y en consecuencia, hacia aguas abajo de la barrera escurrirá sólo el caudal ecológico.

### 3.- Caudal ecológico y su relación con el régimen natural del río Ñuble

El estudio de Impacto Ambiental de la Central Ñuble de Pasada propone un caudal ecológico de 7,76 m<sup>3</sup>/s. Tomando en consideración el valor antes señalado para el caudal ecológico se generó la estadística de los caudales que escurrirán hacia aguas abajo de la barrera de la bocatoma una vez que la central se encuentre en su fase de operación, la que se incluye en la Tabla N° 2 (ver respuesta a punto 6 de este documento).

De las tablas N° 1 y N° 2 se obtienen los caudales medios mensuales aguas abajo de la barrera de la bocatoma que se indican a continuación, según si se trata de una situación sin central (régimen natural del río) o de una situación con central (régimen natural menos caudal captado, y considerando que aguas abajo de la barrera existe el caudal ecológico de a todo evento).

**Caudales medios mensuales aguas abajo barrera bocatoma (m<sup>3</sup>/s)**

MES	Q medio sin central (s/c)	Q medio con central (c/c)	Q medio c/c / Qmedio s/c (%)
Mayo	86,71	32,58	37,6%
Junio	121,13	46,42	38,3%
Julio	117,79	36,38	30,9%
Agosto	105,33	25,44	24,2%
Septiembre	113,50	28,39	25,0%
Octubre	145,34	50,28	34,6%
Noviembre	157,17	64,02	40,7%
Diciembre	111,46	31,58	28,3%
Enero	61,82	9,84	15,9%
Febrero	35,60	7,91	22,2%
Marzo	25,49	7,75	30,4%
Abril	32,68	9,06	27,7%

Fuente: EIA CH Ñuble, CGE 2007.

La información anterior muestra el efecto de la operación de la central sobre el régimen de escurrimiento del río, en términos de caudales medios mensuales, para el sector inmediatamente aguas abajo de la barrera de la bocatoma, que es el que está sometido al caudal ecológico.

De esta tabla se puede observar que en el tramo sometido a caudal ecológico, en un año medio, el escurrimiento, con la central operando, variará

entre un 15,9% (mes de enero) y un 40,7% (mes de noviembre) del escurrimiento que existiría en ese tramo si no existiese la central.

Por otra parte, a continuación se presenta la información de lo que sucede en los meses de estiaje considerando los caudales medios mensuales más bajos de las estadísticas contenidas en las Tablas N° 1 y N° 2.

**Caudales mínimos medios mensuales aguas abajo barrera bocatoma (m<sup>3</sup>/s)**

MES	Qmín sin central (s/c)	Qmín con central (c/c)	Q mín c/c/ Qmín s/c(%)
Enero	13,69	7,75	56,6%
Febrero	11,24	7,75	69,0%
Marzo	9,26	7,75	83,7%
Abril	6,78	6,78	100,0%

Fuente: EIA CH Ñuble, CGE 2007.

En ese escenario la situación del escurrimiento en el tramo de caudal ecológico varía entre un 56,6% (mes de enero) y un 100% (mes de abril) del valor del caudal medio mínimo ocurrido en los meses más secos de la estadística.

Llama la atención que para el mes de abril el caudal con central es igual al caudal sin central. Ello se debe a que en el mes de abril más seco de la estadística, el caudal medio mensual mínimo natural del río es menor que

el caudal ecológico propuesto, y por lo tanto en esas condiciones la central no puede generar y la barrera de la bocatoma debe dejar pasar todo el caudal afluente a ella.

Por último, es necesario considerar que si el caudal medio mensual mínimo del río en régimen natural en un mes de abril fue de 6,78 m<sup>3</sup>/s, el río durante varios días de ese mes tuvo caudales aun menores que los 6,78 m<sup>3</sup>/s, que ya representan sólo un 87% del caudal ecológico propuesto.

**TABLA 1: Río Ñuble Zona Barrera Bocatoma Central Ñuble**  
Caudales Medios Mensuales en Régimen Natural (m<sup>3</sup>/s)

Nº	AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	PROM. AÑO
1	41/42	79,1	115,1	181,5	170,4	136,9	150,6	214,3	214,8	125,7	59,1	38,6	73,5	130,0
2	42/43	71,1	70,3	100,1	112,6	119,1	156,5	195,8	139,2	86,4	43,5	33,8	38,3	97,2
3	43/44	59,5	65,8	70,7	58,6	122,6	127,7	127,1	82,5	65,4	37,5	24,8	24,5	72,2
4	44/45	35,4	72,5	101,8	112,6	118,7	476,7	268,6	211,1	115,7	69,7	42,5	72,5	141,5
5	45/46	138,7	139,2	134,3	189,6	155,3	185,6	233,2	156,2	109,0	37,7	33,8	42,0	129,6
6	46/47	26,1	38,1	65,7	52,7	110,8	93,3	113,4	91,0	50,1	23,6	19,8	14,3	58,2
7	47/48	28,6	156,0	82,9	92,8	78,8	113,6	114,2	87,1	33,6	22,8	18,7	43,1	72,7
8	48/49	72,1	78,1	118,8	82,0	136,7	161,1	170,9	154,0	78,4	34,5	54,9	22,6	97,0
9	49/50	44,3	143,8	79,3	105,8	49,2	69,7	57,2	39,2	32,6	20,0	25,0	14,6	59,0
10	50/51	113,5	237,7	93,8	53,8	96,3	108,6	234,5	225,2	185,0	116,8	39,2	15,7	126,7
11	51/52	17,3	52,0	143,9	86,5	159,5	140,8	140,3	117,1	103,2	79,0	41,2	24,6	92,1
12	52/53	241,4	37,2	97,7	72,2	58,9	94,3	83,9	52,3	35,1	24,7	18,3	20,5	72,0
13	53/54	59,9	106,2	79,7	144,9	235,4	129,8	303,2	222,5	97,6	54,6	31,9	38,5	125,4
14	54/55	101,2	117,6	85,2	112,0	78,8	141,6	284,3	64,3	50,5	37,5	27,7	20,5	93,4
15	55/56	25,4	90,7	55,5	74,3	78,8	109,6	119,9	64,4	95,7	32,1	31,7	24,6	66,9
16	56/57	54,6	46,0	193,2	104,3	75,5	125,5	139,5	76,4	34,8	23,3	20,0	16,1	75,8
17	57/58	49,1	60,9	94,6	137,3	87,1	115,3	146,8	102,0	46,1	24,6	13,0	19,6	74,8
18	58/59	61,4	173,8	187,8	123,9	101,6	169,4	177,2	83,7	40,6	33,4	27,6	172,0	112,7
19	59/60	165,1	123,0	192,0	102,0	197,4	154,3	190,0	135,8	78,0	36,1	26,0	24,0	118,6
20	60/61	23,8	120,1	93,8	61,7	77,0	180,6	171,8	94,8	50,8	24,3	38,2	20,0	79,7
21	61/62	20,4	76,9	161,8	94,3	186,9	241,7	218,6	150,4	75,2	31,8	28,1	55,7	111,8
22	62/63	18,8	46,7	38,8	77,1	66,8	105,0	82,4	36,5	22,2	20,5	18,0	18,2	45,9
23	63/64	23,0	42,2	100,1	117,2	133,4	176,2	230,8	197,6	107,1	49,3	27,8	14,7	101,6
24	64/65	18,4	30,5	40,6	45,0	86,5	119,0	103,0	100,9	45,8	32,3	23,2	95,0	61,7
25	65/66	148,6	184,8	168,2	170,3	82,8	173,6	22,4	171,9	83,3	45,0	27,5	30,7	126,0
26	66/67	60,8	118,6	184,9	78,2	103,2	157,7	204,1	227,9	115,7	63,4	37,2	24,2	114,7
27	67/68	58,2	43,6	38,9	68,9	74,0	171,4	172,6	100,1	44,0	30,7	23,8	18,2	70,4
28	68/69	15,7	18,0	19,3	35,4	39,5	45,4	59,9	41,5	29,0	21,5	15,4	23,7	30,4
29	69/70	104,8	271,8	137,9	136,5	119,7	96,8	126,1	116,7	54,8	31,1	22,0	18,6	103,1
30	70/71	25,2	64,4	76,5	97,4	89,3	138,2	157,1	138,4	71,3	38,9	24,0	19,4	78,3
31	71/72	138,0	74,0	174,1	151,7	95,5	153,6	155,4	105,9	50,6	28,8	25,8	20,9	97,9
32	72/73	283,8	438,3	101,6	354,3	189,1	197,5	218,7	167,6	87,6	41,5	25,2	19,9	177,1
33	73/74	83,8	86,4	166,3	83,2	76,3	133,2	146,0	78,1	34,2	22,8	20,0	18,1	79,0
34	74/75	56,0	125,5	81,2	73,8	82,7	153,5	171,0	107,4	49,9	43,4	22,5	28,0	82,9
35	75/76	119,6	170,9	209,7	96,6	113,5	125,7	185,9	146,1	62,0	33,9	19,9	15,2	108,3
36	76/77	16,4	98,8	50,8	65,7	86,9	156,0	172,1	99,1	47,8	28,6	18,5	15,6	71,4
37	77/78	64,6	79,7	172,7	97,4	157,7	214,5	226,7	156,8	67,2	32,8	21,1	16,7	109,0
38	78/79	37,6	68,9	254,0	82,4	134,7	244,2	248,4	139,8	54,1	29,7	18,4	17,2	110,8
39	79/80	40,3	30,1	179,9	312,1	188,5	120,0	149,5	140,1	57,3	54,7	46,2	119,4	119,8
40	80/81	346,9	258,3	204,0	127,9	83,9	100,9	89,1	73,7	43,3	27,1	20,3	23,0	116,5
41	81/82	375,4	166,6	108,5	117,8	91,1	98,7	83,7	47,4	32,7	26,7	19,5	17,8	98,8
42	82/83	73,5	195,7	255,9	124,1	249,2	217,8	201,6	210,5	116,9	62,3	34,0	28,5	147,5
43	83/84	35,7	147,2	88,8	80,0	73,7	120,5	121,8	57,8	30,7	21,9	16,8	15,8	67,6
44	84/85	37,7	49,4	132,2	61,3	130,7	229,7	202,4	187,5	100,8	51,4	33,2	32,6	104,1
45	85/86	102,7	93,8	157,3	68,9	81,0	129,5	131,5	66,0	33,6	23,0	18,4	44,1	79,2
46	86/87	242,6	398,1	104,5	117,7	81,8	124,3	136,6	105,7	53,4	34,2	28,6	21,1	120,7
47	87/88	25,4	76,2	73,8	105,5	108,4	224,5	166,1	67,1	45,1	29,6	23,2	17,8	80,2
48	88/89	21,2	77,8	82,9	104,0	75,5	111,3	143,3	81,8	42,0	24,7	17,5	15,0	66,4
49	89/90	12,7	39,4	47,5	81,1	79,2	105,6	101,3	56,7	26,8	18,3	20,9	49,1	53,2
50	90/91	82,3	47,4	39,1	82,2	153,6	91,1	57,8	33,5	21,3	16,0	13,9	23,5	55,1
51	91/92	305,5	145,8	144,1	66,7	122,0	119,1	122,1	84,3	48,5	28,1	23,1	38,1	104,0
52	92/93	215,3	180,7	83,8	63,1	108,1	163,0	196,9	126,3	76,5	37,2	23,7	31,8	108,9
53	93/94	114,0	368,4	139,4	154,8	116,0	119,8	117,4	106,3	57,7	32,3	20,3	38,8	115,4
54	94/95	58,0	115,8	200,4	77,0	143,7	129,9	104,4	56,8	38,4	23,6	18,0	29,4	83,0
55	95/96	30,1	156,9	139,0	96,3	163,9	144,7	164,4	106,2	48,5	28,6	24,9	29,0	94,4
56	96/97	23,2	78,1	49,4	66,0	69,3	64,9	47,7	27,3	19,1	16,4	13,4	52,0	43,9
57	97/98	90,7	274,9	127,9	193,6	202,9	165,8	163,5	114,9	63,2	36,7	28,0	23,5	123,8
58	98/99	34,4	40,9	43,9	33,8	40,2	40,8	25,3	18,8	13,7	11,2	9,2	6,8	26,6
	<b>PROM.</b>	<b>86,7</b>	<b>121,1</b>	<b>117,8</b>	<b>105,3</b>	<b>113,5</b>	<b>145,3</b>	<b>157,2</b>	<b>111,5</b>	<b>61,8</b>	<b>35,6</b>	<b>25,5</b>	<b>32,7</b>	<b>92,8</b>

Fuente: EIA CH Ñuble, CGE 2007.

**TABLA N°2: Río Ñuble en Zona Barrera Bocatoma Central Ñuble Caudales Medio Mensuales con Central en Operación (m³/s)**

N°	AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	PROM. AÑO
1	41/42	7,8	15,1	81,5	70,4	36,9	50,6	114,3	114,8	25,7	7,8	7,8	7,8	45,0
2	42/43	7,8	7,8	7,8	12,6	19,1	56,5	95,8	39,2	7,8	7,8	7,8	7,8	23,1
3	43/44	7,8	7,8	7,8	7,8	22,6	27,7	27,1	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	12,3
4	44/45	7,8	7,8	7,8	12,6	18,7	376,7	168,6	111,1	15,7	7,8	7,8	7,8	62,5
5	45/46	38,7	39,2	34,3	89,6	55,3	85,6	133,2	56,2	9,0	7,8	7,8	7,8	47,0
6	46/47	7,8	7,8	7,8	7,8	10,8	7,8	13,4	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	8,5
7	47/48	7,8	56,0	7,8	7,8	7,8	13,6	14,2	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	12,8
8	48/49	7,8	7,8	18,8	7,8	36,7	61,1	70,9	54,0	7,8	7,8	7,8	7,8	24,6
9	49/50	7,8	43,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	10,8
10	50/51	13,5	137,7	7,8	7,8	7,8	8,6	134,5	125,2	85,0	16,8	7,8	7,8	46,7
11	51/52	7,8	7,8	43,9	7,8	59,5	40,8	40,3	17,1	7,8	7,8	7,8	7,8	21,3
12	52/53	141,4	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	18,9
13	53/54	7,8	7,8	7,8	44,9	135,4	29,8	203,2	122,5	7,8	7,8	7,8	7,8	49,2
14	54/55	7,8	17,6	7,8	12,0	7,8	41,6	184,3	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	26,5
15	55/56	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	9,6	199	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	8,9
16	56/57	7,8	7,8	93,2	7,8	7,8	25,5	39,5	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	19,0
17	57/58	7,8	7,8	7,8	37,3	7,8	15,3	46,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	14,1
18	58/59	7,8	73,8	57,8	23,9	7,8	69,4	77,2	7,8	7,8	7,8	7,8	72,0	37,6
19	59/60	65,1	23,0	92,0	7,8	97,4	54,3	90,0	35,8	7,8	7,8	7,8	7,8	41,4
20	60/61	7,8	20,1	7,8	7,8	7,8	80,6	71,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	20,2
21	61/62	7,8	7,8	61,8	7,8	86,9	141,7	118,6	50,4	7,8	7,8	7,8	7,8	42,8
22	62/63	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
23	63/64	7,8	7,8	7,8	17,2	33,4	76,2	130,8	97,6	7,8	7,8	7,8	7,8	34,1
24	64/65	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	19,0	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	8,7
25	65/66	48,6	84,8	68,2	70,3	7,8	73,6	124,7	71,9	7,8	7,8	7,8	7,8	48,4
26	66/67	7,8	18,6	84,9	7,8	7,8	57,7	104,1	127,9	15,7	7,8	7,8	7,8	38,0
27	67/68	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	71,4	72,6	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	18,5
28	68/69	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
29	69/70	7,8	171,8	37,9	36,5	19,7	7,8	26,1	16,7	7,8	7,8	7,8	7,8	29,6
30	70/71	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	38,2	57,1	38,4	7,8	7,8	7,8	7,8	17,0
31	71/72	38,0	7,8	74,1	51,7	7,8	53,6	55,4	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	27,3
32	72/73	183,8	338,3	7,8	254,3	89,1	97,5	118,7	67,6	7,8	7,8	7,8	7,8	99,0
33	73/74	7,8	7,8	66,3	7,8	7,8	33,2	46,0	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	17,9
34	74/75	7,8	25,5	7,8	7,8	7,8	53,5	71,0	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	18,3
35	75/76	19,6	70,9	109,7	7,8	13,5	25,7	85,9	46,1	7,8	7,8	7,8	7,8	34,2
36	76/77	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	56,0	72,1	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	71,1
37	77/78	7,8	7,8	72,7	7,8	57,7	114,5	126,7	56,8	7,8	7,8	7,8	7,8	40,2
38	78/79	7,8	7,8	154,0	7,8	34,7	144,2	148,4	39,8	7,8	7,8	7,8	7,8	47,9
39	79/80	7,8	7,8	79,9	212,1	88,5	20,0	49,5	40,1	7,8	7,8	7,8	19,4	45,7
40	80/81	246,9	158,3	104,0	27,9	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	49,9
41	81/82	275,4	66,6	8,5	17,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	35,9
42	82/83	7,8	95,7	155,9	24,1	149,2	117,8	101,6	110,5	16,9	7,8	7,8	7,8	66,9
43	83/84	7,8	47,2	7,8	7,8	7,8	20,5	21,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	13,3
44	84/85	7,8	7,8	32,2	7,8	30,7	129,7	102,4	87,5	7,8	7,8	7,8	7,8	36,4
45	85/86	7,8	7,8	57,3	7,8	7,8	29,5	31,5	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	15,7
46	86/87	142,6	298,1	7,8	17,7	7,8	24,3	36,6	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	47,8
47	87/88	7,8	7,8	7,8	7,8	8,4	124,5	66,1	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	22,4
48	88/89	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	11,3	43,3	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	11,0
49	89/90	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
50	90/91	7,8	7,8	7,8	7,8	53,6	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	11,6
51	91/92	205,5	45,8	44,1	7,8	22,0	19,1	22,1	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	33,8
52	92/93	115,3	80,7	7,8	7,8	8,1	63,0	96,9	26,3	7,8	7,8	7,8	7,8	36,4
53	93/94	14,0	268,4	39,4	54,8	16,0	19,8	17,4	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	39,0
54	94/95	7,8	15,8	100,4	7,8	43,7	29,9	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	21,0
55	95/96	7,8	56,9	39,0	7,8	63,9	44,7	64,4	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	26,9
56	96/97	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
57	97/98	7,8	174,9	27,9	93,6	102,9	65,8	63,5	14,9	7,8	7,8	7,8	7,8	48,5
58	98/99	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
<b>PROM.</b>		<b>32,6</b>	<b>46,4</b>	<b>36,4</b>	<b>25,4</b>	<b>28,4</b>	<b>50,3</b>	<b>64,0</b>	<b>31,6</b>	<b>9,8</b>	<b>7,9</b>	<b>7,8</b>	<b>9,1</b>	<b>29,1</b>

Fuente: EIA CH Ñuble, CGE 2007.

## 6. Pregunta 7 (SUBPESCA)

Que la DGA indica que el valor propuesto por CGE como caudal ecológico es incluso menor que el caudal mínimo registrado en el Río Ñuble en más de 40 años de estadística hidrométrica y menor que los valores asociados a dos períodos históricos de escasez hidrológica de la cuenca (ej: períodos 1999/91 y 1998/99).

**Respuesta**

No corresponde a la realidad que el valor propuesto por el Titular sea incluso menor que el caudal mínimo registrado en el río Ñuble en más de 40 años de estadística. Precisamente en el período de escasez 1998/1999 se tiene en el mes de Abril de 1999 en el sitio de bocatoma un caudal medio mensual de  $6,78 \text{ m}^3/\text{s}$ , conforme a la Tabla HD-4, Cap.4 del EIA y a lo señalado en el Apéndice 6 reproducido más arriba.

## 7. Pregunta 7.1 (SUBPESCA)

En base a lo anterior es opinión del Comité Técnico que el rango de caudal por el Titular ( $5$  a  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y considerando el principio preventivo de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente, es que se hace necesario tomar como Caudal Mínimo Ecológico los  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  para el periodo de estiaje.

**Respuesta**

Los resultados obtenidos de la aplicación del método IFIM y el análisis de sus resultados efectuados en el capítulo 4 del Anexo 7 indican que existe un rango de caudales que va entre  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  que sería el adecuado para mantener la vida acuática en el tramo sujeto a caudal ecológico. La parte baja del rango, en general, favorecería a los peces en sus estadíos juveniles de las especies nativas estudiadas y la parte más alta específicamente a los en estadíos adultos de la especie *Diplomystes Nahuelbutaensis*. En ese contexto se propuso un caudal ecológico de  $7,76 \text{ m}^3/\text{s}$ , parejo durante todo el año, que concilia los requerimientos tanto de los juveniles como los de los adultos.

Sin embargo, considerando que en el tramo del río que quedará sujeto al caudal ecológico existen otras especies nativas en estado de conservación tales como *B. maldonadoi* y *T. chiltoni*, cuya biología es poco conocida en virtud de su estatus de rareza, lo que no permite construir curvas de uso de hábitat confiables, se ha considerado pertinente introducir el concepto señalado por la DGA en el considerando a. del acápite II siguiente, que corresponde a

modificar el valor propuesto para el caudal ecológico en el adenda 2, afectándolo por un factor de seguridad. Por otra parte, tomando en cuenta que los estadíos juveniles de los peces estudiados se presentan principalmente en período de estiaje, se acoge el planteamiento de la letra c. del punto II siguiente, en el sentido de considerar una variación estacional del valor del caudal ecológico diferenciándolo entre el periodo de estiaje (enero a mayo, ambos meses incluidos) del resto del año.

En estas circunstancias, para el periodo de estiaje en que el valor de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  sería el más adecuado por una mayor disponibilidad de hábitat para los peces estudiados en sus estadíos juveniles, se propone un valor para el caudal ecológico de  $8,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , que considera un factor de seguridad de 1,66 respecto -del valor de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . En cambio para el resto del año se propone un valor  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , que favorece a los peces nativos en sus estadíos adultos sin menoscabar a los que se encuentran en sus estadíos juveniles.

En resumen, el caudal ecológico propuesto es de  $8,3 \text{ m}^3/\text{s}$  para el periodo de enero a mayo y de  $10,0 \text{ m}^3/\text{s}$  para el periodo de junio a diciembre. Estos valores, como ya se indicó, acogen las observaciones de considerar un factor de seguridad y una variación estacional del caudal ecológico.

## 8. Pregunta II.a (DGA)

Dada las distintas metodologías utilizadas para determinar el valor del caudal mínimo ecológico, que determinan valores con diferencias importantes entre ellos, se propone adicionarle un factor de seguridad al valor propuesto en el EIA ( $7.76 \text{ m}^3/\text{s}$ ), con el objetivo de asegurar la mantención de las condiciones mínimas en el cauce para el desarrollo de los distintos componentes del sistema.

**Respuesta**

Favor ver respuesta anterior.

## 9. Pregunta II.b (DGA)

Lo anterior, consecuente con principio preventivo de la ley de bases del medio ambiente y a fin de aminorar las incertezas producidas en los distintos métodos, tanto los puramente hidrológicos como los más integrales, que determinan caudales con rangos de variación entre  $5$  a  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Respuesta**

Favor ver las dos respuestas anteriores.

**10. Pregunta II.c (DGA)**

Asimismo, se solicita que este valor no sea estático a lo largo del año, sino más bien, que responda a la variación estacional del cauce. Para ello el caudal ecológico debe presentar valores distintos a lo largo del año, que marquen la diferencia de la época estival de la invernal dejando representado el régimen hidrográfico de la zona, en esta caso crecidas pluvio nival y periodo de estiaje.

**Respuesta**

Favor ver las tres respuestas anteriores.

**11. Pregunta 2 (DGA)**

Sistemas de control y monitoreo de caudales:

- a. Se insiste en la solicitud de esta Dirección Regional en el sentido que las estaciones de control y seguimiento de los caudales afluente, captado, ecológico y restituído deben contemplar un sistema de transmisión en línea, de manera que permitan a la autoridad ambiental efectuar el seguimiento y monitoreo continuo de dichos valores en forma instantánea.

**Respuesta**

Se acoge este planteamiento

- b. Al respecto, la propuesta del titular del proyecto de retirar la información desde el equipo de almacenamiento (datalogger) a través de un Notebook no permite dar cumplimiento a lo indicado anteriormente.

**Respuesta**

Como se ha indicado, se contemplará un sistema de transmisión en línea.

- c. Por otro lado, respecto de los sistemas de control de los caudales de captación y restituído debe contener un sistema que permita la medición y verificación directa del caudal (aforos) y un sistema de transmisión en línea compatible con lo indicado anteriormente.

**Respuesta**

Como indicado en la Adenda N° 2, el caudal captado se medirá en una sección recta del canal de aducción, la que cumple con lo estipulado en esta observación.

En cuanto a la medición del caudal restituído, en la Adenda N° 2 se propuso hacerlo a través del sistema de medición de cada una de las unidades generadoras. Acogiendo el planteamiento de esta observación se considera cambiar el Control Restituído a la sección revestida en hormigón que se ubica al término del canal de descarga de la central. En esta sección se instalarán instrumentos similares a los especificados para la Estación de Control Captación.

**12. Pregunta 3 (DGA)**

Finalmente, este Servicio Regional considera pertinente efectuar algunas precisiones respecto de algunos puntos indicados en la Adenda 2:

- a. El caudal ecológico establecido a la Dirección de Obras Hidráulicas para el proyecto Embalse El Mono por 8 m<sup>3</sup>/s, se determinó en el ámbito de la tramitación de una solicitud de constitución de un derecho de aprovechamiento de aguas.
- b. En consecuencia, no puede asimilarse estrictamente a los alcances y connotaciones ambientales de un proyecto sometido al sistema de evaluación ambiental, como es el caso de este proyecto.

**Respuesta**

Respecto lo expresado en las letras a. y b. el Titular estima pertinente señalar que la determinación del caudal ecológico para el proyecto Embalse El Mono, si bien es cierto se efectuó en el ámbito de la tramitación de una solicitud de constitución de un derecho de aprovechamiento de aguas, no puede considerarse que lo ha sido al margen de las connotaciones ambientales. En efecto, el Código de Aguas establece en el Art. 129 bis 1 que al constituir los derechos de aprovechamiento de aguas, la Dirección General de Aguas velará por

la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, debiendo para ello establecer un caudal ecológico mínimo, para lo cual deberá considerar también las condiciones naturales pertinentes para cada fuente superficial.

Por otro lado, el capítulo 3, numeral 3.5.10.1 del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos de la DGA, establece criterios recomendados para la estimación de caudales ecológicos para la resolución de derechos de aprovechamiento de aguas y previo a indicar dichos criterios, establece la siguiente definición de caudal ecológico: "Caudal mínimo que debieran tener los ríos para mantener los ecosistemas presentes, preservando la calidad ecológica."

Finalmente, la precisión de la DGA que se comenta, se contradice con lo dicho por este mismo Servicio en el ICSARA N° 2 (ver Adenda 2, página 102) que señala textualmente:

"c. Se debe considerar que las metodologías que emplea la DGA para determinar el caudal ecológico se basa en la estadística de caudales medios mensuales registrados en el cauce y corresponden a criterios recomendados para la resolución de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas y determinan caudales mínimos que deberían tener en los ríos para mantener los ecosistemas presente, preservando la calidad ecológica." .

c. Por otro lado, el proyecto Central Ñuble de Pasada, a diferencia de la solicitud para el Embalse El Mono de la DOH, se ubica dentro del corredor biológico "Nevados de Chillán-Laguna del Laja", dentro de cuyo territorio el Estado ha diseñado planes de acción que permitan la conservación de la biodiversidad y el huemul en los andes de Chile Central, lo que implica que los proyectos que se ubican dentro de este territorio sean consecuentes con este principio ambiental.

## Respuesta

Este aspecto ha sido comentado con anterioridad en este Adenda en relación al Considerando 2 de la CONAMA sobre Caudal Ecológico.

Se aclara una afirmación efectuada en el la pág. 197 en el contexto de caudal ecológico, en el se indica que: "Los valores de profundidad y ancho fueron extraídos de un análisis de métodos de estimaciones de caudal ecológicos realizado por la DOH-MOP. Estos conceptos y variables, entre los que se consideran el mismo ancho y profundidad también fueron presentados por Comité Nacional de Humedales en enero de 2007 en un seminario sobre Estudio de Gestión de Humedales. En ambos casos justifican como método hidráulico y biológico el criterio de altura mayor o igual a 30 cm y ancho igual o superior a 20 m. como variables a utilizar en los métodos hidrológicos y holísticos para la determinación del Caudal Ecológico." Al respecto, se señala que las estimaciones realizadas por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) son criterios y metodologías como tantas otras, y corresponden a criterios y lineamientos que esta Dirección ha adoptado. Por otra parte, el Comité Nacional de Humedales, en la reunión aludida de enero 2007, efectuó un trabajo sobre estudios y la gestión a desarrollar en humedales y con fines de organización, pero dicho Comité no ha establecido ningún valor de altura y ancho para la estimación de caudal ecológico.

Lo correcto es lo indicado en el tercer párrafo de esta respuesta del titular: "De acuerdo a lo anterior, queremos reforzar la idea que, a la fecha, no existe un método único de determinación del CEM y menos una decisión y definición de las variables y parámetros a considerar en cada caso, quedando a consideración y criterio del equipo de trabajo que aplica el método respectivo"

#### A.2.4 Resolución de Calificaron Ambiental (RCA) (Extracto relacionado al caudal ecológico)

República de Chile  
Comisión Regional del Medio Ambiente  
Región del Biobío



RESOLUCIÓN EXENTA N° 218 / 2007.

Concepción, 10 de agosto de 2007

#### VISTOS ESTOS ANTECEDENTES:

En relación al Adenda N° 3 del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto "Central Ñuble de Pasada".

- Fax de ORD. N°676, del 28 de Mayo de 2007, de la Dirección Regional de Aguas, Región del Biobío;
- ORD N°61, del 28 de Mayo de 2007, de la Dirección Regional SERNATUR, Región del Biobío;
- ORD. N°786, del 29 de Mayo de 2007, de la Dirección Regional de la Corporación Nacional Forestal, Región del Biobío;
- Fax de ORD. N°1020, con fecha 29 de Mayo de 2007, de la Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región del Biobío;
- ORD. N°736, recibido con N°220, con fecha 11 de Junio de 2007, de la Dirección Regional de Aguas, Región del Biobío;
- ORD. N°736, de fecha 08 de Junio de 2007, recibido con fecha 11 de Junio de 2007, la Dirección Regional de Aguas, Región del Biobío, señala que rectifica su ORD. N°676 de fecha 28 de Mayo de 2007, en lo que se refiere a:

Caudal ecológico: por los antecedentes expuestos en el aludido ORD, procede a corregir su pronunciamiento, proponiendo como condición de aprobación del proyecto los siguientes valores de caudales ecológicos a respetar:

Meses	Caudal
Enero	8,3 m <sup>3</sup> /s.
Febrero	8,3 m <sup>3</sup> /s.
Marzo	8,3 m <sup>3</sup> /s.
Abril	8,3 m <sup>3</sup> /s.
Mayo	8,3 m <sup>3</sup> /s.
Junio	12,1 m <sup>3</sup> /s.
Julio	10,6 m <sup>3</sup> /s.
Agosto	9,5 m <sup>3</sup> /s.
Septiembre	10,0 m <sup>3</sup> /s.
Octubre	12,5 m <sup>3</sup> /s.
Noviembre	13,6 m <sup>3</sup> /s.
Diciembre	9,9 m <sup>3</sup> /s.

Fax del ORD. N°893, de fecha 11 de Junio de 2007, recibido con fecha 12 de Junio de 2007, y su mismo ORD recibido con fecha 18 de Junio de 2007, la Comisión Nacional de Energía se pronuncia conforme, señalando que en la Resolución de Calificación Ambiental debiera quedar claramente especificado cuál será en definitiva el caudal ecológico de la central, dado que esto condicionará su operación.

**CONSIDERANDO:****Determinación del Caudal ecológico**

El proyecto consideró la determinación del caudal mínimo ecológico el cual tiene por objetivo la preservación del hábitat del sector hacia aguas abajo de donde se captarán y desviarán las aguas.

Para determinar el caudal mínimo ecológico en el sector de la barrera de la bocatoma el Titular utilizó la metodología del perímetro mojado, basada en criterios hidráulicos. Determinando un caudal ecológico de 7,76 m<sup>3</sup>/s.

El Comité Técnico sugirió al Titular que dicha determinación debía hacerla usando la metodología IFIM que considerara criterios hidráulicos, hidrológicos y biológicos. Lo que el Titular hizo, llegando a un rango de caudales (5 m<sup>3</sup>/s – 10 m<sup>3</sup>/s).

En la Adenda 3 el Titular presenta su propuesta final de caudal mínimo ecológico de 8,3 m<sup>3</sup>/s, argumentando los antecedentes expuestos en el EIA y en sus respectivas Adendas.

**Descripción de la Etapa de Operación**

El proceso de generación implica un monitoreo permanente del caudal afluente en el río Ñuble, para determinar la apertura/cierre necesarios de compuertas, de manera de captar hacia la aducción sólo el caudal de operación (100 m<sup>3</sup>/s), y manteniendo en toda condición el caudal ecológico de pasada. El agua es conducida por el canal de aducción hasta la central, donde pasa por las turbinas que mueven los generadores. El agua turbinada se devuelve al río a través de un canal de salida de baja velocidad.

**Dispositivos de Control y Monitoreo**

El proyecto contempla tres sitios de medición de caudales y un punto de control de niveles. La "Estación Control Pasante" medirá la porción del caudal afluente que no es captado por la bocatoma y desviado al canal de aducción y que corresponde la caudal ecológico. El caudal captado por la bocatoma se medirá en la "Estación Control Captación". En la Casa de Máquinas de la central, se contará con dispositivos que permitirán medir el caudal generado en la central y restituido al río en ese punto. En la casa de máquinas de la central, el "Control restitución" permitirá registrar el caudal restituido al río Ñuble. Este caudal debiera ser igual al registrado en la Estación Control Captación.

**Intervención de Quebradas y Cursos de Agua**

Respecto del sector sur, el Titular señala en el Adenda 2, que realizó una inspección en terreno sobre el abastecimiento de agua para bebida de todas las viviendas ubicadas vecinas al río Ñuble en el tramo sujeto a caudal ecológico y a una altitud de hasta 30 metros superior al nivel de aguas actual del río. Todas estas viviendas se abastecen de agua para bebida de vertientes permanentes que surgen en sus vecindades. Dado que las vertientes son surgencias de la napa a flor de tierra se puede afirmar que el nivel freático es bastante superficial y en consecuencia el sentido de su escurrimiento necesariamente debe ser hacia el río Ñuble. Las nuevas viviendas y sus fuentes de abastecimiento catastradas se han incluido en los planos Vertientes, pozos y cauces de agua, modificación 1 enero 2007 e Identificación de construcciones. El plano que muestra la ubicación de las casa del lado sur del río en el tramo afectado se muestran en el Anexo 1 de la Adenda 2.

**Respecto al llenado del embalse de 29.5 hectáreas**

Considerando que el derecho de agua con que cuenta la CGE y el derecho complementario solicitado para el Proyecto Ñuble, son ambos de uso no consuntivo y que no debe perjudicarse los derechos de terceros sobre las mismas aguas, el llenado de la poza de la bocatoma se efectuará con los caudales disponibles en el río Ñuble en dicha sección que excedan a los necesarios para completar los derechos de aprovechamiento ya otorgados aguas abajo en los sectores en que éstos se captan. En todo caso, en cualquier evento, el llenado se deberá efectuar, al menos, respetando el caudal ecológico que se determine para el proyecto.

**Medidas de Mitigación, Compensación y Restauración**

**Materia:** Aprovechamiento del recurso hídrico

**Texto Legal:** Código de Agua Decreto con Fuerza de Ley N° 1.122/81 y modificaciones introducidas mediante Ley 20.017.

**Establece:** Este Código define la forma de obtención de derechos de aprovechamiento. Entre las modificaciones que introdujo la Ley 20.017 destacan aquellas contenidas en el Título X, respecto de la protección de las aguas y cauces:

- La DGA deberá definir caudal ecológico mínimo (límite 20% del caudal medio anual)
- El Presidente de la República podrá fijar caudales ecológicos mínimos diferentes, siempre que no afecte derechos de aprovechamiento existentes y previo informe favorable de COREMA (límite 40% del caudal medio anual).
- En caso de sequía la DGA podrá autorizar extracciones de aguas superficiales o subterráneas sin la limitación del caudal ecológico.

#### **Forma de Cumplimiento**

CGE Generación S.A. cuenta con un derecho de aprovechamiento de aguas no consuntivo, permanente, por 52 m<sup>3</sup>/s, en el río Ñuble, conforme a la Resolución DGA N° 192 del 12 de junio de 1984 y a la Resolución DGA N° 038 del 26 de septiembre de 1994 que modificó los puntos de captación y restitución a los lugares actualmente utilizados por el proyecto. Se encuentra en trámite una solicitud de Mayo de 2005 por un derecho no consuntivo, permanente, por 48 m<sup>3</sup>/s y otro eventual por la misma cantidad, ambos en el río Ñuble, según expediente ND-0801-2543. Adicionalmente, CGE Generación S.A. adquirió un derecho de aprovechamiento en el río Ñuble, no consuntivo, por 47,75 m<sup>3</sup>/s (Resolución DGA N° 784 del 23 de septiembre de 1999), que es susceptible de ser trasladado a los puntos de captación y restitución del proyecto, en caso de ser necesario.

#### **PAS descrito en el Artículo 102 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental**

6.8.- Respecto del seguimiento ambiental que se realizará a las comunidades hidrobiológicas presentes en el tramo del río Ñuble, que estará sujeto a caudal ecológico, éste se deberá ampliar a un periodo de 5 años. El principal objetivo de este seguimiento, es evaluar si el caudal ecológico establecido permite en la práctica la viabilidad de las especies ícticas, especialmente aquellas especies nativas con problemas de conservación, identificadas por el titular en el EIA y durante la evaluación ambiental del proyecto, las que se han señalado en detalle en la tabla N° 12 del considerando 3.2 de este acto administrativo. Si de los resultados obtenidos se concluyera que ocurrió pérdida de biodiversidad atribuible a la disminución de caudal producto de la operación del proyecto y/o a un impacto ambiental no previsto el caudal ecológico deberá ser reestudiado con el objeto de adoptar las medidas que permitan la viabilidad de las especies ícticas señaladas en el considerando aludido. Lo anterior deberá ser revisado por la Subsecretaría de Pesca, el SERNAPESCA, la Dirección General de Aguas y la CONAMA Región del Biobío.

#### **LA COMISIÓN REGIONAL DEL MEDIO AMBIENTE REGIÓN DEL BIOBÍO RESUELVE:**

CALIFICAR FAVORABLEMENTE el Proyecto "Central Ñuble de Pasada", presentado por la CGE Generación S.A., representado por el Señor Javier Guevara Moreno, bajo las condiciones o exigencias establecidas en esta resolución.

ANOTESE, NOTIFIQUESE, COMUNIQUESE Y ARCHIVESE

MARÍA SOLEDAD TOHA VELOSO,  
PRESIDENTA  
Comisión Regional del Medio Ambiente de la  
VIII Región del Biobío

## A.3 CENTRAL HIDROELÉCTRICA ANGOSTURA DE COLBÚN

### A.3.1 Adenda 1

#### 1 Pregunta I.21

En la resolución de la constitución de derechos de aprovechamiento se estableció un caudal ecológico, a objeto que este pueda ser turbinado se requiere que la autoridad ambiental se pronuncie respecto de la factibilidad ambiental de ello sobre la base de los pronunciamiento de los servicios públicos con las competencias en los ámbitos relacionados con los recursos hídricos, de tal forma que la DGA pueda adecuar los actos administrativos de la constitución de derechos.

#### Respuesta

Como puede apreciarse, esta consulta está formulada por un organismo público que, en el ámbito de sus competencias, está participando en el proceso de evaluación de impacto ambiental del EIA del proyecto, y está dirigida a la autoridad ambiental.

#### 2 Pregunta I.22

En relación al llenado del embalse se le señala al titular que este se realizar sin afectar los derechos de aprovechamiento constituidos aguas abajo del embalse y debe señalar la época en la cual se realiza.

#### Respuesta

Se ratifica lo señalado por la autoridad en cuanto a que el llenado del embalse no afectará los derechos de aprovechamiento aguas abajo del embalse como tampoco el respectivo caudal ecológico.

Se estima que el llenado del embalse se realizará durante la primavera o verano. Durante esta maniobra, se garantizan los caudales asociados a los derechos de aprovechamiento constituidos aguas abajo, siempre que el caudal afluente al embalse sea mayor que éstos.

El cumplimiento de lo anteriormente descrito podrá ser verificado en todo momento mediante los datos de caudales medidos en la estación Rucalhue de la DGA.

#### 3 Pregunta I.26

En relación con la determinación del caudal ecológico (Capítulo 7. Anexo 6.3), que en el EIA se realiza a través de la metodología recomendada por la DGA (10% del caudal mínimo anual), se debe indicar que éste método sólo considera

aspectos hidráulicos y no a la componente biótica; por tanto se solicita al Titular, que presente otras metodologías distintas a las ya presentadas, que permitan determinar caudales mínimos aconsejables, por ejemplo, aplicando la metodología IFIM-PHABSIM que corresponde a la Metodología Incremental para la Determinación de Caudales Mínimos Aconsejables (IFIM: Instream Flow Incremental Methodology), la que incluye un sistema de simulación de hábitat de tipo modular (PHABSIM), compuesto por una librería de modelos de simulación interconectados que permiten describir las características temporales y espaciales del hábitat que resulta de una determinada alternativa de regulación de un río. En este sentido, esta metodología es de tipo adaptativa, ya que los distintos modelos que la componen pueden ser combinados para adaptarse a distintos escenarios de análisis.

#### Respuesta

La determinación del caudal ecológico en el EIA se realizó mediante métodos hidrológicos ampliamente aceptados en el marco de los procesos de evaluación de impacto ambiental y en las instancias de determinación de dichos caudales por parte de la DGA, tal como se indica en el mismo Anexo 6.3 del EIA., Además, cabe indicar que también se utilizó para la determinación de caudal ecológico un método alternativo de simulación de hábitat. Este método incorpora los requerimientos ecosistémicos que presentan las especies de peces en el área de estudio, tal como lo hacen los métodos indicados en la observación.

Como primer ejercicio, en el Anexo 6.3 se utilizaron métodos hidrológicos para determinar caudales mínimos, en tanto corresponden a los criterios básicos recomendados por la DGA. Estos criterios derivan de diferentes estadígrafos obtenidos de una serie hidrológica histórica (ej. 10% caudal medio anual, Q347), los que permiten en una primera etapa, establecer caudales mínimos. Sin embargo, en la actualidad se reconoce que estos criterios no son suficientes para determinar los requerimientos mínimos de velocidad y altura de escurrimiento que son necesarios para la vida de las especies que coexisten en el río.

Es por ello que, posteriormente al cálculo hidrológico, se aplicó en la metodología planteada en el referido Anexo 6.3 del EIA, un método que simula el hábitat para las especies, sobre la base de la modelación hidráulica del río Biobío. Esto se llevó a cabo mediante la implementación del modelo numérico HEC-RAS, cuya salida

fue relacionada con las curvas de habitabilidad disponibles para distintas especies de fauna íctica [EULA (2000)5]. Este procedimiento es el mismo que se utiliza con el programa PHABSIM.

Debido a que los ecosistemas reófilos son dinámicos, temporalmente la respuesta funcional del sistema depende del caudal circulante, debido a que se modifican permanentemente las condiciones físicas del escurrimiento. Especialmente, la geomorfología del cauce impone condiciones locales al escurrimiento, generando una elevada heterogeneidad de hábitats.

El análisis temporal del hábitat se realizó sobre la base de la evaluación de las diferentes condiciones de caudal, que se definen en función del régimen hidrológico histórico. En cambio, el análisis espacial del hábitat para las especies se realizó sobre la base del control de las condiciones hidráulicas en secciones de control definidas a partir de la distribución espacial de la condición de los peces (por ejemplo, presencia de peces nativos) y de la disponibilidad de hábitat favorables para biota acuática.

Así, el método de cálculo de caudal ecológico utilizado para el Proyecto se basó en el método de habitabilidad física para especies bioindicadoras. En el punto 6.7.3 del Anexo 6.3 del EIA, se indicaron como especies indicadoras: i) *Oncorhynchus mykiss* (adultos), especie más abundante en el Área de Interés Ecológica (AIE) y además representa adecuadamente hábitos pelágicos, involucrando a todas aquellas especies que utilizan preferentemente el cauce principal del río Biobío, ii) *Diplomystes nahuelbutaensis* (adultos), especie característica de ambientes profundos en el cauce principal del río Biobío, por lo tanto representa a aquellas especies con hábitos bentónicos y iii) *Trichomycterus aerolatus* (adultos) y *Oncorhynchus mykiss* (juveniles), son característicos de zonas litorales. La inclusión de los juveniles de *O. mykiss* responde a su presencia en la línea de base, no se encontraron juveniles de las otras especies en el AIE.

El AIE corresponde al tramo del río Biobío donde se deberá mantener un caudal ecológico para sustentar la estructura y funcionamiento del ecosistema acuático. Para definir esta área se analizaron los resultados obtenidos de la caracterización física (hidrológica, morfología

y hidráulica) e hidrobiológica, utilizando como criterio para seleccionar el AIE aquellas zonas donde existiera coherencia estructural entre la presencia de hábitats favorables para los organismos acuáticos y la mayor riqueza de organismos, en particular peces. Un mayor detalle de ello puede encontrarse en la sección 6.5 del Anexo 6.3 del EIA.

Cabe mencionar que este enfoque está siendo validado con la DGA a través de la ejecución del proyecto "Determinación de caudales ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa y en estado de conservación (2007-2008)", el cual está siendo elaborado por el mismo equipo de trabajo que realizó la determinación del caudal ecológico para este proyecto.

Procedimiento de simulación de hábitat:

A continuación se presenta la secuencia de pasos que muestra la aplicación de la metodología específica utilizada en el estudio de caudal ecológico presentado en el Anexo 6.3 del EIA:

#### Paso 1

Se levantó información específica de secciones topo-batimétricas (ver Figura R.I.26-1) espacialmente distribuidas en el área de influencia del proyecto. Adicionalmente se complementó la información de los perfiles longitudinales y pendientes del cauce con topografía aerofotogramétrica de detalle y con análisis granulométricos de los estudios sedimentológicos para establecer una correlación con la rugosidad. Estos parámetros corresponden a la información de entrada al modelo hidráulico utilizado (HEC-RAS).

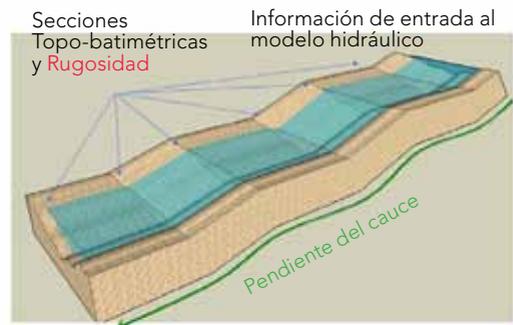


Figura R.I.26-1  
Secciones Topo-Batimétricas  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

**Paso 2**

Una vez alimentado el modelo con los datos de entrada, se ejecutó el cálculo del eje hidráulico por medio de la resolución de las ecuaciones de energía y momentum entre perfiles. Posteriormente, se efectuó una comparación de los resultados con las curvas de descarga para validar la respuesta del modelo. El resultado de esta etapa fue un eje hidráulico unidimensional (ver Figura R.I.26-2) con velocidades y alturas de escurrimiento medias en el sentido longitudinal del cauce.

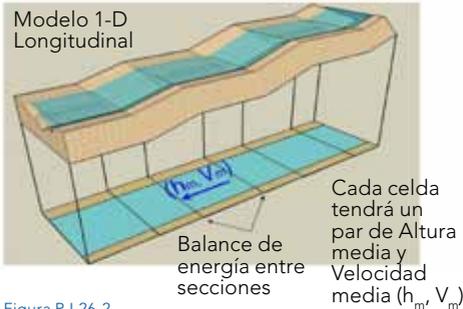
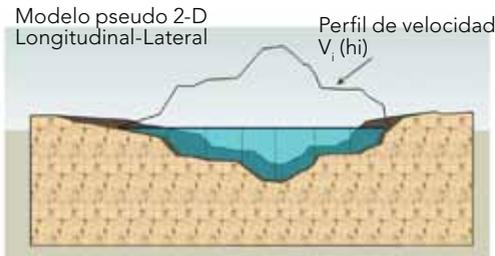


Figura R.I.26-2  
Eje Hidráulico Unidimensional  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

**Paso 3**

Para capturar las variaciones de velocidad debido a la forma de la sección, se aplicó una relación que ponderó las velocidades por la profundidad local del río (ver Figura R.I.26-3), efecto que recogió parcialmente las diferencias que existen entre las planicies litorales y el canal central del cauce.



Aproximación relación  $V_i = V_m \cdot \frac{h_i}{h_m}$   
de velocidad puntual:

Figura R.I.26-3  
Perfil de Velocidad  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

Esta aproximación permitió generar un modelo pseudo 2-D, donde cada una de las celdas longitudinales se discretiza en secciones laterales (verticalmente homogéneas). El resultado permitió definir una matriz de valores de velocidad y profundidad puntual a lo largo y ancho del escurrimiento (ver Figura R.I.26-4).

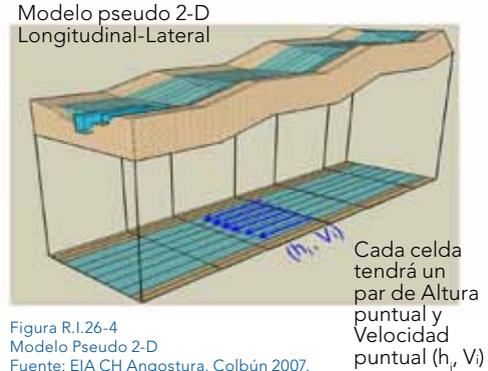


Figura R.I.26-4  
Modelo Pseudo 2-D  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

**Paso 4**

En forma paralela y complementaria al modelo hidráulico, se estableció la importancia y jerarquía de las especies que se seleccionaron como bioindicadoras del ecosistema. Se consideró que cada especie posee preferencias diferentes respecto a las condiciones físicas e hidrodinámicas de su entorno en el río (preferencia por cierto rango de velocidad del flujo, profundidad, sustrato, etc.).

Para evaluar el ambiente físico del río se utilizan las denominadas "Curvas de Preferencia" de la especie (Figuras 1 y 2 del Anexo 6.3 del EIA), que se cruzaron con la información proveniente del modelo hidráulico. Esto dio como resultado valores de preferencia entre 0 (preferencia nula) y 1 (ambiente máxima) y todo el rango intermedio.

**Paso 5**

Una vez que el modelo hidráulico estimó las condiciones de flujo del río, la evaluación de la habitabilidad se efectuó para un amplio rango de caudales (ver Figura R.I.26-5). Se evaluó y cuantificó el hábitat potencial (sumando la habitabilidad de las celdas de una sección transversal o área de interés), lo que permitió generar curvas de Hábitat v/s caudal (detalladas en forma diferenciada para la velocidad y profundidad).

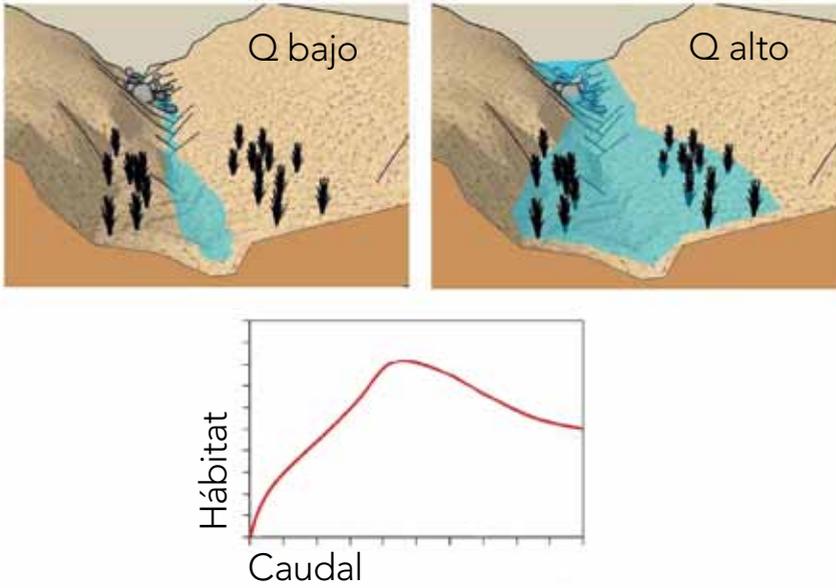


Figura R.I.26-5  
Evaluación de Habitabilidad para un Rango de Caudales.  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

Paso 6

Una vez obtenidas las curvas de Habitabilidad v/s Caudal-(expresado en forma diferenciada para la velocidad y profundidad), se determinó el Caudal Ecológico a partir de la condición de estiaje conocida para el río. Se estimó la habitabilidad correspondiente a la situación de estiaje para cada una de las secciones definidas como Áreas de Importancia Ecológica (AIE).

Los resultados del Índice de Habitabilidad (ver Figuras R.I.26-6, R.I.26-7 y R.I.26-8) para el modelamiento de caudal ecológico en el caso del Proyecto se indican a continuación:

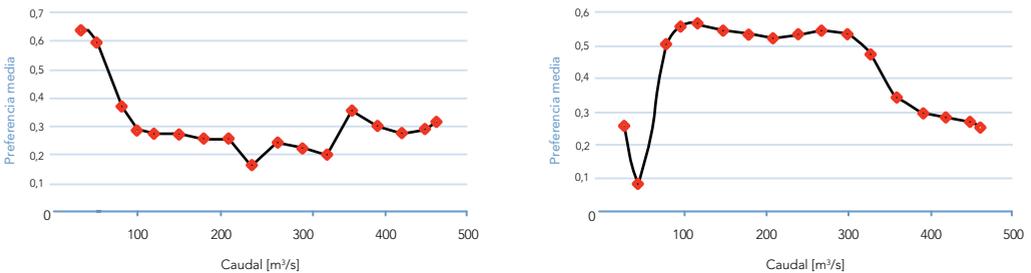


Figura R.I.26-6  
Índice de habitabilidad de velocidad (a) y profundidad (b) la especie adulta de *D. nahuelbutaensis* (Figura 28 del Anexo 6.3 del EIA)  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

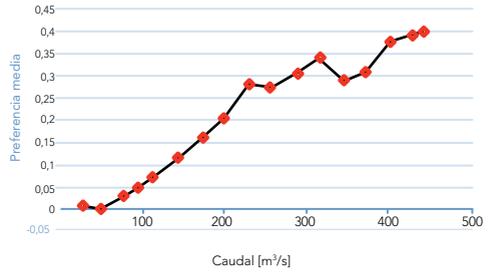
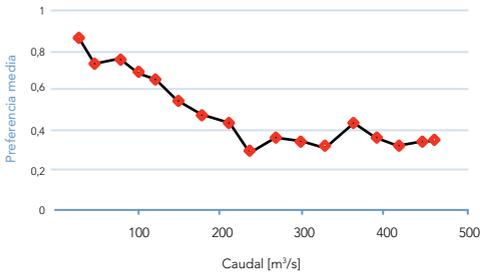


Figura R.I.26-7  
Índice de habitabilidad de velocidad (a) y profundidad (b) la especie adulta de *T. aerolatus*, para diversos caudales (Figura 29 del Anexo 6.3 del EIA)  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

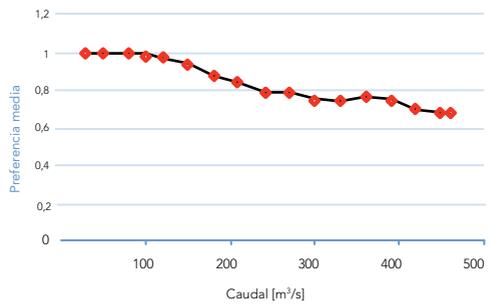
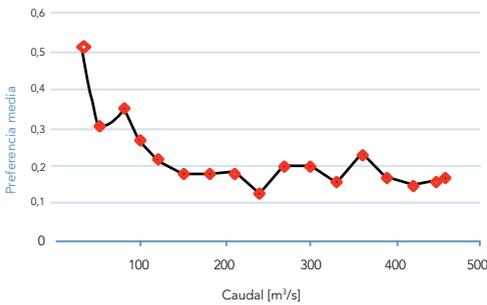


Figura R.I.26-8  
Índice de habitabilidad de velocidad (a) y profundidad (b) la especie adulta de *O. mykiss*, para diversos caudales (Figura 30 del Anexo 6.3 del EIA)  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

Paso 8

Por último, se realizó un análisis de resultados para cada una de las secciones AIE en estudio, indicando los parámetros hidrológicos y el criterio adoptado para estimar el caudal ecológico, que se resumió en lo siguiente (sección 6.5, Anexo 6.3 del EIA):

- 1) Área transversal al escurrimiento en sección de mínima altura para distintos criterios de cálculo del caudal ecológico recomendado por DGA en el Área de Influencia Ecológica (AIE) del río Biobío (ver Tabla R.I.26-1).

Criterio	Caudal [m³/s]	Área Escurrimiento [m²]	Reducción [%]
Qma	457,5	231,58	-
10% Qma	45,75	50,00	78
50% de 95%	41,17	48,00	79
Q347	102,11	83,29	64
Q330	116,54	94,00	59

Tabla R.I.26-1  
Área transversal al escurrimiento  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

- 2) Esfuerzo de corte en sección de mínima altura para distintos criterios de cálculo del caudal ecológico recomendado por DGA en AIE del río Biobío (ver Tabla R.I.26-2).

Criterio	Caudal [m³/s]	Esfuerzo de corte [N/m²]	Reducción [%]
Qma	457,5	29,86	-
10% Qma	45,75	7,30	76
50% de 95%	41,17	7,20	76
Q347	102,11	11,58	61
Q330	116,54	13,01	56

Tabla R.I.26-2  
Esfuerzo de corte  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

- 3) Velocidad en sección de mínima altura para distintos criterios de cálculo del caudal ecológico recomendado por DGA en AIE del río Biobío (ver Tabla R.I.26-3).

Criterio	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Velocidad [m/s]	Reducción [%]
Qma	457,5	1,99	-
10% Qma	45,75	0,92	54
50% de 95%	41,17	0,90	55
Q347	102,11	1,20	40
Q330	116,54	1,28	36

Tabla R.I.26-3

Velocidad en sección criterios de cálculo del caudal ecológico recomendado por la DGA (ver Tabla R.I.26-4)

Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

Criterio	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	TR Unitario [horas/km]	Aumento [%]
Qma	457,5	1,02	-
10% Qma	45,75	2,05	101
50% de 95%	41,17	2,10	106
Q347	102,11	1,60	57
Q330	116,54	1,52	49

Tabla R.I.26-4

Tiempo de Retención

Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

Se debe aclarar que la metodología aplicada está orientada principalmente al método de evaluación de habitabilidad física para el escenario de estiaje de probabilidad de excedencia de 85%. Tanto el método hidrológico, como la habitabilidad están considerando el estiaje con caudales medios mínimos que fueron estimados para tener una referencia y un patrón de comparación.

Así, se procedió a la comparación de los resultados obtenidos por simulación de hábitats versus otros métodos desarrollados en el mismo Anexo 6.3 del EIA, en particular, los diferentes caudales ecológicos estimados por los métodos hidrológicos recomendados por la DGA con las curvas de habitabilidad. Con ello fue posible sustentar que el 10% del caudal medio anual (45,7 m<sup>3</sup>/s) y el 50% del Qmin en estiaje (41,2 m<sup>3</sup>/s) son adecuados para preservar la calidad ecológica del Área de Interés Ecológico. Ambos valores mantienen profundidades superiores a 20 cm (Tabla 6 del Anexo 6.3 del EIA) y velocidades de escurrimiento inferiores a 1 m/s (Tabla 9 del Anexo 6.3 del EIA). Lo anterior se validó con las

curvas de habitabilidad, donde las diferentes especies presentan mayores preferencias de velocidad con valores de velocidad cercanos a los estimados mediante 10% del caudal medio anual y el 50% del Qmin en estiaje (Figuras 28, 29, 30 y 31 del Anexo 6.3 del EIA).

En relación a la profundidad la preferencia de las especies indicadoras fue variable, debido a que están segregadas espacialmente, *Oncorhynchus mykiss* (adultos) y *Diplomystes nahuelbutaensis* (adultos) utilizan el cauce principal del río Biobío, mientras que *Trichomycterus aerolatus* (adultos) y *Oncorhynchus mykiss* (juveniles) utilizan las zonas litorales.

Por último, la determinación final del caudal ecológico se basó en una estrategia conservadora a partir de los resultados del método hidrobiológico de simulación de hábitat. Los métodos son incorporados en términos referenciales, tal cual lo indica la DGA (Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos", 2002).

Con ello, se determinó que el caudal ecológico debería ser igual a 45,7 m<sup>3</sup>/s, correspondiente al 10% del caudal medio anual, como valor más conservador, el cual mantiene los requerimientos mínimos del ecosistema acuático presente en el río Biobío en la zona denominada AIE.

#### 4 Pregunta 1.27

Si bien el titular describe en el punto 2.3.2.11.1, páginas 57 a la 60 del Capítulo 2, en sus letras A hasta la E, se definen las obras que facilitarán la construcción de presa, al realizar el desvío del río Biobío, se solicita que se especifique el valor del flujo del caudal ecológico que se mantendrá, durante la instalación de estas obras y la forma de calcular este valor.

#### Respuesta

Tal como se indica en el punto 2.3.2.11.1 letra E del EIA, se reitera que para efectos de construcción de la presa, estará habilitado el túnel de desvío por el que circulará la totalidad del caudal del río (su caudal de diseño es de 2.000 m<sup>3</sup>/s). En la eventualidad de que los caudales afluentes sean mayores a este valor, se operará el túnel de desagüe de fondo que también estará habilitado, por el que pueden pasar alrededor de 450 m<sup>3</sup>/s.

En consecuencia, para esta fase de la construcción como también para la etapa de operación, será posible entregar aguas abajo del proyecto (punto de restitución) todo el caudal afluente del río Biobío.

Por lo tanto, el caudal que se mantendrá durante la etapa de construcción será igual o superior al valor de caudal ecológico, determinado en el Capítulo 6, Anexo 6.3 del EIA y que corresponde a 46,5 m<sup>3</sup>/s.

#### 5 Pregunta I.28

Siguiendo con el caudal ecológico (Capítulo 7, Anexo 6.3), se señala en el EIA que se realiza según la metodología recomendada por la DGA del 10% del caudal mínimo anual, al respecto se señala que dicho método sólo considera aspectos hidráulicos y no considera la componente biótica del sistema. Por lo anterior se solicita al titular evaluar metodologías que permitan determinar caudales acorde a este componente y especialmente un caudal ecológico especie-específico según las especies de peces nativos que habitan en el área de influencia del proyecto.

#### Respuesta

La determinación del caudal ecológico se realizó mediante métodos hidrológicos y de simulación de hábitat. Los métodos hidrológicos corresponden a aquellos recomendados por la DGA y que derivan de diferentes estadígrafos obtenidos de la serie hidrológica histórica (ej, 10% caudal medio anual, Q347). La simulación de hábitat se realizó sobre la base de la modelación hidráulica del río Biobío, mediante la implementación del modelo numérico HEC-RAS y el cruce funcional con las curvas de habitabilidad disponible para la fauna íctica (EULA, 2000. Determinación del Caudal Ecológico Mínimo del Proyecto Hidroeléctrico Quilleco en el río Laja, considerando variables asociadas a la biodiversidad y disponibilidad de hábitat). Este enfoque corresponde al mismo implementado en el PHABSIM. Para mayores antecedentes, ver respuesta I-26 de la presente Adenda.

En relación a la utilización de otras metodologías para la determinación del caudal ecológico, cabe indicar que, tal como se estableció en la respuesta a la observación I-26, el modelo utilizado para determinar los requerimientos

mínimos de velocidad y altura de escurrimiento que son necesarios para la vida de las especies que coexisten en el río, fue complementado con la implementación del modelo numérico HEC-RAS, el que simula el hábitat para las especies. En este sentido, en la mencionada respuesta I.26 del presente Adenda se presenta una completa descripción de las consideraciones metodológicas referidas al cálculo del caudal ecológico.

#### 6 Pregunta I.29

En relación al anexo de caudal ecológico, el titular en el numeral 5.2.3, indica que la variable de calibración es el "n" de Manning, al respecto se solicita al titular que entregue la información utilizada para su calibración y los procedimientos utilizados para ello.

#### Respuesta

Para calibrar el coeficiente "n" de Manning se realizaron mediciones de la granulometría del sedimento en base a la metodología propuesta por Bunte & Abt (2001) para la obtención de las curvas granulométricas del sustrato superficial del cauce (ver Tabla R.I.29-1). Estas mediciones se realizaron sobre la ubicación de los perfiles batimétricos en la ribera del cauce.

Para la validación de estas mediciones se utilizan los perfiles batimétricos y pendiente media del terreno obtenida de los modelos de elevación digital conocidos como DEM (Figura 7 Anexo 6.3 EIA).

Se analizó y validó la información granulométrica medida en terreno, en particular, verificando si las mediciones en la ribera de los ríos correspondieron efectivamente al tipo de sustrato en el cauce principal. Para tal efecto, se planteó como metodología de validación el calcular el diámetro d\*90 asociado al arrastre incipiente del escurrimiento. Este diámetro indica cual fue el máximo tamaño de los sedimentos que naturalmente fueron arrastrados por el escurrimiento, de manera que si las mediciones de terreno fueron inferiores a dicho valor, éstas indicaron la granulometría en el centro del cauce. Tal como se indicó en el punto 5.2.3 del Anexo 6.3, para el cálculo preliminar de d\*90 se considera que (1,1, Niño, 2005):

$$\frac{u_*^2}{gRd_{90}} = 0,045 \quad ; \quad u_*^2 = gR_h i$$



Con esta información se calibró el valor del coeficiente de Manning que englobó las condiciones de los parámetros como sinuosidad, vegetación, regularidad de la ribera, de la fórmula de Cowan. La calibración fue realizada con un caudal de 190 m<sup>3</sup>/s, que equivale al valor medio instantáneo de los días en los cuales fue realizada la campaña. Los resultados indican que el valor del número de Cowan que minimiza el error es pequeño, igual a n'=0,005, lo que indica que el

Manning medido directamente a través de los sedimentos representa bastante bien la resistencia del río al escurrimiento (véase Figura R.I.29- 2a). Por lo tanto, el número de Manning (n) que minimizó el error de las alturas modeladas es de 0.028 en la zona alta y de 0.025 [s/m<sup>1/3</sup>] en la baja. Para este valor de n, el error medio es de 14 [cm], entregándose la dispersión de las alturas medidas y modeladas en la Figura R.I.29- 2b. Los resultados se muestran en la Figura R.I.29- 3

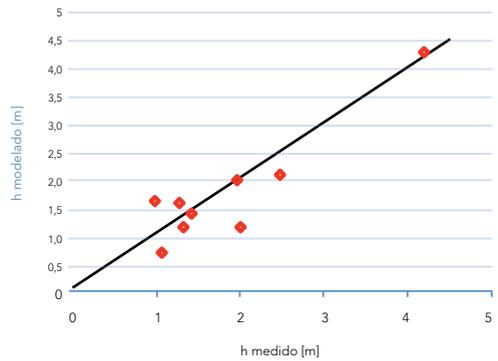
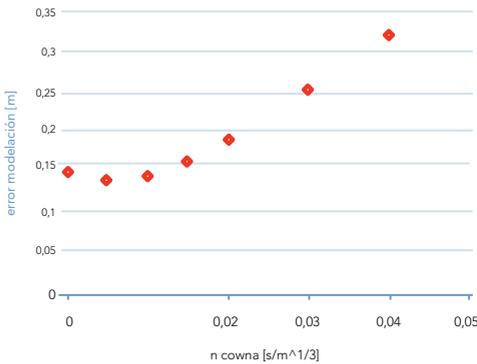


Figura R.I.29- 2. Calibración de n' (a) y dispersión de alturas medidas y modeladas. La recta que aparece en el gráfico corresponde a la curva h modelado = h medido (b).  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

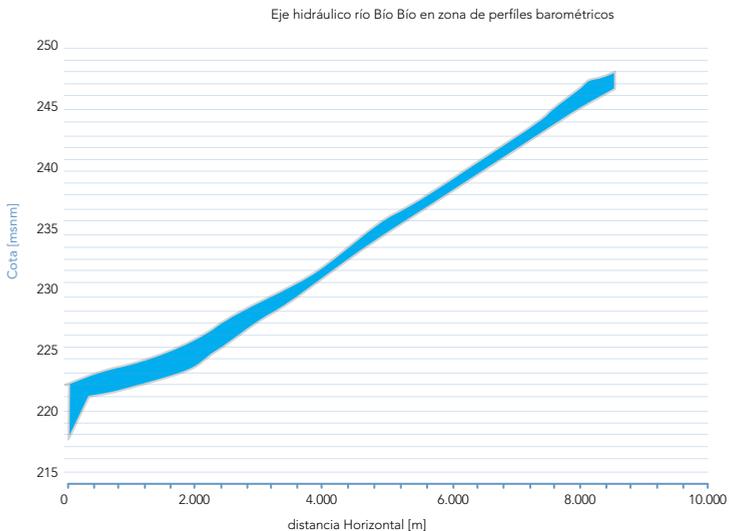


Figura R.I.29- 3  
Eje hidráulico para Q = 190 [m<sup>3</sup>/s]  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

## 7 Pregunta I.30

En relación al caudal ecológico, en el numeral 6.3 se entregan las coordenadas de los perfiles transversales, al respecto se solicita indicar cuál fue la longitud del tramo analizado. Además cabe señalar que si el sector 2, identificado como con meandros, 10 perfiles es suficiente para caracterizar el eje hidráulico, considerando la utilización del Hec-Ras que tiene como hipótesis principal es que se representa un escurrimiento gradualmente variado, situación que no necesariamente se presenta en zonas con meandros. Se solicita realizar un análisis de sensibilidad de tal forma de analizar los ejes hidráulicos presentados.

### Respuesta

En primera instancia, se debe aclarar que el concepto de caudal ecológico no es aplicable al proyecto durante la fase de operación, dado que la central tendrá una capacidad de regulación limitada (sólo algunas horas del día) y las turbinas tendrán un grado de flexibilidad tal que se asegurarán los requerimientos de todo caudal aguas abajo, sea ecológico y/o de cumplimiento de derecho de regantes. La restitución de las aguas se producirá a 120 m de la presa, zona que corresponde a un tramo perteneciente a las obras del proyecto, el que está directamente influenciado por las descargas del evacuador de crecidas cada vez que el mismo requiera ser operado. Para mayores precisiones se ruega remitirse a la respuesta de la pregunta I.37 de la presente Adenda.

Considerando lo anterior, es que los cuestionamientos técnicos relacionados con la información de cálculo estándar de caudal ecológico no son de gran relevancia, ya que el propio diseño y concepto de operación del proyecto asegura mantener la calidad ecológica del tramo indicado.

Sin perjuicio de lo anterior, a continuación se detallan los antecedentes solicitados en la observación:

En la Tabla R.I.30-1 se adjuntan las coordenadas de los perfiles batimétricos. Éstos fueron obtenidos aguas arriba y aguas abajo de los meandros, en zonas que presentaban un cauce único con desarrollo lateral (ver perfiles en Figuras R.I.30-1, R.I.30-2, R.I.30-3 y R.I.30-4), antecedentes que permiten mantener la condición de escurrimiento gradualmente variado. Se obtuvieron un total de 10 perfiles batimétricos en una extensión de 5 km del río Biobío en la zona Z2 definida como el Área de Interés Ecológico.

El número de perfiles utilizado para caracterizar las condiciones hidráulicas del río Biobío se considera representativo ya que procuró caracterizar la diversidad de hábitats en el área de influencia del proyecto. Adicionalmente, como se indicó en la pregunta I.26 de la presente Adenda, se complementó la información de los perfiles longitudinales y pendientes del cauce con topografía aerofotogramétrica de detalle y con análisis granulométricos de los estudios sedimentológicos para establecer una correlación con la rugosidad. Estos parámetros corresponden a la información de entrada al modelo hidráulico utilizado (HEC-RAS).

Perfiles	Este	Norte
1	771624	5823572
2	771291	5823821
3	770822	5824054
4	770117	5824515
5	769542	5824760
6	768272	5825040
7	767209	5824890
8	766527	5825458
9	764995	5826479
10	764535	5826646

Tabla R.I.30-1

Coordenadas de los perfiles\*.

\* Coordenadas en Datum WGS 84, Huso 18.

Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

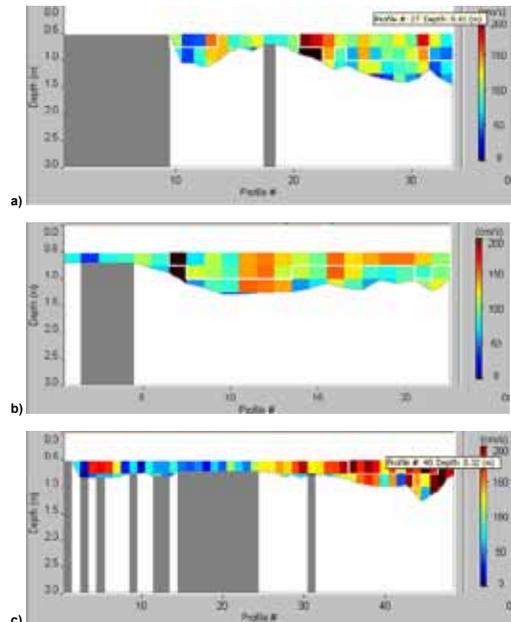


Figura R.I.30-1

Perfiles Batimétricos 1, 2 y 3 (a, b y c respectivamente).

Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007

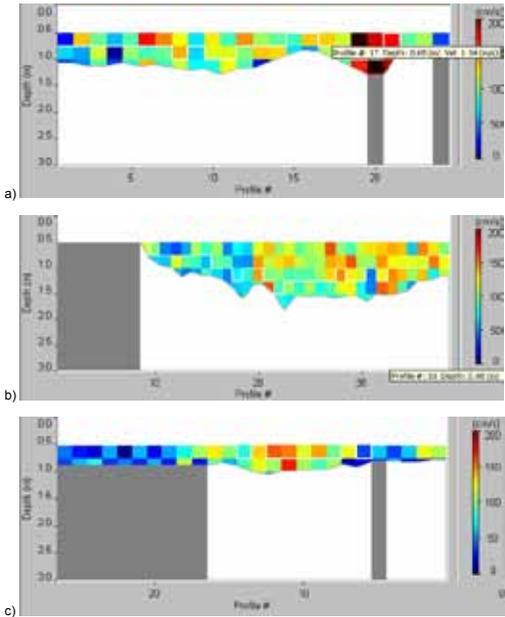


Figura R.I.30-2  
Perfiles Batimétricos 4, 5 y 6 (a, b y c respectivamente).  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

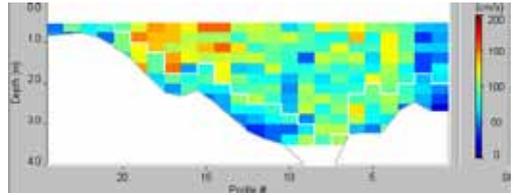


Figura R.I.30-4  
Perfil Batimétrico 10  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

En todos los gráficos se indican celdas (50 cm x 50 cm) con velocidades promedio (medidas en cm/s) a lo largo de la sección transversal del río.

El eje hidráulico consideró un análisis de sensibilidad (Figura R.I.29- 3), a partir de la modelación con diferentes valores del número de Manning, lo cual se refleja en la dispersión de la altura de aguas con el caudal de 190 m<sup>3</sup>/s. En la Figura R.I.29- 3 se observa la variabilidad en la cota (zona en color) para una distancia dada a partir del “kilómetro cero” en el eje X (correspondiente al perfil 5 o inicio del Área de Interés Ecológico).

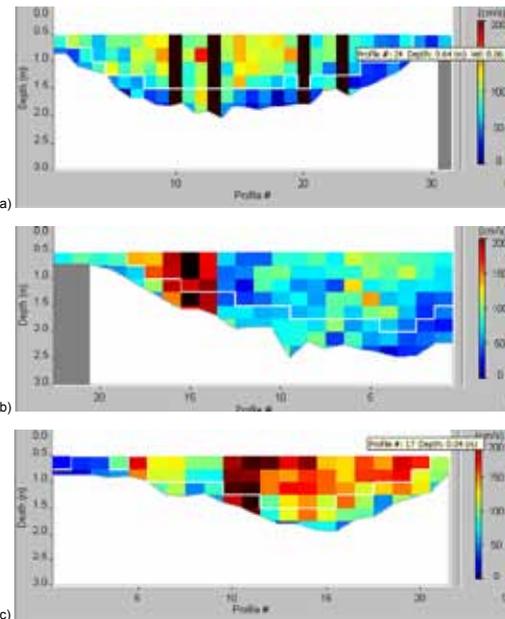


Figura R.I.30-3  
Perfiles Batimétricos 7, 8 y 9 (a, b y c respectivamente).  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

8 Pregunta I.31

En relación al caudal ecológico, en la figura 6 se indican un perfil longitudinal del río Biobío, entregando las cotas, no queda claro donde se ubica el kilómetro cero, y entendiendo que ese grafico va desde aguas arriba hacia aguas abajo, por que se indica en el eje de las x distancia a río Huequecura. Solicita explicar y aclarar.

**Respuesta**

Se debe aclarar que la Figura 6 del Anexo 6.3 del EIA que se indica en la observación, corresponde a las fotografías de sobrevuelo del río Biobío, en que se diferencian las zonas de alta velocidad de escurrimiento con los sectores de condiciones lénticas del río.

Assumiendo que la observación dice relación con la Figura 7 del mismo anexo del EIA, se aclara que el kilómetro “cero” indicado, corresponde al punto de confluencia de ambos ríos.

La figura mencionada se reproduce nuevamente en la presente Adenda a continuación (Ver Figura R.I.31-1) y corresponde a la gráfica de la pendiente media del río Biobío a lo largo del eje longitudinal, estimado a partir del Modelo de

Elevación Digital (DEM), detallado en el punto 5.2.3 del Anexo 6.3 del EIA. En esta figura se observa que la pendiente decrece hacia aguas abajo, en particular en la zona final considerada (de extensión aproximada a 2 kilómetros) asociada a los puntos de medición, la cual está señalada con rojo.

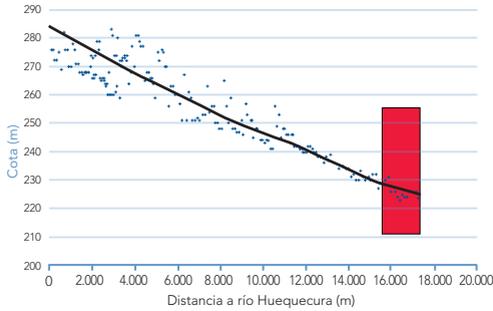


Figura R.I.31-1  
Perfil longitudinal río Biobío\*.  
\*Zona marcada en rojo corresponde a zona de menor pendiente.  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

#### 9 Pregunta I.32

En relación al caudal ecológico, en la figura 11 se entrega un eje hidráulico para un caudal de  $190 \text{ m}^3/\text{s}$ , y en el eje de las abscisas se entrega la distancia en Km., no indicando el kilómetro 0, además en esta figura se presenta el eje hidráulico desde aguas abajo hacia aguas arriba. Se solicita aclarar, definir y presentar todas las figuras relacionadas con perfiles longitudinales referidas a un único cero, el cual debe quedar claramente establecido.

#### Respuesta

La figura 11 indicada en la observación y presentada en el Anexo 6.3 del EIA y en la respuesta a la observación I.30 de la presente Adenda, corresponde al eje hidráulico en tramo del río Biobío, donde se obtuvieron los perfiles batimétricos en consideración que esta zona (Z2 en la Figura R.I.29-1) fue definida como Área de Interés Ecológico (AIE). El kilómetro "cero" corresponde al perfil 5, debido a que corresponde al ámbito de la modelación numérica llevada a cabo como parte del análisis del caudal ecológico en la AIE.

#### 10 Pregunta I.33

En relación al caudal ecológico, el titular indica que la figura 18 representa la función entre altura de escurrimiento y caudal para la sección con menor altura de escurrimiento, al respecto se solicita indicar a qué perfil corresponde y además señalar cuál fue la metodología utilizada para la determinación de esta curva, que usualmente es denominada como curva de descarga, la que en general es determinadas en base a aforos.

#### Respuesta

La sección de control del caudal ecológico corresponde al perfil batimétrico N° 6 (Figura Figura R.I.30-2 c), que ilustra la altura del pelo de agua en el punto de menor altura de escurrimiento en función del caudal. En este perfil se registraron las menores profundidades del área de estudio, por lo que se utilizó para evaluar los caudales en un escenario conservador.

Las mediciones para construir el perfil batimétrico y registrar el respectivo aforo, fueron obtenidas mediante un equipo de ecosonda (Rivera), instrumento que permite medir perfiles de velocidad, profundidad de escurrimiento y caudal, equipado con un GPS diferencial.

La curva de descarga fue construida con los datos obtenidos de la medición con el equipo Rivera, mediante el programa de simulación hidráulico HEC-RAS, el que utiliza la ecuación de Manning (Ecuación 1.5) para obtener un valor de "n" en cada celda del perfil batimétrico (Figura R.I.30-2 c). Habiendo obtenido el valor de n para cada celda individual, las velocidades de cada celda pueden ser simuladas para cualquier caudal utilizando el valor inicial de n, derivado de los datos de terreno.

$$Q = \frac{1}{n} * S^{1/2} * R^{2/3} * A$$

$Q =$  Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $n =$  Coeficiente de Manning  
 $S =$  Pendiente longitudinal (m/m)  
 $R =$  Radio Hidráulico (m)  
 $A =$  Sección transversal ( $\text{m}^2$ )

A partir de estos datos de calibración se simularon las alturas de escurrimiento para diferentes caudales, mediante las cuales se generó la Figura 18 del Anexo 6.3 del EIA.

**11 Pregunta I.34**

En relación al caudal ecológico, el titular utiliza como variable de “verificación” el tiempo de retención unitario, al respecto se solicita indicar a que corresponde y como lo determina, dado que para poder definir esta variables se requiere de la definición de un volumen de control y determinarlo, dado que tiempo de retención es el cociente entre volumen y caudal pasante. Adicionalmente esta variable ha sido dividida por un área del cual nada se indica. Aclarar.

**Respuesta**

En primera instancia, se debe aclarar que el concepto habitual de caudal ecológico no es aplicable al proyecto durante la fase de operación, dado que la central tendrá una capacidad de regulación limitada (sólo algunas horas del día) y las turbinas tendrán un grado de flexibilidad tal que se asegurarán los requerimientos de todo caudal aguas abajo, sea ecológico y/o de cumplimiento de derecho de regantes. La restitución de las aguas se producirá a 120 m de la presa, zona que corresponde a un tramo perteneciente a las obras del proyecto, el que está directamente influenciado por las descargas del evacuador de crecidas cada vez que el mismo requiera ser operado. Para mayores precisiones se ruega remitirse a la respuesta de la pregunta I.37 de la presente Adenda.

Considerando lo anterior, es que los cuestionamientos técnicos relacionados con la información de cálculo estándar de caudal ecológico no son de gran relevancia, ya que el propio diseño y concepto de operación del Proyecto asegura mantener la calidad ecológica del tramo indicado y en general, aguas abajo del mismo.

Sin perjuicio de lo anterior, a continuación se detallan los antecedentes solicitados en la observación:

El tiempo de retención (TR) se define como el cociente entre el volumen y caudal, y da cuenta del tiempo medio que el agua permanece al interior del volumen analizado. El volumen de control corresponde al tramo definido como Área de Interés Ecológico donde se determinó el eje hidráulico en el río Biobío, para el cual se dispone de perfiles batimétricos (Figura 1 de la respuesta a la pregunta I.32 de la presente Adenda). De esta manera, el volumen de control fue calculado a partir de la batimetría obtenida de estos perfiles.

La importancia de determinar esta variable radica en que para valores altos del tiempo de retención, las condiciones del escurrimiento son tales que favorecen el crecimiento de diversos microorganismos acuáticos que no pueden desarrollarse en condiciones de tiempo de retención bajo. Por lo tanto, cambios considerables en este parámetro indicarían un recambio de especies de fito y zooplancton presentes en la columna de agua, afectando de esta manera la disponibilidad de alimento de la fauna íctica.

**12 Pregunta I.35**

En relación al caudal ecológico, el titular en una serie de oportunidades hace referencia al Anexo I, para referirse a la información, sin embargo este anexo sólo tiene gráficos, y ningún tipo de explicación y/o introducción respecto de ellos, por lo que se solicita, primero explicar dichas figuras y segundo revisar el texto a modo de verificar que la información que se debe buscar en dicho anexo, como lector, efectivamente se encuentre allí.

**Respuesta**

Se acoge la observación. Dentro del Anexo de Caudal Ecológico (Anexo 6.3 del EIA) se hace referencia al Anexo I, el que corresponde a los perfiles batimétricos utilizados para la realizar la caracterización hidráulica del río Biobío y en la aplicación de la metodología de simulación de hábitat para el cálculo de caudal ecológico.

Los gráficos del Anexo I ilustran la topografía transversal de cada perfil, cuya ubicación geográfica está indicada en la Figura R.I.29- 1 de la pregunta I.29 de la presente Adenda. Mediante un equipo de ecosonda (RiverCat), se registró la velocidad instantánea del tramo en unidades de centímetros por segundo. El área transversal de los perfiles se segmentó en celdas, indicando la variación horizontal y vertical de la velocidad de cada una. En los gráficos, estas variaciones se diferencian por colores (Figura R.I.30-2 b).

**13 Pregunta I.36**

En relación al caudal ecológico, se solicita al titular entregar la información y la modelaciones realizadas con el HEC-RAS, con la finalidad de poder evaluar y corroborar las conclusiones planteadas respecto de los ejes hidráulicos.

**Respuesta**

Se adjuntan en formato digital los archivos de entrada y salida de las modelaciones realizadas con el modelo HEC-RAS (ver Anexo N° 6 Modelo HEC – RAS de la presente Adenda).

#### 14 Pregunta I.37

El principio del mantener un caudal ecológico es permitir la mantención de un flujo natural de agua que circule libremente a fin de mantener en parte las características representativas del recurso hídrico a intervenir, así como también sus características ambientales, permitiendo con ello la viabilidad de las comunidades hidrobiológicas, minimizando el impacto del proyecto sobre el sistema río.

Por lo anterior, la propuesta del titular de turbinar este caudal atenta contra el principio para el cual ha sido definido dicho instrumento, y además introduce un factor de preocupación, en el sentido de romper el continuum del sistema río, afectando con ello los flujos dinámicos que se dan en él. Por otro lado, por las características del lugar que se ubica al pie del embalse, el titular estima que quedará una distancia de 320 m de río con aguas estancadas, y sin recirculación, lo que desde el punto de vista ambiental es cuestionable y carece de sentido de sustentabilidad ambiental. Por lo anterior, el titular debe presentar en detalle la obra que deberá mantener y permitir el paso permanente del caudal ecológico, a fin de minimizar el impacto ambiental del proyecto.

Sin perjuicio de lo anteriormente señalado, no se entiende la razón por la cual el titular modela el caudal ecológico en un área que no es la afectada por la disminución de caudales, dado que, dicho concepto se aplica en la práctica para tramos de río que se ven afectados drásticamente por la disminución de caudales debido a la ejecución de obras civiles como el proyecto en cuestión. Se entiende que desde el muro hasta el punto de restitución de las aguas habrá una distancia no mayor a 320 m., esta distancia es la que debe quedar sujeta a un caudal mínimo ecológico. Al respecto se solicita explicar las razones que tuvo el titular para establecer un área de interés ecológico entre el sector de Rucalhue y la ciudad de Santa Bárbara. Por otro lado la metodología utilizada para su determinación adolece de consideraciones ambientales que permitan asegurar la sustentabilidad de los servicios ambientales. En este punto se comparte lo observado por la Dirección Regional de Pesca, en el sentido de utilizar una metodología integral, que entregue caudales ecológicos mínimos variables en el tiempo y que represente la estacionalidad de los ciclos naturales.

#### Respuesta

Esta materia ya fue tocada en respuesta I.30 de la presente Adenda, la que se abunda sin perjuicio de ello, siempre en el ámbito de lo conceptual dadas las características del proyecto CH Angostura y la no pertinencia de un caudal ecológico propiamente tal.

#### *Objetivo del "caudal ecológico"*

En primer instancia, cabe reiterar lo que se ha dicho en el EIA en cuanto a que el futuro embalse tendrá una capacidad de regulación limitada (sólo algunas horas del día), correspondiente a un metro del nivel del embalse, lo cual permite la mantención de un régimen hidrológico aguas abajo del proyecto muy similar a los caudales afluentes al embalse y por ende, se asegura la mantención de las características ambientales como las disponibilidad de hábitat para comunidades hidrobiológicas presentes en el río Biobío.

En este sentido, cabe destacar que el criterio de casi no regular los caudales aguas abajo de la restitución se considera el elemento fundamental y más relevante para velar por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, cual es el objetivo de la disposición de establecer un caudal ecológico según lo indicado en la modificación del Código de Aguas del año 2005. De lo anterior, se colige que la concepción de caudal ecológico indicada en la observación (en relación al tramo de 120 m entre presa y obra de restitución) no tiene relevancia ambiental en la etapa de operación del proyecto.

Con respecto a la definición existente del caudal ecológico, la Dirección General de Aguas (DGA) indica que corresponde a: "El caudal mínimo que debieran tener los ríos para mantener los ecosistemas presentes, preservando la calidad ecológica"<sup>7</sup>, sin indicar si este caudal es turbinado o no.

Sin embargo la turbinación propiamente tal, no necesariamente rompe la continuidad del río, ya que en el caso de este proyecto, dada su limitada capacidad de regulación y breve tiempo de retención de las aguas, no se alteran los flujos dinámicos del sistema río, preservándose la calidad del agua (por ej: temperatura, concentración de oxígeno) y permitiéndose la continuidad del aporte energético alóctono (alimento) que proviene desde agua arriba de la presa (entre ellos materia orgánica disuelta

y fitoplancton). Además, tal como se menciona en la pregunta 1.46 de la presente Adenda, los desechos leñosos retenidos sobre las barras de sedimento serán vertidos aguas abajo, permitiendo la continuidad de una fuente alóctona de energía para los macroinvertebrados y proveyendo material para el hábitat físico. En este sentido, se mantendrán los ecosistemas aguas abajo del proyecto, permitiendo preservar la calidad ecológica de la zona.

Caso contrario ocurre en el caso del desplazamiento de las especies ícticas (especialmente las introducidas) donde evidentemente el proyecto produce un efecto barrera, razón por la cual el EIA identifica dichos impactos con una significancia negativa alta (Capítulo 6) y se proponen medidas de manejo ambiental asumiendo el caso más desfavorable de afectación para las especies nativas en esta materia (Capítulo 7 y Anexo N° 2 de la presente Adenda).

#### ***Características del tramo entre presa y restitución***

Respecto del tramo entre la presa y la obra de restitución de las aguas, que es considerado parte del Proyecto según se indicó en el EIA, y por lo tanto área intervenida; primero es necesario aclarar que la longitud de dicho tramo es de 120 metros y no 320 metros como se indica en la observación.

En segundo lugar, es importante aclarar que en ningún caso, se producirán aguas estancadas o muertas sin circulación en dicho tramo. Más aún, en esta zona el sistema río tendrá continuidad y renovación con lo que se asegurará que se mantengan las atribuciones escénicas del sector (no habrá "lecho seco") así como también existirían condiciones bióticas adecuadas para la sustentabilidad de un ecosistema.

Específicamente y tal como se indicó en la respuesta 1.24 de la presente Adenda, el relieve que presenta el fondo del río Biobío, en el tramo entre el pie de la presa y la zona de descarga de las aguas turbinadas, obtenido de las mediciones batimétricas realizadas muestran que en los primeros 35 m desde el pie de presa, el lecho tiene en su punto más bajo una cota de 260 m.s.n.m., en los próximos 50 m hacia aguas abajo su cota disminuye paulatinamente hasta alcanzar los 246 m.s.n.m., conservando esta cota hasta llegar al inicio de la descarga de las aguas turbinadas donde alcanza un nivel de 250

m.s.n.m. aproximadamente, manteniendo dicho nivel hacia aguas abajo por la zona de descarga, por unos 50 m aproximadamente.

Respecto a los caudales que presenta el río Biobío en el sector donde se emplaza el proyecto, las estadísticas históricas muestran que para los caudales bajos del orden de 47 m<sup>3</sup>/s (caudal medio diario con una probabilidad de excedencia del 99,9%), en la zona de descarga de las aguas turbinadas se producen velocidades del orden de 0,15 a 0,25 m/s, con un nivel del eje hidráulico de 262 m.s.n.m. aproximadamente. Comparando este valor con la cota del punto más bajo del lecho del río en el pie de presa (260 m.s.n.m.) se tiene un desnivel de 2 m, lo que garantiza un espejo de agua continuo en el tramo analizado.

Una parte del caudal entregado en la descarga fluye en dirección a la presa, el cual a medida que se acerca a ésta va disminuyendo su velocidad, alcanzando su menor valor en el pie de presa, lugar donde se mezcla con las aguas más calmas y debido al permanente flujo que viene desde la zona de restitución tiende a fluir hacia aguas abajo de la presa manteniendo una recirculación continua en el tramo entre el muro y la obra de restitución.

Para todos los caudales superiores a 47 m<sup>3</sup>/s, el nivel o columna de agua del río irá aumentando y por consiguiente, también lo irá haciendo la altura del espejo de agua en el tramo entre el muro y la obra de restitución. De igual manera, el cuerpo de agua en el tramo analizado tendrá una mayor inercia, aumentando también su renovación.

Para caudales superiores a la máxima capacidad de generación de las turbinas (700 m<sup>3</sup>/s), el excedente será vertido por sobre la presa, garantizando también en este caso el espejo de agua en el tramo de 120 m entre el pie de presa y la zona de restitución de las aguas turbinadas al río, tanto por la recirculación del agua proveniente de la zona de descarga como del agua directamente vertida en este tramo del río.

En base a lo anteriormente expuesto y como conclusión, se ratifica que en todo momento se mantendrá un espejo de agua continuo en los 120 m que separan la obra de restitución y el muro de la presa. Además, habrá una recirculación que garantizará la renovación de las aguas y evitará la generación de zonas de

aguas muertas. Al contrario y considerando el cambio proyectado de las condiciones del cauce en este sector, es esperable que en este tramo se acentúe la presencia de especies que tienen preferencia por ambientes más lénticos, esto es, las especies introducidas.

Este escenario no implica impactos ambientales relevantes que ameriten el establecimiento de un "caudal ecológico" exclusivamente para un tramo de 120 m, dada que no hay un aporte ambiental relevante cuando se le compara con la situación actual de dicho tramo en cuanto a su productividad biológica. En particular, este sector presenta una morfología de rápidos derivadas de las condiciones de escurrimiento del río, encajonado por el basamento rocoso en un importante tramo, una alta rugosidad relativa y alta profundidad (Fotografía R.I.37-1), aspectos que en su conjunto minimizan la probabilidad de existencia de hábitats acuáticos; esto es concordante con el hecho que no se encontraron ejemplares de especies nativas en estados juveniles, (estación de monitoreo 3, sección 5.4.3 del Capítulo 5 del EIA) demostrando de esta forma que es un área de paso y no un área que presente las condiciones para la generación de hábitat para el establecimiento de peces. Se debe destacar que, desde el punto de vista de los recursos hidrobiológicos, corresponde a un tramo del río con menor valor ambiental relativo dado sus características morfológicas (encajonamiento, paredes de roca, etc.), que no presenta las mejores condiciones para generar un hábitat para el desarrollo de las especies valoradas.



Fotografía R.I.37-1  
Vista Sureste de la Angostura del Piulo  
Fuente: EIA CH Angostura, Colbún 2007.

### Área de Interés Ecológico

En base a los argumentos anteriormente expuestos es que se explica la razón para establecer como Área de Interés Ecológico (AIE en el Anexo 6.3 del EIA) la zona entre el sector de Rucalhue y la ciudad de Santa Bárbara. Tal como se indicó en su momento, es esta zona la que presenta mejores condiciones morfológicas para el desarrollo de hábitat para las especies de interés. Esta tesis se apoya en que en la Línea Base del Proyecto (Capítulo 5 del EIA) se detectó una mayor riqueza de especies nativas (*Diplomystes nahuelbutaensis*, *Percilia irwini*, *Trichomycterus areolatus* y *Galaxias maculatus*) en el sector de Santa Bárbara versus las que se encontraron en el sector del pie del muro hasta el punto de restitución (*Diplomystes nahuelbutaensis* y *Percilia irwini*). La alta diversidad en la AIE indica que se genera un ambiente ecológicamente estable y es precisamente en el sector de mayor riqueza (en el área de Santa Bárbara) donde se debe resguardar el valor ambiental y asegurar los servicios ambientales que entrega el río. Es por ello que, de manera conservadora, se define el caudal ecológico apropiado para esta zona aguas abajo.

### Metodología de cálculo

Por último respecto de la metodología de cálculo del caudal ecológico, se utilizaron métodos hidrológicos para determinar caudales mínimos, en tanto corresponden a los criterios básicos recomendados por la DGA. Estos criterios derivan de diferentes estadígrafos obtenidos de una serie hidrológica histórica (ej, 10 % caudal medio anual, Q347), los que permiten en una primera etapa, establecer caudales mínimos. Sin embargo, en la actualidad es de conocimiento que estos criterios no son suficientes para determinar los requerimientos mínimos de velocidad y altura de escurrimiento que son necesarios para la vida de las especies que coexisten en el río. Es por ello que, posteriormente al cálculo hidrológico, se aplicó un método que simula el hábitat para las especies, sobre la base de la modelación hidráulica del río Biobío. Esto se llevó a cabo mediante la implementación del modelo numérico HEC-RAS, cuya salida fue relacionada con las curvas de habitabilidad disponibles para distintas especies de fauna íctica<sup>8</sup>. Este procedimiento es el mismo que se utiliza con el programa PHABSIM.

### 15 Pregunta I.38

El titular señala que dispondrá de sensores independientes para la medición del embalse, y que los datos serán enviados satelitalmente a la Dirección General de aguas. Se solicita que para medir el caudal ecológico se implemente el mismo mecanismo.

**Respuesta**

Efectivamente, para la medición de los niveles del embalse se implementarán sensores independientes y, al igual que la información fluviométrica recolectada por las tres estaciones a implementar por el proyecto, será enviada vía satélite a la DGA.

Para verificar el cumplimiento tanto del caudal ecológico como aquel correspondiente a los derechos consuntivos constituidos por los regantes aguas abajo de la Central Angostura, se habilitará una estación fluviométrica en el puente Piulo ubicada a unos 800 m aguas abajo de la presa principal. Estos datos, en conjunto con el resto de las estaciones del proyecto, serán enviados vía satelital a la DGA.

**16 Pregunta I.50**

Deberá referirse al inicio del llenado del embalse: época probable del año, si este proceso será realizado a distintas velocidades de llenado, tiempo total estimado y sus consecuencias en el caudal. Deberá indicar tiempo y período máximo en que la fauna acuática se verá afectada a un menor caudal. Evaluar el impacto e indicar medidas para el manejo del impacto.

**Respuesta**

El llenado del embalse se estima será en primavera o verano, con una duración breve de 5 a 7 días. La velocidad de llenado será variable y dependerá de los caudales afluentes al embalse en el momento de realizar esta maniobra. Cuando el caudal sea mayor que los requerimientos mínimos aguas abajo (el caudal ecológico y el derecho de aguas de los regantes), se utilizará el flujo por sobre estos caudales anteriores para el llenado. En la eventualidad que durante este proceso, el caudal afluente al embalse sea menor que el caudal ecológico y el derecho de agua de los regantes, todo el caudal pasará hacia aguas abajo, sin acumulación y manteniendo el nivel del embalse sin variaciones.

Respecto del proceso de llenado, tal como se indicó el punto 2.3.2.15 del EIA, se procederá a bajar sucesivamente el sistema de compuertas, denominado stop-logs, en el portal de entrada del túnel de desvío, que lo irán cerrando paulatinamente en forma controlada, de manera tal que, en todo momento se mantenga la entrega del caudal ecológico y el caudal de los derechos de agua de los regantes, a través del túnel de desvío.

El nivel del agua en el embalse alcanzará, en breve tiempo, una cota suficiente como para poder operar el desagüe de fondo. El desagüe de fondo entregará entonces los requerimientos de caudales mínimos hacia aguas abajo, y se completará el cierre de las compuertas del túnel de desvío mediante el posicionamiento de la totalidad de los stop-logs en el portal de entrada. A partir de este momento, se construirá el tapón que cerrará definitivamente el túnel de desvío.

Por lo tanto y en función de los caudales afluentes al embalse, habrá caudal igual o mayor al caudal ecológico determinado en el Anexo 6.3 del EIA, con lo cual se asegurará mantener los ecosistemas presentes aguas abajo de la presa, preservando la calidad ecológica de la fauna acuática.

Cabe indicar que las medidas de mitigación para la fauna íctica durante la etapa de construcción del proyecto se presentaron en la sección 6.4.6 del Capítulo 6 del EIA y se encuentran consolidadas en el Plan de Manejo Ambiental Integral de Fauna Íctica (ver Anexo N° 2 de la presente Adenda).

**17 Pregunta I.51**

Con respecto a la maniobra de llenado del embalse, descritas en el punto 2.3.2.15, páginas 65 y 66, se solicita especificar cuál será el caudal ecológico que se pretende mantener durante esta etapa y la forma de calcularlo. En caso que este caudal sufra fluctuaciones en su flujo, se deberá señalar cuáles serían estas fluctuaciones, de acuerdo a las fases operativas contempladas en el desarrollo de la maniobra de llenado del embalse.

**Respuesta**

Tal como se indicó el punto 2.3.2.15 del EIA, la maniobra de llenado del embalse permite manejar una eventual fluctuación del flujo, ya que se controlarán por medio de las diferentes compuertas. Tomando en consideración los caudales afluentes al embalse, las maniobras se realizarán para asegurar que siempre se cumpla con un caudal igual o superior al ecológico y los derechos de los regantes aguas abajo.

Para el manejo de las compuertas se utilizarán las curvas de relación entre sus áreas de apertura y caudal evacuado, conforme a la altura de aguas sobre ellas y podrán verificarse estos caudales con las mediciones que realiza la DGA en la Estación Rucalhue.

Se mantendrá durante el llenado un caudal pasante en el cauce superior al caudal ecológico determinado, de 46,5 m<sup>3</sup>/s. Se estima que su valor

podría fluctuar en un rango de 50 m<sup>3</sup>/s a 100 m<sup>3</sup>/s dependiendo de la condición estacional y del año hidrológico que se trate. Para garantizar el flujo pasante, éste puede ser evacuado en primera instancia por compuertas en el túnel de desvío; luego de un llenado inicial sería evacuado por la compuerta ubicada en el desagüe de fondo y, finalmente, hasta alcanzar la cota de vertimiento por la zona de compuertas del vertedero de seguridad.

#### 18 Pregunta I.53

Se solicita entregar mayor detalle de la operación de la central, señalar por ejemplo entre qué rangos de caudal la central opera. Entregar una estimación de la variación de los caudales y de la operación durante el año.

#### Respuesta

La CH Angostura contempla tres unidades de generación, dos de ellas con capacidad de 300 m<sup>3</sup>/s y una tercera para 100 m<sup>3</sup>/s, por lo tanto la central estará operando a su máxima capacidad cuando a través de ella sean turbinados 700 m<sup>3</sup>/s.

Cuando los caudales afluentes a la Central sean menores que los 700 m<sup>3</sup>/s, la operación de las unidades se hará en base a la disponibilidad hidrológica. Se espera que los caudales afluentes estén en este rango durante un 80% del tiempo. La regla de operación de la central será mantener el nivel del embalse a cota 317 m.s.n.m. con una variación aproximada de un metro y generar los caudales afluentes al embalse. La variación de estos caudales se estima será similar a los registrados históricamente en la estación fluviométrica del río Biobío en Rucalhue (DGA).

Cabe señalar que los caudales bajos, como por ejemplo el caudal ecológico (45,7 m<sup>3</sup>/s), serán turbinados ya que la unidad de menor tamaño de la central técnicamente puede generar en este rango de caudales. Para caudales superiores a los 700 m<sup>3</sup>/s, se generará con las tres unidades a máxima capacidad y el excedente será vertido (20% restante del tiempo).

La maniobra de vertimiento siempre se hará manteniendo la apertura de las compuertas sólo lo necesario para que el caudal vertido más el turbinado sea en todo momento igual que el caudal afluente al embalse, evitando así alteraciones bruscas en el régimen hidrológico del río Biobío aguas abajo del proyecto.

#### 19 Pregunta IV.2

Los antecedentes técnicos con que cuenta el Servicio Nacional de Pesca, como resultado

de las etapas de seguimiento de las Centrales Hidroeléctricas de Alto Biobío, respaldan la preocupación ante los impactos ambientales negativos que podría provocar la instalación de una nueva Central Hidroeléctrica en el sector, ya que la información disponible señala que el Río Huequecura cuenta con una diversidad y riqueza de especies tan singular que fue propuesto como una de las áreas de protección de hábitat para la fauna íctica en la cuenca alta del Río Biobío, en consecuencia representa un ambiente idóneo para la reproducción y alimentación de la fauna íctica nativa y en algunos casos endémica de nuestra Región.

#### Respuesta

Tal como lo consigna el estudio ENDESA 200315, uno de los principales problemas que enfrenta el río Huequecura en relación a su potencial para la conservación de la biodiversidad de fauna íctica nativa es el uso no regulado de sus riberas para actividades de camping y recreativas acuáticas en general, presentando el mayor grado de vulnerabilidad como entorno de todos los sitios seleccionados en dicho estudio. Por lo tanto, la situación actual del río Huequecura en la zona del proyecto es hacia el detrimento o declinación de sus propiedades de acogida como sitio de biodiversidad.

A la fecha, no ha habido esfuerzos de protección ambiental enfocados a este ecosistema que no sean más que declaratorias o estudios que no han concretado ninguna medida en particular orientada a revertir la situación tendencial actual indicada precedentemente. Por el contrario, es el proyecto CH Angostura el que, reconociendo el impacto que tendrá al inundar el referido sitio que es coincidente con la actividad humana (sitio río Huequecura en zona de camping, ENDESA 2003), propone medidas concretas e integrales de manejo para propiciar la conservación de la fauna íctica en el río Huequecura hacia aguas arriba de la cola del futuro embalse y desalentar la presencia de la fauna íctica depredadora introducida, lo cual se encuentra expuesto en el Plan de Manejo Ambiental Integral de Fauna Íctica (PMAIFI) presentado en Anexo N° 2 de la presente Adenda.

Es destacable que el PMAIFI propone como parte de los estudios que son especie-específicos, la implementación de medidas compensatorias particulares y enfocadas a los diferentes atributos ecológicos que presentan las especies nativas del río Huequecura. Dichas medidas se asocian al mejoramiento de hábitats

y a la disminución de la presencia de especies predatoras en los sitios de interés para la fauna íctica nativa en el río Huequecura.

Así, las medidas de manejo de poblaciones y de restauración de hábitat permitirán abordar uno de los principales problemas que enfrentan las especies nativas, que es la presencia de especies introducidas que son competidores y depredadores activos y eficaces de la fauna nativa de peces. Este problema pudiera ser particularmente relevante en la sub-cuenca del río Huequecura, ya que presenta abundantes poblaciones de especies introducidas, especialmente de *O. mykiss*.

#### 20 Pregunta V.7

En relación a las áreas de influencia Directa e Indirecta del proyecto, El titular establece que para la componente Flora y fauna acuática, el área de influencia abarcara el "Tramo río Biobío y río Huequecura en vaso de inundación y sector aguas abajo entrega de aguas turbinadas", considerando que el proyecto generara un efecto barrera en el río Biobío el área de influencia del proyecto no debe limitarse hasta el punto de las aguas turbinadas, por lo que se solicita replantear y ampliar el área de influencia del proyecto y realizar la evaluación ambiental del caso.

#### Respuesta

En primer lugar, es recomendable tener en consideración la respuesta a la observación V.2 de esta Adenda, donde se aborda la distinción conceptual entre el Área de Influencia Directa (AID) y Área de Influencia Indirecta (All) para el EIA del Proyecto.

Para el caso específico de esta observación, en relación al AID definida, se consideró que el área del futuro embalse (tramos del río Biobío y Huequecura) y la zona entre la presa y la obra de restitución (entrega de aguas turbinadas) percibirán cambios e impactos de acuerdo a la magnitud y características intrínsecas del proyecto y su relación con su área de inserción (ver respuesta V.1 de la presente Adenda).

Por otro lado, para definir el All del proyecto hacia aguas abajo de la futura presa se realizó una prospección espacial del río Biobío mediante el uso de imágenes satelitales y un sobrevuelo en helicóptero que abarcó aproximadamente 40 km aguas abajo del punto de localización de la presa. A partir de esa información se identificaron dos (2) zonas: i) una zona de aproximadamente 15 km desde la presa hacia aguas abajo caracterizada por una condición de alta velocidad de escurrimiento y bajo desarrollo

lateral (ej., zona de la estación de aforo Rucalhue de la DGA) y ii) una zona que continua hacia aguas abajo de la anteriormente descrita y que presenta menor velocidad de escurrimiento y mayor desarrollo lateral, lo cual se ve reflejado en la formación de meandros (aproximadamente a la altura del puente Quilaco), condición que se extiende hasta la desembocadura del río Biobío. Esta segunda zona es la que reúne condiciones favorables para el desarrollo de la flora y fauna acuática y por ende, es definida como área sensible y de control para los componentes del ecosistema acuático. Debe destacarse que el tramo medio y principalmente el tramo inferior de la cuenca del río Biobío, se caracteriza por el emplazamiento de numerosos focos de intervención antrópica. Completando el All, hacia aguas arriba se definió para la misma como el tramo entre presa central Pangué y cola del futuro embalse central Santa Bárbara.

Así, el proyecto en su EIA ha definido las áreas de influencia directas e indirectas que corresponden con sus características y con lo exigido por la legislación vigente (ver respuestas V.1 y V.2 de la presente Adenda), para luego evaluar sus potenciales impactos y proponer medidas adecuadas que permitan hacerse cargo de los mismos.

En conclusión, tanto el análisis de áreas de influencia, como también otros aspectos relacionados del EIA, como por ejemplo: la consideración del caudal ecológico y el Plan de Manejo Ambiental de Fauna Íctica (ver Anexo N°2 de la presente Adenda), dan cuenta adecuada e integralmente de las medidas proporcionales a la significancia de los impactos detectados, en el AID y All determinadas en el EIA, las que trascienden a la connotación geográfica que la observación señala.

Sin perjuicio de lo anterior, este análisis también ha tenido en cuenta las características diferenciadoras del proyecto CH Angostura, en cuanto a su tamaño en términos de capacidad de embalsamiento y retención de aguas y, a su modalidad de operación con casi nula regulación de caudales pasantes, que permite acotar la afectación sobre el medio más allá de las áreas indicadas.

#### 21 Pregunta VI.4

El impacto BFA-C1 "Pérdida de especies por desvío del río Biobío", se valora como negativo medio justificando que la intervención será provisoria, sin embargo, los cambios que se realicen en

el sector serán permanentes, por lo cual este impacto debería tener una valoración mayor, considerando además que las especies afectadas son especies nativas clasificadas en algún estado de conservación. Deberá reevaluar dicho impacto.

### Respuesta

Con relación a la forma en que se ha calificado el impacto sobre las especies ícticas producto de las obras de construcción, cabe precisar que debe hacerse una distinción entre las obras destinadas a la construcción y aquellas cuyo propósito es la operación del Proyecto. En efecto, la intervención en el río Biobío, durante la construcción del Proyecto, será de tipo temporal, de aproximadamente tres años, afectando un tramo estimado de 350 metros de dicho curso, de los cuales 180 metros permanecerán intervenidos por el emplazamiento de las pre-ataguías, por lo que se desviará el escurrimiento del río hacia un túnel, pero permitiendo el desplazamiento de fauna íctica (ver descripción del impacto BFA-C1 en sección 6.4.6 del EIA). Este tipo de intervención se considera provisoria o temporal, dado que la pre-ataguía a emplazar "aguas abajo" será precisamente en un tiempo acotado, para permitir la ejecución de la presa principal. Ahora bien, la pre-ataguía "aguas arriba" y las ataguías serán cubiertas por el embalse durante su llenado y operación, y el túnel de desvío será sellado para el llenado del embalse, por lo que durante la operación del Proyecto no se identifican obras, en esta área, que pudieren causar la pérdida de especies de fauna íctica.

Según se presenta en el Anexo 6.3 del EIA (Caudal Ecológico), queda de manifiesto que el tramo del río Biobío en cuestión, el que se desarrolla entre los ríos Huequecura y Quilne, aguas abajo de la presa (ver Zona 1, de la Figura 8 del Anexo 6.3 del EIA), presenta una morfología de rápidos derivadas de las condiciones de escurrimiento del río, encajonado por el basamento rocoso en un importante tramo, una alta rugosidad relativa y escasa presencia de pozas, aspectos que en su conjunto minimizan la probabilidad de existencia de hábitats acuáticos en esta zona; esto es concordante con el hecho que no se encontraron ejemplares de especies en estados juveniles, demostrando de esta forma que es un área de paso hacia aguas arriba y no un área que presente las condiciones para la generación de hábitats para el establecimiento de peces (para mayores antecedentes, ver Anexo 6.3 presentado en el EIA).

Por su parte, es importante señalar que, según lo indicado en la sección 6.4.6 del EIA,

durante la etapa de operación del proyecto se consideró una intervención de hábitat y pérdida de especies ícticas, de tipo permanente debido, principalmente, a la presencia del muro de la presa y a las obras de evacuación. La intervención de estas actividades fue considerada en el impacto BFA-O1 de la sección señalada, evaluado como negativo de significancia alta (calificándolo de importancia muy alta, de tipo permanente e irreversible).

### 22Pregunta VI.14

El titular debe incorporar el llenado del embalse como una actividad que genere un posible impacto sobre el régimen de escurrimiento del río Biobío.

### Respuesta

Efectivamente, la actividad de llenado del embalse se encuentra incorporada y evaluada en el impacto FAES-O1: Modificación del régimen de escurrimiento lótico en los ríos Bío-Bío y Huequecura a régimen léntico en zona del embalse, en la sección 6.4.3.1 del EIA. Esto principalmente, dado a que el llenado del embalse, estimado en 2 ó 3 días, provocará una reducción temporal del régimen hidrológico aguas abajo del punto de restitución del proyecto. No obstante lo anterior, esta acción se hará de forma tal de asegurar que se cumplan los requerimientos hídricos de caudal ecológico (entrega continua de caudal aguas abajo) y dotaciones de riego necesarios. Para mayor detalle, ver sección 7.1.1.3 del EIA donde se incorporan las medidas de mitigación, compensación y/o restauración u otras asumidas por el proyecto para este impacto. Por su parte, en la sección 2.3.2.15 del EIA se describió en forma detallada el proceso de llenado del embalse.

### 23Pregunta VI.23. b3

La construcción de un embalse, significa que se formará un sistema hídrico aguas arriba de la represa y uno aguas abajo de la represa, se solicita una solución de continuidad que mantenga un "caudal ecológico", que respete el ecosistema, y de forma tal que permita que las especies, que si bien en los estudios se señala que no son migratorias, si se desplazan dentro del curso del río tanto Biobío como Huequecura,

### Respuesta

En primer caso se debe considerar que el tiempo de residencia que tendrá el embalse Angostura será menor (2,5 – 5,5 días-1) a lo que se adiciona la consigna de operación del embalse, esto es

que los caudales pasantes puedan tener sólo un desfase horario, lo que implica que el embalse tendrá una baja capacidad de retención de materiales y casi nula capacidad de regulación del caudal.

Así, la solución de continuidad está dada por la misma concepción del proyecto y su regla de operación, el que no altera de forma significativa los caudales pasantes y a que restituye las aguas a sólo 120 metros aguas abajo de la presa.

En rigor, puede considerarse que el concepto de caudal ecológico en este proyecto es aplicable solamente durante la fase de llenado del embalse, previo a su entrada en operación, para lo cual se tiene determinado el caudal ecológico (Anexo 6.3 del EIA) a suministrar, a lo que se añade que hacia aguas abajo del proyecto existen derechos consuntivos de regantes a los que hay que dar cumplimiento y los cuales prácticamente duplican en cantidad a la necesidad del caudal ecológico.

Para el cálculo del caudal ecológico asociado al proyecto se utilizaron métodos hidrológicos que son criterios básicos recomendados por la DGA, tales el 10% caudal medio anual y el Q347, los cuales permiten en una primera etapa establecer caudales mínimos de mantención. En una segunda etapa se aplicó un método de cálculo que simula el hábitat para las especies ícticas sobre la base de la modelación hidráulica del río Bío-Bío. Esto se llevó a cabo mediante la implementación del modelo numérico HEC-RAS, cuya salida fue relacionada con las curvas de habitabilidad disponibles para distintas especies de fauna íctica [EULA (2000)38]. De esta manera y en función de las simulaciones originadas de los modelos antes indicados, se calculó un caudal ecológico que concilia tanto los requerimientos para la generación de energía como los requerimientos de hábitat de las poblaciones de peces.

Respecto de las especies íctica y sus requerimientos, el Plan de Manejo Ambiental Integral de la Fauna Íctica (Anexo N° 2 de la presente Adenda) contempla una serie de medidas, durante las dos fases del Proyecto, destinadas entre otros aspectos relevantes, al mantenimiento de las poblaciones de peces debido a la interferencia que provoca la presa y embalse del proyecto en los ríos Biobío y Huequecura. Así, el efecto de barrera que generará el proyecto entre las poblaciones de peces, así como otros impactos que estaría

generando el emplazamiento del embalse serán mitigados y compensados de tal modo de conciliar el proyecto de ingeniería con una solución ambiental sustentable del punto de vista de la conservación de ecosistemas y especies biológicas protegidas.

### A.3.2 Adenda 2

#### 1. Pregunta 1 (DGA)

El Titular establece que el caudal ecológico no es aplicable para el proyecto en época de operación, al respecto se le señala al Titular que independiente de las reglas de operación del proyecto, el caudal ecológico debe ser respetado en todo momento el cual va a ser fiscalizado por este servicio.

#### Respuesta

Se aclara que Colbún coincide completamente con el concepto de que el caudal ecológico aplica en todas las etapas; tanto es así, que el diseño del proyecto incorpora tempranamente este requerimiento, de manera de que en forma natural el proyecto permita el flujo de caudal ecológico en función de los caudales de entrada al embalse.

Sin perjuicio de lo anterior, se reitera lo indicado en la respuesta I.30 de la Adenda N°1 en donde se señaló que el concepto tradicional de caudal ecológico no es relevante durante la fase de operación, dado que la central tendrá una capacidad de regulación limitada (sólo algunas horas del día) y las turbinas tendrán un grado de flexibilidad tal que se asegurarán los requerimientos de todo caudal aguas abajo, sea ecológico y/o de cumplimiento de derechos de regantes.

En este sentido, el criterio de casi no regular los caudales aguas abajo de la restitución se considera el elemento fundamental y más relevante para velar por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, cual es el objetivo de la disposición de establecer un caudal ecológico según lo indicado en la modificación del Código de Aguas del año 2005.

De lo anterior, se colige que la concepción de caudal ecológico pierde relevancia ambiental en la etapa de operación del proyecto, sin embargo tal como se señaló anteriormente se dará cumplimiento al caudal ecológico en todas las etapas del proyecto en función de los caudales de entrada al embalse.

### A.3.3 Resolución de Calificaron Ambiental (RCA) (Extracto relacionado al caudal ecológico)

RESOLUCIÓN EXENTA N° 281 / 2009.

MATERIA: Califica Ambientalmente el proyecto  
"Central Hidroeléctrica Angostura"

Concepción, 02 de noviembre de 2009

#### Proceso de Llenado

El nivel del agua en el embalse alcanzará, en breve tiempo, una cota suficiente como para poder operar el desagüe de fondo. Cuando el desagüe de fondo sea capaz de entregar un caudal superior al que se requiere por necesidades de riego (derechos de agua de regantes) y caudal ecológico, se completará el cierre de las compuertas del túnel de desvío.

El llenado del embalse se estima será en primavera o verano, con una duración breve de 5 a 7 días. La velocidad de llenado será variable y dependerá de los caudales afluentes al embalse en el momento de realizar esta maniobra. Cuando el caudal sea mayor que los requerimientos mínimos aguas abajo (el caudal ecológico y el derecho de aguas de los regantes), se utilizará el flujo por sobre estos caudales anteriores para el llenado. En la eventualidad que durante este proceso, el caudal afluente al embalse sea menor que el caudal ecológico y el derecho de agua de los regantes, todo el caudal pasará hacia aguas abajo, sin acumulación y manteniendo el nivel del embalse sin variaciones.

Respecto del proceso de llenado, tal como se indicó el punto 2.3.2.15 del EIA, se procederá a bajar sucesivamente el sistema de compuertas, denominado stop-logs, en el portal de entrada del túnel de desvío, que lo irán cerrando paulatinamente en forma controlada, de manera tal que, en todo momento se mantenga la entrega del caudal ecológico y el caudal de los derechos de agua de los regantes, a través del túnel de desvío.

Por lo tanto y en función de los caudales afluentes al embalse, habrá caudal igual o mayor al caudal ecológico determinado en el Anexo 6.3 del EIA, con lo cual se asegurará mantener los ecosistemas presentes aguas abajo de la presa, preservando la calidad ecológica de la fauna acuática.

#### Caudal ecológico

En la Adenda 2, Colbún coincide completamente con el concepto de que el caudal ecológico aplica en todas las etapas; tanto es así, que el diseño del proyecto incorpora tempranamente este requerimiento, de manera de que en forma natural el proyecto permita el flujo de caudal ecológico en función de los caudales de entrada al embalse. De lo anterior, se colige que la concepción de caudal ecológico pierde relevancia ambiental en la etapa de operación del proyecto, sin embargo tal como se señaló anteriormente se dará cumplimiento al caudal ecológico en todas las etapas del proyecto en función de los caudales de entrada al embalse.

Si bien la sección de 120 m entre la presa y el punto de restitución de las aguas en el río Biobío, se considera como un área de intervención directa del proyecto que estará sujeta a los vertimientos de la presa, dada la conformación geomorfológica de dicho tramo impide el apozamiento o "aguas muertas" (dado el encajonamiento rocoso y la diferencia de cota entre la presa y la restitución de las aguas 120 m hacia abajo) tal cual se indicó en la respuesta a la observación I.24 de la Adenda 1.

Así, es importante reiterar que, en ningún caso, se producirán aguas estancadas o muertas sin circulación en dicho tramo. Más aún, en esta zona el río tendrá continuidad y renovación con lo que se asegurará que se mantengan las atribuciones escénicas (no habrá "lecho seco") y bióticas del tramo.

Como se indicó en Adenda N°1, el desnivel de 2 m en el eje hidráulico del tramo en cuestión, garantizará un espejo de agua continuo, mientras que una parte del caudal entregado en la descarga fluirá en dirección a la presa, el cual a medida que se acerca a ésta va disminuyendo su velocidad, alcanzando su menor valor en el pie de presa, lugar donde se mezcla con las aguas más calmas y debido al permanente flujo que viene desde la zona de restitución tiende a fluir hacia aguas abajo de la presa, lo que mantendrá una recirculación continua en el tramo entre el muro y la obra de restitución.

Para caudales superiores a la máxima capacidad de generación de las turbinas (700 m<sup>3</sup>/s), el excedente será vertido por sobre la presa, garantizando también en este caso el espejo de agua en el tramo de 120 m entre el pie de presa y la zona de restitución de las aguas turbinadas al río, tanto por la recirculación del agua proveniente de la zona de descarga como del agua directamente vertida en este tramo del río.

En base a lo anteriormente expuesto y como conclusión, se ratifica que en todo momento se mantendrá un espejo de agua continuo en los 120 m que separan la obra de restitución y el muro de la presa. Además, habrá una recirculación que garantizará la renovación de las aguas y evitará la generación de zonas de aguas muertas.

Por otra parte, tal como se indicó en la respuesta I.14 de la Adenda 2, en la actualidad desde el punto de vista de los recursos hidrobiológicos, el tramo se inserta en una sección del río con menor valor ambiental relativo dado sus características morfológicas (encajonamiento, paredes de roca, etc.), que no presenta las mejores condiciones para generar un hábitat para el desarrollo de las especies valoradas, lo cual se mantendrá en la situación con proyecto.

Por último, la no-generación de aguas muertas, será verificado mediante seguimiento que realizará la Auditoría Ambiental Independiente de acuerdo a lo indicado en el Capítulo 8 del EIA.

### **Etapa de Operación**

La entrega de caudal ecológico, y el gasto para riego comprometida con los regantes, se realizará a través de las unidades generadoras. Una vez que la central entre en operación, se garantizará la entrega de dicho caudal mediante la operación de una de las unidades generadoras. Cuando la central no esté operando la entrega se hará por el evacuador de crecidas.

### **Modificación del régimen de escurrimiento aguas abajo de la presa, por obras de desvío.**

Desde el punto de vista hidrológico, el río Biobío se caracteriza por tener una importante cuenca aportante, con un régimen hidrológico pluvio-nival, presentando los mayores caudales en invierno, en la época de lluvias, lo que se refleja en su curva de variación estacional. Es importante destacar que su régimen en la zona estudio está influenciado por la operación de las centrales Ralco y Pangue, ambas aguas arriba de la localización del proyecto Central Hidroeléctrica Angostura. Tal como se indica en Anexo 6.3, el río Biobío en el área de estudio se puede descomponer morfológicamente en 2 grandes zonas: una primera ubicada inmediatamente aguas abajo de la confluencia con el río Huequecura (Zona 1), de morfología del tipo de rápidos que se extiende hasta el sector de Rucalhue (confluencia con el río Quilne) y una segunda zona, ubicada aguas abajo de la primera (Zona 2), la que posee una menor pendiente (decreciente hacia aguas abajo) lo que genera mayores profundidades de escurrimiento, con la correspondiente baja en la velocidad y aparición de pequeñas islas y meandros. La Zona 2 se extiende desde el sector de Rucalhue hasta la ciudad de Santa Bárbara y es el que presenta la mayor diversidad y riqueza biológica, por lo que se determinó dicha Zona 2 como Área de Importancia Ecológica (AIE), contrastándose el caudal ecológico obtenido con los requerimientos hidrobiológicos de las especies de interés.

**RESUELVE**

**CALIFICAR FAVORABLEMENTE** el “Proyecto Central Hidroeléctrica Angostura”, presentado por el Señor Bernardo Matte en representación de Colbún S.A., condicionándolo al cumplimiento de los requisitos, exigencias y obligaciones establecidas en la presente resolución.

Anótese, notifíquese, comuníquese y archívese

JAIME TOHA GONZALEZ  
INTENDENTE,  
Presidente Comisión Regional del Medio Ambiente,  
Región del Biobío

## A.4 HIDROAYSEN ENDESA CHILE - COLBÚN

### A.4.1 ICSARA

#### 1. Pregunta 13 (Ilustre Municipalidad de Tortel, Región de Aysén)

Se enuncia que los sistemas lóticos no son favorables para la biota acuática y que las construcciones no afectaran el hábitat, sin embargo el sistema fluvial es un todo, tanto aguas arriba como aguas abajo, es decir, hábitat lénticos y lóticos. No se describe ni se dimensiona qué pasará con los hábitat lóticos aguas debajo de la presa y como alteraría el régimen natural de los caudales, el caudal ecológico disminución o amortiguación de crecidas, pulsos de aguas y otros derivados de la operación y sobre todo por la influencia de las mareas en los deltas de los ríos.

#### Respuesta

La afirmación contenida en el Capítulo 5, acápite 5.4.4.1 del EIA indica "Para evaluar este impacto, será necesario tener presente que las secciones específicas del río que serán intervenidas por las obras civiles de la presa corresponden, en general, a sectores considerados poco favorables para la biota acuática al estar encajonados entre paredes rocosas, de rápidos estrechos, sin desarrollo litoral, ni zonas someras" y se encuentra asociada y circunscrita a la evaluación del impacto MB-FFA-CON-01 "Pérdida de hábitat lótico por la construcción de las obras civiles de la presa" (página 777 del EIA).

El EIA considero a los ríos Baker y Pascua como sistemas favorables para la biota acuática, lo que se manifestó en la identificación y evaluación de un conjunto de impactos tanto para la etapa de construcción como de operación, a saber:

- Etapa de construcción (acápites 5.4.4.1 del EIA):
  - MB-FFA-CON-02 "Alteración del hábitat lótico por la explotación de yacimientos fluviales.
  - MB-FFA-CON-03 "Alteración de las comunidades bióticas por aumento de sólidos suspendidos".
  - MB-FFA-CON-04 "Alteración de hábitat lótico por llenado del embalse". Este impacto ha sido rectificado en la presente Adenda como "Pérdida de hábitat lótico por llenado del embalse".

- MB-FFA-CON-05 "Pérdida de individuos de especies de ictiofauna nativa".

- Etapa de operación (acápites 5.4.4.2 del EIA):

- MB-FFA-OPE-01 "Generación de nuevos hábitats por la presencia de los embalses".
- MB-FFA-OPE-02 "Alteración de las comunidades bióticas por cambios en los regímenes de caudales aguas abajo de las presas".
- MB-FFA-OPE-03 "Alteración de las comunidades bióticas por cambios en el aporte de nutrientes y sedimentos aguas abajo de las presas".
- MB-FFA-OPE-04 "Alteración de las comunidades de peces por efecto barrera de la presa y su embalse".
- MB-FFA-OPE-05 "Pérdida de individuos de especies de ictiofauna nativa".

En este conjunto de impactos se dimensionan los efectos del Proyecto sobre los hábitats lotitos aguas abajo de las centrales en relación con la alteración del régimen natural de los caudales. Por su parte, el efecto de la operación de las centrales relativo a la amortiguación de crecidas y pulsos de agua se analizó y valoró en el Estudio de caudal ecológico (Anexo D, Apéndice 4 del EIA), que sirvió de base para la evaluación de los impactos asociados a la alteración de los regímenes naturales de caudales.

En cuanto a los efectos específicos del Proyecto sobre los estuarios (deltas) de los ríos, ellos son abordados en los capítulos 6 y 9 del estudio de "Modelo de calidad del agua en ríos Baker y Pascua", que se adjunta en Anexo 1D, apéndice 4 de la presente Adenda.

#### 2. Pregunta 19 (SUBPESCA)

En el Cuadro 1.2-6 no se señala cual será el caudal ecológico destinado en cada mellizo o brazos del Río Del Salto, al menos durante la construcción de dicha central

#### Respuesta

En el río Del Salto se considera un caudal ecológico de 3,6 m<sup>3</sup>/s, según consta en el Anexo D, Apéndice 4 del EIA.

La distribución del caudal señalado para cada uno de los brazos del río ha sido realizada

en base a la estimación de la repartición de caudales que se produciría para el caudal medio del río y condiciones sin Proyecto, determinándose que el caudal total se divide en una proporción de 66% para el Mellizo 1, y el caudal restante por el Mellizo 2; estimación que fue posteriormente cotejada y confirmada mediante aforos en cada brazo del río, estableciéndose por tanto un caudal ecológico de 2,4 m<sup>3</sup>/s para el brazo Mellizo 1 y 1,2 m<sup>3</sup>/s para el brazo Mellizo 2. Estos caudales serán entregados en forma continua y permanente, tanto en la etapa de construcción como de operación del PHA.

### 3. Pregunta 20 (SUBPESCA)

Siguiendo con el caudal ecológico no queda claro la diferencia entre el caudal a pie de presa y el caudal en el punto de restitución, lo anterior resulta fundamental para evaluar impactos aguas abajo del embalse. Se requiere que el titular asegure que la restitución se realizará justo bajo la presa para evitar un corte más amplio del cauce del río

#### Respuesta

La ubicación de las obras de evacuación, utilizadas para restituir las aguas al río luego de su paso por las turbinas y la distancia que existe desde el pie de la presa, se muestra en las Láminas 1.2-A, B, C, D y E presentadas en el capítulo 1 del EIA.

Entre los criterios ambientales considerados en el diseño de las obras de evacuación, se consideró que la restitución de las aguas se realizará inmediatamente aguas abajo de la zona de obras de cada central. Debido a las características topográficas o geológicas de los sectores donde se construirán las centrales, los puntos de restitución de las aguas se ubican algunos metros aguas abajo del pie de la presa.

En las Figuras 2.3, 3.3, 4.3, 5.3 y 6.3 del Anexo B, Apéndice 12 PAS 106 del EIA, se entrega el eje hidráulico para el caudal medio anual del río, considerando la situación sin proyecto y con proyecto, es decir considerando la instalación de la presa y el nivel máximo normal del embalse.

En dichas figuras se observa que para todas las centrales del PHA, la restitución de las aguas se realiza en un punto inmediatamente aguas abajo de la zona de obras de cada central (sector necesario para la construcción de las obras de embalse) como se indicó en el acápite 1.1.5 "Criterios ambientales utilizados en el diseño del proyecto" del Capítulo 1 del EIA.

Se observa que la zona comprendida entre el pie de la presa y la restitución de la central quedará cubierta con agua, con excepción de la central Pascua 1 donde el agua remontará solo hasta el pie del salto que presenta el río Pascua en dicho sector.

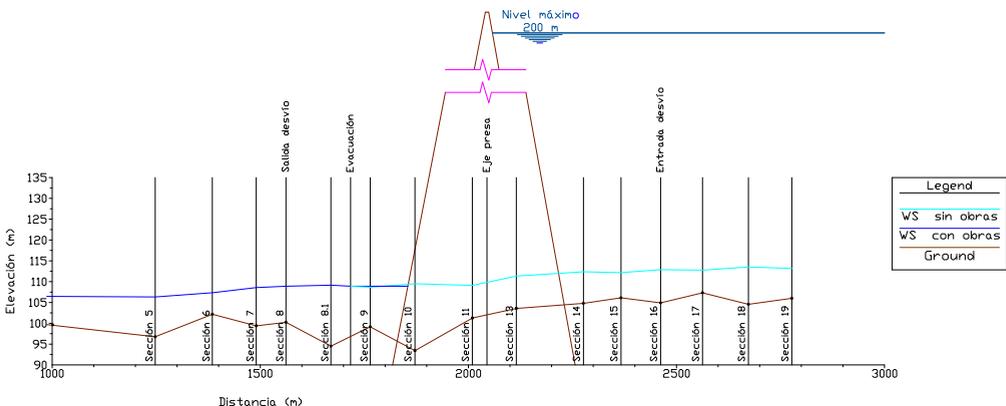


Figura 2.3: Perfil Longitudinal del Río Baker en Angostura Chacabuco. Caudal Medio Anual, con y sin obras

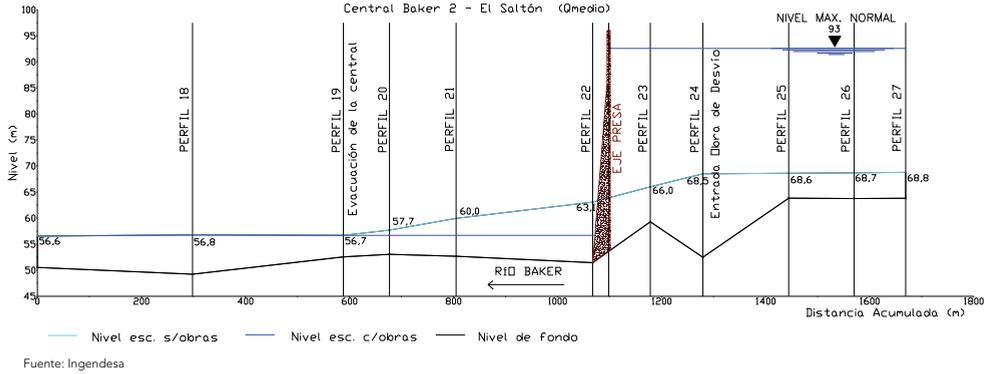
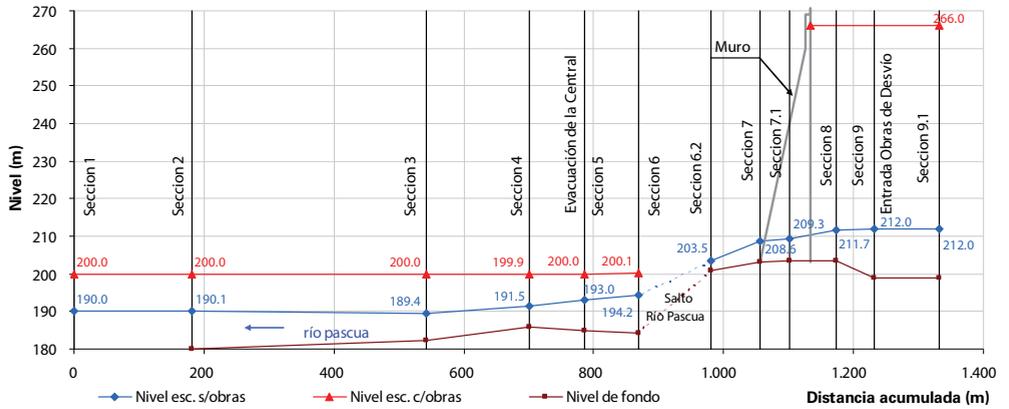
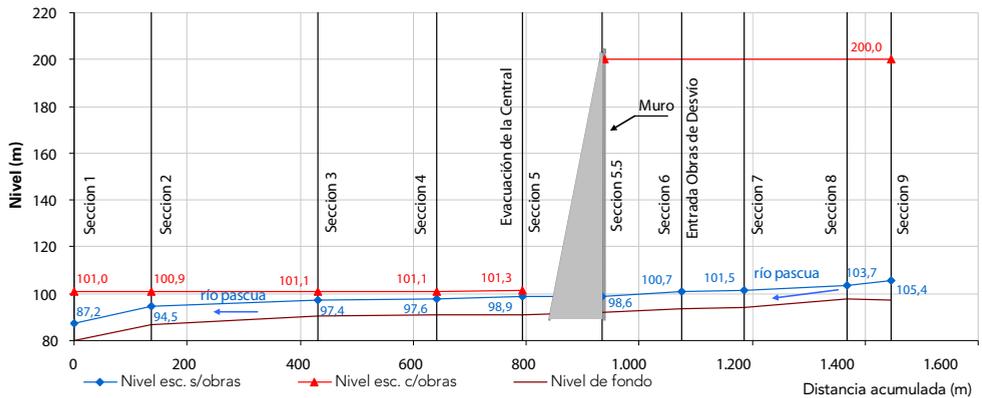


Figura 3.3: Perfil longitudinal del río Baker en Angostura El Saltón. Caudal medio anual ( $Q_{medio}=948 \text{ m}^3/\text{s}$ ), con y sin obras



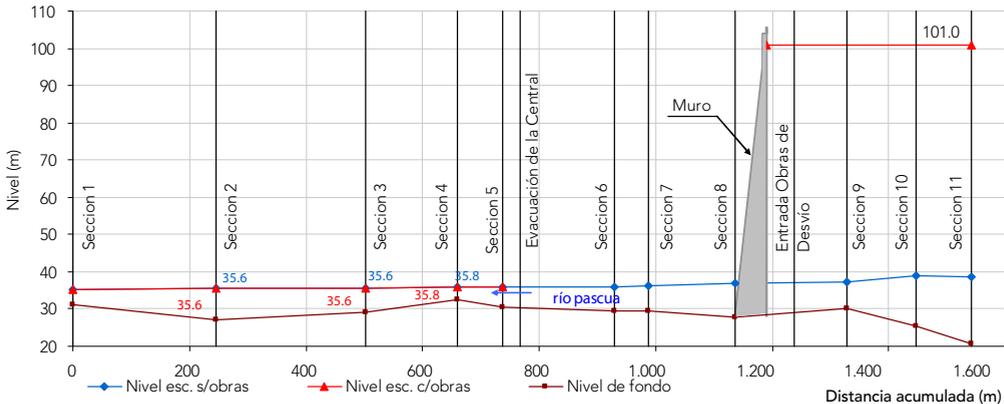
Fuente: Ingendesa.

Figura 4.3: Perfil Longitudinal del río Pascua en Central Pascua 1. Caudal medio anual ( $622 \text{ m}^3/\text{s}$ ), con y sin obras



\* Niveles referidos al datum geodésico WGS-84.  
Fuente: Ingendesa

Figura 5.3: Perfil longitudinal del río Pascua en Central Pascua 2.1. Caudal medio anual ( $689 \text{ m}^3/\text{s}$ ), con y sin obras



Fuente: Ingendesa.

Figura 6.3: Perfil Longitudinal del río Pascua en Central Pascua 2.2. Caudal medio anual (692 m<sup>3</sup>/s), con y sin obras

#### 4. Pregunta 21 (SUBPESCA)

Respecto del caudal ecológico, en apéndice 4 Anexo D: "Estimación del caudal ecológico del proyecto Hidroaysén" se establece el caudal o tasa de restitución máxima y aspectos del caudal ecológico mínimo, sin embargo lo anterior no se condice con los impactos que el proyecto genera sobre el régimen de los ríos Pascua, Baker y El Salto y por ende sobre la biota acuática. Se requiere que la determinación del caudal ecológico se evalúe en función de cada uno de los impactos que el proyecto generará y que no fueron suficientemente evaluados en el EIA, deberá considerar los efectos producidos por la operación de las presas que por la variación diaria de caudales podría generar mayores impactos a los componentes ambientales antes señalados y el efecto aún incierto de un caudal ecológico turbinado con sus respectivas consecuencias sobre la calidad del agua y especies ícticas que pueden ingresar a los sistemas de generación de energía.

#### Respuesta

Tal como se indica en el Manual de Normas y Procedimientos del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas, el caudal ecológico corresponde al "caudal mínimo que debe mantenerse en un curso fluvial, de tal manera que los efectos abióticos (disminución del perímetro mojado, profundidad, velocidad de corriente, incremento en la concentración de

nutrientes y otros) producidos por la reducción de caudal, no alteren las condiciones ecológicas del cauce, que limiten o impidan el desarrollo de los componentes bióticos del sistema (flora y fauna), como tampoco alteren la dinámica y las funciones del ecosistema". En este sentido el caudal ecológico determinado para el río Baker y Pascua (Anexo D Apéndice 4 del EIA), que ha sido estimado sobre la base de los criterios disponibles en numerosas publicaciones científicas (Cowx and Welcomme, 1998; Gonzalez del Tanago y Garcia de Jalon, 1998; Hewitt, 1934; Leclerc et al., 1996; Murphy and Munawar, 1998; Slaney and Zaldokas, 1997; Waal et al., 1998; Welcomme, 1992; Gordon y col. 2004; Rood y Tymensen 2001; Rood y col. 2003 y Mosley 1983), implicó justamente determinar los requerimientos mínimos de caudal, que satisfacen los bienes y servicios ecosistémicos de los ríos Baker y Pascua. Los resultados obtenidos para cada una de las centrales se encuentran en el Anexo D Apéndice 4 del EIA.

Dado que el paso del agua por las turbinas no provoca ningún cambio ni alteración en su calidad, no se prevén impactos asociados a ello en el EIA del PHA.

Finalmente, el efecto de las turbinas sobre las especies ícticas que puedan ingresar a los sistemas de generación, fue evaluado a través del impacto "Pérdida de individuos de especies de ictiofauna nativa" (MB-FFA-OPE-05), tal como se describe en el acápite 5.4.4.2 del EIA.

## Literatura citada

Bain, M (2007). Hydropower operation and environmental conservation: St Marys River, Ontario and Michigan. International Lake Superior Board of Control

Cowx, I. & R. Welcomme. 1998. Rehabilitation of Rivers for Fish. A study undertaken by the European Inland Fisheries Advisory Commission of FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Fishing News Books. 260 pp.

González del Tanago, M. & D. García de Jalón. 1998. Restauración de Ríos y Riberas. Co-edición Fundación Conde del Valle de Salazar, Ediciones Mundiprensa, Madrid. 319 pp.

Gordon ND, McMahon TA, Finlayson BL, Gippel GJ, Nathan RJ, 2004. Stream Hydrology - An introduction for ecologists. 2nd Edition, Wiley

Gore, J.A. y J.M. Nestler. 1988 Instream Flows in Perspective. *Rezul. Riv. Res. & Mngt.* 2, 93-102.

Hewitt, E. 1934. Hewitt's Handbook of Stream Improvement. Marchbanks Press, N.Y. 82 pp.

Leclerc, M., H. Chapra, A. Boudreault, Y. Cote & S. Valentin. 1996. Proceedings of the Second IAHR Symposium on Habitats Hydraulics, Ecohydraulics 2000.

Mosley, M.P. 1983. Flow requirements for recreation and wildlife in New Zealand rivers- A review. *Journal of Hidrology (NZ)* 22: 152-174.

NAIMAN, R. & R. BILBY. (1998) River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion. Springer-Verlag, New York, Inc, USA. 705 pp.

Rood, S. B., W. Tymensen, y Middleton, R. 2003. A comparison of methods for evaluating instream flow needs for recreation along rivers in southern Alberta, Canada. *River Resaerch and Applications* 19 (2): 123-135

Rood, S. B., W. Tymensen. 2001. Recreational Instream Flow Needs (R-IFN) for Paddling Along Rivers in Southern Alberta. Submitted to Alberta Environment. Lethbridge, AB. 36 pp.

Slaney, P. & D. Zaldokas. 1997. Fish Habitat Rehabilitation Procedures. Watershed

Restoration Technical Circular N°9. Watershed Restoration Program. Ministry of Environment, Lands and Parks, Vancouver, BC, Canada. 161 pp.

Waal, L., A. Large & P. Wade. 1998. Rehabilitation of Rivers. Principles and Implementation. John Wiley & Sons, England. 331 pp.

Welcomme, R. 1992. Pesca Fluvial. FAO. Doc. Tec. 262. Roma. 301 pp.

## 6. Pregunta 31 (DGA)

En el Cuadro 1.2-6 no se menciona nada respecto del caudal ecológico a mantener en cada uno de los brazos del Río Del Salto. Al respecto, el Titular debe considerar incluir este análisis en esta etapa del estudio y hacerse cargo de establecer un caudal ecológico en cada uno de estos cauces.

## Respuesta

El análisis solicitado fue presentado en el Anexo D, Apéndice 4 "Estudio de Caudal Ecológico" del EIA. Éste fue realizado para la central Del Salto y para todas las centrales del Proyecto.

En este estudio se concluye que, debido a que no se identificaron secciones de relevancia ecológica en el río, entre el punto de toma y restitución, resulta suficiente un caudal ecológico para la central Del Salto de 10% del caudal medio anual, correspondiente a 3,4 m<sup>3</sup>/s, el que según se indica, será distribuido en forma proporcional por cada brazo. No obstante lo anterior, y en función de lo estipulado en el derecho de aprovechamiento de aguas otorgado al Titular en el río Del Salto (Res. DGA N°135 del 7-02-96, mencionado en el Cuadro 1.1-5, del Capítulo 1 del EIA), el cual establece un caudal de 3,6 m<sup>3</sup>/s, se ha definido este último valor como el caudal ecológico que el Titular del Proyecto se compromete a entregar en forma continua y permanente.

La distribución del caudal señalado para cada uno de los brazos del río se realizó en base a la estimación de la repartición de caudales que se produciría para el caudal medio del río y las condiciones sin Proyecto. De esta manera, se determinó que el caudal total se divide en una proporción de 66% para el Mellizo 1 y el restante por el Mellizo 2. Posteriormente, esta estimación fue cotejada y confirmada mediante aforos en cada brazo del río, estableciéndose, por tanto, un caudal ecológico de 2,4 m<sup>3</sup>/s para el brazo Mellizo 1 y de 1,2 m<sup>3</sup>/s para el brazo Mellizo 2.

### 7. Pregunta 847 (DGA)

Respecto del caudal ecológico, es importante señalar que las deficiencias de la línea base, descripción de proyecto y cartografía, no permiten evaluar adecuadamente la medida de mitigación propuesta. Las deficiencias son consideradas altamente relevantes, fundamentales y esenciales, y han sido señaladas en detalle en las observaciones del Servicio al Capítulo correspondiente. En este sentido no se conoce el impacto real de las acciones sobre recursos que aún no han sido correctamente descritos y debidamente valorados, menos aún se pueden proponer medidas que compensen un daño para el cual no se tiene real conocimiento.

#### Respuesta

Tal como se indica en el acápite 4.4.3 del EIA, la información que conforma la línea base del componente Flora y Fauna Acuática, es el resultado de una extensa red de estaciones de muestreo (77 en Baker y 25 en Pascua), desarrolladas en seis campañas sucesivas de trabajo. Esta información permitió evaluar adecuadamente el impacto del Proyecto en los ensamblajes bióticos del componente.

En relación con el caudal ecológico, éste no fue considerado como una medida de mitigación del Proyecto, sino que formó parte de los criterios ambientales utilizados en su diseño, en particular, en la determinación de los caudales mínimos de operación de las centrales (acápite 1.1.5 del EIA).

El estudio denominado “Estimación del Caudal Ecológico del Proyecto Hidroeléctrico Aysén”, entregado en el EIA como Anexo D, Apéndice 4, fue parte de los antecedentes utilizados para la evaluación del impacto “Alteración de las comunidades bióticas por cambios en los regímenes de caudales aguas abajo de las presas” (MB-FFA-OPE-02). Lo anterior se debe a que dicho estudio incluyó un análisis del efecto de diferentes escenarios caudal sobre los ecosistemas lóticos y otras demandas ambientales.

Finalmente, los planes de mitigación, restauración y compensación propuestos en el Capítulo 6 del EIA, han sido ampliados y complementados mediante el desarrollo de un “Plan de manejo integrado del medio acuático”, el cual se adjunta como Anexo 1G a la presente Adenda.

### 8. Pregunta 848 (DGA)

El apéndice 4, del Anexo D: “Estimación del caudal ecológico del proyecto Hidroaysén” se relaciona con aspectos específicos del caudal ecológico mínimo y agrega el establecimiento del caudal o asa de restitución máxima, lo que da cuenta de la magnitud de la intervención de la cuenca de los ríos Baker y Pascua. Sin embargo, dicha iniciativa del titular es totalmente insuficiente respecto de todos los impactos que genera el proyecto sobre el régimen de caudales del río y sus efectos en diversos ámbitos (ecosistemas, biota acuática, paisaje, navegación, entre los principales). Las medidas de mitigación señaladas anteriormente, por sí solas son insuficientes respecto de los impactos producidos sobre el régimen de los ríos, si se complementa lo anterior con las deficiencias en la descripción de proyecto y línea base, es evidente que el proyecto no se hace cargo de la mitigación de una serie de impactos que se producirían en las cuencas de los ríos Baker (Centrales Baker y Del Salto) y Pascua (Centrales Pascua), algunos de ellos señalados por el mismo proponente en su EIA: Alteración de comunidades bióticas por cambios en los regímenes de caudales aguas abajo de las presas; Alteración de las comunidades bióticas por cambios en el aporte de nutrientes y sedimentos aguas abajo de las presas; Alteración de las comunidades de peces por efecto barrera de la presa y su embalse; Pérdida de individuos de especies de ictiofauna nativa que pudieran ser absorbidos por las aducciones.

#### Respuesta

Es importante señalar que el estudio “Estimación del Caudal Ecológico del proyecto Hidroeléctrico Aysén”, que formó parte del EIA como Anexo D, Apéndice 4, tuvo por objetivo central la modelación de los caudales a mantener en los ríos Baker y Pascua. Ello, con el fin de preservar la biota presente y los usos antrópicos asociados a la navegación en estos cursos de agua. Este estudio se sustentó en los requerimientos establecidos por la Dirección General de Aguas para el cálculo del caudal ecológico y la demanda hídrica ambiental.

Los caudales determinados en este estudio fueron incorporados como un criterio de diseño de las centrales, de tal forma que los caudales mínimos de operación establecidos para cada central (ver Cuadro 1.4-1 del EIA) son mayores a los determinados en el estudio antes mencionado. Este diseño asegura la

minimización de los efectos del PHA en el cauce de los ríos, imponiendo un esquema de operación compatible con otras necesidades medioambientales de las cuencas aguas abajo de las centrales.

Por otra parte, los impactos identificados y evaluados para el componente Flora y Fauna Acuática en el Capítulo 5 del EIA, serán adecuadamente mitigados y compensados a través de las medidas "Manejo Ambiental para explotación de yacimientos" (PM-INT-03), "Creación de un Área de Conservación" (PC-INT-03) y "Estudio ecológico de los ríos Baker y Pascua, sus estuarios y zonas marinas adyacentes" (PC-INT-04), las que se describen en el Capítulo 6 del EIA.

Finalmente, y como complemento a las medidas de mitigación y compensación antes señaladas, el Titular ha desarrollado un conjunto de medidas de mitigación, restauración y compensación asociadas a la ictiofauna. Ello, mediante la elaboración de un "Plan de manejo integrado del medio acuático" (ver Anexo 1G a la presente Adenda), cuyo objetivo central es propender a la mantención de la sustentabilidad de las poblaciones en los ríos Baker y Pascua, y sus tributarios. Este plan propone una serie de programas de trabajo, entre los que cabe señalar el seguimiento a largo plazo de las poblaciones de peces, el estudio de sus dinámicas y aspectos de su historia de vida, la traslocación de ejemplares en caso de resultar necesario y efectivo, la investigación de su reproducción ex situ con fines de repoblamiento y, por último, el efecto de las especies introducidas sobre la ictiofauna nativa.

#### 9. Pregunta 849 (DGA)

Siguiendo con el apéndice 4 del anexo D. El caudal ecológico responde a objetivos específicos, que en muchos casos pueden ser múltiples (biota acuática, navegación, paisaje, pesca, etc.), en el Apéndice 4 del EIA se establecen sólo niveles mínimos de caudales a ser respetados por el Titular, con valores muy cercanos e incluso inferiores a los mínimos históricos de los ríos Baker, Del Salto y Pascua. Sin embargo, dichos caudales no se hacen cargo de: (1) los efectos producidos por la operación de las presas. Resulta evidente que la variación diaria de caudales puede ocasionar impactos mayores sobre los componentes antes señalados, sometiendo a los ríos a un régimen de caudales en un solo día desde

flujos inferiores a sus mínimos históricos a máximos promedio, a una tasa que no se ha descrito claramente, que podría llevar a que esta fluctuación sea realizada en un par de horas; (2) variación estacional de los caudales, aspecto no evaluado en el EIA; (3) efecto de turbinar el caudal ecológico, y las consecuencias sobre la calidad de las aguas y la biota de peces principalmente; (4) efecto de la diferencia entre los muros y los puntos de restitución reales del caudal, entendiéndose que el caudal ecológico debe ser entregado a pie de presa; (5) efecto de los embalses respecto de los peces, de tal manera de asegurar la coherencia entre el establecimiento de un caudal ecológico, y el asegurar y mantener el flujo o migración de peces nativos aguas abajo de las presas; (6) efectos sobre las migraciones locales de peces en el río aguas abajo de las presas; (7) efectos sobre los hábitats de los anfibios aguas abajo de las presas; (8) efectos sobre los estuarios; (9) efectos sobre el paisaje en los sectores aguas abajo de las presas; (10) efectos en la etapa de llenado del embalse; (11) efectos producidos por la construcción en serie de las presas en períodos que duran más de 10 años en el caso del río Baker, con una "pausa" en la construcción de Baker 1 y 2 que dura más de cinco años, con lo que la situación de línea base de Baker 2 es totalmente desconocida, ya que debiera incluir a Baker 1 operando por varios años; (12) cambios en temperatura, turbiedad y calidad de aguas; todo lo anterior, sin perjuicio de otros aspectos de menor importancia.

#### Respuesta

Con respecto a la determinación del caudal ecológico desarrollada en el Anexo D apéndice 4 del EIA, cabe señalar que se determinó el requerimiento mínimo de caudal necesario para mantener la biota acuática, navegación y pesca. Este procedimiento fue establecido por la Dirección General de Aguas (DGA) para la determinación de un caudal mínimo en el proceso de asignación de nuevos derechos de agua y tiene por objetivo "preservar los ecosistemas" (DGA, Manual de Normas y Procedimientos, Departamento de Administración de Recursos Hídricos). Además de lo anterior, en las modificaciones recientemente aprobadas al Código de Agua de 1981 se establece la mantención de un caudal ecológico mínimo para velar por "la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente" (Ley 20.017). Por otra parte, CONAMA en 1998, define al caudal ecológico

como el “caudal mínimo que da cuenta de la conservación de la biodiversidad propia del curso en cuestión, adecuado para asegurar el cumplimiento de las funciones y servicios ecológicos del medio acuático” (CONAMA-Chile, 1998). Lo anterior permite establecer que el protocolo utilizado para la determinación del caudal ecológico, se ajusta a lo indicado por la DGA y CONAMA.

En relación con los efectos producidos por la operación de las centrales, y los efectos sobre la Flora y Fauna Acuática, cabe señalar que la operación de las centrales genera una fluctuación intradiaria de caudales, la que será más notoria durante el invierno (probabilidad excedencia del 85%, ver acápite 1.4.1.3.1.2 del EIA), provocando una variación en los caudales equivalente a la fluctuación estacional que presentan los ríos. Teniendo en cuenta este efecto, y como una forma de atenuar dicha alteración hidrológica y sus efectos sobre la flora y fauna acuática, considerando además la importancia que revisten estos componentes ambientales, se incluyó como criterio de diseño del proyecto, un caudal mínimo de operación que permitiera reducir significativamente sus potenciales impactos. De este modo, se definieron caudales de operación mínimos que sobrepasan el 40% del caudal medio anual del río.

Sin perjuicio de lo anterior, en el Anexo 1G de la presente Adenda, se presenta el Plan de Manejo Integrado del Medio Acuático (PMIMA), que profundiza y complementa el conjunto de medidas y planes referentes al medio acuático presentados en el capítulo 6 del EIA, los cuales están destinados a asegurar la sustentabilidad de las poblaciones de peces en la cuenca de los ríos Baker y Pascua, así como también los diferentes usos antrópicos.

Por otra parte, es importante señalar que si bien la operación de las centrales del PHA alterará los regímenes de caudales intradiarios de los ríos, ello no significa necesariamente una alteración relevante en las comunidades que se desarrollan aguas abajo. En efecto, un estudio llevado a cabo en 43 centrales hidroeléctricas con variaciones intradiarias de caudal en diferentes partes del mundo, Bain (2007) aplicando el modelo de Davies & Jackson (2006), reveló que la relación entre los flujos de descarga (flujo máximo/flujo mínimo) y el rango de oscilación de las cotas de escurrimiento (cm) son los factores más importantes para determinar la significancia del impacto de la operación de las centrales sobre las comunidades presentes en los ríos. Al aplicar estos criterios al conjunto de las centrales del PHA, resulta que el flujo de descarga máximo es

hasta 3,6 veces el flujo de descarga mínimo, en el escenario más desfavorable. Esta proporción, según lo analizado por Bain (2007), permite establecer que no se esperan alteraciones significativas sobre los ecosistemas acuáticos por efecto de las centrales del PHA, ya que la relación de caudales efluentes es menor a 4.

En relación con la variación estacional de los caudales, las centrales sólo realizarán una regulación intradiaria, sin modificar los caudales medios diarios afluentes a las centrales, razón por la cual los caudales estacionales no serán alterados por la operación del PHA.

Con respecto de los efectos sobre la calidad del agua, producto del paso del Caudal Ecológico por las turbinas, cabe señalar que el tránsito del agua por los túneles de aducción, turbinas y túneles de evacuación no implicará cambios en su calidad. Por otra parte, se realizó un análisis detallado mediante la modelación numérica de la calidad del agua, pudiéndose establecer que no se esperan cambios significativos sobre la calidad de las aguas de los embalses, con excepción de la disminución del transporte de la fracción gruesa de sedimentos, la cual quedará atrapada en éstos (acápite 6.4 y capítulo 9 del Anexo 1D, Apéndice 4 “Modelo de calidad del agua en ríos Baker y Pascua” de esta Adenda).

La ictiofauna nativa tiene hábitos reófilos principalmente, esto significa que sus poblaciones se mantienen en sectores cercanos a la cola de los embalses y eventualmente en los tramos medios. Por otro lado, las centrales se encuentran fuera de las zonas en las cuales normalmente se distribuyen los peces (Zona de altas velocidades), por lo tanto, la probabilidad de pérdida de ejemplares es baja.

En relación con las secciones de los ríos ubicados entre el muro de las centrales y el punto de restitución de las aguas, este efecto es analizado en la respuesta a la observación N° 857 del presente Apartado, donde se entrega el detalle de la ubicación de estos tramos de río para cada central del PHA. Cabe señalar que entre los criterios ambientales considerados en el diseño de las obras de evacuación, se consideró que la restitución de las aguas se realizará inmediatamente aguas abajo de la zona de obras de cada central, conforme a las características topográficas y/o geológicas de los sectores de emplazamiento de las centrales, concluyéndose que en todos los casos los puntos de restitución no distan más de 500 metros del pie de la presa, siendo el caso más extremo el correspondiente a la

central Baker 2. Estos sectores comprendidos entre el pie de la presa y la restitución de las centrales, quedarán cubiertos con agua, con excepción de la Central Pascua 1 donde el agua remontará solo hasta el pié del salto que presenta el río Pascua en dicho sector. Adicionalmente, la pérdida de estas secciones de los ríos, las que debido a sus características morfológicas y de velocidad de corriente no son hábitats favorables para el desarrollo de la biota acuática, fue evaluada en el acápite 5.4.4 del EIA en relación con el impacto "Pérdida de hábitats lótico por la construcción de las obras civiles de la presa" (MB-FFA-CON-01).

En relación con el análisis de la sustentabilidad de las poblaciones de peces y el flujo o migración de peces nativos aguas abajo de las presas potencialmente afectados por el PHA, ella fue evaluada en relación con el Impacto "Alteración de las comunidades de peces por efecto barrera de la presa y su embalse" (MB-FFA-OPE-04) señalado en el acápite 5.4.4.2 del EIA, el que fue abordado teniendo a la vista los antecedentes de la línea de base en cuanto a la distribución de las poblaciones de las diferentes especies en la cuenca del río Baker y Pascua resumidas en los acápites 4.4.3.4.1 y 4.4.3.4.3.8 del EIA, que permitieron postular un modelo meta poblacional fuente-sumidero. El impacto dio por resultado que no es significativo para ninguna de las centrales analizadas y se sustenta en los análisis de las distribuciones de las diferentes especies a lo largo de las estaciones de muestreo que cubrieron la totalidad de los ríos Baker y Pascua y sus lagos de cabecera. Los antecedentes relativos a este análisis son ampliados en el marco de la respuesta a la observación N° 167 del Apartado 31 de la presente Adenda. En ella se puede verificar que para la cuenca de río Baker, del conjunto de las 10 especies detectadas, la presencia de las centrales sólo podría afectar potencialmente la sustentabilidad de dos especies nativas ubicadas en la zona aguas abajo de la central

Baker 2 (*Percichthys trucha* y *Odonthesthes hatcheri*), las que de por sí son escasas aguas abajo de la central Baker 2. Por su parte, en el río Pascua, las especies nativas se encuentran aguas abajo del conjunto de centrales a implementar en este río (ver Figura 4.4.3-32 del EIA), razón por la cual las centrales no ejercerán un efecto barrera sobre la ictiofauna nativa e introducida presente en el río Pascua. No obstante lo anterior, es necesario señalar que a pesar de no resultar un impacto relevante, el Titular ha complementado y ampliado las medidas de manejo, que tienen por objetivo asegurar la sustentabilidad de las poblaciones de ictiofauna los ríos Baker y Pascua, desarrollando el "Plan de manejo integrado del medio acuático" (PMIMA), que se adjunta como Anexo 1G a la presente Adenda, en el cual las dos especies nativas potencialmente afectadas por la alteración del aporte de las secciones superiores del río Baker, debido a la implementación de las centrales, han sido particularmente tratadas.

En relación con los efectos del PHA sobre los hábitats de los anfibios aguas abajo de las presas, cabe señalar que los anfibios registrados en la línea de base del EIA (Capítulo 4, acápite 4.4.2), utilizan como hábitats para la reproducción, el sotobosque de los bosques riparianos y no la vegetación acuática. Proceso que ocurre durante periodos estivales, donde los caudales de los ríos Baker y Pascua no serán alterados por la operación de las centrales. Lo anterior permite establecer que los anfibios no serán afectados por la operación de las centrales.

En relación con los efectos del PHA sobre los estuarios, la modelación del estuario del río Baker mostró una variación de la estructura salina durante periodos de invierno, tal como se indica en el acápite 6.4.3 del Anexo 1D, Apéndice 4 "Modelo de calidad del agua en ríos Baker y Pascua" de la presente Adenda. Los casos típicos que se observan se resumen en la figura siguiente.

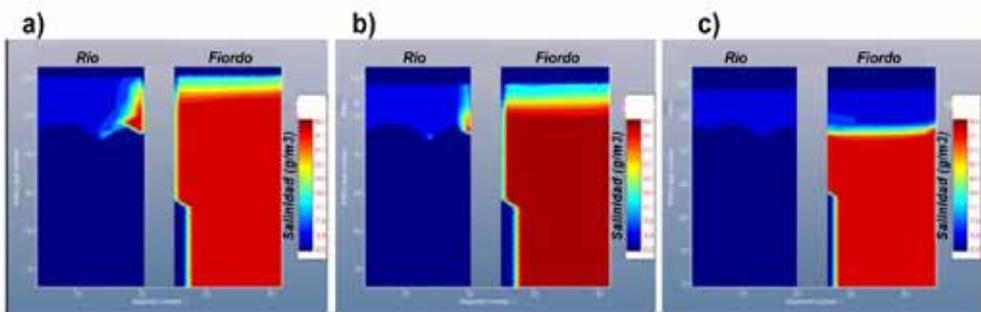


Figura A5-104: Resultados del modelo numérico del estuario Baker. a) escenario caudales bajos, b) escenario caudales medios/bajos y c) escenario caudales altos

Los resultados muestran que para caudales base del orden de  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ , la intrusión salina se intensifica en concentración de salinidad (de  $9$  a  $11 \text{ g}/\text{m}^3$ , equivalente a un 22%) y aumenta la frecuencia de  $10$  a  $12$  eventos en un mes (aumento de un 20%). Para caudales base del orden de  $600 \text{ m}^3/\text{s}$ , la regla operacional permite que se produzcan eventos de intrusión ( $8$  eventos durante un mes), con una concentración de aproximada de  $5 \text{ g}/\text{m}^3$ . Para los caudales base de  $800$ ,  $1.000$  y  $1.200 \text{ m}^3/\text{s}$  las condiciones de escurrimiento no mostraron ingreso de agua salobre en ningún momento.

Cabe destacar que el alcance de la cuña no varía, y queda limitado por condiciones batimétricas e hidrodinámicas que impiden el avance hacia aguas arriba. Este límite quedaría acotado a  $1,5 \text{ km}$  aguas arriba de la desembocadura.

En el caso de la desembocadura del río Pascua, se obtuvieron resultados similares, según se observa en la figura siguiente.

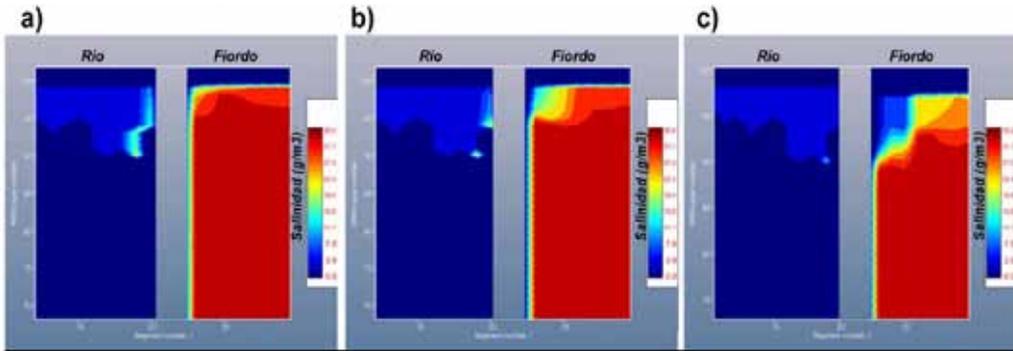


Figura A5-105: Resultados del modelo numérico del estuario Pascua. a) escenario caudales bajos, b) escenario caudales medios/bajos y c) escenario caudales altos

Los resultados muestran que para caudales base del orden de  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , la intrusión salina se intensifica en concentración de salinidad (de  $7$  a  $8 \text{ g}/\text{m}^3$ , equivalente a un 14%) y aumenta la frecuencia de  $15$  a  $16$  eventos en un mes (aumento de un 7%). Para caudales base del orden de  $450 \text{ m}^3/\text{s}$ , la regla operacional permite que se produzcan eventos de intrusión ( $7$  eventos durante un mes), con una concentración de aproximada de  $3 \text{ g}/\text{m}^3$ . Para los caudales base de  $600$ ,  $750$  y  $900 \text{ m}^3/\text{s}$  las condiciones de escurrimiento no mostraron ingreso de agua salobre en ningún momento.

Al igual que el caso de Baker, el alcance de la cuña de Pascua no varía, y queda limitado por condiciones batimétricas e hidrodinámicas que impiden el avance hacia aguas arriba. Este límite quedaría acotado a  $1,0 \text{ km}$  aguas arriba de la desembocadura.

En resumen, considerando las campañas de terreno y simulaciones efectuadas en el tramo inferior de los ríos Baker y Pascua, se ha podido establecer que el alcance de una cuña salina estaría acotado a un tramo de  $1,5 \text{ km}$  desde la desembocadura para el estuario Baker, y  $1,0 \text{ km}$  para el estuario Pascua.

Respecto al potencial impacto, se concluyó que la cuña se intensifica moderadamente, a la vez

que aumenta su frecuencia pero mantiene (igual a las condiciones naturales) su alcance hacia aguas arriba del cauce. Esto se considera un grado de alteración pequeño, ya que se limita espacialmente al fondo del lecho donde existen depresiones e irregularidades de la batimetría. El hecho que los efectos estén limitados espacialmente al fondo del lecho, no cambia las condiciones de hábitat de las especies que habitan la columna de agua y capas superficiales.

En relación con los efectos sobre el paisaje en los sectores aguas abajo de las presas, ellos fueron evaluados en el acápite 5.8 del EIA. Por su parte, en el análisis presentado en el Anexo D, Apéndice 4 del EIA, se incorporó una evaluación de la variación en el ancho superficial y secciones de escurrimiento, estableciendo disminuciones menores al 15% en condiciones de escurrimiento asociado a un caudal afluente de 85% de probabilidad de excedencia, durante la operación de las centrales.

Lo anterior permite establecer, al menos arealmente, que el efecto sobre el paisaje en los tramos aguas abajo de las presas será menor, teniendo en consideración que se mantendrá un caudal superior al 40% del caudal medio anual en todo momento.

En relación con los efectos en la etapa de llenado del embalse, cabe señalar que ellos fueron evaluados en el acápite 5.4.4.1 del EIA asociados al impacto “Alteración de hábitat lótico por llenado del embalse” (MB-FFA-CON-04), el que ha sido rectificado como “Pérdida de hábitat lótico por llenado del embalse” (MB-FFA-CON-04) en el marco de la respuesta a la observación N° 791 del presente Apartado.

Por su parte, en el acápite 7.5 y 8.5 del Anexo D, Apéndice 4 del EIA, se presentó una descripción detallada de la flora y fauna acuática presente aguas abajo del emplazamiento de las centrales y como ésta se vería afectada durante el llenado de los embalses. Cabe indicar que el diseño del PHA, considera mantener en todo momento, incluso durante el llenado de los embalses, un caudal no inferior al mínimo de operación definido para cada una de las centrales.

En el contexto de la línea de base del PHA, y según lo dispone el artículo 12 letra f) del Reglamento del SEIA, se describe el área de influencia del proyecto, a objeto de evaluar los impactos que pudieren generarse a consecuencia del mismo. En este sentido, mediante el EIA del PHA se presenta a evaluación ambiental un solo proyecto integral, ya que considera la construcción y operación del Complejo Hidroeléctrico Aysén, compuesto de cinco centrales y su infraestructura asociada. De esta forma la línea de base debe presentarse en el EIA, tal como se desprende del Reglamento, antes de la ejecución del proyecto, y para la posterior evaluación de los posibles impactos, razón por lo cual no es posible presentar distintas líneas de base en atención a la duración de la etapa de construcción del proyecto.

Asimismo, cabe destacar que la evaluación de impactos contenida en el Capítulo 5 del EIA, da cumplimiento a la letra g) del artículo 12 del Reglamento del SEIA, al contrastar cada uno de los elementos del medio ambiente descritos, caracterizados y analizados en la línea de base (Capítulo 4 del EIA), con sus potenciales transformaciones derivadas de la ejecución del PHA (considerando las fases de construcción, operación y abandono cuando es pertinente); y a su vez realizando la predicción y evaluación de los impactos ambientales considerando el estado de los elementos del medio ambiente en su condición más desfavorable, como es el caso de los impactos generados por la construcción y operación de la central Baker 2.

En relación con los cambios en temperatura, turbiedad y calidad de aguas se realizó un análisis detallado mediante la modelación numérica de la calidad del agua, considerando la temperatura, turbiedad y calidad de las aguas (Anexo 1D, Apéndice 4 de la presente Adenda, “Modelo de calidad del agua en ríos Baker y Pascua”). Los resultados permitieron establecer lo siguiente: i) temperatura: la operación de los embalses no cambiara el régimen térmico de los ríos, observándose exclusivamente durante el verano leves aumentos de la temperatura superficial en la zona cercana al muro de Baker 2; ii) turbiedad: la operación de los embalses no cambiará la concentración y carga de sedimentos finos en los ríos (arcillas y limos), los cuales producen la turbiedad de las aguas. No obstante, las partículas de mayor tamaño serán retenidas parcialmente; y iii) Calidad del agua: la operación de los embalses no modificará el estado trófico de las mismas, por ende, no se afectará la calidad de las aguas.

#### *Literatura citada*

Bain, M (2007). Hydropower operation and environmental conservation: St Marys River, Ontario and Michigan. International Lake Superior Board of Control.

Davies SP y SK Jackson (2006). The biological condition gradient: a descriptive model for interpreting change in aquatic ecosystems. Ecological Applications, 16(4): 1251-1266.

#### 10. Pregunta 850 (DGA)

La Ley 19300 de Bases Generales del Medio Ambiente, en su Artículo 41 y 42, considera necesario establecer un “Plan de Manejo: de mantención de caudales de agua para permitir condiciones mínimas ecológicas”. El titular deberá desarrollar este plan de manejo incorporando los aspectos señalados precedentemente en forma explícita para las cuencas en su conjunto, entendiendo que la intervención en todo los casos implica una porción importante de los ríos Baker (río Del Salto, dentro de la misma cuenca) y Pascua, con modificaciones muy significativas a sus condiciones actuales. Todo lo anterior, referido solamente a las medidas de mitigación, sin considerar las compensaciones que se estimen adecuadas a cada componente por los Servicios competentes.

#### **Respuesta**

En relación a lo señalado en los artículos 41 y 42 de la Ley N° 19.300, relativos a los planes de manejo,

prevención o descontaminación, el primero indica que el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables se efectuará asegurando su capacidad de regeneración y la diversidad biológica asociada a ellos. Por su parte, y según lo dispuesto en el artículo 42, el organismo público encargado de regular el uso y el aprovechamiento de los recursos naturales renovables, exigirá de acuerdo a la normativa vigente, la presentación y cumplimiento de planes de manejo.

Sin embargo, el inciso final del artículo 42 señala expresamente que este artículo no se aplica a aquellos proyectos o actividades respecto de los cuales se hubiere aprobado un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental, contexto en el cual se encuentra la presente evaluación ambiental del PHA.

En este sentido, se debe tener presente que el Capítulo 5 "Predicción y Evaluación de los Impactos Ambientales", Capítulo 6 "Plan de Medidas de Mitigación, Reparación, Compensación, Prevención de Riesgos y Control de Accidentes", y el Capítulo 7 "Plan de Seguimiento Ambiental" del EIA, contienen todos los antecedentes que permiten abordar la mitigación, restauración y compensación de las condiciones ecológicas basales que podrían verse afectadas con la ejecución del Proyecto.

En este contexto, se debe considerar que el EIA contiene, en el Anexo D, Apéndice 4, un Estudio de Caudal Ecológico para cada central, el que forma parte de las consideraciones de diseño del PHA.

#### 11. Pregunta 851 (DGA)

Sin perjuicio de las observaciones anteriores, cabe señalar las siguientes observaciones específicas al Apéndice 4, Anexo D, Caudal Ecológico: Observación

específica al Apéndice 4, Anexo D. Se señala que la "definición final del caudal ecológico se realizó al cuantificar los impactos asociados a la reducción del caudal sobre los hábitats", definición que resulta insuficiente al considerar la tipología y magnitud de las modificaciones a realizar en los regímenes de caudales de los ríos Baker, Del Salto y Pascua.

#### Respuesta

El procedimiento utilizado para determinar el caudal ecológico de los ríos Baker, Pascua y Del Salto (Anexo D, Apéndice 4 del EIA), consistió en identificar Áreas de Importancia Ambiental (AIAs) desde una perspectiva ecosistémica (figura siguiente).

Lo anterior se tradujo en identificar áreas con valor para la biodiversidad acuática, así como también para los diferentes usos antrópicos que se realizan en los ríos, tales como navegación (balseo mayor, balseo menor, taxeo, entre otros) y pesca deportiva (pesca embarcado y desde orilla). Esto se plasmó en una cartografía específica, donde se identificaron cada una de las AIAs (Figura 60: "Río Del Salto"; figuras 132 y 133: "Río Baker"; y Figura 266: "Río Pascua". Ver Anexo D, Apéndice 4 del EIA). Se desarrolló un análisis integrado a través del cual se determinaron y compararon los requerimientos hídricos para cada una de las AIAs, escogiendo, en forma conservadora, aquel con mayor requerimiento de caudal para definir el caudal ecológico y antrópico para cada río (acápites 9.1, 9.2 y 9.3, del Anexo D, Apéndice 4 del EIA). De esta manera, se obtuvieron caudales ecológicos requeridos para mantener la biodiversidad acuática y aquellos necesarios para mantener los usos antrópicos. Ambos fueron utilizados para determinar los caudales mínimos de operación para cada central.

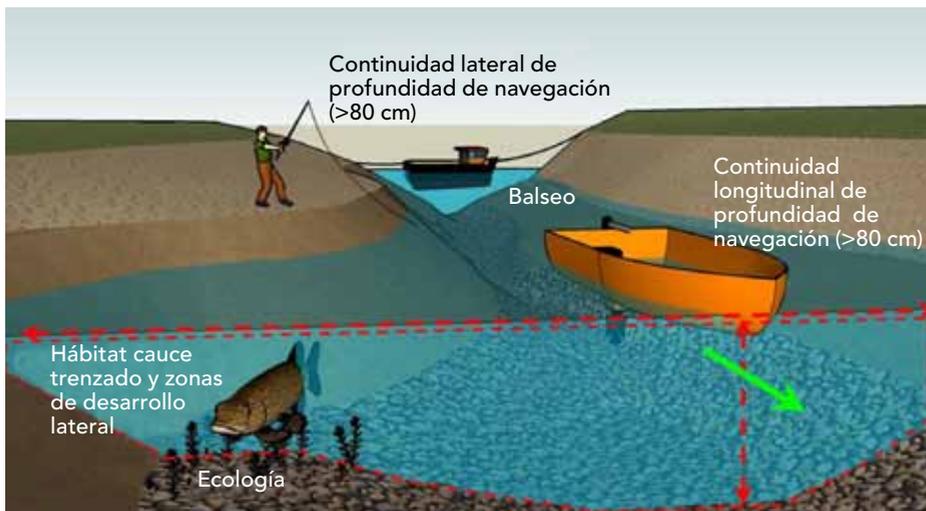


Figura A5-106: Definición de Áreas de Importancia Ambiental y criterios utilizados para la determinación del caudal ecológico en los ríos Baker, Pascua y Del Salto.

## 12. Pregunta 852 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Dentro de la presentación de variación porcentual de caudales respecto del caudal medio anual, probabilidad 85% y caudal mínimo histórico, no se ha realizado el análisis respecto de períodos secos, normales y húmedos.

**Respuesta**

La metodología para la determinación del Caudal Ecológico, consideró el uso de diversos índices (acápite 5.4.1, Anexo D, Apéndice 4 del EIA), los cuales representan condiciones hidrológicas que van desde caudales bajos (años secos) hasta caudales medios (años normales). Es importante destacar que los efectos de la regulación intradiaria, es decir, los cambios en los caudales en un ciclo de 24 horas con la mantención del caudal medio diario, son cada vez más reducidos a medida que aumenta el caudal, ya que con caudales altos (año húmedo) la regulación intradiaria se asimila a la condición

hidrológica natural del río. Por esta razón, la metodología de Caudal Ecológico se basó en la cuantificación de las variaciones sólo de los escenarios hidrológicos de caudales bajos (año seco) y caudales medios (año normal). Las estadísticas fluviométricas utilizadas para dicho análisis son a nivel mensual, para el período hidrológico 1960/61-2004/05, lo que equivale a 45 años de estadísticas.

A modo de ejemplo, en el cuadro siguiente de la presente respuesta, se muestra una clasificación de los índices hidrológicos estimados para Baker 1 en función de los escenarios hidrológicos que se han tomado en cuenta para el análisis. Se estimó que el caudal medio anual representa una situación de año normal, así como los estadísticos probabilidad 85% de excedencia y caudal mínimo histórico, representan un período seco. Lo anterior responde a que la determinación de los caudales ecológicos se centra en condiciones de caudales extremos.

**Cuadro A5-154: Índices Hidrológicos de la Metodología de Caudal Ecológico para Baker 1**

Índices Hidrológicos utilizados en la Metodología de Caudal Ecológico	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Escenario Hidrológico 1
10% Medio Anual <sup>2</sup>	66	Caudal bajo (seco)
20% Medio Anual <sup>2</sup>	132	
50% del 95% <sup>2</sup>	196	
Min Oper	260	
Min ST	319	
Q347	433	
Q330	468	
Q85%	493	
Q Medio Anual	663	Caudal medio (normal)
Norma Suiza	10 o 18,9	Caudal bajo (seco)
Norma Francesa	66 - 133	
Norma Austríaca	42	
Norma Vasca	30	
Norma Nueva Inglaterra	95	
Método Tennant	398 - 663	Caudal bajo a medio (seco a normal)
Método Perímetro Mojado	169	Caudal bajo (seco)

1 Caudal bajo corresponde a caudales menores o iguales al caudal de probabilidad de excedencia 85% (Q=493 m<sup>3</sup>/s). Caudal medio corresponderá a caudales del orden del caudal de probabilidad de excedencia de 50% (Q=656 m<sup>3</sup>/s).

2 Escenario de caudal que nunca se ha registrado en el río, utilizado como referencia de la actual normativa DGA.

Cabe señalar que el régimen hidrológico aguas abajo de las centrales en los ríos Baker y Pascua, no será afectado a nivel mensual ni anual, ya que sólo a nivel diario, la dinámica de los caudales estará gobernada por una serie de pulsos de inundación asociados a la regla de operación de las centrales.

Como complemento de lo señalado en el Anexo D, Apéndice 4 del EIA, para ejemplificar los efectos de la regulación intradiaria en diferentes escenarios hidrológicos, a continuación, se muestran los hidrogramas regulados por la operación de la central Baker 1. En la Figura A5-107 se muestra un

escenario hidrológico de caudales bajos, o año seco, para la central Baker 1 (caudal de probabilidad de excedencia diaria 85% equivalente a 453 m<sup>3</sup>/s), donde la regulación intradiaria de caudales puede variar en un rango entre el caudal máximo de operación (927 m<sup>3</sup>/s) y un caudal de operación mínimo de 260 m<sup>3</sup>/s.

El escenario de caudales medios (año normal), se muestra en la Figura A5- 108, donde el caudal de probabilidad de excedencia diaria de 50% (600 m<sup>3</sup>/s) es regulado de forma intradiaria entre el caudal máximo de operación (927 m<sup>3</sup>/s) y un caudal mínimo de 436,5 m<sup>3</sup>/s.

La Figura A5-109, en tanto, muestra el caso de un escenario hidrológico de caudales altos (año húmedo), donde el caudal de probabilidad de excedencia de 15% (775 m<sup>3</sup>/s) es regulado entre el caudal máximo de operación (927 m<sup>3</sup>/s) y un caudal mínimo de 699 m<sup>3</sup>/s.

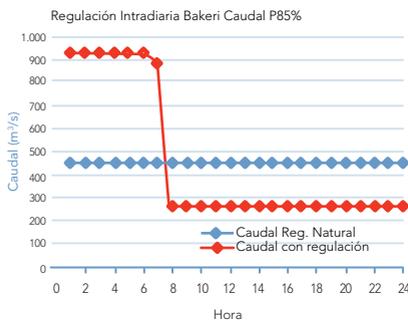


Figura A5-107: Hidrograma de la regulación intradiaria de Baker 1 para un caudal de probabilidad de excedencia de 85%.

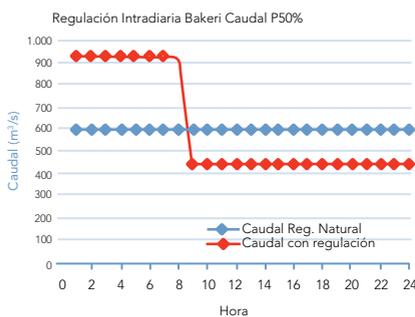


Figura A5-108: Hidrograma de la regulación intradiaria de Baker 1 para un caudal de probabilidad de excedencia de 50%.

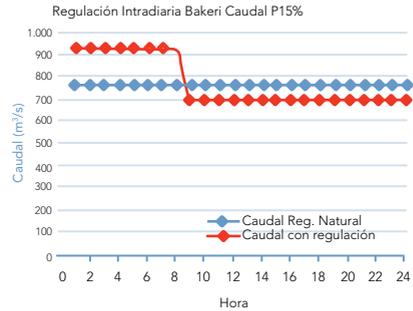


Figura A5-109: Hidrograma de la regulación intradiaria de Baker 1 para un caudal de probabilidad de excedencia de 15%.

En razón de lo anteriormente expuesto, el Estudio de Caudal Ecológico sí incorporó el análisis de los escenarios correspondientes a períodos secos, normales y húmedos.

### 13. Pregunta 853 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Justificar los supuestos ecológicos que catalogan como "aceptable" el valor de 0,7 para el índice de habitabilidad de especies ícticas. En este sentido, se sugiere incorporar más bien un valor que sea catalogado como "óptimo", si lo que se quiere evaluar es la reducción de hábitat disponible respecto a un valor o condición de referencia.

### Respuesta

El método de simulación de hábitat, combina los resultados de las condiciones físicas del río con las Curvas de Preferencia de ciertas especies bioindicadoras (pez que requiere un cierto rango de velocidad o profundidad). Por medio de una ponderación, se genera un Índice de Hábitat para cada sección en función del caudal (PHABSIM for Windows. USGS, noviembre 2001). Este método de simulación de hábitat, fue el utilizado para determinar los caudales ecológicos de los ríos Baker, Pascua y Del Salto (Anexo D, Apéndice 4 del EIA).

A modo de ejemplo, en la figura siguiente se pueden apreciar curvas de habitabilidad para *Salmo trutta* (juvenil y adulto) y *Oncorhynchus mykiss* (juvenil y adulto), respectivamente. A partir de éstas, se puede apreciar que ambas especies presentan rangos de habitabilidad que van de 0 a 1, con variaciones intra e inter específicas. El área bajo la curva corresponde al hábitat potencial utilizado por las diferentes especies, con una respuesta diferencial en la densidad de individuos. A medida que

la habitabilidad aumenta, la densidad de las poblaciones de peces también debería aumentar.

El valor de habitabilidad de 0,7 corresponde a entre un 10 y 20 % del hábitat utilizado por las especies, con las condiciones más favorables para su desarrollo.

Lo anterior permite establecer que el valor de habitabilidad de 0,7 utilizado para determinar el caudal ecológico de los ríos Baker, Pascua y Del Salto, definido como aceptable, corresponde al óptimo, tal como se indica en la observación. El criterio utilizado es exigente y conservador, ya que restringe el análisis de la disponibilidad de hábitat a aquellos catalogados como favorables, el cual, por extensión, mantiene los hábitats de menor calidad (ver figura siguiente).

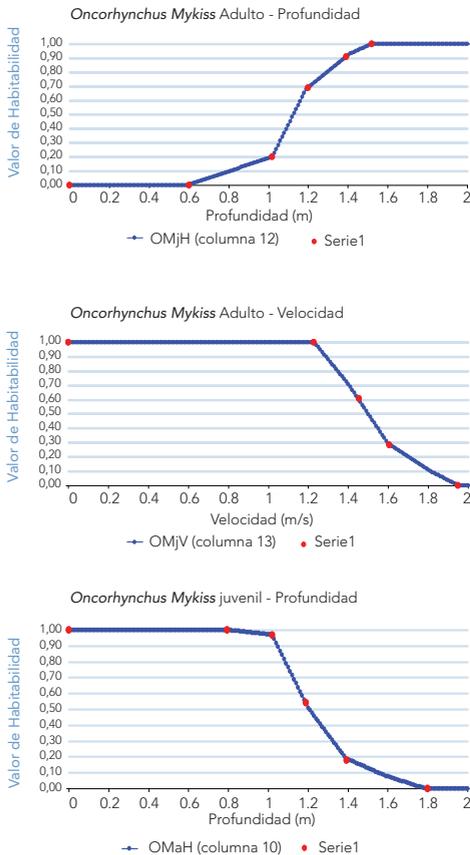


Figura A5-110: Requerimientos de hábitat de velocidad y profundidad para *Oncorhynchus mykiss* (juvenil y adulto).

**Literatura citada**

EULA. 2000. Determinación del caudal mínimo ecológico del proyecto hidroeléctrico Quilleco en el río Laja, considerando variables asociadas a la biodiversidad y disponibilidad de hábitat. Informe de Asistencia Técnica, 120 p.

**14. Pregunta 854 (DGA)**

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Los fundamentos y análisis para estimar que no es necesario el establecimiento de caudales o tasas de restitución máximas, no son adecuados a las condiciones presentadas en la Línea Base, y no se justifican del punto de vista de las especies, sólo utilizan las estimaciones de hábitat generales y poco específicas para el sistema, que además no son extrapolables al sistema completo por la falta de información de Línea Base o la falta de análisis de aspectos relacionados con la geomorfología fluvial, los requerimientos de las especies, el tipo de sustrato o hábitat especiales que no quedan representados en condiciones generales o promedio. La simplificación del análisis deja mayores incertidumbres respecto de la necesidad de un caudal máximo instantáneo "y" la tasa de variación, siendo además aspectos diferentes que en el sólo enunciado del EIA son tomados como un mismo aspecto al señalar "caudal o tasa". El mismo EIA señala "la variación intradiaria de caudal constituye una perturbación permanente a la flora y fauna acuática, lo cual provocará que la franja definida por el nivel máximo y mínimo de operación sea erosionada en términos biológicos" aspecto que no es consecuente con las inexistentes medidas establecidas en el EIA en esta materia.

**Respuesta**

Cabe señalar que en Chile no existe ningún tipo de reglamento o normativa que regule el establecimiento de caudales o tasas de restitución máxima derivados de la operación de centrales hidroeléctricas, razón por lo cual se recurrió a la experiencia internacional. En el acápite 5.5 del Anexo D, Apéndice 4, del EIA, se describe lo siguiente:

A modo referencial, el Reglamento de Ordenación de la Pesca Fluvial y los Ecosistemas Acuáticos Continentales de la Comunidad Autónoma de Galicia (artículo 75, Decreto 130/1997 de la Consejería de Agricultura,

Ganadería y Montes), establece que la tasa máxima de variación del caudal, por minuto, no puede ser superior al 3% del caudal máximo concedido, o de 0,250 m<sup>3</sup>/s/min. Esto, salvo cuando se inicia el funcionamiento o después de una interrupción, cuando la máxima tasa de restricción aumenta a 20% del caudal máximo concedido por minuto, con un máximo de 1,5 m<sup>3</sup>/s/min.

Si bien este criterio permite establecer una tasa de aumento de caudal condicionando la toma de carga de las centrales, se verificaron distintas tasas de restitución de caudales utilizando el modelo de eje hidráulico calibrado (HEC-RAS), el cual permite simular en detalle la geomorfología y las condiciones hidrodinámicas de los ríos Baker y Pascua en toda su extensión (ver Anexo 1D, Apéndice 3, Parte 3 "Informe de calibración para modelos de ejes hidráulicos" de esta Adenda). Teniendo en consideración las curvas de habitabilidad especie específica (EULA 2000), los resultados de dicha modelación de apertura se presentaron en el Anexo D, Apéndice 4 del EIA, para el río Baker en el acápite 7.4 y para el río Pascua en el acápite 8.4. Los diferentes tiempos de apertura de las compuertas para el escenario de operación del 85% de probabilidad de excedencia (cuando se observarían las mayores fluctuaciones de caudal), no muestran una variación significativa en el grado de oscilación diaria de los caudales y superficie libre a lo largo del eje longitudinal.

De este análisis se concluye que no se esperan cambios asociados al tiempo de apertura de las compuertas. Cabe indicar que conforme a lo indicado en el acápite 1.4.1.1 del Capítulo 1 del EIA, todas las centrales están restringidas a evacuar un caudal mínimo de operación superior al 40% del caudal medio anual. Esto establece una condición permanente por sobre la cual se observarán aumentos del nivel de escurrimiento del orden de un 30% aguas abajo de las centrales, en los meses de invierno.

En relación con las medidas para mitigar, reparar y/o compensar los efectos de la fluctuación intradiaria de caudales en la Flora y Fauna Acuática, en el Anexo 1G sobre el "Plan de manejo integrado del medio acuático", se entrega una descripción detallada de cada una de ellas. Estas medidas fueron diseñadas utilizando un criterio ecosistémico a escala de cuenca, para asegurar la conservación de las especies acuáticas.

### Literatura citada

EULA. 2000. Determinación del caudal mínimo ecológico del proyecto hidroeléctrico Quilleco en el río Laja, considerando variables asociadas a la biodiversidad y disponibilidad de hábitat. Informe de Asistencia Técnica, 120p.

#### 15. Pregunta 856 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Se ha definido un umbral de profundidad media de 80 cm por sección transversal para Baker y Pascua, al respecto, en este y otros temas se tratan ambas cuencas en forma similar, sin distinguir particularidades de sus hábitats o características físicas, lo cual carece de fundamentos o justificación, en especial considerando que el área a intervenir en cada río es de decenas de kilómetros, con zonas muy características para cada caso en particular. Por lo tanto no es correcto establecer dicha condición sin mayor justificación específica de cada río, o establecer conclusiones simplistas. Las cuencas deben ser tratadas en forma separada, y justificados sus umbrales o características en forma individual a lo largo de todo el texto.

#### Respuesta

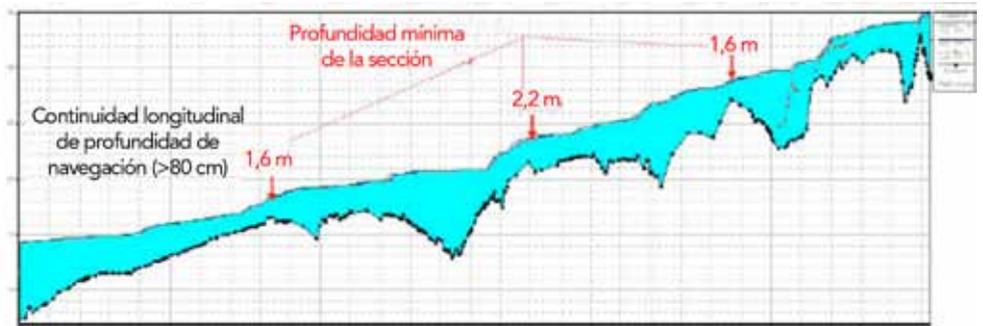
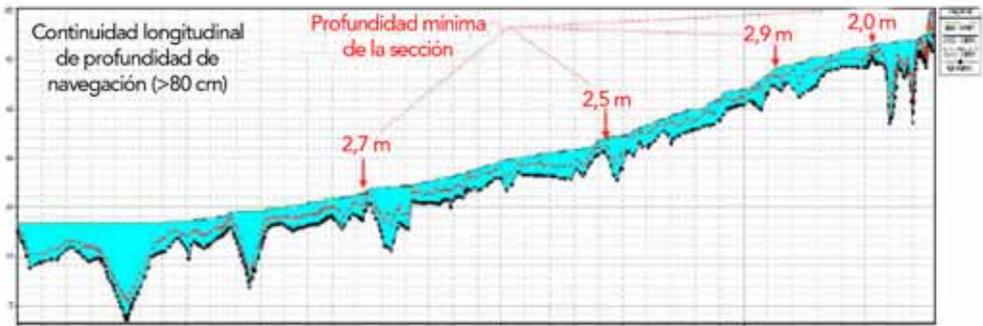
En la Tabla 16 del Capítulo 5, acápite 5.4.2.8 del Anexo D, Apéndice 4 del EIA (que se transcribe a continuación), se estableció para la navegabilidad un umbral de profundidad mínimo de 80 cm por sección transversal para Baker y Pascua. Dicho umbral fue definido en base a referencias bibliográficas y a los antecedentes proporcionados por pobladores locales que navegan en los ríos Baker y Pascua (página 88, Anexo D, Apéndice 4 del EIA). Lo anterior es válido para ambos ríos, dado el tipo de embarcaciones utilizadas, lo que fue verificado localmente. Sin embargo, las secciones de control para evaluar el cumplimiento de dicho umbral (secciones críticas) son particulares para cada río.

Se complementa la información entregada en el Anexo D, Apéndice 4 del EIA, con las Figuras A5-111 y A5-112, presentadas más adelante en esta respuesta.

En ellas se muestran los ejes hidráulicos obtenidos para los ríos Baker y Pascua, a partir de los cuales se puede demostrar que los caudales mínimos de operación permiten cumplir los requerimientos de profundidad para la navegación en ambos ríos.

**Cuadro A5-155: Umbrales de profundidad y altura de cursos fluviales para diferentes usos.**

Uso antrópicos	Valores Crítico (mínimos y máximos)		Encuesta a usuarios locales Profundidad mínima (m)
	Profundidad (m)	Velocidad (m/s.)	
Remar/Vadear	Pmáx: 1.2D	Vmáx: 1.8D	-
Pesca/Vadear	Pmáx: 1.2D	Vmáx: 1.8D	-
Nado	Pmin: 0.8D	Vmáx: 1.0D	-
Pesca (Bote)	Pmin: 0.3D	Vmáx: 3.0D	0.8
Bote (Sin motor)	Pmin: 0.5D	Vmáx: 1.5D	0.8
Botes a motor (bajo poder)	Pmin: 0.6D	Vmáx: 3.0D	0.8
Botes a motor (alto poder)	Pmin: 1.5D	Vmáx: 4.5D	0.8
Barcaza en balseo	-	-	(Q=365 m³/s)



## Literatura citada

Gordon, ND., TA McMahon, BL Finlayson, GJ Gippel & RJ Nathan. 2004. Stream Hydrology - An introduction for ecologists. 2nd Edition, Wiley.

Mosley, MP. 1983. Flow requirements for recreation and wildlife in New Zealand rivers- A review. Journal of Hidrologia (NZ), 22: 152-174.

Rood, SB., W Tymensen & R Middleton. 2003. A comparison of methods for evaluating instream flow needs for recreation along rivers in southern Alberta, Canada. River Research and Applications, 19 (2): 123-135.

Rood, SB y W Tymensen. 2001. Recreational Instream Flow Needs (R-IFN) for Paddling along Rivers in Southern Alberta. Submitted to Alberta Environment. Lethbridge, AB. 36 p.

### 17. Pregunta 857 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: No queda claro en el EIA las diferencias entre el caudal a pie de presa (exigido como caudal ecológico) y el caudal en el punto de restitución o de entrega, constituyendo un aspecto fundamental para evaluar la situación aguas abajo de cada embalse. Se solicita en este sentido al titular, que el caudal ecológico que se entregue mediante la obra de restitución sea efectivamente a partir del muro de pie de presa, y no varios cientos de metros aguas abajo, tramos donde además el titular plantea como medida, que los caudales serán igual a "la altura de escurrimiento controlada por el agua proveniente del túnel de restitución".

### Respuesta

La ubicación de las obras de evacuación, utilizadas para restituir las aguas al río luego de su paso por las turbinas y la distancia que existe desde el pie de la presa, se muestra en las láminas 1.2-A, B, C, D y E presentadas en el Capítulo 1 del EIA.

Entre los criterios ambientales considerados en el diseño de las obras de evacuación, se consideró que la restitución de las aguas se realizará inmediatamente aguas abajo de la zona de obras de cada central. Debido a las características topográficas o geológicas de los sectores donde se construirán las centrales, los puntos de restitución de las aguas se ubican algunos metros aguas abajo del pie de la presa.

En las figuras 2.3, 3.3, 4.3, 5.3 y 6.3 del Anexo B, Apéndice 12 (PAS 106) del EIA se entregó el eje hidráulico para el caudal medio anual de los ríos, considerando la situación sin Proyecto y con Proyecto, es decir, teniendo en cuenta la instalación de las presas y el nivel máximo normal de los embalses.

En dichas figuras (que se entregan nuevamente a continuación), se observa que para todas las centrales del PHA, la restitución de las aguas se realiza en un punto inmediatamente aguas abajo de la zona de obras de cada central (sector necesario para la construcción de las obras de embalse) como se indicó en el acápite 1.1.5 "Criterios ambientales utilizados en el diseño del proyecto" del Capítulo 1 del EIA. En ellas, se observa que la zona comprendida entre el pie de la presa y la restitución de las centrales quedará cubierta con agua, con excepción de la central Pascua 1 donde el agua remontará solo hasta el pie del salto que presenta el río Pascua en dicho sector.

Finalmente, cabe señalar que los sectores ubicados entre el pie de la presa y los puntos de restitución (zona de obras de cada central), debido a sus características morfológicas y de velocidad de corriente no son hábitats favorables para el desarrollo de la biota acuática. A pesar de lo anterior, la pérdida de estas secciones de los ríos, fue evaluada en el acápite 5.4.4 del EIA.

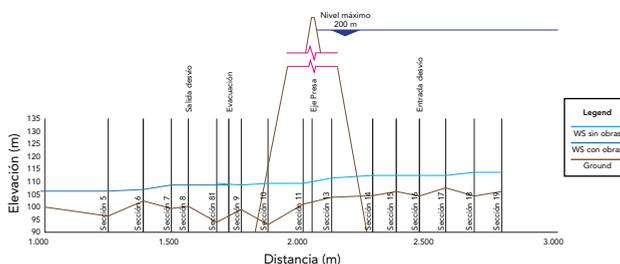


Figura 2.3: Perfil Longitudinal del Río Baker en Angostura Chacabuco. Caudal Medio Anual, con y sin obras.

Fuente: Ingendesa

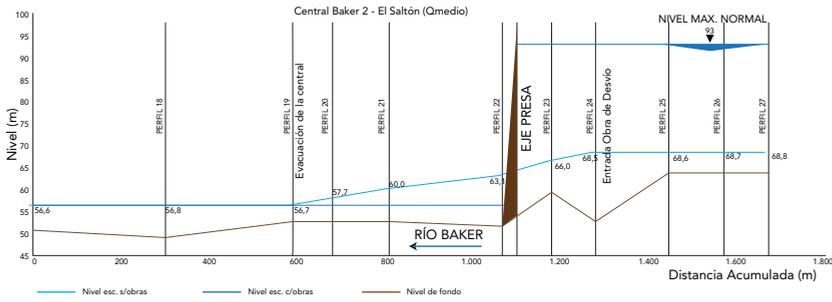


Figura 3.3: Perfil longitudinal del río Baker en Angostura El Saltón. Caudal medio anual (Qmedio=948 m<sup>3</sup>/s), con y sin obras.

Fuente: Ingendesa

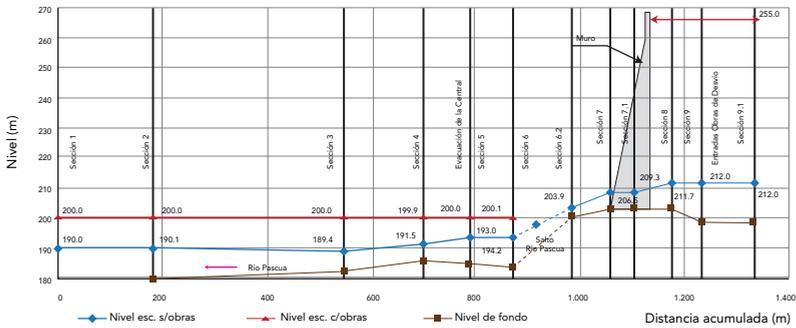


Figura 4.3: Perfil Longitudinal del río Pascua en Central Pascua 1. Caudal medio anual (622 m<sup>3</sup>/s), con y sin obras.

Fuente: Ingendesa

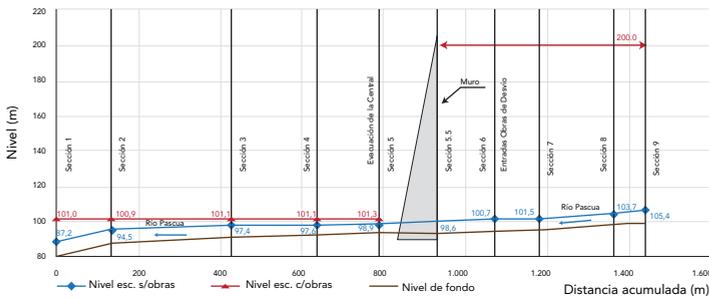
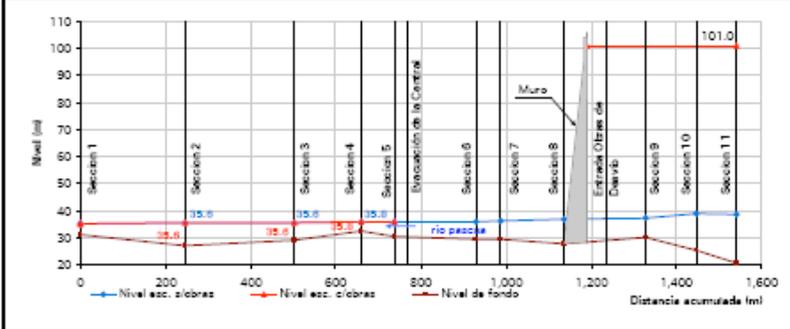


Figura 5.3: Perfil Longitudinal del río Pascua en Central Pascua 2.1. Caudal medio anual (689 m<sup>3</sup>/s), con y sin obras.

\* Niveles referidos al datum geodésico WGS-84.

Fuente: Ingendesa

**Figura 6.3: Perfil Longitudinal del río Pascua en Central Pascua 2.2. Caudal medio anual ( $692 \text{ m}^3/\text{s}$ ), con y sin obras**



Fuente: Ingendesa.

#### 18. Pregunta 858 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: En relación a la definición de Caudal de Restitución y su definición, queda la incertidumbre sobre la obtención de los datos de caudales medios mensuales de la cuenca intermedia que se utilizaron, si es que estos fueron rellenados y de que serie fueron rellenados, al respecto se solicita aclarar y presentar toda la información necesaria para una correcta evaluación.

#### Respuesta

Los cálculos realizados para los tramos de los ríos Baker y Pascua, respecto a las variaciones de los parámetros hidrobiológicos y requerimientos antrópicos, se efectuaron con un caudal constante en el tramo sujeto a caudal ecológico (Anexo D, Apéndice 4 del EIA). Esto significa que se optó por un método conservador que implica asumir que el aporte de la cuenca intermedia es igual a cero.

Por lo tanto, no fue necesario rellenar la serie de caudales de cuencas intermedias.

#### 19. Pregunta 859 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Una de las situaciones más críticas respecto a la determinación de Caudal ecológico, se presentaría en la central Del Salto, la que por su capacidad de generación ingresaría por sí sola al SEIA, y por ello no puede ser considerada como "pequeña" en dicho contexto, y para la cual se han simplificado las medidas de mitigación, sin quedar establecido o fundamentado todo lo relativo a caudal ecológico. Asimismo, el tramo del río Del Salto (4 km), para el que fue definido un valor de Caudal ecológico y que ve su caudal

fuertemente disminuido, presenta en su zona más baja pendientes más bien suaves, con formación de meandros y pequeñas planicies de inundación que constituirán un hábitat potencial para la flora y fauna acuática, por lo que no correspondería la determinación de un caudal únicamente con métodos basados en estadísticas hidrológicas, sino aquellos basados en requerimientos hidrobiológicos de las especies. De esta forma, será pertinente considerar otros métodos de evaluación en la definición del Caudal ecológico en este tramo en particular, de modo de disminuir los efectos de la fragmentación de hábitat producto de la instalación de la presa.

#### Respuesta

Tal como se indica en el Anexo D Apéndice 4 del EIA, cabe señalar que la zona que está afecta a caudal ecológico de la central Del Salto, corresponde al tramo de pendiente fuerte donde se sitúan los saltos Mellizos. Este tramo de río, intrínsecamente no corresponde a un Área de Importancia Ambiental (AIA) por la condición de flujo torrencioso y de caída libre. De hecho, este sector es considerado una barrera ecológica/hidráulica para el desplazamiento de la fauna íctica.

En un tramo con régimen súper crítico de esas características, la altura de escurrimiento tiende a ser somera (por definición, menor a la altura crítica) y las velocidades muy altas. Bajo estas condiciones, el uso del modelo de simulación hidráulica no se justifica.

Dada la ausencia de elementos ambientales identificados como AIA, el caudal ecológico

fue estimado como 10% del caudal medio anual ( $Q=3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ), el cual satisface los requerimientos mínimos que aseguran mantener agua escurriendo en esa zona.

El cálculo del caudal ecológico presentado en el EIA (Anexo D Apéndice 4), consideró de modo conservador, estimar de todas formas el caudal ecológico en la zona aguas abajo del punto de restitución. En esa zona de meandros se aplicaron las diversas metodologías (hidrológicas, hidráulicas y simulación de hábitat), llegando a concluir que el caudal de  $Q=3,4 \text{ m}^3/\text{s}$  es suficiente para mantener la altura media de escurrimiento mayor o igual a 20 cm en las zonas AIA que requiere la actividad de pesca recreativa. No obstante lo anterior, y en función de lo estipulado en el derecho de aprovechamiento de aguas otorgado al Titular en el río Del Salto (Res. DGA N°135 del 7-02-96, mencionado en el Cuadro 1.1-5, del Capítulo 1 del EIA), el cual establece un caudal de  $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , se ha definido este último valor como el caudal ecológico considerado en el diseño de la central Del Salto.

La diferencia de altura entre la obra de toma y la obra de restitución es de aproximadamente 85 m, la cual se desarrolla en una longitud de aproximadamente 1 km de río. Esta diferencia da cuenta de una pendiente empinada del orden de un 8-9%.

Lo anterior permite establecer que el método utilizado fue apropiado para la determinación del caudal ecológico en el río Del Salto.

#### 20. Pregunta 860 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Según lo expresado por el titular en el cálculo del Caudal ecológico del río Del Salto este sería de  $3,4 \text{ m}^3/\text{s}$  dividido en los ríos mellizos 1 y 2, por ende por cada río habría un caudal ecológico pasante de  $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , se entiende que todos los estudios para determinar el caudal ecológico se hicieron en el río mellizos 1 y no se hicieron estudios ya sea monitoreos de calidad de aguas, biológicos, perfiles hidráulicos, etc. en el mellizo 2 (debido a la calidad, simbología y resolución de la imagen no es posible identificar específicamente donde se sitúan los puntos de muestreo), por lo tanto el titular no puede dividir el caudal ecológico sin haber caracterizado de una manera correcta el sistema fluvial del río Del Salto.

#### Respuesta

En el acápite 6.2 del Anexo D, Apéndice 4 del EIA, se presentó una descripción detallada de las características hidrológicas, hidráulicas, calidad de agua, distribución y abundancia de la flora y fauna acuática, así como también de las áreas de importancia ambiental.

Respecto de la distribución de caudales en los brazos del río Del Salto (Mellizo 1 y Mellizo 2), se aclara que el caudal ecológico será distribuido proporcionalmente, tal como se indica en los acápites 6.3.2.3 y 9.1 del Anexo D, Apéndice 4 del EIA.

En este sentido, en el Anexo 1D, Apéndice 3, Parte 3, "Informe de calibración para modelos de ejes hidráulicos" de la presente Adenda, se entregan aforos de caudales en los Mellizos 1 y 2, los que en términos generales, indican que 2/3 del caudal del río Del Salto pasa por el río Mellizos 1 y 1/3 por el río Mellizos 2. Conforme a lo anteriormente expuesto, el caudal ecológico (10% del caudal medio anual) será repartido en esta misma proporción entre ambos brazos del río Del Salto.

#### 21. Pregunta 861 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: No se ha considerado variaciones estacionales o interanuales en el establecimiento de los caudales ecológicos, sometiendo el río a variaciones diarias u horarias que serían mayores a los registros de variación estacional. Por lo tanto, no se han justificado medidas específicas respecto de los máximos caudales a descargar o los tiempos o tasa de descarga, limitantes claras para mantener algunas condiciones y procesos ecológicos fundamentales aguas abajo de los proyectos.

#### Respuesta

Cabe señalar que en Chile no existe ningún tipo de reglamento o normativa que regule el establecimiento de caudales o tasas de restitución máxima derivados de la operación de centrales hidroeléctricas, razón por lo cual se recurrió a revisar la experiencia internacional. En el acápite 5.5 del Anexo D Apéndice 4 del EIA se describe lo siguiente:

A modo de referencia, el Reglamento de Ordenación de la Pesca Fluvial y los Ecosistemas Acuáticos Continentales de la Comunidad Autónoma de Galicia (artículo 75, Decreto 130/1997 de la Consejería de Agricultura,

Ganadería y Montes), establece que la tasa máxima de variación del caudal, por minuto, no puede ser superior al 3% del caudal máximo concedido, o de 0,250 m<sup>3</sup>/s/min, salvo cuando se inicia el funcionamiento o después de una interrupción, cuando la máxima tasa restricción aumenta a 20% del caudal máximo concedido por minuto, con un máximo de 1,5 m<sup>3</sup>/s/min.

Si bien este criterio permite establecer una tasa de aumento de caudal condicionando la toma de carga de las centrales, se verificarán distintas tasas de restitución de caudales utilizando el modelo de eje hidráulico calibrado (Hec-ras) el cual permite simular en detalle la geomorfología y condiciones hidrodinámicas de los ríos Baker y Pascua en toda su extensión (ver Anexo 1D, Apéndice 3, Parte 3: "Informe de calibración para modelos de ejes hidráulicos" de la presente Adenda). Teniendo en consideración las curvas de habitabilidad especie específica (EULA 2000), los resultados de dicha modelación de apertura se presentaron en el Anexo D Apéndice 4 del EIA, para el río Baker en el acápite 7.4 y para el río Pascua en el acápite 8.4. Los diferentes tiempos de apertura de las compuertas para el escenario de operación del 85% de probabilidad de excedencia (cuando se observarían las mayores fluctuaciones de caudal), no muestran una variación significativa en el grado de oscilación diaria de los caudales y superficie libre a lo largo del eje longitudinal.

De este análisis se concluye que no se esperan cambios asociados al tiempo de apertura de las compuertas. Cabe indicar que conforme a lo indicado en el acápite 1.4.1.1 todas las centrales están restringidas a evacuar un caudal mínimo de operación superior al 40% del caudal medio anual, lo cual establece una condición permanente por sobre la cual se observarán aumentos del nivel de escurrimiento del orden de un 30% aguas abajo de las centrales en los meses de invierno.

En relación a las medidas para mitigar, reparar y/o compensar los efectos de la fluctuación intradiaria de caudales en la flora y fauna acuática, en el Anexo 1G de la presente Adenda, "Plan de manejo integrado del medio acuático", se entrega una descripción detallada de cada una de ellas. Las cuales fueron diseñadas utilizando un criterio ecosistémico a escala de cuenca, para asegurar la conservación de las especies acuáticas.

## Literatura citada

EULA. 2000. Determinación del caudal mínimo ecológico del proyecto hidroeléctrico Quilleco en el río Laja, considerando variables asociadas a la biodiversidad y disponibilidad de hábitat. Informe de Asistencia Técnica. 120p

### 22. Pregunta 862 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Las áreas de Importancia ecológica utilizadas para el cálculo de Caudal ecológico no son representativas de la enorme heterogeneidad de hábitat fluvial que se presentan a lo largo de los tramos de río que se verán afectados aguas abajo de las dos presas (Baker 1 y 2). Se solicita realizar un análisis más detallado de las reales zonas de relevancia en términos biológicos que den cuenta del verdadero valor de las áreas que deben ser incorporadas al análisis.

### Respuesta

Para definir las áreas de importancia ecológica en el río Baker, para el Estudio de Caudal Ecológico (acápite 7.2.5, Anexo D, Apéndice 4 del EIA), se realizó un análisis detallado de la línea base de Flora y Fauna Acuática (acápite 7.2.4, del mismo anexo antes citado). Éste incluyó la revisión de los resultados de las seis campañas y las 77 estaciones que sirvieron para desarrollar la línea base contenida en el acápite 4.4.3 del EIA. Es importante señalar que, efectivamente, el río Baker presenta una elevada heterogeneidad espacial, lo cual se ve reflejado en los resultados entregados para la caracterización del hábitat en todo el río (figuras 149 a 154 para Baker 1 y figuras 177 a 182 para Baker 2 del anexo antes mencionado). Sin embargo, esta heterogeneidad espacial es principalmente de origen físico y no tiene necesariamente un correlato en las propiedades ecológicas.

Sin perjuicio de lo anterior, se realizó una revisión complementaria de las zonas de relevancia, en términos biológicos, en la cuenca del río Baker (Anexo 1G, "Plan de manejo integrado del medio acuático" de la presente Adenda).

Los resultados obtenidos permitieron establecer lo siguiente:

- En el río Baker, la biodiversidad acuática está concentrada en zonas donde las condiciones hidráulicas y desarrollo lateral son favorables para la mantención de los organismos acuáticos, siendo éstas discretas y vinculadas

a tramos de baja pendiente y baja velocidad de escurrimiento.

- Existen singularidades biológicas en el río Baker, como la presencia de *D. viedmensis*.
- El aumento en los caudales durante eventos de crecidas, disminuye significativamente la disponibilidad de hábitats, así como también la riqueza y abundancia de flora y fauna acuática.
- La biodiversidad acuática se concentra en los sistemas lacustres sin influencia glacial que alimentan al río Baker (por ejemplo: lago Juncal, laguna Larga, entre otros).

Lo anterior permite sostener que el río Baker corresponde, principalmente, a un sumidero de individuos provenientes de lagos localizados en la cuenca.

Estos individuos se localizarían a lo largo del río en aquellas zonas con hábitats favorables, los cuales son restringidos espacialmente y están disponibles ocasionalmente, en función de los caudales imperantes (Anexo 1G, "Plan de manejo integrado del medio acuático" de la presente Adenda). La excepción a este patrón lo constituyen las especies que habitan el tramo inferior del río Baker, las que tienen una dinámica de desplazamientos interestuarina a través de los fiordos (por ejemplo: *G. maculatus* y *A. zebra*).

### 23. Pregunta 863 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Se señala que el cálculo del caudal ecológico se analiza en la etapa de construcción y operación, sin embargo la variable temporal respecto de la intervención del río Baker por la central Baker 1, Del Salto y Baker 2, es en tiempos distintos, con una diferencia mayor a los cinco años, por lo que la Línea Base de Baker 2 es con Baker 1 y la central Del Salto en funcionamiento, lo cual cambia la situación del proyecto presentado, donde las medidas deben considerar situaciones puntuales dentro de los 13 años de construcción.

### Respuesta

La determinación del caudal ecológico consiste en determinar los requerimientos de caudal mínimos para mantener los ecosistemas acuáticos, sobre la base de las condiciones morfológicas, hidrológicas e hidráulicas de los ríos, vinculadas

con los requerimientos de habitabilidad de la flora y fauna acuática (Cowx and Welcomme 1998; Gonzalez del Tanago y Garcia de Jalon 1998; Hewitt 1934; Leclerc et al. 1996; Murphy and Munawar 1998; Slaney and Zaldokas 1997; Waal et al. 1998; Welcomme 1992; Gordon y col. 2004; Rood y Tymensen 2001; Rood y col. 2003; y Mosley 1983). Condición que debe ser mantenida en todo momento durante la construcción y operación de los embalses. Por ende, el caudal ecológico es un atributo del río y no del tipo de la actividad que se pretende instalar, lo cual valida la evaluación realizada en el EIA (Anexo D, Apéndice 4).

Sin perjuicio de lo anterior, el Plan de Seguimiento Ambiental propuesto en el EIA y desarrollado en el "Plan de manejo integrado del medio acuático" (ver Anexo 1G de la presente adenda), permitirá asegurar que las variables ambientales relevantes evolucionan según lo establecido en la evaluación ambiental.

### Literatura citada

Bain, M. 2007. Hydropower operation and environmental conservation: St Marys River, Ontario and Michigan. International Lake Superior Board of Control.

Cowx, I y R Welcomme. 1998. Rehabilitation of Rivers for Fish. A study undertaken by the European Inland Fisheries Advisory Commission of FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Fishing News Books. 260 p.

González del Tanago, M y D García de Jalón. 1998. Restauración de Ríos y Riberas. Co-edición Fundación Conde del Valle de Salazar, Ediciones Mundiprensa, Madrid. 319 p.

Gordon ND, TA McMahon, BL Finlayson, GJ Gippel & RJ Nathan. 2004. Stream Hydrology - An introduction for ecologists. 2nd Edition, Wiley.

Gore, JA y JM Nestler. 1988. Instream Flows in Perspective. *Rezul. Riv. Res. & Mngt.*, 2: 93-102.

Hewitt, E. 1934. *Hewitt's Handbook of Stream Improvement*. Marchbanks Press, N.Y. 82 p.

Leclerc, M., H Chapra, A Boudreault, Y Cote & S Valentin. 1996. Proceedings of the Second IAHR Symposium on Habitats Hydraulics. *Ecodydraulics*, 2000. Mosley, MP. 1983. Flow requirements for recreation and wildlife in New Zealand rivers- A review. *Journal of Hidrology (NZ)*, 22: 152-174.

Naiman, R & R Bilby. 1998. River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion. Springer-Verlag, New York, Inc, USA. 705 p.

Rood, SB., W Tymensen & R Middleton. 2003. A comparison of methods for evaluating instream flow needs for recreation along rivers in southern Alberta, Canada. River Research and Applications, 19 (2): 123-135.

Rood, SB., W Tymensen. 2001. Recreational Instream Flow Needs (R-IFN) for Paddling along Rivers in Southern Alberta. Submitted to Alberta Environment. Lethbridge, AB. 36 p.

Slanley, P y D Zaldokas. 1997. Fish Habitat Rehabilitation Procedures. Watershed Restoration Technical Circular N°9. Watershed Restoration Program. Ministry of Environment, Lands and Parks, Vancouver, BC, Canada. 161 p.

Waal, L., A Large & P Wade. 1998. Rehabilitation of Rivers. Principles and Implementation. John Wiley & Sons, England. 331 p.

Welcomme, R. 1992. Pesca Fluvial. FAO. Doc. Tec. 262. Roma. 301 p.

#### 24. Pregunta 866 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Lo señalado respecto de la "erosión en términos biológicos" refleja claramente las deficiencias en la identificación y mitigación de los impactos del proyecto, no queda claro cómo el proyecto mitigaría dicho impacto, donde además se señala en la página 15 que se "amortiguarán los efectos de la fluctuación intradiaria de los caudales". Al mismo tiempo, el EIA señala que "todos los procesos biológicos se verán restringidos a aquella región inundada por el río bajo condiciones de caudal ecológico y el ambiente antrópico se verá regulado por el alza y disminución del caudal diariamente". Todo lo anterior corroboraría la situación de que el caudal ecológico no es la única medida necesaria para los sistemas, en el entendido que no es posible mantener las condiciones que da el caudal ecológico si el río es sometido a fluctuaciones muy importantes de caudales durante algunas horas.

#### Respuesta

El proceso de erosión del lecho es un fenómeno que ocurre en forma continua en los ríos, dado fundamentalmente por la magnitud del caudal y sus fluctuaciones. En

la figura siguiente se presenta el hidrograma de caudales instantáneos del río Baker en Colonia, donde se aprecia claramente que los caudales presentan variaciones significativas en forma permanente a través del año, dado el régimen de precipitaciones que presenta la zona. Esto conlleva a que la franja definida por el caudal máximo y mínimo histórico, este permanentemente sujeta a procesos erosivos, removiendo los organismos que ahí se encuentran, situación que fue constatada en la línea base (Anexo apéndice 4 del EIA, acápite 7.2 y 8.2), registrándose una baja riqueza y abundancia de organismos.

La operación de los embalses genera una fluctuación intradiaria de caudales durante el periodo con probabilidad excedencia de 85% (invierno), provocando una variación en los caudales equivalente a la fluctuación estacional que presentan los ríos. Como una forma de mitigar dicha alteración hidrológica y sus efectos sobre la flora y fauna acuática y considerando la importancia que revisten estos componentes ambientales, se incluyó como criterio de diseño del Proyecto, un caudal de operación mínimo que permitiera reducir significativamente sus potenciales impactos. Definiendo de este modo caudales de operación mínimos que sobrepasan el 40% del QMA, valor máximo establecido para el caudal ecológico, según la modificación del Código de Aguas (2005).

Sin perjuicio de lo anterior, el "Plan de manejo integrado del medio acuático (Anexo 1G de la presente Adenda), considera medidas de mitigación, reparación y/o compensación adicionales destinadas a asegurar la sustentabilidad de las poblaciones de peces en la cuenca de los ríos Baker y Pascua, así como también los diferentes usos antrópicos.

Adicionalmente, es importante señalar que Bain (2007) evaluó el efecto ambiental de 43 centrales hidroeléctricas que operan generando fluctuaciones de caudal intradiarias, a partir del cual se desprende que la oscilación de caudales generadas por la operación de las centrales en el río Baker y Pascua, producirán efectos menores en los ecosistemas acuáticos, dado que la razón entre los caudales máximos y mínimos para todas las centrales del PHA no superan las 3,6 veces, valor inferior a la razón de 10 veces señalada por Bain (2007), por sobre la cual los impactos de este tipo de fluctuación sobre los ecosistemas se consideran relevantes.

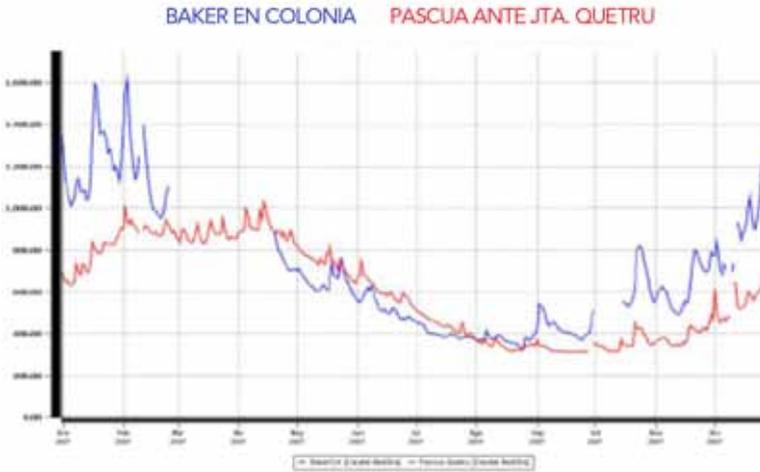


Figura A5-113: Hidrograma de caudales instantáneos registrados en las estaciones fluviométricas Baker en Colonia y Pascua Ante Junta Quetru (DGA, 2009)

### Literatura citada

Bain, M. 2007. Hydropower operation and environmental conservation: St Marys River, Ontario and Michigan. International Lake Superior Board of Control.

#### 25. Pregunta 867 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: En el EIA se destaca que “Los ecosistemas acuáticos presentes en el río Baker están en un régimen permanente de perturbaciones de tipo natural”, al respecto, no se hace referencia o comparación a estas condiciones “naturales” para justificar los caudales ecológicos, la operación del embalse, el cambio de ambiente lótico a léntico, entre otras, reafirmando además la necesidad de analizar las fluctuaciones diarias, la variación estacional e interanual del caudal ecológico.

#### Respuesta

El río Baker es un sistema en donde los factores físicos juegan un rol preponderante en la regulación de la dinámica de los ecosistemas acuáticos, los cuales constituyen un régimen de perturbaciones que mantiene su condición oligotrófica (ver Anexo 1D, Apéndice 4 “Modelo de calidad del agua en ríos Baker y Pascua” de la presente Adenda). Es así como el hidrograma que se incluye a continuación, presenta dos períodos muy marcados (aguas altas y bajas, ver figura siguiente), modulado principalmente por

la disminución de los aportes de origen glacial durante el invierno.

Al considerar los caudales instantáneos en el río Baker (Figura A5-115), se pueden observar importantes variaciones a escala diaria. Éstas responden a las precipitaciones, que ocurren durante todo el año. En tanto, el contenido de sólidos totales suspendidos, principalmente de origen glacial (Figura A5-116), limita bastante la penetración de la luz al agua, con excepción del invierno.

Otros factores que afectan fuertemente a los ecosistemas acuáticos son la temperatura (Figura A5-117), la latitud a la cual se encuentra el río Baker y la vecindad con la zona de Campos de Hielo, ya que les imprimen una condición térmica extrema. Estos factores generan un efecto sinérgico que regula la expresión de los ecosistemas acuáticos (Vincent y Laybourn-Parry 2008), dando como resultado una baja abundancia y una distribución restringida de los organismos detectados en la línea base que fue presentada en el EIA.

El caudal ecológico determinado para el río Baker (Anexo D, Apéndice 4 del EIA), permite mantener sin alteración la carga de sedimentos suspendidos finos, la calidad de agua y el régimen térmico (ver Anexo 1D, Apéndice 4: “Modelo de calidad del agua en ríos Baker y Pascua” de la presente Adenda).

No obstante, también provoca una modificación en el régimen del caudal a escala intradiaria.

Durante la operación de las centrales, se alcanzarán caudales menores a los mínimos históricos del río Baker, concentrándose principalmente en caudales con 85% de excedencia. Es importante señalar que los caudales medios diarios, estacionales e interanuales se mantendrán sin alteración.

Al respecto, los posibles efectos de la variación intradiaria de los caudales ("hydropeaking"), a partir de la revisión hecha por Bain (2007) de 43 casos reales de centrales hidroeléctricas que operan generando fluctuaciones de caudal intradiarias, se puede inferir que las centrales del PHA producirán efectos menores en los ecosistemas acuáticos. Lo anterior, debido a que sus fluctuaciones intradiarias de caudal no superan una proporción de 3,6 veces entre el efluente mínimo y el efluente máximo, en el escenario más desfavorable (Baker 1, caudal afluente de 85 % de excedencia).

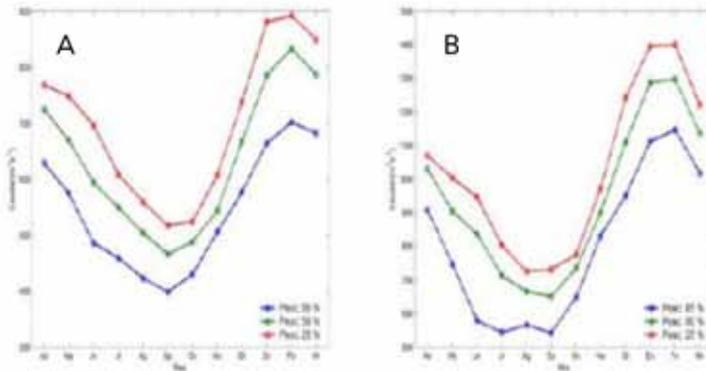


Figura A5-114: Curva de variación estacional de caudales en Río Baker en central Baker 1 (A) y central Baker 2 (B)



Figura A5-115: Hidrograma de caudales instantáneos registrados en las estaciones fluviométricas Baker en Colonia y Pascua Ante Junta Quetru (DGA, 2009)

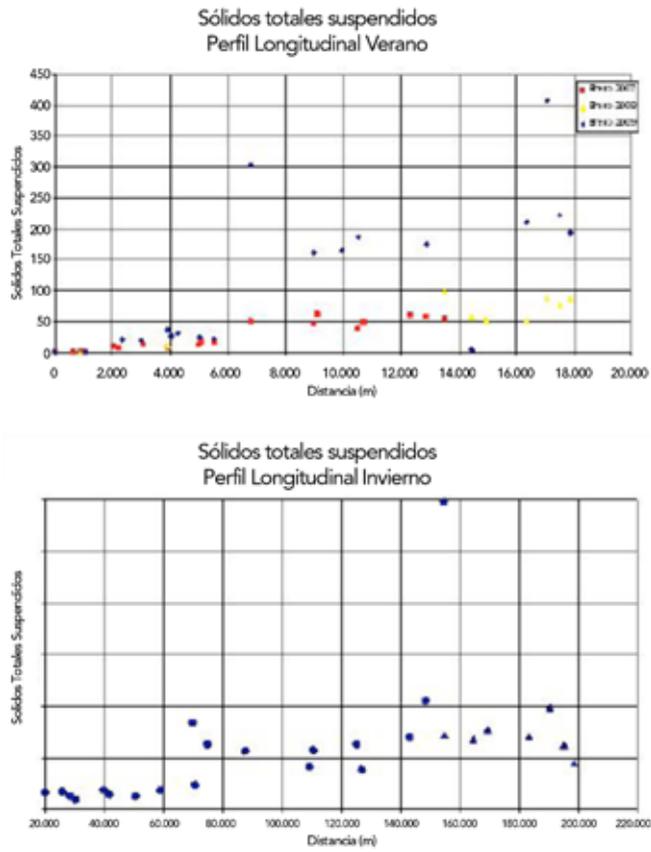


Figura A5-116: Concentración de Sólidos Totales Suspendidos a lo largo del río Baker en verano e invierno (mg/L).

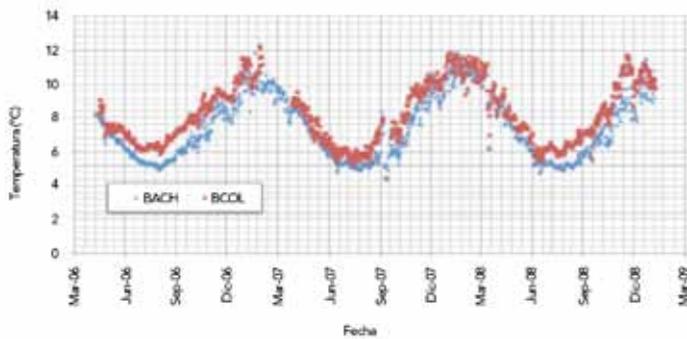


Figura A5-117: Temperaturas Medias Diarias Baker en Angostura Chacabuco (BACH) y Baker después junta con Río Colonia (BCOL), periodo 2006-2007.

### Literatura citada:

Bain, M. 2007. Hydropower operation and environmental conservation: St Marys River, Ontario and Michigan. International Lake Superior Board of Control.

Vincent, W and J Laybourn - Parry. 2008. Polar lakes and rivers: limnology of Arctic and Antarctic aquatic ecosystems. Oxford University Press, New York. 327 p.

#### 26. Pregunta 868 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: No se ha fundamentado que llevar el río a niveles menores o similares a su caudal mínimo histórico sea adecuado, con los antecedentes presentados parece complejo dejar el río en dicha condición en forma permanente, en especial en períodos secos.

### Respuesta

El caudal ecológico determinado para el río Baker y Pascua (Anexo D apéndice 4 del EIA), ha sido estimado sobre la base de los criterios disponibles en numerosas publicaciones científicas (Cowx and Welcomme 1998; González del Tanago y García de Jalón 1998; Hewitt 1934; Leclerc et al. 1996; Murphy and Munawar 1998; Slaney and Zaldokas 1997; Waal et al. 1998; Welcomme 1992; Gordon y col. 2004; Rood y Tymensen 2001; Rood y col. 2003; y Mosley 1983). Efectivamente durante la operación de las centrales se alcanzaran caudales menores a los mínimos históricos en los ríos, situación que ocurrirá exclusivamente con caudales de 85 % de probabilidad de excedencia. Es importante señalar que los caudales medios diarios, estacionales e interanuales se mantendrán sin alterar, por lo que la regulación de caudales derivados de la operación de las centrales no será permanente.

La aproximación metodológica utilizada para definir los caudales ecológicos implica justamente determinar los requerimientos mínimos de caudal, que satisfacen los bienes y servicios ecosistémicos del río, los cuales no necesariamente se vinculan con el mínimo histórico hidrológico. El análisis presentado en el EIA solamente podrá ser verificado mediante el programa de seguimiento ambiental, sin embargo, Bain (2007) evaluó el efecto ambiental de 43 centrales hidroeléctricas que operan generando fluctuaciones de caudal intradiarias, a partir del cual se desprende que la oscilación

de caudales generadas por la operación de las centrales en el río Baker y Pascua, producirán efectos menores en los ecosistemas acuáticos, dado que la razón entre los caudales máximos y mínimos para todas las centrales del PHA no superan las 3,6 veces, valor inferior a la razón de 10 veces señalada por Bain (2007), por sobre la cual los impactos de este tipo de fluctuación sobre los ecosistemas se consideran relevantes.

### Literatura citada

Bain, M. 2007. Hydropower operation and environmental conservation: St Marys River, Ontario and Michigan. International Lake Superior Board of Control.

Cowx, I y R Welcomme. 1998. Rehabilitation of Rivers for Fish. A study undertaken by the European Inland Fisheries Advisory Commission of FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Fishing News Books. 260 p.

González del Tanago, M y D García de Jalón. 1998. Restauración de Ríos y Riberas. Co-edición Fundación Conde del Valle de Salazar, Ediciones Mundiprensa, Madrid. 319 p.

Gordon ND, TA McMahon, BL Finlayson, GJ Gippel & RJ Nathan. 2004. Stream Hydrology - An introduction for ecologists. 2nd Edition, Wiley. Gore, JA y JM Nestler. 1988. Instream Flows in Perspective. *Rezul. Riv. Res. & Mngt.*, 2: 93-102.

Hewitt, E. 1934. *Hewitt's Handbook of Stream Improvement*. Marchbanks Press, N.Y. 82 p.

Leclerc, M., H Chapra, A Boudreault, Y Cote & S Valentin. 1996. *Proceedings of the Second IAHR Symposium on Habitats Hydraulics*. Ecohydraulics, 2000

Mosley, MP. 1983. Flow requirements for recreation and wildlife in New Zealand rivers- A review. *Journal of Hydrology (NZ)*, 22: 152-174.

Naiman, R. & R Bilby. 1998. *River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer-Verlag, New York, Inc, USA. 705 p.

Rood, SB., W Tymensen & R Middleton. 2003. A comparison of methods for evaluating instream flow needs for recreation along rivers in southern Alberta, Canada. *River Resaerch and Applications*, 19 (2): 123-135.

Rood, SB y W Tymensen. 2001. Recreational Instream Flow Needs (R-IFN) for Paddling Along Rivers in Southern Alberta. Submitted to Alberta Environment. Lethbridge, AB. 36 p.

Slaney, P y D Zaldokas. 1997. Fish Habitat Rehabilitation Procedures. Watershed Restoration Technical Circular N°9. Watershed Restoration Program. Ministry of Environment, Lands and Parks, Vancouver, BC, Canada. 161 p.

Waal, L., A Large & P Wade. 1998. Rehabilitation of Rivers. Principles and Implementation. John Wiley & Sons, England. 331 p.

Welcomme, R. 1992. Pesca Fluvial. FAO. Doc. Tec. 262. Roma. 301 p.

#### 27. Pregunta 870 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: No se ha tratado el impacto de especies introducidas v/s nativas en los embalses, donde se favorecería el desarrollo de truchas que podrían impedir el paso o desarrollo de especies nativas, por otra parte la información de flujos o migraciones aguas abajo de especies de los lagos de cabecera respecto de los ríos es muy insuficiente, o la posible inundación de saltos o accidentes en los ríos que quedan en área de inundación y que permitan la subida de salmónidos a sectores con especies nativas no se ha evaluado. Lo anterior, sumado a la posibilidad de turbinar el caudal ecológico, de tener embalses en serie, y de someter a fluctuaciones diarias de caudal, generarán una condición muy desfavorable para los peces y anfibios que no ha sido evaluada en su conjunto. En especial considerando que aún existen especies nativas con muy poca información y las serias deficiencias que presenta la Línea Base.

#### Respuesta

Es importante señalar que el estudio "Estimación del Caudal Ecológico del proyecto Hidroeléctrico Aysén", que formó parte del EIA como Anexo D, Apéndice 4, tuvo por objetivo central la modelación de los caudales a mantener en los ríos Baker y Pascua. Lo anterior, con el fin de preservar en ellos la biota presente y los usos antrópicos asociados a la navegación. Este estudio se sustentó en los requerimientos establecidos por la Dirección General de Aguas para el cálculo del caudal ecológico y la demanda hídrica ambiental.

Los caudales determinados en este estudio fueron incorporados como un criterio de diseño de las centrales, de tal forma que los caudales mínimos de operación establecidos para cada central (ver Cuadro 1.4-1 del EIA) son mayores a los determinados en el estudio antes mencionado. Este diseño asegura la minimización de los efectos del PHA en el cauce de los ríos, imponiendo un esquema de operación compatible con otras necesidades medioambientales de las cuencas aguas abajo de las centrales.

Por otra parte, en relación con el impacto de las especies de salmónidos introducidos y las especies nativas en los futuros embalses, el escenario más probable es que los futuros embalses sean colonizados mayoritariamente por especies introducidas (Monitoreo Pangué 1993-2000, en [www.endesa.cl](http://www.endesa.cl)). Esta situación no alterará de manera sustancial la actual presión que las especies introducidas ya ejercen sobre las nativas, tal como se puede apreciar en la Figura 4.4.3-18 del EIA, para el río Baker y en la Figura 4.4.3-32 del EIA, para el río Pascua.

El flujo de ejemplares de peces desde los lagos ubicados en los nacimientos de los ríos Baker y Pascua, forma parte de la descripción funcional de estos cursos de agua, en particular del modelo metapoblacional fuente-sumidero, propuesto para el río Baker en el acápite 4.4.3.4.3.6 del EIA. Este modelo es sustentando por el estudio de las barreras ecológicas presentes en los ríos, la distribución observada de las abundancias de la ictiofauna y el estudio de la genética de una especie ampliamente distribuida en la cuenca del río Baker, *Galaxias platei*, cuyos resultados in extenso se adjuntan en el Anexo 1D, Apéndice 7, Parte 2 "Estudio de genética de poblaciones: Estructuración geográfica de la diversidad genética de *Galaxias platei* en la cuenca del río Baker" de la presente Adenda. Sobre la base de este conjunto de evidencia, es que se postuló el aporte de la ictiofauna desde los diferentes cuerpos de agua lacustre a los ríos. Adicionalmente, en el "Plan de manejo integrado del medio acuático", que se adjunta en el Anexo 1G de la presente Adenda, se entregan resultados adicionales con respecto a la distribución y abundancia, los que sustentan el modelo meta poblacional fuente-sumidero propuesto. Ello ha sido la base para el desarrollo de un conjunto complementario de medidas de mitigación, restauración y compensación para las especies de peces presentes en la cuenca. Entre

ellas, se contempla la ejecución de estudios genéticos sobre otras especies, con el objetivo de determinar sus probables fuentes genético-poblacionales en cuerpos lacustres de la cuenca. Ello, con el fin de encontrar potenciales fuentes de ejemplares para re poblamiento en el caso de que el Plan de Seguimiento indique su pertinencia.

En relación con la posibilidad de que las futuras áreas de inundación posibiliten el acceso de las especies de salmónidos introducidos a zonas en las que actualmente no están presentes, cabe señalar que estas últimas especies se encuentran hoy en casi todas las cuencas de los ríos Baker y Pascua, tal y como se puede apreciar en la Figura 4.4.3-18 del EIA para el río Baker y en la Figura 4.4.3-32 del EIA para el río Pascua. La única excepción la constituye el lago Quetru, en la cuenca del río Pascua. Sin embargo, el PHA no afectará su desagüe sobre el río Pascua y, por ende, la conexión actual entre ambos cuerpos de agua se mantendrá en las mismas condiciones que presentan en la actualidad.

Finalmente, cabe señalar que el conjunto de la información entregada en la línea base de Flora y Fauna Acuática, presentada en el acápite 4.4.3 del EIA y elaborada a partir de 77 estaciones de muestreo en el río Baker y 25 en el río Pascua, a lo largo de seis campañas de muestreo, sumada a los antecedentes complementarios que se han incluido en el "Plan de manejo integrado del medio acuático" (Anexo 1G de la presente Adenda), permiten sostener que la caracterización realizada en la línea base permitió la adecuada descripción de este componente, además de una apropiada valoración de los impactos ambientales del Proyecto sobre él.

#### 28. Pregunta 871 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Se ha considerado la navegación en el establecimiento de los caudales ecológicos, sin embargo, existen otras actividades o aspectos que podrían generar nuevas situaciones a ser evaluadas: paisaje, arrastre de sedimentos y formación de islas, infraestructura en el río (puentes, barcaza Baker en Colonia), etc.

#### Respuesta

Tal como se indica en detalle en el Anexo D, Apéndice 4 del EIA, para la determinación del caudal ecológico se consideraron los siguientes aspectos:

- Requerimientos de la flora y fauna acuática.
- Navegación tipo taxeo.
- Navegación tipo vadeo.
- Requerimientos de barcaza Baker en Cochrane (barcaza Baker en Colonia no está en una sección crítica).
- Pesca deportiva embarcado.
- Paisaje a través del análisis de perímetro mojado y secciones transversales críticas, sobre la base de mantención del escurrimiento.
- Derechos de agua de terceros.

A partir éstos aspectos, se pudo establecer que los mayores requerimientos de caudal están vinculados a la navegación de tipo taxeo en escenarios de caudal de 85% de probabilidad de excedencia. Por lo cual es bastante probable que cualquier otro servicio ecosistémico este cubierto por la demanda de caudal originada por la navegación.

Finalmente, cabe señala que el PHA, teniendo en consideración los resultados de éste estudio de caudal ecológico, ha establecido un caudal mínimo de operación para cada central, mayor que el caudal ecológico determinado en el estudio antes citado.

#### 29. Pregunta 872 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Respecto de la Tabla 1, cabe señalar que no se ha justificado adecuadamente la selección del valor más bajo estimado entre las metodologías presentadas, en general el 10% del caudal medio anual es utilizado por la DGA para los derechos de aprovechamiento de aguas, sin un fundamento ecológico o de otro tipo, sólo hidrológico. Por otra parte, se debe considerar la estacionalidad, que el río Del Salto tiene dos brazos diferentes, que el río en varios kilómetros quedaría sólo con el caudal ecológico, que no queda claro si existe embalse o el tipo de bocatoma del la central, y todas las particularidades de dicho sistema y proyecto.

#### Respuesta

La zona que está afecta a caudal ecológico, corresponde al tramo de pendiente fuerte, donde se sitúan los brazos del río Del Salto,

denominados Mellizo 1 y Mellizo 2. Este tramo del río no corresponde a un Área de Interés Ambiental (AIA), debido a su condición de flujo torrentoso y a una caída de casi 80 m de altura en menos de 600 m de extensión, razón por la cual también es considerado como una barrera ecológica/hidráulica para el desplazamiento de la fauna íctica.

Dada la ausencia de elementos ambientales identificados como AIA, el caudal ecológico fue estimado como 10% del caudal medio anual ( $Q=3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ), el cual satisface los requerimientos mínimos que aseguran mantener agua escurriendo en esa zona.

El cálculo del caudal ecológico presentado en el EIA (Anexo D, Apéndice 4), consideró, de modo conservador, estimar de todas formas el caudal ecológico en la zona de meandros, aguas abajo del punto de restitución. Ello, a pesar de que la central carece de capacidad de regular el caudal afluente (central de pasada). Para dicha estimación se aplicaron las diversas metodologías (hidrológicas, hidráulicas y simulación de hábitat), llegando a concluir que el caudal de  $Q=3,4 \text{ m}^3/\text{s}$  es suficiente para mantener la altura media de escurrimiento mayor o igual a 20 cm, necesaria para mantener los desplazamientos de los peces. No obstante lo anterior, y en función de lo estipulado en el derecho de aprovechamiento de aguas otorgado al Titular en el río Del Salto (Res. DGA N°135 del 7-02-96, mencionado en el Cuadro 1.1-5, del Capítulo 1 del EIA), el cual establece un caudal de  $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , se ha definido este último valor como el caudal ecológico considerado en el diseño de la central Del Salto.

En relación con la descripción de la central de abastecimiento Del Salto, ella se presenta en el acápite 1.2.3.2 del EIA y, de forma complementaria, en las respuestas a las observaciones de la presente Adenda. Cabe mencionar que el nivel del agua que generará la central en la barrera móvil del Mellizo 1, corresponde al nivel 300 m (altura elipsoidal), nivel que normalmente alcanza el escurrimiento de las aguas todos los años, en la temporada de mayores caudales, en el sector de la bifurcación de los Mellizos (condición simulada con el modelo de eje Hidráulico HEC-RAS). De lo anterior se desprende que la modificación del nivel de escurrimiento, producto de la instalación de esta central, se limita al cauce del río Del Salto, sin comprometer a los predios ribereños.

### 30. Pregunta 873 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Respecto de las Tablas 2, 3 y 6, cabe señalar que caudales similares o inferiores al mínimo histórico deben ser justificados en forma más adecuada. Gran parte de las metodologías utilizadas, sólo sirven de referencia y son utilizadas para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento, siendo necesario en el SEIA una evaluación más específica basada principalmente en la Línea Base y los objetivos esperados para el sistema aguas abajo de las presas, y no sólo criterios hidrológicos. El Q347 según la metodología debe ser aumentado según una serie de condiciones en materias de caudal ecológico, aspecto que no ha sido analizado en detalle. Además, no se ha considerado la estacionalidad en los caudales, en especial considerando lo señalado en Baker "...las principales variaciones en la comunidad podría ser la consecuencia de cambios estacionales y/o interanuales, que tendrían un componente ambiental relacionadas con las lluvias y épocas de deshielo".

### Respuesta

La metodología para el cálculo del caudal ecológico de las centrales del Proyecto Hidrológico Aysén (PHA), se sustenta en los requerimientos establecidos por la DGA en el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos de la DGA, en lo que se refiere al cálculo del caudal ecológico y demanda hídrica ambiental. Los requerimientos establecidos se resumen en los siguientes puntos: i) Determinación de los caudales ecológicos utilizando métodos hidrológicos y ii) Verificación del caudal ecológico utilizando métodos hidrobiológicos, mediante modelación numérica de simulación de hábitat.

El procedimiento utilizado para determinar el caudal ecológico de los ríos Baker, Pascua y Del Salto (Anexo D, Apéndice 4 del EIA), consistió en identificar Áreas de Importancia Ambiental desde una perspectiva ecosistémica (AIA). Esto se tradujo en identificar áreas con valor para la biodiversidad acuática, así como también para los diferentes usos antrópicos que se realizan en los ríos, como navegación (balseo mayor, balseo menor, taxeo, entre otros) y pesca deportiva (pesca embarcado y desde orilla). Lo anterior se plasmó en una cartografía específica, donde se identificó cada una de las Áreas de Importancia Ambiental (ver Figura 60 "Río Del Salto", figuras 132 y 133 "Río Baker" y Figura 266 "Río Pascua", Anexo D, Apéndice 4 del EIA).

Posteriormente, se desarrolló un análisis integrado a través del cual se determinaron y compararon los requerimientos hídricos para cada una de las Áreas de Importancia Ambiental, escogiendo en forma conservadora aquellas con mayor requerimiento de caudal para definir el caudal ecológico para cada río (acápites 9.1, 9.2 y 9.3 del Anexo D, Apéndice 4 del EIA). De esta manera, se obtuvieron los caudales ecológicos apropiados para mantener la biodiversidad acuática y los usos antrópicos, antecedentes que fueron utilizados para determinar los caudales mínimos de operación para cada central.

En las tablas 2, 3 y 6 del Anexo D, Apéndice 4, se describe un análisis comparativo entre métodos hidrológicos v/s métodos hidrobiológicos. En la primera columna, se señalan diferentes índices hidrológicos para el cálculo del caudal ecológico, mientras que en las columnas restantes se detallan índices derivados de la simulación de hábitat. Los resultados en detalle de la modelación numérica de simulación de hábitats, basados en los antecedentes obtenidos en la línea base, se encuentran en los acápites 7.3 y 8.3 (Anexo D, Apéndice 4 del EIA).

La operación de las centrales en los ríos Baker y Pascua producirá efectivamente fluctuaciones de caudal a escala intradiaria. Sin embargo, la operación no afectará los caudales medios diarios ni estacionales.

Finalmente, cabe señalar que los caudales mínimos de operación definidos para cada una de las centrales de los ríos Baker y Pascua (acápite 1.4.1.1 del EIA) superan los caudales ecológicos determinados para cada una de ellas en el Anexo D, Apéndice 4 del EIA.

### 31. Pregunta 874 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: En las tablas 2, 3 y 6 no es posible encontrar los valores de caudal 198m<sup>3</sup>/s, 321m<sup>3</sup>/s y 351 m<sup>3</sup>/s, que son señalados en el Informe para caudal ecológico de las centrales Baker 1, Baker 2 y Pascua 2.2 respectivamente. Se solicita presentar dichos valores claramente en las tablas respectivas.

### Respuesta

Se rectifican las tablas 2, 3 y 6 del Anexo D Apéndice 4 del EIA, a las cuales se les incorporó los valores del caudal ecológico y sus respectivos análisis: Qecol Baker 1 198 m<sup>3</sup>/s, Baker 2 321 m<sup>3</sup>/s y Pascua 2.2 260 m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 2. Cuadro resumen de valores usados para definición del caudal ecológico de Central Baker 1. (Q10) corresponde al Caudal Ecológico (Qecol).**

		Valor [m <sup>3</sup> /s]	Req. Ambiental [%]	Hab. Prof. Adultos [%]	Superficie Hábitat [%]	Superficie erosión [%]	Oscilación Caudales [%]
	Balseo mayor	365	-	-	-	-	-
	Taxi (80 cm)	212	-	-	-	-	-
% respecto de Q9	Q1 10% Medio Anual	66	60	67	40	74	130
	Q2 20% Medio Anual	132	48	54	28	63	120
	Q3 50% del 95%	196	39	44	21	53	110
	Q4 Min. Oper.	260	32	37	16	46	98
	Q5 Min ST	319	26	32	13	42	92
	Q6 Q347	433	17	19	8	35	75
	Q7 Q330	468	14	15	7	32	69
	Q8 Q85%	493	12	13	5	31	65
	Q9 Q Medio Anual	663	0	0	0	21	40
	Q10 Qecol	198	37	43	19	50	96
% respecto de Q8	Q1 10% Medio Anual	66	55	61	37	82	175
	Q2 20% Medio Anual	132	41	46	25	69	161
	Q3 50% del 95%	196	32	36	17	59	148
	Q4 Min. Oper.	260	23	27	12	51	131
	Q5 Min ST	319	17	21	8	46	123
	Q6 Q347	433	5	7	3	38	100
	Q7 Q330	468	2	3	2	36	93
	Q8 Q85%	493	0	0	0	34	88
	Q9 Q Medio Anual	663	-14	-15	-5	23	54
	Q10 Q ecol	198	29	34	15	56	145
% respecto de Q5	Q1 10% Medio Anual	66	47	51	31	94	270
	Q2 20% Medio Anual	132	30	32	18	79	249
	Q3 50% del 95%	196	18	19	9	67	229
	Q4 Reg. Oper.	260	8	8	4	58	203
	Q5 Min ST	319	0	0	0	53	191
	Q6 Q347	433	-14	-19	-6	44	155
	Q7 Q330	468	-18	-25	-7	41	144
	Q8 Q85%	493	-20	-28	-9	39	136
	Q9 Q Medio Anual	663	-37	-47	-15	27	83
	Q10 Q ecol	198	14	15	6	64	219

**Tabla 3. Cuadro resumen de valores usados para definición del caudal ecológico de Central Baker 2. (Q10) corresponde al Caudal Ecológico (Qecol).**

		Valor [m <sup>3</sup> /s]	Req. Ambiental [%]	Hab. Prof. Adultos [%]	Superficie Hábitat [%]	Superficie erosión [%]	Oscilación Caudales [%]
	Taxi (80 cm)	305	-	-	-	-	-
% respecto de O9	Q1 10% Medio Anual	95	60	75	25	85	122
	Q2 20% Medio Anual	190	47	60	40	75	112
	Q3 50% del 95%	221	44	56	44	72	109
	Q4 Min. Oper.	380	30	41	59	61	92
	Q5 Min ST	429	26	38	62	59	87
	Q6 Q347	559	19	28	72	52	73
	Q7 Q330	629	15	23	77	48	66
	Q8 Q85%	667	13	20	80	46	61
	Q9 Q Medio Anual	948	0	0	100	30	32
	Q10 Q ecol	321	36	46	51	67	101
% respecto de O8	Q1 10% Medio Anual	95	54	69	31	102	173
	Q2 20% Medio Anual	190	39	49	51	90	159
	Q3 50% del 95%	221	35	45	55	87	154
	Q4 Min. Oper.	380	20	26	74	74	130
	Q5 Min ST	429	16	22	78	70	123
	Q6 Q347	559	7	10	90	62	104
	Q7 Q330	629	2	4	96	58	93
	Q8 Q85%	667	0	0	100	55	87
	Q9 Q Medio Anual	948	-16	-26	126	35	45
	Q10 Q ecol	321	28	35	65	80	143
% respecto de O5	Q1 10% Medio Anual	95	46	61	39	120	269
	Q2 20% Medio Anual	190	27	35	25	106	247
	Q3 50% del 95%	221	23	30	21	102	240
	Q4 Req. Oper.	380	5	5	4	87	203
	Q5 Min ST	429	0	0	0	83	191
	Q6 Q347	559	-11	-15	-10	73	161
	Q7 Q330	629	-17	-23	-16	68	145
	Q8 Q85%	667	-20	-28	-19	65	136
	Q9 Q Medio Anual	948	-40	-60	-42	42	70
	Q10 Q ecol	321	15	19	14	95	223

**Tabla 6. Cuadro resumen de valores usados para definición del caudal ecológico Pascua 2.2. (Q10) corresponde al Caudal Ecológico (Qecol).**

		Valor [m <sup>3</sup> /s]	Req. Ambiental [%]	Hab. Prof. Adultos [%]	Superficie Hábitat [%]	Superficie erosión [%]	Oscilación Caudales [%]
	Taxi (80 cm)	300	-	-	-	-	-
% respecto de Q9	Q1 10% Medio Anual	70	49	76	55	58	129
	Q2 20% Medio Anual	140	40	61	41	45	119
	Q3 50% del 95%	212	34	50	35	38	109
	Q4 Min. Oper.	280	29	42	28	33	100
	Q5 Min ST	356	23	33	22	28	89
	Q6 Q347	411	19	26	18	25	81
	Q7 Q330	448	16	22	15	22	76
	Q8 Q85%	456	16	22	15	22	75
	Q9 Q Medio Anual	703	0	0	0	9	39
	Q10 Q ecol	260	31	36	30	35	102
% respecto de Q8	Q1 10% Medio Anual	70	42	69	47	59	200
	Q2 20% Medio Anual	140	31	50	31	46	184
	Q3 50% del 95%	212	23	36	23	38	168
	Q4 Min. Oper.	280	16	26	15	33	154
	Q5 Min ST	356	9	14	9	28	137
	Q6 Q347	411	4	6	4	25	125
	Q7 Q330	448	0	1	0	23	117
	Q8 Q85%	456	0	0	0	23	115
	Q9 Q Medio Anual	703	-20	-28	-17	9	61
	Q10 Q ecol	260	18	29	17	35	159
% respecto de Q5	Q1 10% Medio Anual	70	37	64	42	71	256
	Q2 20% Medio Anual	140	25	41	24	55	236
	Q3 50% 95% del Min. Oper.	212	16	26	16	47	216
	Q4 280	8	13	7	40	197	
	Q5 Min ST	356	0	0	0	34	175
	Q6 Q347	411	-6	-9	-5	31	160
	Q7 Q330	448	-10	-16	-9	28	149
	Q8 Q85%	456	-11	-16	-10	27	147
	Q9 Q Medio Anual	703	-34	-49	-29	11	78
	Q10 Q ecol	260	11	18	11	41	203

## 32. Pregunta 875 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Respecto de las Tablas 1 a 6, no se ha considerado las Modificaciones del Código de Aguas del año 2005, en términos de incorporar el 20% o el 40% del Caudal Medio Anual en el análisis.

**Respuesta**

Las tablas 2, 3 y 6 del Anexo D, Apéndice 4 del EIA, consideraron las Modificaciones del Código de Aguas del año 2005. De este modo, (Q1) corresponde al 10% QMA, (Q2) al 20% QMA y (Q4) al caudal mínimo de operación (equivalente al 40 % QMA). Las tablas 1, 4 y 5 incorporaron exclusivamente el análisis del 10 % QMA, debido al bajo Valor Ambiental determinado para las centrales Del Salto, Pascua 1 y Pascua 2.1.

## 33. Pregunta 878 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Se cuestiona la elección de las especies objetivo para la determinación de sus requerimientos de hábitat, basando el análisis únicamente en función de las especies para las cuales se dispone de información. En este sentido, es indispensable y fundamental mejorar la cantidad y calidad de la información de línea base existente, con el fin de extender el análisis de simulación de hábitat a las especies que efectivamente habitan en los tramos de ríos que serán afectados.

**Respuesta**

La inclusión de *T. areolatus* y *D. nahuelbutaensis* como especies indicadoras para el cálculo del caudal ecológico (Anexo D, Apéndice 4 del EIA), responde a que éstas presentan curvas de habitabilidad validadas en publicaciones científicas (EULA 2000; García-Lancaster et al. 2009). Además, son especies funcionalmente comparables a las que están presentes en los ríos Baker y Pascua. Por lo tanto, las modelaciones realizadas representan adecuadamente a las especies detectadas y descritas en la línea base del EIA (acápites 4.4.3 del Capítulo 4 del EIA).

**Literatura citada**

EULA. 2000. Determinación del caudal mínimo ecológico del proyecto hidroeléctrico Quilleco en el río Laja, considerando variables asociadas a la biodiversidad y disponibilidad de hábitat. Informe de Asistencia Técnica, 120p.

García-lancaster, A., J González, P Piedra & E Habit. 2009. Depth and flow velocity thresholds to

describe Habitat use of native fish species in the San Pedro River, Chile. 7th International Symposium on Ecohydraulics, Chile.

## 34. Pregunta 879 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: No debe considerarse como impacto positivo la reducción de caudales para los estados juveniles de alevines, ya que los fuertes pulsos de inundación que seguirán a las bajas de caudal, provocarán una serie de alteraciones asociadas a las poblaciones ícticas. La nueva dinámica fluvial impuesta provocará efectos sobre los desplazamientos de las especies, alteración de zonas de alimentación, refugio y desove, junto a episodios de posible varazón de individuos con menores capacidades de desplazamiento, entre otros.

**Respuesta**

El análisis de simulación de hábitat considera la evaluación de cambios en la calidad de los mismos, derivados de variaciones en los caudales (Cowx y Welcomme 1998; González del Tanago y García de Jalon 1998; Hewitt 1934; Leclerc et al. 1996; Murphy y Munawar 1998; Slaney y Zaldokas 1997; Waal et al. 1998; Welcomme 1992). De este modo, un aumento en la disponibilidad de hábitats someros durante la operación de las centrales, con caudales con probabilidad de 85% de excedencia, podría interpretarse como un efecto positivo para los estados juveniles de la fauna íctica. Sin embargo, al considerar otros efectos, como cambios en la velocidad de escurrimiento durante las fluctuaciones intradiarias de caudal, podría disminuir la calidad de dichos hábitats.

Es importante señalar que en las áreas de importancia ecológica, definidas en el Anexo D, Apéndice 4 del EIA, no se registrarán "fuertes pulsos de inundación". Los cambios en los niveles hidrométricos serán de naturaleza similar a lo que se observa con los cambios diarios de marea en las zonas litorales. Para mayor detalle, en el cuadro siguiente se presentan las variaciones máximas asociadas a la operación de las centrales, para un caudal afluente de 85% de excedencia, que corresponde al escenario más desfavorable.

Sin perjuicio de lo anterior, es posible señalar que el potencial impacto positivo de la reducción de caudales para los estados juveniles, no fue considerado en la determinación del caudal ecológico para los ríos Baker y Pascua.

**Cuadro A5-156: Variación de nivel de los ríos Baker y Pascua. Caudales afluentes corresponden a caudales con 85% de probabilidad de excedencia**

Río	Sector	Altura de escurrimiento máxima [m]	Altura de escurrimiento mínima [m]	Tasa media de ascenso [m/h]
Baker	Confluencia río Del Salto	6,1	4,4	0,3
	Valle Grande	5,0	4,0	0,2
	Confluencia río Ventisquero	8,5	6,1	0,5
	Confluencia río Vargas	8,5	6,6	0,3
Pascua	Confluencia desagüe Lago Quetru	8,1	6,5	0,5
	Confluencia río Bergues	9,8	7,7	0,4
	Confluencia río Bórquez	5,0	2,6	0,4

#### Literatura citada

Cowx, I y R Welcomme. 1998. Rehabilitation of Rivers for Fish. A study undertaken by the European Inland Fisheries Advisory Commission of FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Fishing News Books, 260 p.

González del Tánago, M y D García de Jalón. 1998. Restauración de Ríos y Riberas. Co-edición Fundación Conde del Valle de Salazar, Ediciones Mundiprensa, Madrid, 319 p.

Hewitt, E. 1934. Hewitt's Handbook of Stream Improvement. Marchbanks Press, N.Y, 82 p.

Leclerc, M., H Chapra, A Boudreault, Y Cote & S Valentín. 1996. Proceedings of the Second IAHR Symposium on Habitats Hydraulics, Ecohydraulics, 2000.

Naiman, R y R Bilby. 1998. River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion. Springer-Verlag, New York, Inc, USA. 705 p.

Slaney, P y D Zaldokas. 1997. Fish Habitat Rehabilitation Procedures. Watershed Restoration Technical Circular N°9. Watershed Restoration Program. Ministry of Environment, Lands and Parks, Vancouver, BC, Canada.161 p.

Waal, L., A Large & P Wade. 1998. Rehabilitation of Rivers. Principles and Implementation. John Wiley & Sons, England. 331 p.

Welcomme, R. 1992. Pesca Fluvial. FAO. Doc. Tec. 262. Roma, 301 p.

#### 35. Pregunta 880 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Se requiere que el titular pueda determinar claramente como se abordarán las medidas de mitigación para los efectos asociados a

un cambio en el esfuerzo de corte, que será provocado por las reducciones de caudal y que derivará en un recambio de la composición de las especies de flora y fauna bentónica al interior del lecho del río.

#### Respuesta

El estudio de caudales ecológicos (Anexo D apéndice 4 del EIA) incorporó un análisis detallado de la distribución de velocidades en la sección transversal de los ríos, mediante el uso de un sistema Rivercat Doppler, que entrega resultados como los que se puede apreciar en la figura siguiente. Esos datos integrados al modelo hidráulico, permitieron determinar que los hábitats favorables para la flora y fauna acuática se encuentran en zonas litorales, donde el esfuerzo de corte es inferior a aquel que genera arrastre de los organismos. Es importante indicar que los ríos Baker y Pascua mantienen una carga permanente de sedimentos suspendidos que limitan la penetración de la luz en el agua, lo cual restringe a la flora no vascular a las zonas litorales.

Durante la operación de los embalses se provocará una reducción de los caudales mínimos en condiciones de 85% de probabilidad de excedencia a escala intradiaria, lo cual modificara principalmente el esfuerzo de corte en la sección media del río, donde no se desarrolla la flora y fauna acuática. Por lo cual se espera que la composición de la flora y fauna acuática litoral no se modifique, debido a cambios en el esfuerzo de corte. En razón de lo anterior, no se estima necesario incluir medidas adicionales a las ya señaladas en el Capítulo 6 del EIA, las que se hacen cargo de los impactos identificados para la Flora y Fauna Acuática. Medidas que han sido ampliadas y complementadas mediante el desarrollo de un "Plan de manejo integrado del medio acuático" que se adjunta como Anexo 1G de la presente Adenda.

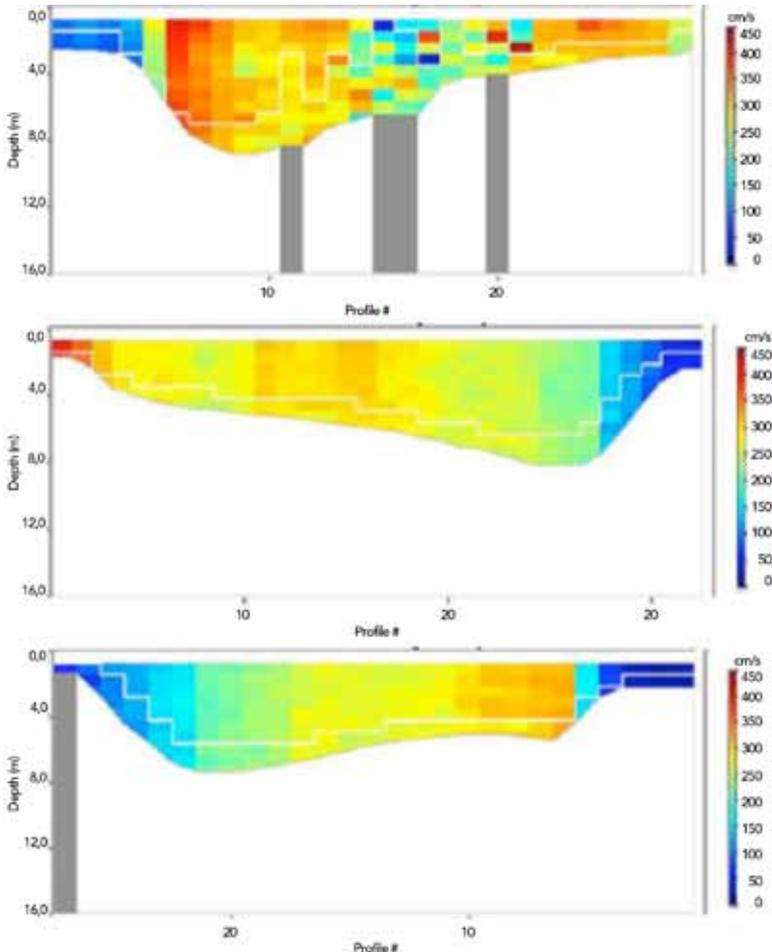


Figura A5-127: Distribución de velocidades en secciones transversales del río Baker, sector confluencia río Del Salto. Velocidad (cm/s), color azul corresponde a hábitats con velocidades favorables para la flora y fauna acuática.

### 36. Pregunta 881 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Es necesario que la simulación de hábitat que se realizó incorpore no solo la velocidad de escurrimiento y profundidad del cauce, sino que también la granulometría del sustrato, para poder evaluar de forma más integral aquellas variables críticas que determinan los requerimientos de las especies.

#### Respuesta

Tal como se indica en el acápite 5.2.3 del Anexo D apéndice 4 del EIA, la metodología para la caracterización hidráulica, morfológica y de

hábitat, incluyó mediciones de la granulometría del sedimento, en base a la metodología propuesta por Bunte y Abt (2001) para la obtención de las curvas granulométricas del sustrato superficial del cauce, cuyos resultados se pueden ver en la Tabla 32 para el caso del río Baker y la Tabla 58 para el río Pascua.

Sin embargo, los análisis estadísticos realizados a través de la integración de los datos (acápite 7.2 río Baker y 8.2 río Pascua), demostraron que el aspecto más importante para definir la habitabilidad de los peces, fue la presencia de condiciones hidrodinámicas favorables.

Estas condiciones favorables se generan principalmente en las zonas con desarrollo lateral (plataformas, meandros y brazos secundarios), las que fueron consideradas en la determinación de los caudales ecológicos.

### Literatura citada

Bunte K y S Abt. 2001. Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel-and cobble-bed streams for analyses in sediment transport hydraulics and streambed monitoring. Gen. Tech. Report. RMRS-GTR-74. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 428 p.

#### 37. Pregunta 884 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: No se aborda debidamente cuales serán los cambios efectivos que se producirán en el lecho del río, para aquella sección que no estará sujeta directamente a las condiciones de variación diaria de caudales, esto en cuanto a la caracterización de la nueva morfología del cauce, o los cambios que se producirán sobre el tipo de sustrato del lecho, y que condicionarán de manera directa la disponibilidad real de hábitat. En este sentido, es preciso que se detallen los cambios antes mencionados para secciones representativas del tramo que estará sujeto a la aplicación de Caudal ecológico y no únicamente para 2 puntos (caso Baker 1 y 2).

#### Respuesta

Cabe señalar que el Estudio de Caudal Ecológico desarrollado en el marco del PHA, que se anexó como Anexo D, Apéndice 4 del EIA, abarcó las extensiones completas de los ríos Baker y Pascua, tramos sobre los cuales se definió un caudal mínimo o ecológico, el cual permite satisfacer los requerimientos de los usuarios del recurso, incluyendo las especies hidrobiológicas. En este estudio, se realizó una extensa descripción de las condiciones hidráulicas, morfológicas, de calidad de agua y de la biota acuática a lo largo de todo el río Pascua y del río Baker, incluyendo lagos y lagunas conectadas hidrológicamente, tributarios y el sector del estuario de los ríos Baker y Pascua. Por lo tanto, su alcance y conclusiones no se restringieron a sólo dos puntos en el río Baker o Pascua.

Respecto a los sectores que no estarán sujetos a las condiciones de variación diaria de caudales, cabe indicar que estos tramos de los ríos forman

parte de la zona de faenas. Por lo tanto, se han evaluado como pérdida de hábitat en el acápite 5.4.4.1 del EIA, asociado al impacto "Pérdida de hábitat lótico por la construcción de las obras civiles de la presa" (MB-FFA-CON-01).

#### 38. Pregunta 885 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Respecto al cálculo del eje hidráulico para el caso de la Central Del Salto, se requiere que se utilicen los perfiles que efectivamente corresponden a la zona afecta a Caudal ecológico para dicha simulación y no como fue desarrollado, en base a un análisis que se centra aguas abajo del punto restitución de las aguas (zona no afecta a Caudal ecológico).

#### Respuesta

La zona que está afecta a caudal ecológico corresponde al tramo de pendiente fuerte, donde se sitúan los saltos denominados Los Mellizos. Este tramo de río, intrínsecamente, no corresponde a un hábitat favorable para la flora y fauna acuática, por la condición de flujo torrentoso y de caída libre. De hecho, este sector es considerado una barrera ecológica/hidráulica para el desplazamiento de la fauna íctica.

En un tramo con régimen súper crítico de esas características, la altura de escurrimiento tiende a ser somera (por definición, menor a la altura crítica) y las velocidades muy altas. Bajo estas condiciones, el uso del modelo de simulación hidráulica no se justifica.

Dada la ausencia de elementos ambientales relevantes en este sector, el caudal ecológico fue estimado como 10% del caudal medio anual ( $Q=3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ), el cual satisface los requerimientos mínimos que aseguran mantener agua escurriendo en esa zona.

El cálculo del caudal ecológico presentado en el EIA (Apéndice 4, Anexo D) consideró, de modo conservador, estimar de todas formas el caudal ecológico en la zona aguas abajo del punto de restitución. En esa zona de meandros, se aplicaron las diversas metodologías (hidrológicas, hidráulicas y simulación de hábitat), llegando a concluir que el caudal de  $Q=3,4 \text{ m}^3/\text{s}$  es suficiente para mantener la altura media de escurrimiento mayor o igual a 20 cm en las Áreas de Valor Ambiental (definidas en el estudio antes mencionado) que requiere la actividad de pesca. No obstante lo anterior, y en función de lo estipulado en el derecho de

aprovechamiento de aguas otorgado al Titular en el río Del Salto (Res. DGA N°135 del 7-02-96, mencionado en el Cuadro 1.1-5, del Capítulo 1 del EIA), el cual establece un caudal de 3,6 m<sup>3</sup>/s, se ha definido este último valor como el caudal ecológico considerado en el diseño de la central Del Salto.

La diferencia de altura entre la obra de toma y la obra de restitución, es de aproximadamente 85 m, los cuales se desarrollan en una longitud de aproximadamente 1 km de río. Esta diferencia da cuenta de una pendiente empinada del orden de un 8-9%.

En razón de lo anteriormente expuesto, se considera que el cálculo del caudal ecológico para la central de abastecimiento de faenas Del Salto, está correctamente desarrollado y responde a los objetivos de conservación propuestos, atendiendo a las características de los hábitats afectados.

#### 39. Pregunta 886 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: No queda clara la determinación de los tramos específicos que quedarán afectos a Caudal ecológico, aguas abajo del punto de restitución (central Baker 1 y 2), en este sentido se propone considerar las áreas definidas como "Zona de influencia del proyecto" que se mencionan en la página 125 del presente apéndice, considerando según palabras del titular que "corresponderían a los tramos en los que se detectaría una variación en la altura de escurrimiento debido a la regulación intradiaria de las centrales". (Baker 1: tramos que va desde la presa hasta el embalse Baker 2; Baker 2: entre la presa y desembocadura del río Baker). Así, los análisis y cálculos respectivos deberían considerar toda la extensión del río para tales fines.

#### Respuesta

Para la determinación del caudal ecológico de las centrales Baker 1 y Baker 2, se utilizaron los siguientes tramos: Central Baker 1 hasta cola del embalse Baker 2 y Central Baker 2 hasta desembocadura (Anexo D, apéndice 4 del EIA). En las figuras 91, 137, 160 y 161 se indica que la extensión del análisis para el caudal de Baker 1 se extendió hasta la cola del embalse Baker 2 y en la Figura 214 se indica la extensión de análisis para Baker 2 hasta la desembocadura.

Es importante señalar que la línea de base de aspectos físicos, hidrológicos, hidráulicos,

calidad del agua y flora y fauna acuática involucró el río Baker en toda su extensión, lo que permite establecer que los análisis y cálculos realizados para la determinación del caudal ecológico de las centrales Baker 1 y Baker 2 incorporan al río desde su nacimiento hasta la desembocadura.

#### 40. Pregunta 887 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Es de carácter prioritario asegurar que todos los usos definidos para el río Baker no se vean afectados en mayor medida por la operación del proyecto, por lo que se requiere que el caudal ecológico definido con métodos antrópicos (365 m<sup>3</sup>/s) para el caso de la central Baker 1, sea recalculado considerando valores mayores que no pongan en riesgo los usos asociados al transporte en la zona de El Balseo. Esto debido a que se menciona claramente que bajo experiencia empírica se ha producido una interrupción del transporte bajo el valor de caudal ecológico que fue propuesto.

#### Respuesta

El funcionamiento de la central Baker 1 no afectará el régimen de caudales mensuales, ni tampoco los caudales promedios diarios del río Baker, pero sí generará una variación intradiaria de los caudales. Considerando tal efecto, se implementó un Estudio de Caudal Ecológico para el río Baker en los tramos de influencia de ambas centrales ("Estimación del caudal ecológico del Proyecto Hidrológico Aysén"), el cual se presentó en el Anexo D, Apéndice 4 del EIA.

Para la central Baker 1, se planteó un caudal ecológico de 198 m<sup>3</sup>/s (equivalente a una disminución superficial máxima del 15% en los parámetros hidrobiológicos), centrado en conservar las condiciones de habitabilidad biológica en la zona de caudal ecológico.

Los requerimientos mínimos para mantener la navegación a lo largo del río (secciones críticas para la navegación tipo taxeo y de balseos menores, los que permiten la conectividad entre las comunidades locales) y para la operación de la balsa en el sector denominado El Balseo, corresponde a 212 m<sup>3</sup>/s y 365 m<sup>3</sup>/s, respectivamente.

Dado que el caudal mínimo de operación de la central Baker 1 es de 260 m<sup>3</sup>/s (ver Cuadro 1.4-1 del EIA), el cual satisface los requerimientos de la navegación tipo taxeo y balseos menores, pero no los de la balsa localizada en el sector

de El Balseo, en el acápite 6.4.6 del EIA se propuso la medida “Mecanismos para mitigar la alteración de las prácticas de navegación en los ríos Baker y Pascua a raíz de la operación de las centrales” (PM-INT-04). En ese contexto, el acápite 6.4.6.2.2 establece, como medida específica, la construcción de soluciones estructurales e infraestructura que sea adecuada a los requerimientos de cada caso. Con respecto a la balsa, se mejorarán las condiciones de accesibilidad en ambas riberas del río Baker, de manera de asegurar un adecuado atraque del transbordador en cualquier condición de caudal.

#### 41. Pregunta 888 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Para la simulación de hábitat de peces en el caso de Baker 2, las velocidades de escurrimiento deben ser incorporadas debidamente como otro de los parámetros críticos o umbrales a respetar para las especies objetivo. Se debe corregir la elaboración de las curvas de habitabilidad para esta variable, donde no se aceptará concluir que “las especies presentaron un comportamiento anómalo respecto de dicha variable y no es posible definir un patrón de comportamiento, como lo fue en términos de la profundidad de escurrimiento”.

#### Respuesta

En el Anexo D, Apéndice 4 del EIA, se presentaron las figuras 159 (Baker 1), 187 (Baker 2) y 295 (Pascua 2.2), donde se muestran los resultados de la variación areal de los hábitats disponibles para cada especie en función de sus requerimientos específicos de velocidad.

En las tablas 51, 52 y 74, correspondientes a Baker 1, Baker 2 y Pascua 2.2, respectivamente, se muestra, para cada caudal, el grado de variación de una serie de parámetros definidos como indicadores de los cambios esperados en los ríos. Este grado de variación se define respecto del caudal medio anual y se expresa en términos porcentuales. La primera columna muestra el grado de perturbación promedio de los parámetros descriptores del escurrimiento (profundidad, velocidad de escurrimiento, esfuerzo de corte, superficie y ancho superficial). La segunda columna muestra el grado de perturbación del índice de habitabilidad en relación con la profundidad, para los adultos de las especies. La tercera columna muestra el grado de perturbación asociado a la reducción de la superficie del hábitat en la zona determinada para el cálculo del caudal ecológico.

En relación a la afirmación de que “las especies presentaron un comportamiento anómalo respecto de dicha variable y no es posible definir un patrón de comportamiento, como lo fue en términos de la profundidad de escurrimiento”, éste hecho responde a las curvas de habitabilidad utilizadas para implementar el método de simulación de hábitat (EULA 2000).

En razón de lo anteriormente expuesto, cabe señalar que las velocidades de escurrimiento fueron efectivamente consideradas en el cálculo del caudal ecológico de los ríos Baker y Pascua.

#### Literatura citada

EULA. 2000. Determinación del caudal mínimo ecológico del proyecto hidroeléctrico Quilleco en el río Laja, considerando variables asociadas a la biodiversidad y disponibilidad de hábitat. Informe de Asistencia Técnica, 120 p.

#### 42. Pregunta 889 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Se considera inaceptable determinar un caudal igual a 0 m<sup>3</sup>/s durante el llenado de los embalses, en razón de evitar efectos negativos e irreversibles sobre las comunidades acuáticas durante este período, donde se generarían zonas sin escurrimiento permanente. Las zonas que quedarán afectas a este impacto (Baker 1: entre pie de presa y confluencia con río Chacabuco; Baker 2: entre pie de presa y confluencia con río Ventisquero) deben mantener las condiciones mínimas de hábitat que aseguren su sobrevivencia durante el llenado de la presa.

#### Respuesta

En el acápite 7.5 y 8.5 del Anexo D, Apéndice 4 del EIA, se analizó el escenario hipotético de interrupción total del caudal. Para ello, se consideró a las plantas acuáticas como indicadores ambientales, dado que son las más sensibles a la desecación y fluctuación en el nivel. Ello, debido a su nula capacidad de desplazamiento en relación a la fauna acuática. Por ende, una alteración de la distribución espacial y abundancia de las plantas acuáticas conlleva un efecto gradual y decreciente sobre la fauna acuática.

No obstante lo anterior, es necesario recalcar que el escenario de llenado de los embalses con caudal efluente igual a 0 m<sup>3</sup>/s no está considerado en el caso del PHA, ya que durante este proceso

se mantendrá, en todo momento, el caudal mínimo de operación de cada central, tal y como se indica en el acápite 1.3.2.1.13 del EIA.

#### 43. Pregunta 891 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: El titular debe incorporar todos los perfiles longitudinales y sus ubicaciones mencionados en el anexo D tantos para el río El Salto, Baker y Pascua.

#### Respuesta

Los perfiles longitudinales presentados en el Anexo D, Apéndice 4, corresponden a los ríos Baker, Pascua y Del Salto, en el contexto del análisis del caudal ecológico en cada tramo ubicado aguas abajo de las centrales. Por otro lado, en el mismo apéndice se incluyeron los perfiles transversales obtenidos mediante un perfilador Doppler (River Cat) para las zonas de interés ambiental de los ríos Del salto (Anexo 1 del mismo apéndice, página 553), río Baker (Anexo 1 del mismo apéndice, página 559) y río Pascua (Anexo 1 del mismo apéndice, página 585).

A continuación, se complementa la información señalada en el Anexo D, Apéndice 4 con la ubicación de los perfiles antes indicados, en coordenadas UTM en los siguientes cuadros: A5-24 para el río Del Salto; A5-25 para el río Baker en el tramo BK1; A5-26 para el río Baker en tramo BK2; y A5-27 para el río Pascua.

Cabe señalar que estos perfiles son complementarios a los utilizados en la modelación de eje hidráulico presentados en el Anexo 1D, Apéndice 3 – Parte 3, “Informe de calibración para modelos de ejes hidráulicos” de la presente Adenda.

**Cuadro A5-157: Ubicación de los perfiles en río del Salto**

PERFIL	UTM	
Salto PP1	675496	4757756
Salto PP2	675352	4757525
Salto PP3	675199	4757272
Salto PP4	675451	4757241
Salto PP5	675699	4756828
Salto PP6	676040	4756786
Salto PP7	675580	4756370
Salto PP8	676083	4756264
Salto PP9	676150	4755684

**Cuadro A5-158: Ubicación de los perfiles en río Baker tramo BK1**

PERFIL	UTM	
BK1 PP1	680775	4775639
BK1 PP2	680384	4773737
BK1 PP3	680400	4772626
BK1 PP4	675606	4763568
BK1 PP5	679843	4770306
BK1 PBALSEO	679495	4769575
Bk1 Tamango	680468	4774069
BK1 PlayaBalseo	679424	4770013
BK1 PP6	679226	4768065
BK1 PP7	675306	4762000
BK1 PP8	674031	4761318
BK1 PP9	673520	4761186
BK1 PP10	671128	4762012
BK1 PP11	669890	4761660
BK1 PP12	668168	4762491
BK1 PP13	667184	4762447
BK1 PT1	677853	4766453
BK1 PT2	677181	4765919
BK1 PT3	675923	4764676
BK1 PT4	675606	4763568
BK1 PT5	675425	4762930
BK1 PT6	670406	4761585
BK1 PT7	670179	4761486
BK1 PT8	665300	4762871
BK1 PCOL	660907	4759101
BK1 PB5	643676	4719991
BK1 PB6	634418	4714926
BK1 PT9	642914	4718637
BK1 PT10	641501	4719058
BK1 PT11	638832	4717817
BK1 PP14	643615	4718665
BK1 PP15	638370	4717464
BK1 PB00	655000	4740997
BK1 PP16	635841	4715735

**Cuadro A5-159: Ubicación de los perfiles en río Baker tramo BK2.**

PERFIL	UTM	
BK2 PP1	648020	4734422
BK2 PP2	647239	4735072
BK2 PP3	645595	4733970
BK2 PP4	643804	4733921
BK2 PP5	644656	4729473
BK2 PB3	620770	4705849
BK2 PB4	627684	4708007
BK2 PB5	632138	4711818
BK2 PP6	613026	4705294
BK2 PP7	615080	4704198
BK2 PP8	616280	4702958
BK2 PP9	623371	4708843
BK2 PT4	618741	4704882
BK2 PB1	644288	4731650
BK2 PB2	646152	4724696
BK2 PT1	644092	4726800
BK2 PT3	644910	4720855
BK2 PT2	646240	4724121

**Cuadro A5-160: Ubicación de los perfiles en río Pascua.**

PERFIL	UTM	
Pascua PT2	635748	4657273
Pascua PT3	635773	4658377
Pascua PT4	636405	4658659
Pascua PT5	636598	4659148
Pascua PT6	638426	4663802
Pascua PT7	640728	4664515
Pascua PT8	640822	4665290

el titular no modela con el caudal ecológico propuesto ni con el caudal mínimo de operación, al respecto el titular debe incorporar estos caudales en el análisis.

**Respuesta**

Las figuras 285 y 286 presentadas en el Anexo D apéndice 4, corresponden a ejemplos referenciales de la variación de la velocidad y profundidad con el caudal. Los resultados de todos los escenarios evaluados se presentaron en la Tabla 6, la cual se rectifica a continuación, incorporando el valor de Qecol para Pascua 2.2 de 260 m³/s.

44. Pregunta 892 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: En relación a las variaciones espaciales de profundidad y velocidad de escurrimiento mostradas en la fig 285 y 286 respectivamente

**Tabla 1 - Cuadro resumen de valores usados para definición del caudal ecológico Pascua 2.2. (Q10) corresponde al Qecol**

		Valor [m./s]	Req. Ambiental [%]	Hab. Prof. Adultos [%]	Superficie Hábitat [%]	Superficie erosión [%]	Oscilación Caudales [%]
	Taxi (80 cm)	300	-	-	-	-	-
% respecto de Q7	Q1 10% Medio Anual	70	49	76	55	58	129
	Q2 20% Medio Anual	140	40	61	41	45	119
	Q3 50% del 95%	212	34	50	35	38	109
	Q4 Min. Oper.	280	29	42	28	33	100
	Q5 Min ST	356	23	33	22	28	89
	Q6 Q347	411	19	26	18	25	81
	Q7 Q330	448	16	22	15	22	76
	Q8 Q85%	456	16	22	15	22	75
	Q9 Q Medio Anual	703	0	0	0	9	39
	Q10 Q ecol	260	31	36	30	35	102
% respecto de Q8	Q1 10% Medio Anual	70	42	69	47	59	200
	Q2 20% Medio Anual	140	31	50	31	46	184
	Q3 50% del 95%	212	23	36	23	38	168
	Q4 Min. Oper.	280	16	26	15	33	154
	Q5 Min ST	356	9	14	9	28	137
	Q6 Q347	411	4	6	4	25	125
	Q7 Q330	448	0	1	0	23	117
	Q8 Q85%	456	0	0	0	23	115
	Q9 Q Medio Anual	703	-20	-28	-17	9	61
	Q10 Q ecol	260	18	29	17	35	159
% respecto de Q5	Q1 10% Medio Anual	70	37	64	42	71	256
	Q2 20% Medio Anual	140	25	41	24	55	236
	Q3 50% del 95%	212	16	26	16	47	216
	Q4 Min. Oper.	280	8	13	7	40	197
	Q5 Min ST	356	0	0	0	34	175
	Q6 Q347	411	-6	-9	-5	31	160
	Q7 Q330	448	-10	-16	-9	28	149
	Q8 Q85%	456	-11	-16	-10	27	147
	Q9 Q Anual Medio	703	-34	-49	-29	11	78
	Q10 Q ecol	260	11	18	11	41	203

## 45. Pregunta 893 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: En relación a los índices de habitabilidad mostrados en las figuras 287, 288, 289, 290, el titular no modela con el caudal ecológico propuesto ni con el caudal mínimo de operación, al respecto el titular debe incorporar estos caudales en el análisis.

**Respuesta**

En el Anexo D, Apéndice 4, figuras 287, 288, 289 y 290, se presentaron índices de habitabilidad para diferentes caudales. A modo de ejemplo, se graficaron escenarios con 703, 403 y 356 m<sup>3</sup>/s.

Como se desprende de los acápite 7.2.4.5 para el río Baker y 8.2.4.6 para el río Pascua (Anexo D Apéndice 4), los caudales ecológicos fueron modelados como parte de la metodología de determinación.

No obstante lo anterior, a continuación, se rectifica la información entregada en la Tabla 74 del Anexo D, Apéndice 4, en relación con la modelación del caudal ecológico (Q10), quedando como sigue:

**Tabla 74: Resumen de diferentes caudales estudiados**

		Req. Ambiental	Hab. Prof. Adultos	Superficie Hábitat	Superficie erosión	Oscilación Caudales	
	Valor [m <sup>3</sup> /s]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
	Taxi (80 cm)	300	-	-	-	-	
% respecto de Q9	Q1 10% Medio Anual	70	49	76	55	129	
	Q2 20% Medio Anual	140	40	61	41	119	
	Q3 50% del 95%	212	34	50	35	109	
	Q4 Min. Oper. 280	29	42	28	33	100	
	Q5 Min ST	356	23	33	22	28	89
	Q6 Q347	411	19	26	18	25	81
	Q7 Q330	448	16	22	15	22	76
	Q8 Q85%	456	16	22	15	22	75
	Q9 Q Medio Anual	703	0	0	0	9	39
	Q10 Q ecol	260	31	36	30	35	102
% respecto de Q8	Q1 10% Medio Anual	70	42	69	47	59	200
	Q2 20% Medio Anual	140	31	50	31	46	184
	Q3 50% del 95%	212	23	36	23	38	168
	Q4 Min. Oper.	280	16	26	15	33	154
	Q5 Min ST	356	9	14	9	28	137
	Q6 Q347	411	4	6	4	25	125
	Q7 Q330	448	0	1	0	23	117
	Q8 Q85%	456	0	0	0	23	115
	Q9 Q Medio Anual	703	-20	-28	-17	9	61
	Q10 Q ecol	260	18	29	17	35	159
% respecto de Q5	Q1 10% Medio Anual	70	37	64	42	71	256
	Q2 20% Medio Anual	140	25	41	24	55	236
	Q3 50% del 95%	212	16	26	16	47	216
	Q4 Min. Oper.	280	8	13	7	40	197
	Q5 Min ST	356	0	0	0	34	175
	Q6 Q347	411	-6	-9	-5	31	160
	Q7 Q330	448	-10	-16	-9	28	149
	Q8 Q85%	456	-11	-16	-10	27	147
	Q9 Q Medio Anual	703	-34	-49	-29	11	78
	Q10 Q ecol	260	11	18	11	41	203

Nota: Cuadro superior indica caudales calculados según criterios antrópicos, recuadros intermedio e interior muestran el valor de los indicadores utilizados para caudal iguales al 10% y 20% del caudal medio anual (Q1 y Q2), criterio DGA denominado 50% del 95% (Q3), caudal mínimo de operación (Q4), caudal mínimo de la serie de tiempo (Q5), caudales Q347 y Q330 (Q6) y (Q7), caudal medio mensual con probabilidad de excedencia del 85% (Q8) y caudal medio anual (Q9). Los valores están expresados en términos porcentuales respecto de la situación para caudal medio anual (Q9, cuadro intermedio) y caudal con probabilidad de excedencia del 85% (Q8, cuadro intermedio), y mínimo de serie de tiempo de caudales medio mensuales (Q5). Central Pascua 2.2. (Q10) corresponde al Qecol.

## 46. Pregunta 894 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: En relación a los criterios antrópicos para la determinación del caudal ecológico se logra apreciar en la Fig. 296 que para los primeros 4 kilómetros medidos desde la central Pascua 2.2 no se cumple con la altura mínima de escurrimiento de aguas (80 cm definidas por el titular) para un caudal ecológico de 260 m<sup>3</sup>/s. Además aprox. 1.2 kilómetros del Muro Pascua 2.2 existe una barcaza que cruza el río pascua y que según las modelaciones efectuadas por el titular a esa distancia y con un caudal ecológico de 260 m<sup>3</sup>/s la altura de escurrimiento sería de 60 cm. Por lo tanto se solicita al titular replantar y reevaluar el caudal ecológico con el fin de satisfacer todas las necesidades de los usuarios del sistema fluvial.

**Respuesta**

Es importante señalar que a partir del modelo hidráulico, que se presenta en el Anexo 1D, Apéndice 3 - Parte 3 "Informe de calibración para modelos de ejes hidráulicos" de la presente Adenda, se ha podido verificar que la altura de escurrimiento mínima de 80 cm, requerida para la navegación, se cumple a lo largo de todo el río Pascua aguas abajo de la Central Pascua 2.2, para un caudal mínimo de operación de 280 m<sup>3</sup>/s, como se puede apreciar en la figura siguiente.

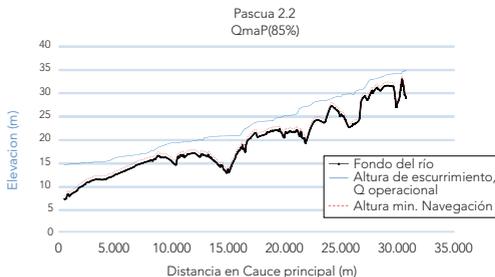


Figura A5-128: Eje Hidráulico – Pascua 2.2 a desembocadura. Valores obtenidos desde el muro de Pascua 2.2 hasta la desembocadura del río Pascua (valor 0). La Línea negra corresponde al fondo del río (profundidad máxima). La Línea roja corresponde a la altura mínima para la navegación (80 cm) y la Línea superior (azul) corresponde a la altura de escurrimiento asociada al caudal mínimo de operación (Caudal Q<sub>minop</sub> = 280 m<sup>3</sup>/s).

## 47. Pregunta 896 (DGA)

Observación específica al Apéndice 4, Anexo D: Referentes a las conclusiones de las centrales del río Pascua, estas son imprecisas y poco claras, primeramente el titular menciona un caudal ecológico en la central Pascua 2.2 de 351 m<sup>3</sup>/s (pag256) y luego concluye con un caudal ecológico de 260 m<sup>3</sup>/s (pág. 258). Además el titular plantea un caudal de 300 m<sup>3</sup>/s para generar una altura de escurrimiento mínima para la navegación (0.8 mt) el cual es mayor al caudal ecológico propuesto. Al respecto se solicita al titular aclarar las conclusiones con el fin de satisfacer a toda a la demanda del sistema fluvial.

**Respuesta**

Cabe señalar que el caudal ecológico determinado para la central Pascua 2.2 corresponde a 260 m<sup>3</sup>/s según se indica en la página 258, acápite 9.3, Anexo D Apéndice 4 del EIA.

En el documento "Manual de Normas y Procedimientos, Departamento de Administración de Recursos" (DGA), se define el caudal ecológico como el caudal mínimo necesario para asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático. La definición tiene explícitamente una connotación ecológica referida a la biota acuática, lo cual se refrenda con la recomendación de uso de métodos de simulación de hábitat para su determinación. Dicho procedimiento fue utilizado en el EIA (Anexo D, Apéndice 4), sin embargo, los antecedentes relevados durante la ejecución de la línea de base, permitieron establecer que los ríos Baker y Pascua presentaban otros usos de carácter antrópico (acápite 5.1.7.8, Anexo D Apéndice 4). De esta manera se obtuvieron caudales ecológicos requeridos para mantener la biodiversidad acuática de 260 m<sup>3</sup>/s (según lo indicado por DGA 2002) y de 300 m<sup>3</sup>/s para mantener los usos antrópicos, ambos considerados para determinar los caudales mínimos de operación para cada central.

En este sentido, el criterio utilizado para estimar el caudal mínimo requerido para que las actividades de navegación no se vean afectadas, es mantener una profundidad máxima no inferior a 80 cm en el río. Esta profundidad se estableció en base a consultas a los usuarios locales, conforme a lo indicado en el Anexo D, Apéndice 4 del EIA.

Cabe mencionar que se ha verificado que el caudal mínimo de operación de la central Pascua 2.2 (280 m<sup>3</sup>/s, ver Cuadro 1.4-1 del EIA) satisface los requerimientos de la navegación que existen a lo largo del río (taxeo). Esto rectifica lo indicado en el Anexo D, Apéndice 4 del EIA, ya que el río Pascua presentará una profundidad mayor a 1,4 m en el escenario más desfavorable.

Sin perjuicio de lo anterior, y producto de variación intradiaria de caudales ocasionada por la operación de las centrales, en el acápite 6.4.6 del EIA se propuso la medida "Mecanismos para mitigar la alteración de las prácticas de navegación en los ríos Baker y Pascua a raíz de la operación de las centrales" (PM-INT-04).

En este contexto, el acápite 6.4.6.2.2, establece como medida específica la construcción de soluciones estructurales e infraestructura que se adecuen a los requerimientos de cada caso, como sería el caso de la Balsa Baker en la que se mejorarán las condiciones de accesibilidad en ambas riberas del río Baker para asegurar un adecuado atraque del transbordador en cualquier condición de caudal afluente.

#### 48. Pregunta 927 (DGA)

Régimen de Caudales. La medida propuesta por el titular apunta a asegurar un caudal igual o superior al caudal mínimo de operación, para lo cual contará con un registro continuo que compruebe que la operación se realiza dentro de los márgenes establecidos en la regla de operación. Para el caso de la medida en sí misma, no se condice con el impacto asociado lo que lleva a confusión, pues el impacto ambiental es la alteración del régimen de caudales producto de la onda de crecida de la operación de la central, en este sentido, para el impacto definido interesaría conocer las tasas de variación instantáneas en los caudales en la entrada a horario punta (la primera hora), y en la salida

del horario punta (la última hora), que es lo que provocará la onda de crecida. Por el contrario, si la medida apunta al impacto relativo a mantener un caudal mínimo permanente, asociado a caudal ecológico, la medida debiera controlar el caudal efluente de cada embalse, por lo que tampoco se ajustaría la medida de seguimiento propuesta. Al respecto el titular deberá rectificar y aclarar lo que corresponda a fin de que la medida de seguimiento propuesta sea inteligible por sí sola, pues lo señalado en el Anexo F, apéndice 1-Parte 2ii relativo a la descripción de la medida de seguimiento no coincide con lo que se plantea en el cuadro en referencia (7.4.5-3). Adicionalmente, el titular deberá ampliar la información relativa al seguimiento de estas variables para la central Del Salto.

#### Respuesta

El caudal mínimo de operación ha sido determinado de manera de no afectar el uso habitual de los ríos intervenidos por el PHA, y está incorporado en la regla de operación impuesta a las centrales.

Al respecto, la medida PM-HID-02 tiene por objetivo verificar el cumplimiento de la regla de operación mediante el registro continuo de caudales, aguas abajo de las centrales, y permite, además, determinar las tasas de variación de caudal producto de la operación de las centrales.

Cabe señalar que para las tres centrales se considera la instalación de un punto de control inmediatamente aguas abajo de la restitución, tal como se señaló en el Cuadro 7.4.5-3 del EIA, y conforme a lo señalado en las respuestas a las observaciones 1223 y 1227.

Con respecto a la central Del Salto, dicha central no tiene ninguna capacidad de regulación, por lo que no es necesario extender la medida a esta central.



[www.endesachile.cl](http://www.endesachile.cl)

**endesa**chile  
**E**

Una empresa del Grupo Enersis