



# APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

---

**PLAN DIRECTOR DE GESTIÓN AMBIENTAL**  
OA4  
**REGIMEN DE CAUDALES EN OPERACIÓN**

Estudio de Caudal Ecológico

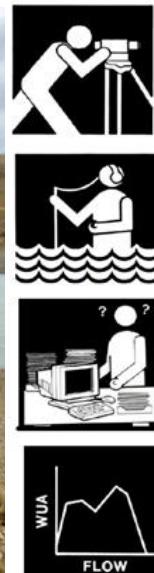


Secretaría de Gobierno de Energía  
Ministerio de Hacienda  
Presidencia de la Nación

# ESTUDIO DE CAUDAL ECOLÓGICO

## Aprovechamientos hidroeléctricos Río Santa Cruz- Argentina

*Informe de Avance -1*



UTE China Gezhouba Group Company Limited–Electroingeniería S.A–Hidrocuyo S.A  
Monseñor Fagnano, 86 Piso 1  
Río Gallegos – Santa Cruz, Argentina  
[www.represaspatagonia.com.ar](http://www.represaspatagonia.com.ar)

Preparado por:



Universidad de Valladolid, España  
Grupo de Ecohidrología Fluvial  
ETS. Ingenierías Agrarias. Av. Madrid 57, Palencia 34004  
[www.gef-eco hidrologia.org](http://www.gef-eco hidrologia.org) [jmdiez@iaf.uva.es](mailto:jmdiez@iaf.uva.es)



28 marzo 2017

# Estudio de Caudal Ecológico

Proyecto Aprovechamientos hidroeléctricos

Río Santa Cruz - Argentina

Preparado para:

Marzo 2017

UTE  
EILING-CGGC-HCSA  
Argentina

Foto portada:

Río Santa Cruz en la zona de cierre de presa Jorge Cepernic  
Enero 2017 [Foto: EIA - UTE]

© 2017 Universidad de Valladolid-España.

Ningún fragmento de este informe puede ser reproducido, almacenado en sistemas de recuperación de datos, o difundido, en cualquier formato o de cualquier modo, electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, o cualquier otro, sin el permiso previo y explícito por escrito de la Universidad de Valladolid.

Grupo de Ecohidrología Fluvial GEF  
Av. Madrid 57, Palencia 34004. España

[www.gef-eco hidrologia.org](http://www.gef-eco hidrologia.org)

[jmdiez@iaf.uva.es](mailto:jmdiez@iaf.uva.es)



## Referencia

- UVA–Universidad de Valladolid, España. 2017. Estudio de Caudal Ecológico Aprovechamientos hidroeléctricos Río Santa Cruz, Argentina. Preparado para UTE Represas Patagonia, Argentina.  
**Historial**

Versión	Descripción	Fecha
A.1	Informe de Avance 1	28 marzo 2017

## Gestión

Organización: Fundación General Universidad de Valladolid - Dpto. Innovación.

Director del informe: Juan Manuel Diez-Hernández. Grupo Ecohidrología Fluvial GEF: UVA-España.

Código del Proyecto: (-----) Funge-UVA

## RESUMEN EJECUTIVO

La Unión Transitoria de Empresas China Gezhouba Group Company Limited – Electroingeniería S.A. – Hidrocuyo S.A (UTE) desarrolla el proyecto de nueva creación (“greenfield”) para el aprovechamiento hidroeléctrico del Río Santa Cruz (RSC), localizado en el río homónimo dentro de la provincia de Santa Cruz, al sur de la región patagónica de Argentina. La UTE ha contratado la asistencia técnica del equipo científico de la Universidad de Valladolid (España) dirigido por el Prof. Dr. Juan Manuel Diez Hernández para la elaboración de un Estudio de Caudal Ecológico (ECE) durante la fase de llenado del proyecto, con un enfoque incremental del balance Tiempo de Llenado vs. Hábitat acuático utilizable. El marco de análisis seguido en esta evaluación es la reputada metodología incremental-holística IFIM “Instream Flow Incremental Methodology” (Bovee y Milhous, 1978).

Este informe es el primer avance del ECE preliminar, donde se presenta la caracterización fluvial e hidrológica del sector del RSC que será drenado durante el llenado de los dos embalses. Se describe el marco metodológico de la aplicación IFIM, y el procedimiento optimizado del modelo de hábitat PHABSIM para el río Santa Cruz. El documento indica los lineamientos para la modelación hidráulica de profundidad (1D) y de velocidad (pseudo-2D) que fundamentará la evaluación de hábitat. Se determina el conjunto de organismos objetivo de evaluación del hábitat, conformado por las siguientes especies:

- Macrorinvertebrados: Efemerópteros, Tricópteros, Coleópteros, Plecópteros.
- Perifiton: diatomeas.
- Peces nativos: Puyen chico (*Galaxias maculatus*) y Lamprea (*Geotria australis*).
- Salmónidos: (1) Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) estadios adulto, juvenil, alevín, y desove.  
(2) Salmón chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) estadios adulto y juvenil.

Para cada uno de los organismos objetivo se adoptan unas curvas de preferencia biológica de hábitat que han sido desarrolladas en ríos de otros países, pero que consideramos son aplicables para una primera evaluación. Para la ictiofauna nativa se seleccionan funciones de preferencia (estricta Tipo III) generadas en ríos australes y para las mismas especies estrictamente.

Finalmente, se realiza un primer modelaje preliminar y aproximado de tendencia general para el conjunto de organismo objetivo, con el propósito principal de ilustrar el tipo de resultados que serán generados e interpretados en el ECE Final. Según esta simulación PHABSIM primera, un Caudal Ecológico de 250 m<sup>3</sup>/s sería capaz de mantener el 80% del hábitat usable para los organismos que ocurre durante un estiaje medio (Qmín-90días). Con esa misma referencia de los estiales normales naturales, un CEmínimo de 188 m<sup>3</sup>/s conservaría niveles de hábitat por encima del 60% de la condición original.



**REPRESAS PATAGONIA**  
**ELING-CGGC-HCSA-UTE**  
**Aprovechamientos hidroeléctricos Río Santa Cruz**

**ESTUDIO DE CAUDAL ECOLÓGICO – ECE**  
**Índice General**

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Descripción general .....	1
1.2. Aspectos de interés del llenado .....	3
2. SISTEMA DE REPRESENTACIÓN FLUVIAL .....	5
3. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA .....	9
3.1. Aportación de tributarios .....	10
3.2. Series de aporte en sitios de presa .....	10
3.3. Variabilidad diario interanual .....	12
3.4. Eventos de caudal mínimo .....	14
3.5. Análisis de tendencia .....	16
3.6. Indicadores hidrológicos .....	17
3.7. Carga sólida .....	17
3.8. Usos del agua .....	17
3.9. Aporte del Río Chico .....	18
4. MODELAJE HIDROLÓGICO DEL LLENADO .....	19
4.1. Reglas de llenado .....	19
4.2. Funciones que gobiernan el modelo .....	19
5. APLICACIÓN METODOLOGÍA IFIM .....	22
5.1. Objetivos .....	22
5.2. Marco analítico .....	22
6. IDENTIFICACIÓN Y DIAGNOSIS .....	22
7. PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....	23
7.1. Calidad de agua .....	24
7.2. Fitoplancton .....	24
7.3. Zooplancton .....	24
7.4. Perifiton y Macroinvertebrados .....	25
7.5. Ictiofauna .....	26
7.6. Reptiles .....	29
7.7. Anfibios .....	29
7.8. Avifauna .....	29
7.9. Mamíferos .....	29
8. CARACTERIZACIÓN TOPOGRÁFICA .....	30
8.1. Sistema de Representación .....	30
8.2. Topobatimetría .....	30
8.3. Hidrometría .....	31
8.4. Material del lecho .....	31
9. MODELO PHABSIM .....	32
10. MODELAJE HIDRÁULICO .....	35

11. FUNCIONES DE PREFERENCIA DE HÁBITAT .....	38
11.1. Macroinvertebrados .....	38
11.2. Perifiton .....	38
11.3. Peces nativos .....	40
11.4. Salmónidos .....	40
12. EVALUACIÓN DEL HÁBITAT .....	42
12.1. Funciones Caudal-Hábitat .....	42
12.2. Retención de hábitat .....	44
13. REFERENCIAS .....	45

## PREMISAS TÉCNICAS

- i. Los resultados de este informe de avance están sometidos a una simplificación de los procesos, al error inherente a toda medición en campo, y a la imprecisión inevitable de la modelación sobre una realidad conocida parcialmente.
- ii. Se presupone que la hidrología de la cuenca no cambiará sustancialmente, aparte del propio cambio ligado al proyecto. Se excluye el cambio climático.
- iii. El alcance se circscribe al segmento fluvial con huella directa del proyecto, sin considerar posibles efectos acumulativos con otras posibles actividades antrópicas impactantes a lo largo del río.

## CONDICIONES

- i. Este documento es información privada de la UTE REPRESAS PATAGONIA y ha sido elaborado con el objetivo particular definido por la compañía. Es un producto generado en el marco de un convenio de colaboración de asistencia técnica entre REPRESAS PATAGONIA y el equipo científico de la Universidad de Valladolid (Art.83 \_\_\_\_).
- ii. Este documento representa el criterio profesional del equipo de la UVa, basado en la información disponible en el momento de su elaboración, y conforme al alcance requerido.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Descripción general

La Unión Transitoria de Empresas China Gezhouba Group Company Limited – Electroingeniería S.A. – Hidrocuyo S.A (UTE) desarrolla el proyecto de nueva creación (“greenfield”) para el aprovechamiento hidroeléctrico del Río Santa Cruz, localizado en el río homónimo dentro de la provincia de Santa Cruz, al sur de la región patagónica de Argentina. Dentro del proceso de licenciamiento ambiental (EIA) con la Administración nacional, la UTE ha contratado la asistencia técnica del equipo científico de la Universidad de Valladolid (España) dirigido por el Prof. Dr. Juan Manuel Diez Hernández para la elaboración de un Estudio de Caudal Ecológico (ECE) para la fase de llenado del proyecto, con un enfoque incremental del balance tiempo de llenado vs. hábitat acuático utilizable.

El marco de análisis seguido en esta evaluación de caudal ecológico es la metodología incremental u holística IFIM “Instream Flow Incremental Methodology” (Bovee y Milhous, 1978), la cual es considerada como estándar internacional de las mejores prácticas científico-técnicas en la materia por investigadores, Administración, y corporaciones financieras (BID, IFC, etc). El núcleo operativo de IFIM es el modelo de hábitat PHABSIM “Physical Habitat Simulation System”, que desarrolla relaciones funcionales entre el caudal y el hábitat utilizable para los distintos organismos objetivo de la evaluación. La metodología IFIM ha sido aplicada en Argentina durante la última década en unos pocos trabajos de investigación para ríos de las provincias de Córdoba (Langa Sánchez et al., 2009) y de Tucumán (Aguilera y Cancino, 2015).

El Río Santa Cruz (RSC) es emisario del Lago Argentino, cuyas nacientes se localizan en el campo de hielo patagónico desde donde descienden lenguas de glaciares como el renombrado Perito Moreno (y otros mucho más productores de caudal como el Upsala y el Viedma), así como aguas de fusión que conforman una proporción muy mayoritaria del caudal circulante (Figura 1). Por su singularidad ecológica y escénica el Lago Argentino (LARG) está catalogado como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO (1983). El RSC recorre de oeste-este una longitud aproximada de 382 km, salvando un desnivel de unos 178 m hasta su desembocadura con una pendiente media casi del 5 por mil (0.49 %; Soldano, 1947), y abarcando una cuenca de drenaje de unos 25000 km<sup>2</sup>. El caudal del RSC varía como media desde el máximo de 1249 m<sup>3</sup>/s en verano (marzo) hasta el mínimo de 284 m<sup>3</sup>/s en invierno (sept), con un módulo anual de 714 m<sup>3</sup>/s (estación Charles Furr 1959-2015).

El aprovechamiento hidroeléctrico del RSC consta de dos presas en cascada con sendas centrales en esquema hidráulico de generación global de pasada (“run-of-river”), y una potencia instalada total de 1260 MW que posibilita una generación media anual de 5189 GWh/año con el diseño actual. La central superior Nestor Kirchner (NK) opera con esquema en punta (“storage”) durante unas 6-8 h diarias, y está equipada con cinco turbinas Francis gemelas cerca de presa con un caudal total de diseño de 1750 m<sup>3</sup>/s, potencia instalada 600 MW, y generación 3286 GWh/año.

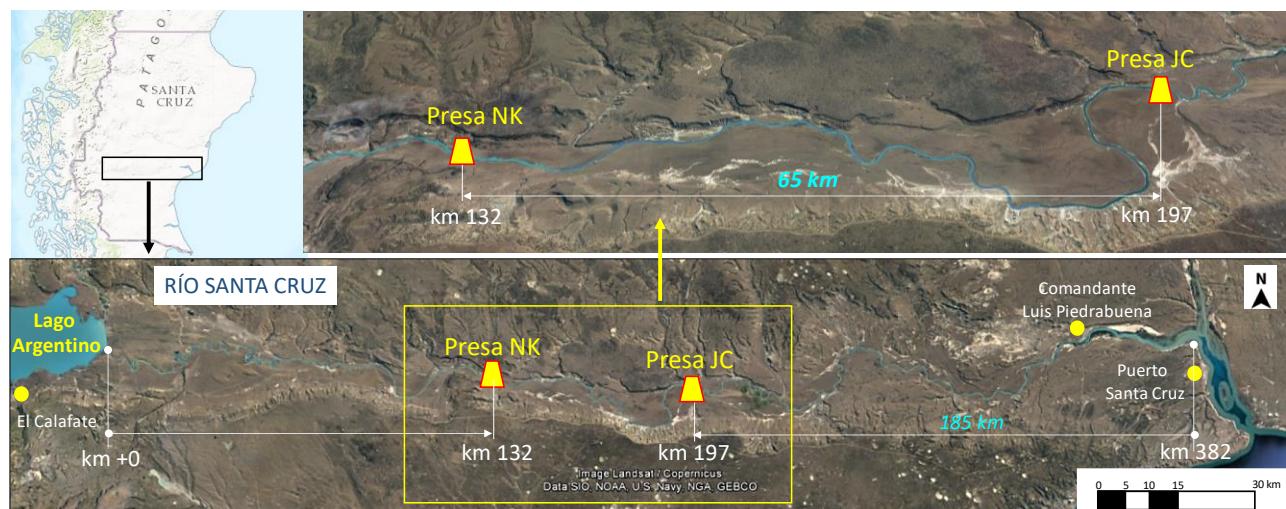


Figura 1. Localización del proyecto Aprovechamientos hidroeléctricos del RSC ([www.arcgis.com](http://www.arcgis.com) y Google Earth).

La descarga de NK enlaza con el embalse de la presa Gobernador Jorge Cepernic (JC), la cual opera 24 horas al día con esquema de generación de base ("run-of-river") mediante tres turbinas gemelas Kaplan a pie de presa con caudal de diseño total 1260 m<sup>3</sup>/s, potencia 360 MW, y generación estimada 1903 GWh/año. Las puntas ligadas a la operación de la central NK son laminadas en el embalse JC, de modo que los caudales horarios aguas abajo sean permanentemente coincidentes con el hidrograma natural. Ambas presas se construyen de materiales sueltos con pantalla impermeable de hormigón (CFRD), con longitudes de cresta de 2800m (NK) y 2700m (JC).

- El sitio del cierre de presa NK se localiza en la transición del valle medio al superior, en el abscisado km132 desde el origen en el Lago Argentino (km250 desde la desembocadura), a unos 170 km al este de la localidad El Calafate por caminos (principal núcleo poblado de la zona) [Ea. Cóndor Cliff 50.206°S-70.785°O]. La estructura de toma se localiza en la margen izquierda (mirando hacia aguas abajo), y su altura sobre el lecho del río es 68 m. En el embalse, el desnivel entre el Nivel de agua Máximo de Operación Normal (NAON) 176.5 m.s.n.m. (IGN) y el Nivel Mínimo Normal 176.1 m es de 40 cm, que se trata del intervalo de variación ligado a la generación en esquema hidráulico de punta. El reservorio abarca una superficie de 247 km<sup>2</sup> a nivel máximo normal.
- La presa JC se emplaza en el valle medio, abscisado km197 desde el Lago ARG, a unos 135 km al oeste por caminos de la localidad Comandante Piedrabuena [Ea. La Barrancosa 50.185°S-70.177°O]. La estructura de toma se apoya en este caso en la margen derecha, y la altura de la presa es 41 m. El desnivel entre los niveles de operación normal máximo (NAON 114.00 m) y mínimo (113.75) es de 25 centímetros, rango ligado a la laminación de los pulsos procedentes de la descarga de la presa NK. El embalse abarca unos 206 km<sup>2</sup> y conecta en su extremo superior con las proximidades de la zona de restitución de NK, por lo que no existe prácticamente tramo fluvial intervenido con flujo libre.

La Línea Base Ambiental (LBA) del EIA elaborada por Serman & Asociados (2016) refleja que la diversidad de la comunidad íctica del RSC es relativamente pobre en comparación con otros ríos patagónicos. Existen cinco especies autóctonas que ocupan distintos sectores del curso del RSC: Perca (*Percichthys sp.*), Puyen Chico (*Galaxias maculatus*), Puyen Grande (*Galaxias platei*), Lamprea (*Geotria australis*), y Róbalo (*Eleginops maclovinus*). Otras cuatro especies introducidas han encontrado un hábitat idóneo al que se han adaptado con éxito, las cuales poseen un interés económico reconocido para la pesca deportiva: Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), Trucha de lago (*Salvelinus namaycush*), Trucha marrón (*Salmo trutta*), y Salmón (*Oncorhynchus tsawytscha*). Los anfibios y reptiles son poco abundantes y no son objeto de protección oficial. La avifauna es algo más diversa en el sector de la desembocadura, si bien no existen áreas de conservación oficial en el dominio de influencia del proyecto. Los mamíferos registrados tampoco se espera que sean afectados por el proceso de llenado de modo significativo. El área de influencia general del proyecto está relativamente despoblada. La población rural está relacionada con estancias o puestos vinculados a la ganadería extensiva ovina, y no se anticipa efecto significativo del proyecto.

La operación de llenado de los dos embalses que conforman el aprovechamiento hidroeléctrico se prevé realizarlos, en buena lógica, durante el semestre más húmedo desde enero hasta junio, con objeto de minimizar el tiempo de llenado. Este ECE se enfoca a generar la información necesaria y confiable para los tomadores de decisión acerca de las implicaciones cuantitativas del CE mínimo en el hábitat acuático y también en la duración del procedimiento de embalsado. Al tratarse de un proyecto que genera en la central JC con esquema de base, la alteración hidrológica aguas abajo de la misma es estrictamente nula, por lo cual para la fase de operación no se precisa un estudio de caudales ecológicos.

El Informe Final del ECE incluirá la caracterización fluvial, hidrológica y biológica del tramo afectado por la operación de llenado, desde sitio de presa JC hasta la desembocadura del RSC, cuya longitud aproximada es 185 km. Se realizará un modelaje PHABSIM de hábitat acuático utilizable para los organismos objetivos en función del caudal circulante, combinando los resultados de la simulación hidráulica 1D/pseudo-2D del cauce con las funciones de idoneidad estipuladas. El análisis temporal IFIM generará un balance entre el tiempo de llenado de los embalses y la reducción de hábitat respecto a la condición original, en función de múltiples escenarios incrementales de CE mínimo: Tiempo de llenado vs. Nivel de Conservación de hábitat. Complementariamente, se desarrollará un modelaje de conectividad hidráulica del CE mínimo para los peces de tipo dual, para (i) garantizar rutas de paso viable durante las migraciones y también (ii) para una ocupación del cauce más prolongada durante todo el periodo de llenado de los dos embalses del proyecto.

## 1.2. Aspectos de interés para el ECE del Llenado

A continuación, resumimos las características principales de algunos aspectos estructurales del proyecto cuyas implicaciones en el llenado conviene destacar.

### i. Desvinculación de niveles con el Lago Argentino

Una premisa del diseño del embalse JK es que el nivel máximo del agua en el embalse no supere la máxima cota de oscilación del Lago Argentino (la cual está ligada a los eventos de rotura del endicamiento del Canal de los Témpanos). La línea base (LB) indica que, según los registros históricos de la estación El Calafate, el nivel medio del lago es de 178.2 m, variando entre el máximo de 180.5 m (eventos de rotura del Brazo Rico) y el mínimo de 176.92 m. El desacople hidráulico entre el RSC y el Lago Argentino en condiciones de operación normal (NAON) y de crecidas extraordinarias (NAME) en el embalse NK ha sido dictaminado en tres estudios complementarios elaborados por: (1) la UTE (constructora), (2) Universidad Nacional de la Plata (UNLP, inspección de obras), y (3) experto Ing. Asencio Lara (Subsecretaría de Energía Hidroeléctrica). A partir de las series históricas de nivel del lago en El Calafate y de nivel/caudal en la estación Charles Furh, las simulaciones obtienen para la condición hidráulica de operación normal del embalse NK (NAON 176.50 m) una sobreelevación del lago de 20 cm a 40 cm (UTE y UNLP) y mucho menor de 9-12 cm según el Ing. Lara, para caudales hasta el máximo de 2100 m<sup>3</sup>/s. En cualquier caso, este incremento del nivel en el lago no es significativa, puesto que está dentro del rango de variación normal (1.5 m en el mes más húmedo y 0.5 m en el más seco). Inclusive para la crecida máxima de 4100 m<sup>3</sup>/s (T=10000 años), el ascenso provocado (NAME) no supera los 33 centímetros, y se trata de un evento transitorio. Por lo anterior, se determina que el embalse NK está desacoplado hidráulicamente, y no produce alteración perceptible en los niveles del lago (Ing. Lara, Cap.02 en Serman & Asoc., 2016).

### ii. Dispositivo de paso para peces

Como medida de mitigación para el “efecto barrera” evidente que supone la presencia de ambas presas altas para el desplazamiento de la ictiofauna, el proyecto incluye en cada sitio de cierre una estructura de paso piscícola de la misma tipología. La entrada del paso en el embalse se localiza en ambos casos a la derecha del vertedero de toma, y está diseñado para un caudal normal de 3 m<sup>3</sup>/s, pudiendo transportar hasta 7 m<sup>3</sup>/s. El emplazamiento del paso se ilustra en la Figura 2 de la página siguiente para la presa NK, con un desarrollo en forma de L que descende desde la zona de toma hasta el canal de restitución.

El dispositivo de tipo mixto consta de dos estructuras.

- a. Un tramo inferior consistente en una escala de estanques sucesivos, que descarga en el canal de restitución principal y se desarrolla hasta una cierta cota en el paramento (174.36m-NK) y 105.70m-JC). La pendiente media de la escala es del 10%, y los estanques tienen dimensiones 6m largo x 4m ancho x 3.90 m altura total; dispone de vertederos laterales de 70 cm a 210 cm; y el tirante medio es 3.20 m. Para mejorar la “llamada” se aporta un caudal adicional de 4 m<sup>3</sup>/s mediante tuberías.
- b. La escala conecta con una esclusa, que conduce los peces hasta los diferentes niveles del embalse. Considerando la cota de operación normal máxima, la conexión con la exclusa se localiza a unos 2 m de profundidad en NK y a 8 m en JC.

### iii. Longitud de los embalses

La presa JC anegará un tramo del RSC cuyo efecto de remanso se extenderá prácticamente hasta el sitio de presa NK. Por su parte, también la presa NK inundará una longitud fluvial aguas arriba en la dirección al Lago Argentino. Las condiciones hidráulicas en estos nuevos ambientes líticos serán distintas a las originales lóticas, lo que supone unos efectos potenciales en la disponibilidad de hábitat fluvial. Según la LB los tiempos de renovación en los embalses esperados son 91 días en NK y 53 días en JC. Según Tagliaferro et al (2013) esta transformación podría afectar en torno al 51% de la longitud total del RSC.

Nosotros consideramos que la inundación de un fragmento del RSC es una alteración intrínseca al funcionamiento del proyecto. Por ello, el estudio de los efectos potenciales de la presencia de los embalses sobre el ecosistema debe ser abordado en el contexto de la fase de operación normal, siendo algo ajeno al episodio transitorio, aunque necesario, de llenado. En este sentido, pensamos que el Plan de Manejo

Ambiental del proyecto que se elabore, en buena lógica atenderá todos los efectos ambientales potenciales ligados a la operación, diseñando las medidas de mitigación y compensación apropiadas.

#### iv. Estructura de evacuación del Caudal Ecológico

Durante el proceso de llenado de los reservorios el CE debe ser erogado adecuadamente al RSC aguas abajo de la presa JC hasta el estuario. Para ello, deberá ser descargada una dotación suficiente de caudal en presa NK para atender dicha restricción ambiental.

Los elementos hidráulicos de ambas presas que evacuarán el caudal durante el tiempo que dure el llenado son los descargadores de fondo. Según el diseño actualizado del proyecto ejecutivo (Serman, 2017) su capacidad ha sido aumentada desde la inicial de 200 m<sup>3</sup>/s hasta la nueva de 700 m<sup>3</sup>/s, optimizando de este modo su flexibilidad para atender todas las necesidades operativas. Pensamos que el nuevo caudal de diseño posibilitará también desarrollar con éxito las descargas de CE variables que se requieran en los sucesivos meses de la operación de llenado, puesto que ese límite de diseño previsiblemente no resultará restrictivo en modo alguno para la dotación ecológica.

Según el diseño facilitado por la UTE, en la presa NK los descargadores de fondo operativos para el llenado consisten cuatro conductos de funcionamiento independiente, controladas por sendas compuertas planas de 2m ancho x 3m altura. Cada conducto, una vez superada la compuerta, tiene sección rectangular de 5.8 m de anchura. En el caso de JC son seis (6) orificios emplazados en el cuerpo del vertedero, de dimensiones 2.25m ancho x 2.60m alto, también controlados por compuertas. En ambos casos el nivel de base del sistema descargador se encuentra unos 6 metros por encima del fondo de río. Los conductos conectan con un dissipador de energía de solera horizontal, con bloques intermedios, y un diente final. La posición de los descargadores de fondo en la presa NK se muestra en la Figura 2, en la zona derecha que actualmente es el cauce del RSC, y por tanto en el fondo del futuro vaso.

Durante la fase de operación el funcionamiento de los descargadores de fondo será ocasional en caso de avenidas que lo requieran, o bien para el vaciado del vaso.

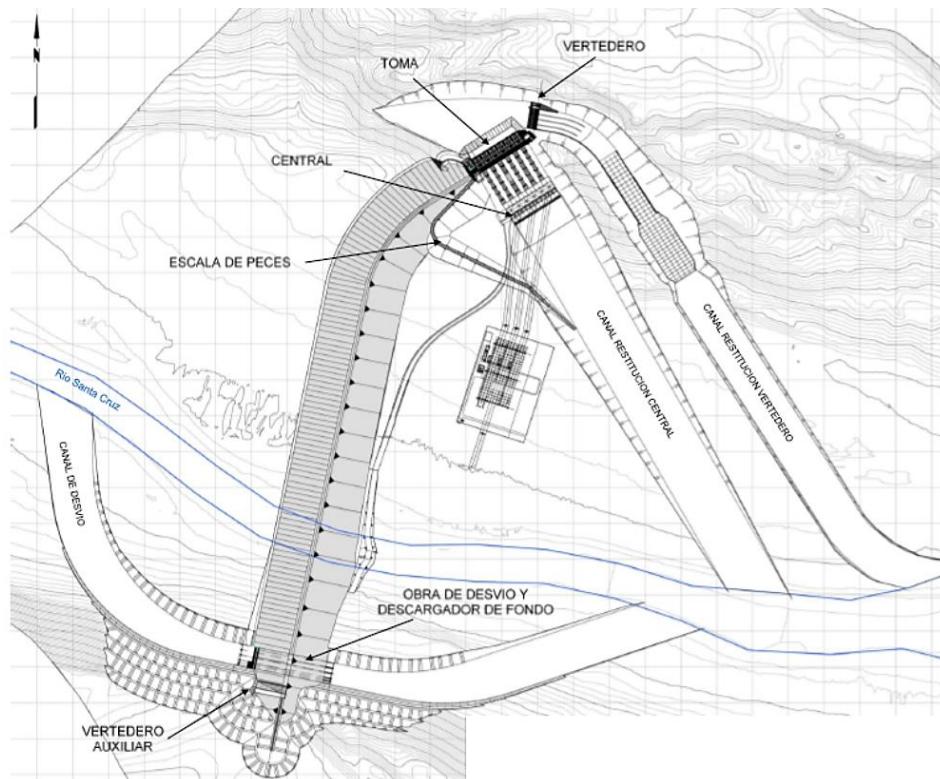


Figura 2. Distribución de los elementos de la presa NK. Descargadores de fondo abajo (margen derecho). Toma y paso para peces arriba (margen derecho). Fuente: EIA (Serman & Asoc., 2016)



pendiente media del 0.261 %, sobre un valle muy amplio con extensas bahías, que nosotros clasificamos como Tipo X de Rosguen (1994). El cauce tiene una anchura en torno a 150 metros, y el material del lecho predominante son gravas (8-64 mm) con algo de cantos (64-264 mm) y material fino (limo/arena) (Quiroga et al., 2015). Nuestro examen muestra que el curso es meandriforme no confinado (coef. de sinuosidad medio=1.55) sin un patrón claro, alternándose tramos regulares con otros tortuosos (laberintos 1º y 2º) hasta finalizar en el sector bajo con un largo meandro irregular hacia la derecha causado por el empuje de las vertientes de la margen contraria. Consideramos que por su encajamiento muy leve (ratio>>2.2) y la relación anchura/profundidad alta (ratio>12), la corriente corresponde al Tipo C4c- según Rosguen. El afluente principal de este segmento es el río Bote en la margen derecha, y en la margen izquierda existen varios unos cañadones temporales con flujo en verano muy escaso (los principales Cnd. El Mosquito, Cnd. Verde). Este segmento a nuestro juicio está limitado inferiormente por el control geomorfológico que impone el estrechamiento donde se localiza la presa NK (La Barrancosa). Este segmento será inundado en una proporción importante.

- **SEG-2:** sector intermedio entre las zonas de presas NK y JC, cuya longitud aproximada es 65 km. El RSC avanza ahora con un control moderado de las vertientes, sobre todo en la margen izquierda en dirección oeste-este. El curso se vuelve algo menos sinuoso (coef.=1.34) y el patrón es irregular, pensamos que debido al empuje puntual de los cañadones más potentes. La pendiente aumenta de forma marcada hasta el valor medio del 0.769%, si bien el cauce sigue siendo relativamente muy poco encajado y muy ancho en relación a su profundidad. El tamaño del material del lecho se agranda, dominando los cantos y co-dominando las gravas. Y la anchura del cauce, en buena lógica, disminuye, hasta un valor medio que ronda los 125 m. Los hechos anteriores son en nuestra opinión las respuestas lógicas a la mayor velocidad de la corriente. Hemos tipificado este sector como C3c- según Rosguen. Este segmento será inundado en su práctica totalidad por el embalse JC.
- **SEG-3:** sector bajo desde sitio de presa JC hasta la zona en la que el valle se abre de forma marcada a unos 15 km aguas arriba de la localidad Cte. Luis Piedrabuena (Ea. Rincón Chico). Su longitud ronda los 113 kilómetros, y la pendiente media es del 0.602%. El árvoe continúa encajado entre dos mesetas, discurriendo por un nivel de terraza inferior cubierto de material aluvional de 5m-15m de altura. La disminución de pendiente causa que el cauce sea masivamente de canal único, con anchuras próximas a los 200 m, y un flujo algo más lento que determina un material del lecho dominante de gravas, con gravillas y algo de cantos (Quiroga et al., 2015). El tipo de corriente pasa a ser en nuestra opinión de Tipo C4c-, con una estructura meandriforme muy clara de sinuosidad un poco mayor que en el segmento anterior (coef.=1.47). Cabe destacar la existencia de un patrón de meandros tortuosos en el sector superior, aproximadamente hasta la mitad del segmento en la zona de amplia curva a la altura de Cañadón Blanco. A partir de este punto los meandros se hacen más regulares, y el cauce se amplía.
- **SEG-4:** sector de transición al estuario, de longitud aproximada 22 km hasta justo después de la amplia curva en cuya orilla izquierda se asienta la localidad de Cte. Piedrabuena. La apertura del valle coincide con la disminución fuerte esperada de la pendiente, la cual se hace muy uniforme en torno al valor medio 0.173 %. El sustrato predominante es limo-arenoso, con acumulación de gravas pequeñas en algunas playas. Lo anterior posibilita que se formen múltiples islas de tamaño creciente aguas abajo, en las cuales se instalan parches de vegetación riparia (isla Pavón la más grande). Hemos tipificado la morfología de la corriente como C5c- según Rosguen, con presencia de meandros regulares de sinuosidad media 1.16. Las áreas con vegetación proporcionan un refugio valioso para la ictiofauna; y prueba de ello es la reconocida calidad de este sector para la pesca deportiva, sobre todo el área de Piedrabuena (Fiesta Nacional de la Steelhead). Las condiciones ecohidráulicas están influenciadas por el efecto de la marea, el cual se extiende en torno a 60 km aguas arriba de la desembocadura, dependiendo del balance río-mar concreto.
- **SEG-5:** sector de estuario. Después de atravesar Comandante Piedrabuena, el RSC se enfila a su desembocadura por un recorrido final de unos 18 km muy rectilíneos. El cauce es simple puro, con anchuras crecientes desde 1.2 km hasta 3 km en la confluencia con el Río Chico. La morfología de este tramo la hemos tipificado como C6c- (Rosguen), el sustrato es muy fino (limo), y la sinuosidad bajísima (coef.=1.06). El flujo está regido por el control hidráulico inferior impuesto por el nivel de la marea. Se trata de una zona de intercambio de corrientes de agua dulce y de agua salina, ingresando la última durante las mareas altas.

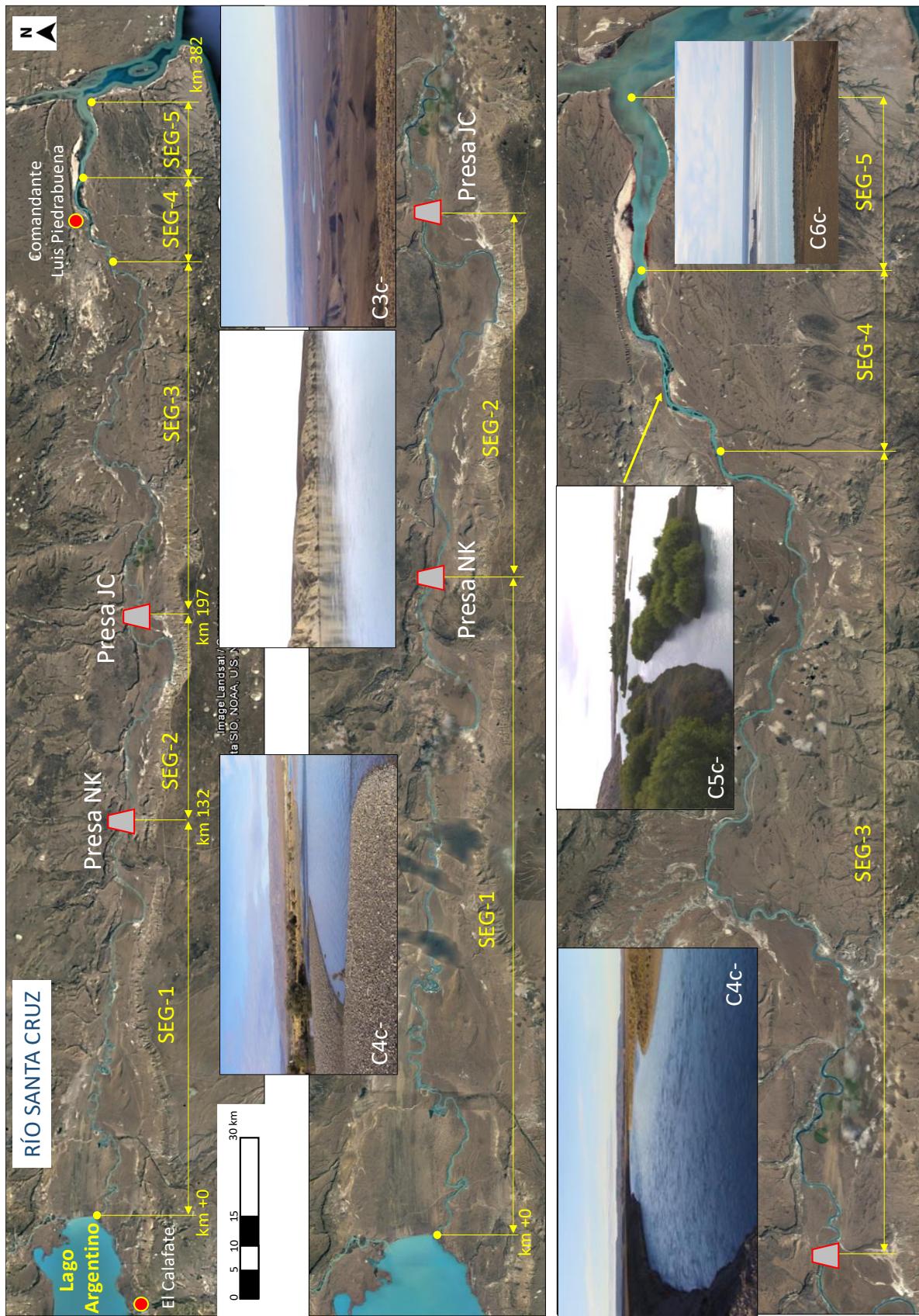


Figura 3. Sistema de zonificación fluvial del Río Santa Cruz (Área de Influencia General del proyecto). Mediante cinco (5) Segmentos fluviales (SEG) se caracterizan los distintos ambientes morfodinámicos existentes a efectos del modelaje IFIM. Fotos extraídas de la Línea Base (Serman & Asoc., 2016) y de Google Earth.

Dentro de cada segmento representativo existen áreas de longitud mayor que la anchura del cauce con unas condiciones hidráulicas homogéneas (velocidad, profundidad, sustrato), las cuales se denominan (meso-) hábitat, y tienen implicaciones fuertes en los componentes hidráulico y biológico del modelo de hábitat PHABSIM. El conjunto de tipos de hábitat que a nuestro juicio ocurren en el RSC a lo largo del año hidrológico en las condiciones pre-proyecto se presentan en la Tabla 2 (pg.sig). Durante el período de caudales altos (enero-junio) se forman ambientes rápidos de manera extensiva, mientras que en el tiempo de caudales bajos (junio-diciembre) se incrementa el área de hábitats más lentos.

Resulta lógico anticipar que, durante el llenado de los embalses, el fragmento detraído del RSC desde JC hasta la desembocadura mantendrá unas condiciones invariablemente menos agitadas que las naturales. Se espera por tanto un incremento de la superficie con hábitats menos profundos y más tranquilos (tabla lenta, poza), a expensas de la reducción de ambientes turbulentos (rápido, tabla rápida). La transformación del ambiente hidráulico será pronosticada más adelante mediante el modelaje PHABSIM, donde se podrá evaluar con criterio cuantitativamente el efecto del Caudal Ecológico en la disponibilidad de hábitat para cada una de las especies ícticas objetivo por separado.

Tabla 2. Tipificación de hábitats en el sector del RSC detraído por la operación de llenado del embalse.

Hábitat	Condiciones	Significación biológica
Rápido Baja Pendiente RBP <i>Low gradient riffle</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Flujo turbulento y rápido (&gt;45-60cm/s)</li> <li>▪ Superficie libre agitada.</li> <li>▪ Sustrato grueso de cantos-gravas.</li> <li>▪ Visibilidad dificultada por las turbulencias.</li> <li>▪ Crecimiento de perifiton en el fondo.</li> <li>▪ Escaso desarrollo de macrófitas por la velocidad alta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Muy productivo de macrobentos.</li> <li>▪ Gasto energético elevado de los organismos para mantenerse en la corriente.</li> <li>▪ Frecuentado por alevines de peces para alimentarse, refugiarse en recovecos y huir de los predadores.</li> <li>▪ Consumo elevado de bicarbonato disuelto -&gt; carbono inorgánico.</li> </ul>
Tabla Rápida TR <i>Run</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tramo profundo y rápido (45-60cm/s).</li> <li>▪ Superficie libre con poca agitación y flujo sin obstrucciones importantes.</li> <li>▪ Sustrato gravas-cantos.</li> <li>▪ Visibilidad moderada.</li> <li>▪ Puede ocurrir en la cabeza o en la cola de un poza.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ocupada normalmente por individuos juveniles de peces.</li> </ul>
Tabla Lenta TL <i>Glide</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Baja velocidad (30-45cm/s) y profundidad, con flujo tranquilo y ordenado con superficie libre lisa.</li> <li>▪ Con posible apariencia de poza, pero no contiene zona erosionada en el lecho.</li> <li>▪ Sustrato de gravas, gravilla y arena.</li> <li>▪ Visibilidad buena. Fondo con vegetación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Son menos productivas en alimento.</li> <li>▪ Preferidas por los peces para capturar el alimento transportado por la corriente.</li> </ul>
Poza REM <i>Pool</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zonas con flujo ralentizado (&lt;30cm/s).</li> <li>▪ Superficie libre carente de agitación y con poza.</li> <li>▪ Ambientes más profundos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zonas de refugio para los peces y otros organismos.</li> <li>▪ Concentración de alimento esperable cuando circule el CE.</li> <li>▪ Producción CO<sub>2</sub> necesario para el suministro de bicarbonato disuelto.</li> </ul>

### 3. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

El régimen de caudales es básicamente de tipo glacial, con cierta contribución de precipitación extra-glaciada. Los hidrogramas anuales son muy regulares y en general poseen una alta predictibilidad, causada en nuestra opinión por las dos características siguientes: (i) alta constancia (variabilidad interanual dentro de cada uno de los meses); y (ii) alta contingencia (los períodos de caudales altos/bajos ocurren en los mismos meses de modo consistente en los sucesivos años). La excepción son los fenómenos ocasionales de aprontamiento de caudales extremos inducidos por la ruptura brusca del endicamiento del Canal de los Témpanos, el cual ocurre según la LB aproximadamente cada cuatro (4) años.

La estación hidrológica de referencia para el RSC es la Charles Fuhr (2802 RHN), situada a 10 km aguas debajo de su nacimiento en el Lago Argentino, a una altitud de 206 msnm. (latitud 50°15'07.60"S; longitud 71°54'28.10"W). La serie histórica de caudal medio diario disponible en la base de datos hidrológica integrada en línea hasta la fecha (BDHI-Subsecretaría de Recursos Hídricos: bdhi.hidricoargentina.gov.ar; consulta marzo 2017) abarca el período de 19DIC1955 hasta 01SEP2015 (59 años y 9 meses). Los datos faltantes son un total de 635 días, repartidos en 5 períodos (huecos) en 4 años. El esquema hidrológico del área de influencia total del proyecto de la Figura 4 señala el tramo que será detraído durante el llenado de los embalses, así como las corrientes tributarias principales (distinguiendo permanentes y temporales).

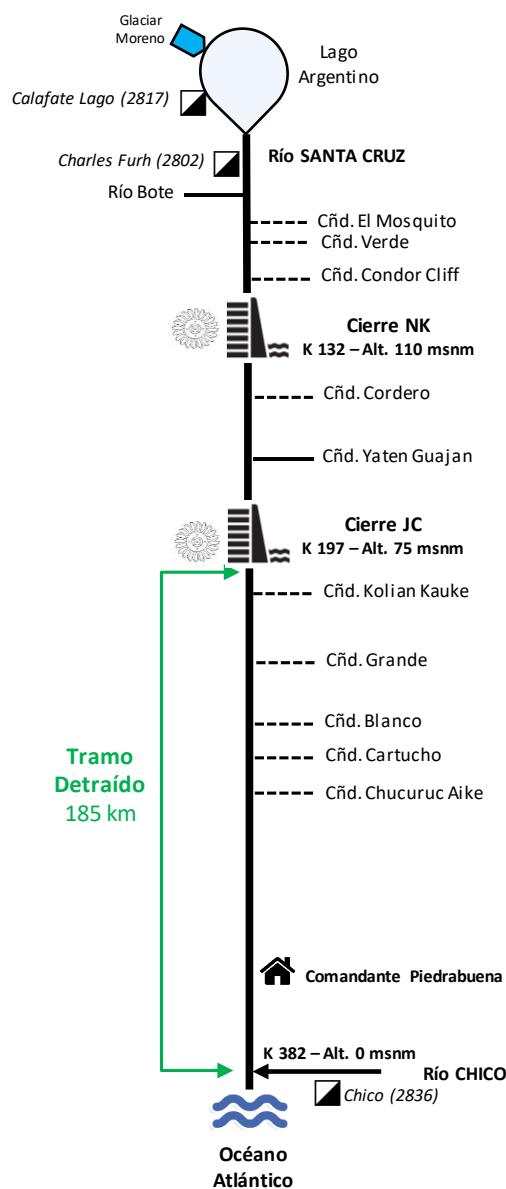


Figura 5. Esquema hidrológico del RSC, indicando las estaciones hidrométricas (■).

### 3.1. Aportación de tributarios

Únicamente dos corrientes afluentes del RSC se reportan en LB como permanentes, pero con aportaciones muy pequeñas en relación al caudal del río principal: (1) río Bote; y (2) Cñd. Yaten Guayan que aporta un caudal anual uniforme estimado en  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ambos tributarios se localizan aguas arriba de la presa JC, por lo cual no suponen contribuciones adicionales al CE que será erogado durante el llenado.

A lo largo del tramo detraído por el llenado – o Área de Influencia General en el EIA – desde cierre JC hasta la desembocadura, existen algunos aportes de los cañadones, más concentrados en la margen izquierda, pero que globalmente son insignificantes en la práctica según la LB. El trabajo referencial sobre este punto realizado por Íturraspe y Sotfíní (2005) compara los caudales diarios del periodo 1946-1953 entre Charles Furh y el paraje La Barrancosa (cierre JC), observando una gran concordancia general, con una pérdida de caudal media de  $14 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que representa tan sólo el 1.8% del módulo anual. Esto indica que las pérdidas por percolación en el cauce no son compensadas por la contribución de los tributarios. Por su parte, Valladares (2004) indica que los cañadones de la margen izquierda y las vaguadas de la margen derecha solo transportan caudal en tiempo de lluvias.

- ☞ Nosotros consideramos que el planteamiento conveniente para el análisis de CE debe ser conservador, asumiendo para ello que la aportación intermedia en el tramo detraído (JC→estuario) es nula, también durante el verano con caudales altos. Complementariamente, si tenemos en cuenta que (a) la precipitación anual es baja (156 mm), y (b) su distribución mensual es bastante regular (máximo 20 mm/mes), parece lógico pensar que la escorrentía esperada es tan pequeña que confirma la premisa de nuestro análisis.

### 3.2. Serie de aporte en sitios de presa

El régimen hidrológico exhibe un patrón unimodal muy claro, con caudales máximos centrados en el bimestre enero-febrero (potamofase) y mínimos durante septiembre-octubre (limnofase). El hidrograma de la serie completa de la Figura 6 es muy elocuente para describir el carácter pulsátil que tiene la variación interanual. Las dos fases mencionadas son relativamente simétricas. Cuando el caudal se compara con el nivel del Lago Argentino, se nota una correspondencia potente y permanente. Eso también ocurre tras los eventos de rotura del glaciar, que se manifiestan en los picos de máximos que ocurren con una recurrencia media de unos 4 años [flechas en la gráfica] (Secretaría de Recursos Hídricos, 2004).

El caudal medio anual es  $714 \text{ m}^3/\text{s}$  y la mediana baja poco hasta  $642 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los perfiles mensuales de dispersión que hemos preparado en la Figura 7 y los estadísticos de la Tabla 3 reflejan el patrón.

#### Período de Caudales Altos

Se trata del hidro-periodo enero-junio, donde se enfoca la fase de llenado de los dos embalses. La UTE ha planificado iniciar el llenado estricto en el mes de enero. Los caudales medios mensuales se mueven desde el mínimo de  $207 \text{ m}^3/\text{s}$  en junio hasta el máximo de  $573 \text{ m}^3/\text{s}$  que es el mes más caudaloso, con un valor promedio para el periodo de  $872 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los caudales diarios mínimos ocurrieron los dos primeros años de la serie 56-57, los cuales se recuerdan por su extrema sequía. El mes menos caudaloso fue junio, con  $207 \text{ m}^3/\text{s}$ , y la media de los mínimos del periodo rondó los  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ . A partir de entonces los mínimos absolutos de este periodo han variado en el rango de  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $700 \text{ m}^3/\text{s}$ . En cuanto al mes más caudaloso que es marzo, el caudal mínimo absoluto ocurrió el primer año de la serie 1956 con  $573 \text{ m}^3/\text{s}$ , y a partir de ahí ha variado con algo más de dispersión que el resto de meses entre  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $800 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Los caudales mínimos anteriores describen la condición de reducción máxima de caudal ocurrida durante en 1 día (24h estrictas). Este tipo de evento ocasional tiene una duración muy corta en términos biológicos, características por las cuales su significación ecológica en principio es limitada. El análisis posterior con duraciones mayores (días, semanas, mes) producirá resultados realmente representativos de la máxima presión potencial hídrica a la que podrá haber estado sometida la biocenosis del RSC.



En cuanto a los mínimos históricos, nuevamente los registros de los dos primeros años 56-57 con caudales en un día algo por debajo de 140 m<sup>3</sup>/s en septiembre-octubre corroboran el estiaje máximo soportado por la biocenosis en los últimos 59 años. El resto de años de la serie, estos eventos puntuales de duración 24h han variado con una tendencia creciente clara desde unos 200 m<sup>3</sup>/s hasta 450 m<sup>3</sup>/s en el año con mayor aporte invernal desde que se tienen datos, que es el penúltimo de la serie 2014. Como en el caso del período húmedo, un dictamen más completo sobre la presión real sobre el ecosistema por la bajada de caudal se obtendrá más adelante examinando ventanas de duraciones mayores mediante medias móviles.

### **3.3. Variabilidad diaria interanual**

Para lograr la visión más precisa del patrón que tiene el hidrograma con resolución diaria, así como evaluar la variabilidad en los sucesivos años (algunos con rotura de glaciar), hemos elaborado los gráficos de la Figura 8. Los tres gráficos superiores 2D muestran hidrogramas anuales para comparación de tres escenarios analíticos: (1) arriba: serie completa; (2) centro: años con rotura en el Brazo; y (3) abajo: años secos. Como referencia el hidrograma medio está en color rojo, y los cuartiles superior (Q75%) e inferior (Q25%) en color verde. El gráfico inferior de superficie 3D está codificado en color, y facilita la comprensión de los ciclos de avance-retroceso del glaciar Moreno asociados a la desobstrucción.

#### **Periodo húmedo enero-junio**

La dispersión durante este semestre es patente, con caudales en el rango inferior por encima de 630 m<sup>3</sup>/s el 90% del tiempo, y picos mayores de 1000 m<sup>3</sup>/s que ocurren el 10% de período. Esto se explica a nuestro juicio por el efecto combinado del contraste entre los años secos y húmedos, y en gran por la ruptura del glaciar Moreno que ocurre durante este tiempo centrado en el verano.

#### **Periodo seco julio-diciembre**

En este caso los intervalos de variación son mucho más estrechos que en el verano. La excepción es el mes de octubre, cuyo máximo se dispara como consecuencia de una rotura reportada en octubre 1956 en el informe de Estadística Hidrológica de Argentina (Subsecretaría de Rec. Hídricos, 1994).

Septiembre es el mes que menor caudal ofrece a la biocenosis de modo consistente en la serie, y también el mes que menor dispersión experimenta. El caudal medio de 300 m<sup>3</sup>/s es algo superior a la mediana 284 m<sup>3</sup>/s. El caudal mínimo absoluto de 150 m<sup>3</sup>/s, sin embargo, supera al mínimo absoluto que ocurre en agosto con 130 m<sup>3</sup>/s, aunque eso se debe a un evento aislado (1956): más representativo es el Q90 de septiembre que vuelve a ser el más bajo de todos los meses con 218.50 m<sup>3</sup>/s.

Tres puntos importantes de este apartado relativos al estudio del CE:

- i. El año hidrológico que ha establecido la UTE para la realización del llenado en el contexto del ECE es el promedio de toda la serie, incluyendo los años de rotura. Las indicaciones de la UTE es que la operación se inicie en el mes de enero. Recordemos que ese año medio es el que se muestra en las gráficas superiores de la Figura 8 en color rojo. En ese patrón de referencia, se nota que el fragmento de potamofase (caudal alto) es bastante simétrico al de limnofase (caudal bajo).
- ii. La condición de caudal mínimo en condiciones naturales que ocurre durante más del 90% del tiempo, y a la cual los organismos acuáticos están adaptados, es DURANTE 1 DÍA de septiembre y vale 218.5 m<sup>3</sup>/s.
- iii. La condición anterior ocurre en los meses contiguos con caudales comparables: agosto 252 m<sup>3</sup>/s y octubre 232 m<sup>3</sup>/s.

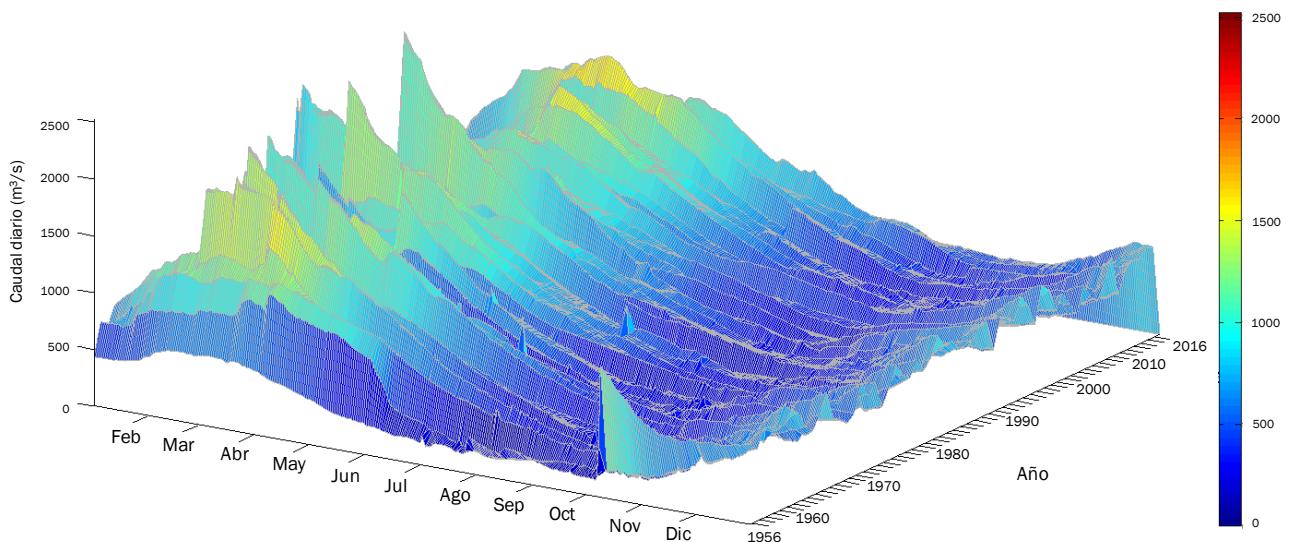
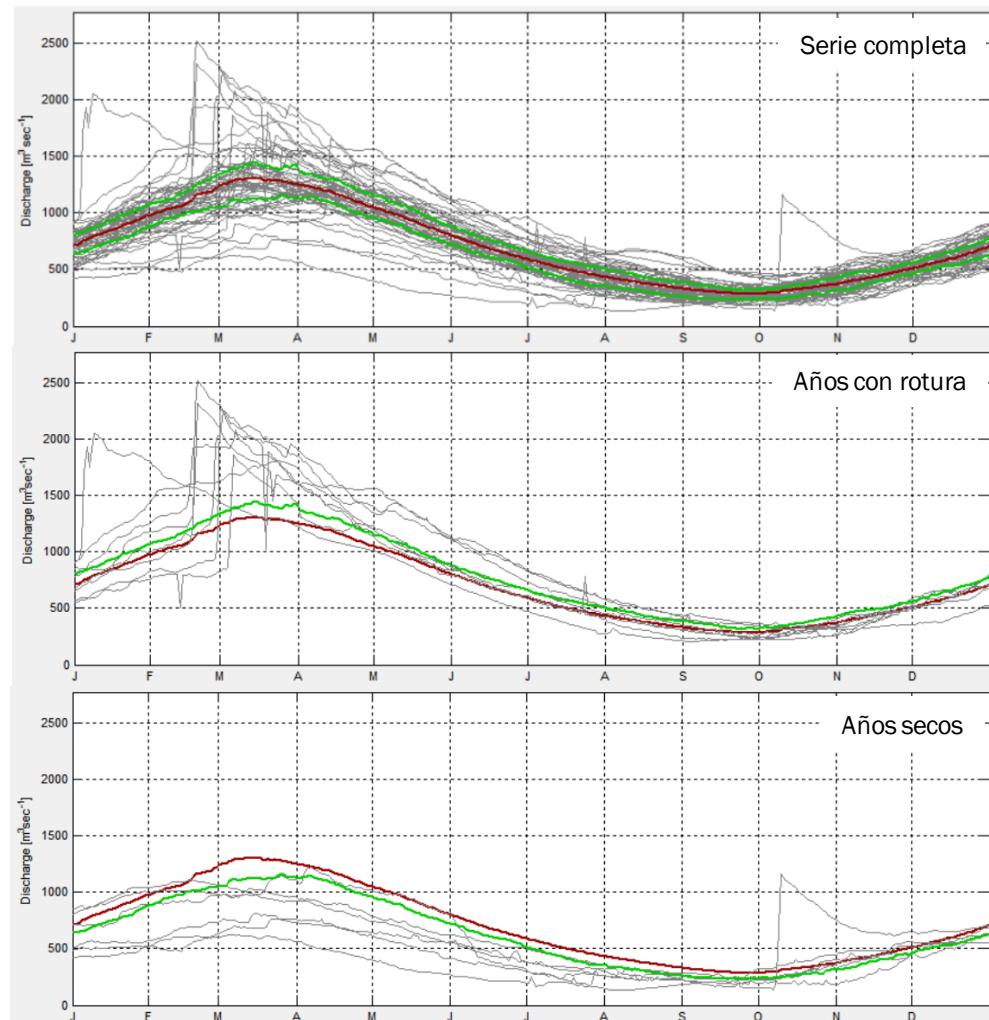


Figura 8: Caudal diario de aporte en sitios de presa: n=59 años; 1956–2015. Arriba: Tres (3) escenarios de hidrogramas anuales día a día (en gris), señalando para cada uno de los días la media (rojo) y los percentiles 25% y 75% (verde); (arriba) serie completa, (centro) años con rotura del endicamiento del Moreno, y (abajo) años secos. Abajo: gráfico tridimensional con caudales codificados en color. Fuente: elaboración propia con el software SAS (Metcalfe y Smith, 2014).

### 3.4. Eventos de Caudal Mínimo

Desde el punto de vista biológico, mucho más representativo que el caudal mínimo ocurrido en un solo día resulta la condición mantenida durante varios días consecutivos cada año (3, 7, 30, y más), a la cual las especies se han ido adaptando históricamente. Para identificar y describir esos eventos de presión hídrica máxima sobre la biocenosis con recurrencia anual hemos realizado un análisis estadístico de medias móviles a la serie de caudales diarios, con amplitudes de ventana incrementales hasta 90 días, cuyos resultados presenta la Tabla 4 (pág.dcha). El objetivo de este análisis es cuantificar el caudal medio diario que los organismos pueden soportar cada año durante los períodos más secos que se presentan con duraciones crecientes: este valor es una referencia con aproximación meramente hidrológica para considerar en el modelaje PHABSIM del CE para el llenado.

- ☞ La premisa es que si los organismos han tolerado con éxito estas condiciones históricas más exigentes, cabe esperar que también se adapten a la futura presión potencial que supone el proceso transitorio de llenado de los embalses.

La duración características de los eventos de caudal bajo (caudales menores que la mediana Q50%) vale 155 días, que representa los cinco meses de caudal más bajo en un hidrograma que es muy simétrico. El Índice de Flujo Base (BFI “base flow index”- cociente  $7Q/Q50$ ) es los distintos años es muy consistente en torno a 0.35, lo que describe esa situación de caudal muy bajo mantenido en gran parte por el caudal base.

- ☞ Los dos hechos anteriores nos hacen pensar que el caudal medio diario mantenido en un evento de caudal muy bajo que dura 3 meses (Qmín-90) podría ser un indicador válido de la resiliencia de los organismos a situaciones temporales y de frecuencia excepcional como es la fase de llenado: una descarga de valor mediana 313 m<sup>3</sup>/s, y decreciente en función de la resistencia del ecosistema hasta el mínimo de 180 m<sup>3</sup>/s. Hemos preferido utilizar el estadístico mediana (Q50%) en lugar de la media, puesto que consideramos que en este caso tiene una significación ecológica mayor al representar duraciones de una condición de caudal concreta.
- ☞ Complementariamente, cuando se observan las medianas para las distintas duraciones, es interesante destacar que las diferencias entre ellas son relativamente pequeñas en relación al caudal medio del río. El incremento entre el Qmín-1 (246 m<sup>3</sup>/s) y el Qmín-90 (313 m<sup>3</sup>/s) vale 67 m<sup>3</sup>/s, que representa el 22% del caudal mediana de septiembre en el que ocurren estos eventos. Pensamos que esto es un reflejo de las condiciones de caudal muy bajo naturales (limnofase), que no son eventos fugaces de pocos días, sino que se mantienen unos 3 meses (agosto-octubre). Esta consistencia de las medias móviles con ventanas de tamaño creciente refuerza a nuestro juicio la cualidad del Qmín-90 como un indicador del umbral ecológico natural de caudal.

Hemos generado las curvas de duración de los caudales durante períodos de duración incremental en la Figura 9 (pág.dcha). Cabe destacar que las tres funciones de duraciones hasta de 7 días tienen patrones muy parejos. La diferencia es perceptible cuando se estudian eventos de caudales muy bajos durante 30 días consecutivos (curva naranja). Esa diferencia se amplifica para la función con ventana de análisis de medias móviles de 3 meses consecutivos. Estos resultados apoyan el interés como escenario preliminar de análisis de caudal ecológico del Qmin-90 días.

Por último, para completar la comprensión de las situaciones naturales de caudal bajo examinamos en la Figura 10 la sencuencia temporal del caudal medio diario durante las mismas. Se detecta una leve tendencia creciente en el caudal medio de los eventos de flujo reducido, aunque con baja significación estadística ( $R^2=0.30$ ). Parece que el patrón es relativamente estable hasta 1995, año a partir del cual las bajadas de caudal invernales se hacen cada vez más moderadas. Como era previsible el salto mayor ocurre de Q-30 a Q-90, cuyas funciones mantienen un patrón general bastante parecido pero con proporciones variables en los sucesivos años.

Tabla 4. Caracterización de eventos de caudal bajo durante días consecutivos. Fuente: elaboración propia.

Estadístico	Eventos de Caudal Bajo ( $m^3/s$ )						
	Duración (d) $Q < Q50\%$	BFI ( $7Q/Q50\%$ )	Qmín 1d	Qmín 3d	Qmín 7d	Qmín 30d	Qmín 90d
Mínimo	56	0.23	130	131	132	147	180
90% excedencia	-	-	201	202	206	217	246
75% excedencia	-	-	229	231	232	236	273
Mediana	163	0.37	246	248	253	265	313
Máximo	220	0.61	452	453	456	464	499

#### Curva de Duración - Caudal mínimo en días consecutivos

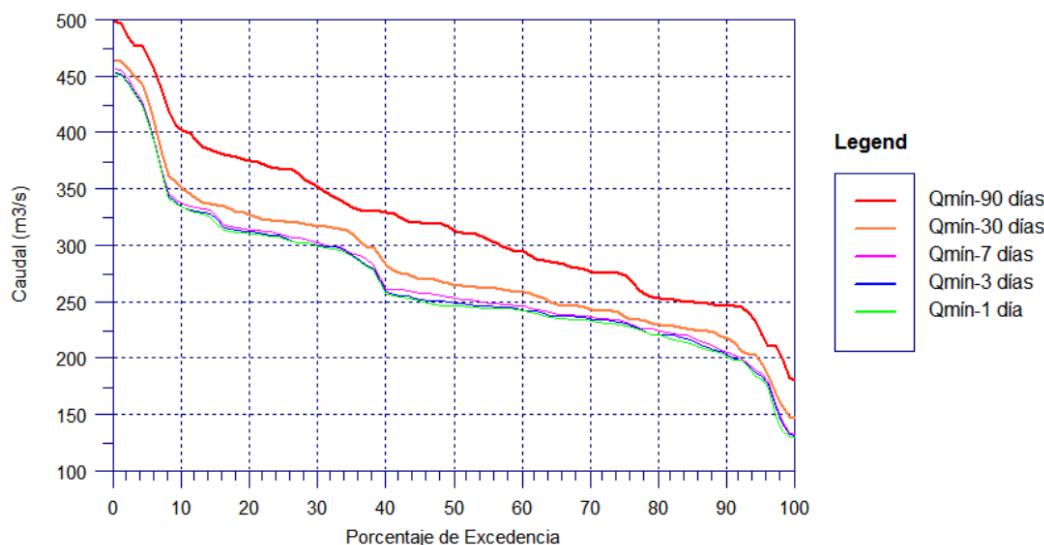


Figura 9: Análisis de duración de los eventos de caudal bajo (limnofases) con duraciones crecientes desde 1 día (Qmín-1) hasta 3 meses (Qmín-90días). Generados mediante medias móviles. Fuente: elaboración propia.

#### Caudal mínimo en días consecutivos

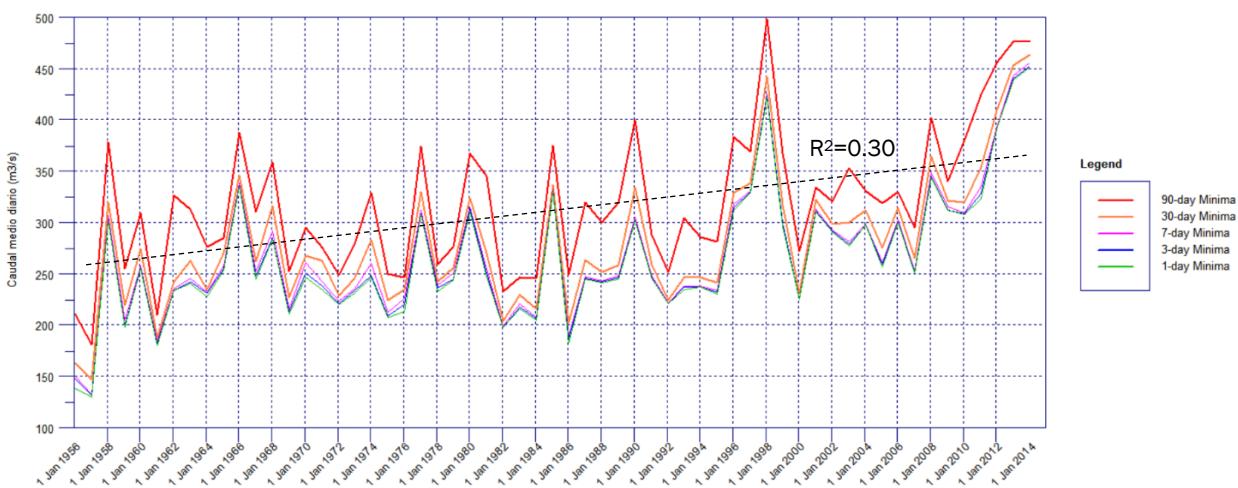


Figura 10. Serie histórica de las limnofases con duraciones incrementales desde 1 día (Qmín-1día) hasta 3 meses (Qmín-90días), calculados mediante medidas móviles. Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Análisis de Tendencia (Caudal)

El apartado de la LBA específico sobre Cambio Climático examina la tendencia de las variables temperatura y precipitación en las estaciones del Lago Argentino (Aero 1961-2000; El Calafate 2001-14) y la Charles Furh en el RSC [EIA-LBA-Clima, pg.23]. Las conclusiones de la aplicación de los métodos de medias móviles de 4 años y de tendencia lineal son:

- Temperatura. No se detecta incremento de temperatura ( $p=0.31$ ). Este resultado no refleja el aumento de 0.5 °C ocurrido en la provincia de Santa Cruz desde 1961 hasta 2010 según Barros et al. (2015).
- Precipitación. Se detecta tendencia decreciente de la precipitación anual en el Lago Arg ( $p=0.015$ ). Sin embargo, NO existe tendencia en la estación Charles Furh, lo cual coincide con lo observado por Barros et al. (2015) en la mayor parte de la Patagonia.

Como complemento del apartado susodicho del EIA, que no examina la variable caudal del RSC, y basta que las decisiones sobre el CE se tomarán en base a la misma, hemos realizado una exploración estadística de la serie de caudales diarios en Charles Furh. El objetivo es conocer cualidades estadísticas de los datos que son necesarias para comprender la hidrología original del RSC, y por consiguiente poder discernir cuales de los eventuales cambios futuros en el hidrograma son consecuencia real del del proyecto en las fases de llenado y/u operación. (1) La primera cualidad es la estacionariedad, es decir si existe tendencia histórica en la serie. (2) La segunda es la homogeneidad, la cual se incumple cuando por ejemplo ocurren cambios en la hidrología de la cuenca y/o errores en la estación que provocan saltos en la media y/o varianza. (3) La tercera propiedad es la independencia de los datos, lo que garantiza la premisa de que la variable sea realmente aleatoria.

Hemos aplicado una completa batería de test paramétricos con el paquete STATGRAPHICS Centurion XVI (StatPoint Tech., 2013) a las siguientes variables: Caudal medio potamofase, caudal medio limnofase, caudal medio anual, Qmín-30 días, y Qmín-90 días. Primeramente identificamos que las series se ajustan a una distribución normal al 95% de nivel de confianza según las pruebas de Shapiro-Wilk ( $p>0.12$ ) y de Kolmogorov-Smirnov ( $p>0.52$ ), lo que determinó la aplicación de pruebas paramétricas. Los resultados de la exploración se recogen en la Tabla 5, donde el nivel de significación  $\alpha$  expresa la probabilidad rechazar la hipótesis nula cuando es correcta (interpretar tendencia cuando en realidad no existe).

- La única variable que es estacionaria es el Caudal promedio enero-junio. El resto de variables siguen una tendencia creciente con una significación alta, inclusive el caudal medio anual. En este sentido, cabe mencionar que la LB en el estudio de desacople hidráulico del Lago Argentina y el embalse NK sugieren un potencial error sistemático a partir de 1976-77 por un posible corrimiento del cero del limnímetro (EIA Actualización-Cap2; Serman & Asoc., 2017). Este aspecto no ha sido demostrado.
- Los caudales medios del semestre de crecida y del año son homogéneos. Para el resto de variables se detectan saltos en la media.
- Las tres variables de caudales medios (potamofase, limnofase, y anual) pueden considerarse que son un proceso aleatorio con una alta significación ( $\alpha>0.10$ ). Sin embargo, eso no ocurre con los caudales mínimos Qmín-30/90días, que por algún motivo son claramente no-independientes estadísticamente.

(i) Un estudio profundo de los procesos que determinan el caudal del RSC ayudaría a esclarecer las causas de los resultados anteriores, el cual está fuera del alcance del ECE. (ii) Por otro lado, el control de calidad de las mediciones en la estación Charles Furh juega un rol esencial en la confiabilidad de los datos. (iii) Los tests estadísticos empleados tienen tambien cierto efecto en los resultados. Para escrutar la serie hemos aplicado el test de tendencia no-paramétrico de Mann-Kendall para año completo, y con mayor resolución mes a mes. En este caso el caudal anual no presenta tendencia, tanto la media como la mediana. En los meses de crecidas no detecta tendencia, pero de julio a octubre revela tendencia creciente clara.

- En cualquier caso, con el planteamiento práctico enfocado a elaborar un ECE operativo que procede ahora, nosotros consideramos que la significación estadística no necesariamente implica la existencia de un proceso: por ello el criterio hidrológico debe prevalecer.

Tabla 5. Análisis estadístico exploratorio de consistencia estadística.

Cualidad	Test	Q Ene-Jun	Q Jul-Dic	Q anual	Qmín-30 días	Qmín-90 días
Tendencia	Regresión lineal	Estacionario $\alpha > 0.10$	Tendencia↑ $\alpha < 0.05^*$	Tendencia↑ $\alpha < 0.10$	Tendencia↑ $\alpha < 0.01^{**}$	Tendencia↑ $\alpha < 0.01^{**}$
Homogeneidad	- Desviación acumulada - Ratio Worsley - t de Student	Homogéneo $\alpha > 0.10$	No $\alpha < 0.05^*$	Homogéna $\alpha > 0.10$ Worsley *	No $\alpha < 0.01^{**}$	No $\alpha < 0.01^{**}$
Aleatoriedad	Autocorrelación	Aleatorio $\alpha > 0.10$	Aleatorio $\alpha > 0.10$	Aleatorio $\alpha > 0.10$	No $\alpha < 0.05^*$	No $\alpha < 0.01^{**}$

### 3.6. Indicadores Hidrológicos

Finalmente, para caracterizar el hidrograma natural de modo resumido y sistemático hemos seleccionado el conjunto de 24 indicadores hidrológicos con significación ecológica organizados en la Tabla 6 (pág.sig). Estas variables/índices hidrológicos representan numéricamente distintos eventos que ocurren dentro del rango de caudal intermedio, limnofases, potamofases, y otras características con implicaciones biológicas (predictibilidad, dispersión, etc). Los valores de la tabla son los medios de la serie. Aunque la mayoría de indicadores son auto explicables, se aclaran algunos por conveniencia.

- Índice de Caudal Base BFI (“Base Flow Index”): caudal mínimo en 7 días anual dividido entre el caudal medio anual Qmín7/Qmedio.
- Caudales Bajos son aquellos iguales o menores que el caudal mediano anual Q50.
- Caudales Altos son los que superar el percentil Q75.
- El Coeficiente de Dispersion es la diferencia entre Q75 y Q25 dividido entre Q50.
- La Predictibilidad es una medida de la variabilidad entre años y tiene dos componentes: constancia y contingencia. La constancia se refiere a la variabilidad de un mismo evento en los diferentes años, mientras que la contingencia expresa la periodicidad de un evento en un periodo concreto del año. Hemos seguido el sistema de Colwell (1974) con 11 clases de caudal basadas en una escala logarítmica de base 2 en el rango desde  $<0.125^*Q\text{medio}$  hasta  $>64^*Q\text{medio}$ .
- El índice de Richards-Baker (Baker et al., 2004) refleja la frecuencia y rapidez de los cambios de caudal a corto plazo (efimeridad- “flashiness”).
- El índice Fre3 consiste en la frecuencia de crecidas cuya magnitud excede el triple del caudal mediana ( $Q > 3^*Q50$ ). Este caudal actúa según Clausen y Biggs (1997) como una crecida de lavado, la cual en ríos de Nueva Zelanda explica la variabilidad de la comunidad de macroinvertebrados y de perifiton. Los autores encuentran que al aumentar el Fre3 se reduce la riqueza y la biomasa de perifiton, y se incrementa la densidad de invertebrados.

### 3.7. Carga Sólida

En el momento de la elaboración de este documento la UTE está adelantando un estudio sedimentológico encargado al experto hidrólogo H. Farias. Además de caracterizar la morfología y el material del lecho, se estimará la capacidad de transporte de sedimentos. Se ensayarán diferentes formulaciones conocidas de capacidad de transporte de sedimentos (Meyer-Peter & Muller, Engelund & Fredsoe, Smart & Jaeggi, Rickenmann, Parker, Yang, Browlie, etc) mediante un modelo 1D (cuasi 2D en franjas).

El objetivo del estudio es desarrollar una curva de gasto sólido vs. líquido para el sector intervenido.

### 3.8. Usos del agua

La LB reporta que el área de influencia del proyecto es zona rural con bajísima densidad poblacional. El aprovechamiento hídrico es muy bajo y se destina para: (1) abrevar el ganado ovino; (2) abastecimiento humano/doméstico de los residentes en localidades (Cte. Piedrabuena) y en las estancias aisladas; y (3) regadío aguas abajo de presa JC.

Teniendo en cuenta que el llenado de los embalses se centrará en el tiempo de caudales altos en el que no se requiere riego, resulta claro que el efecto del CE sobre los usos es insignificante.

Tabla 6. Conjunto de 24 indicadores hidrológicos para caracterizar el hidrograma de aporte natural.

RANGO HIDROLÓGICO	VARIABLE	Promedio 1956-2015
Caudales Medios	Q medio anual ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	714.1
	Q mediana anual ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	641.8
Caudales Bajos	Qmín1 día ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	246
	Qmín3 días ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	248
	Qmín7 días ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	253
	Qmín30 días ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	265
	Qmín90 días ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	313
	Índice BFI ( $Q_7/Q_{\text{medio}}$ )	0.38
	Duración Qbajo [ $Q < Q_{50}$ ] (días)	146
	Eventos Qbajo/año	1.42
Caudales Altos	Qmáx1 día ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	1347
	Qmáx3 días ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	1343
	Qmáx7 días ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	1339
	Qmáx30 días ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	1277
	Duración Qalto [ $Q > Q_{75}$ ] (días)	59.0
	Eventos Qalto/año	1.15
	Tasa $\uparrow Q$ ( $\text{m}^3/\text{s.día}$ )	6.89
	Tasa $\downarrow Q$ ( $\text{m}^3/\text{s.día}$ )	6.39
Índices	Inversiones $\uparrow \downarrow$	61
	Coef. de dispersión ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) $(Q_{75}-Q_{25})/Q_{50}$	0.522
	Predictibilidad	0.77
	Constancia	0.52
	Constancia/Predictibilidad	0.68
	Richards-Baker	0.01
	Fre3 [Frec. $Q > 3*Q_{50}$ ]	0.12

### 3.9. Apporte del Río Chico

Al largo estuario desemboca también el río Chico, con las aportaciones mensuales medidas en la estación Río Chico (código 2836) de la Figura 11. La serie disponible es mensual y muy corta (JUN2015-ENE17), pero orienta sobre el rango de caudales durante el tiempo de llenado, entre el máximo de 25  $\text{m}^3/\text{s}$  y el mínimo de 7  $\text{m}^3/\text{s}$ .

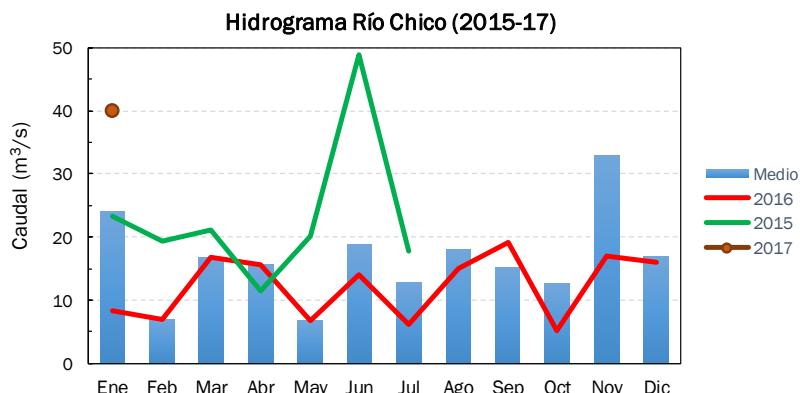


Figura 11. Perfil mensual en la desembocadura del Río Chico (Est.2836:2015-17)

## 4. MODELAJE HIDROLÓGICO DEL LLENADO

El objetivo del modelaje del llenado de los dos embalses del proyecto consiste en determinar el incremento de nivel que ocurre en cada uno de ellos a lo largo del tiempo, hasta alcanzar sus respectivas cotas NAOM. Este balance hidrológico depende de los siguientes componentes: (i) topografía del vaso, (ii) estructuras hidráulicas de descarga, (iii) hidrograma de entrada, (iv) hidrograma de salida, y (v) condición inicial.

Aplicaremos el método Puls Modificado de tránsito de hidrograma en embalse, el cual está basado en una aproximación de diferencias finitas de la ecuación de continuidad, combinada con una representación empírica de la ecuación de momento (HEC, 2000). La ecuación del balance entre dos tiempos  $t-1$  y  $t$  es:

$$\left( \frac{S_t}{\Delta t} + \frac{O_t}{2} \right) = \left( \frac{I_{t-1} + I_t}{2} \right) + \left( \frac{S_{t-1}}{\Delta t} - \frac{O_{t-1}}{2} \right)$$

Donde,  $I$  = caudal de entrada ( $m^3/s$ );  $O$  = caudal de salida ( $m^3/s$ );  $S$  = volumen almacenado en el vaso ( $m^3$ );  $\Delta t$  = duración del intervalo de cálculo entre los tiempos “ $t-1$ ” y “ $t$ ”.

Su resolución requiere una relación funcional entre el almacenamiento ( $S$ ) y el caudal de salida ( $O$ ), la cual se construye a partir de otras dos funciones: (a) curva de embalse nivel-almacenamiento; y (b) curva de descarga nivel-caudal de salida.

La simulación se realizará con el paquete HEC-HMS 4.2.1 (HEC, 2017) de libre distribución.

### 4.1. Reglas de llenado

Las instrucciones operativas dadas por la UTE para el desarrollo de esta fase son las siguientes:

- i. Los niveles NAOM son: 176.50 m IGN en NK y 114.00 m IGN en JC. El llenado comienza en el embalse JC y se mantiene hasta que se alcance su NAOM. A partir de ese momento se incia la retención en el embalse NK, y el proceso finaliza cuando se completa su NAOM.
- ii. Las estructuras de evacuación de caudal que operan permanentemente en las presas son los descargadores de fondo, compuestos de un número de orificios cuya descarga está controlada por compuertas. No es previsible en principio que los vertederos y/o aliviaderos necesiten operar durante esta fase de cierre.
- iii. El hidrograma de entrada establecido por la UTE es el promedio de la serie completa, incluyendo los años de rotura del glaciar, con resolución diaria. Eso representa que el intervalo de cómputo  $\Delta t=1$  día. Para el llenado de JC este hidrograma será el de entrada hasta que se alcance el NmínN, momento a partir del cual recibirá únicamente el CE
- iv. El hidrograma de salida para ambas presas es el régimen de CE fijado para los distintos meses que dure la operación.
- v. El nivel inicial en cada embalse se calcula a partir de las curvas de calibración del cauce en el sitio de presa aportadas por la UTE (cota de agua – caudal).

### 4.2. Funciones que gobiernan el modelo

La siguiente información de base ha sido facilitada por la UTE en distintos documentos que se refieren.

- **Hidrograma de aporte.** Siguiendo las instrucciones de la UTE, hemos obtenido el hidrograma diario del año medio, que será el de entrada a los embalses. Una vez que JC esté completo, recibirá únicamente la descarga ecológica CE. Promediando todos los años de la serie hemos obtenido el hidrograma de cálculo de la Figura 12 (azul). Como primera aproximación de tendencia general hemos calculado la evolución del almacenamiento acumulado en JC para dos escenarios de CE tentativos: (i) 180  $m^3/s$  (Qmín-90días mínimo absoluto) y (ii) 313  $m^3/s$  (Qmín-90días medio histórico). En el segundo caso el embalse se llena en tres meses, mientras que con el CE menor se acorta el proceso unos quince días.

- ▶ **Curvas de embalse:** relaciones Cota del terreno (m.s.n.m IGN) vs. Almacenamiento en el vaso ( $\text{hm}^3$ ). Provienen del procesamiento de las cartas de restitución IGN, que es la información más fidedigna según el informe de la UTE [GE-A.CV-MT.TP-(OG-01-01)-P001]. Las funciones que hemos generado a partir de datos tabulados están en la Figura 13 arriba (pág.sig). En ambas se señala en NAOM. En el caso del embalse NK, niveles por encima de 178 m IGN generan remanso en el lago (puntos azules), lo cual supone un almacenamiento adicional al estricto del RSC.
  - ▶ **Curvas de descarga:** relaciones Nivel de agua en el embalse vs. Caudal de salida. La UTE ha aportado las funciones en descarga libre regida por la carga de vertido en el embalse [JC-A.CV-MC.HD-(DD-03-01)-P001]. Según el diseño actual los descargadores de ambas presas pueden descargar hasta 700  $\text{m}^3/\text{s}$ , y durante esta fase deberán erogar el régimen de CE que se determine. En la Figura 13 centro (pág. sig) se comparan las curvas de descarga de JC estrictas (izqda) y las adaptadas a dos hipotéticos CE. Los descargadores disponen de compuertas para limitar la descarga al CE estricto.
- Los orificios por debajo de un nivel umbral funcionan a lámina libre, hasta que la carga hidráulica fuerza el flujo a presión (zona rodeada en la figura). Por otra parte, al inicio del proceso no hay que descartar que pueda ocurrir un lapso –relativamente corto- en que el nivel en el embalse sea insuficiente para erogar el CE óptimo para ese momento (carga de vertido). La duración exacta de esa condición dependerá del caudal de entrada concreto de ese mes y también del CE adoptado.
- ▶ **Curvas de gasto en los sitios de presa:** relaciones Caudal circulante vs. Cota del agua en las sección del cauce localizada en cada uno de los ejes de presa. Provienen del modelaje hidráulico de caudales extremos elaborado por la UTE [NK/JC-A.CV-MT.HD-(OG-00-00)-P001]. Se muestran en la Figura 13 abajo, y hemos señalado el caudal medio del mes enero, en que comienza la simulación en JC. El nivel correspondiente a ese caudal define la “condición inicial” en el embalse.
- ☞ La simulación detallada para el conjunto de CE incrementales que ayudará en la toma de decisiones se realizará más adelante, a partir de los resultados que arroje el modelaje PHABSIM del hábitat.

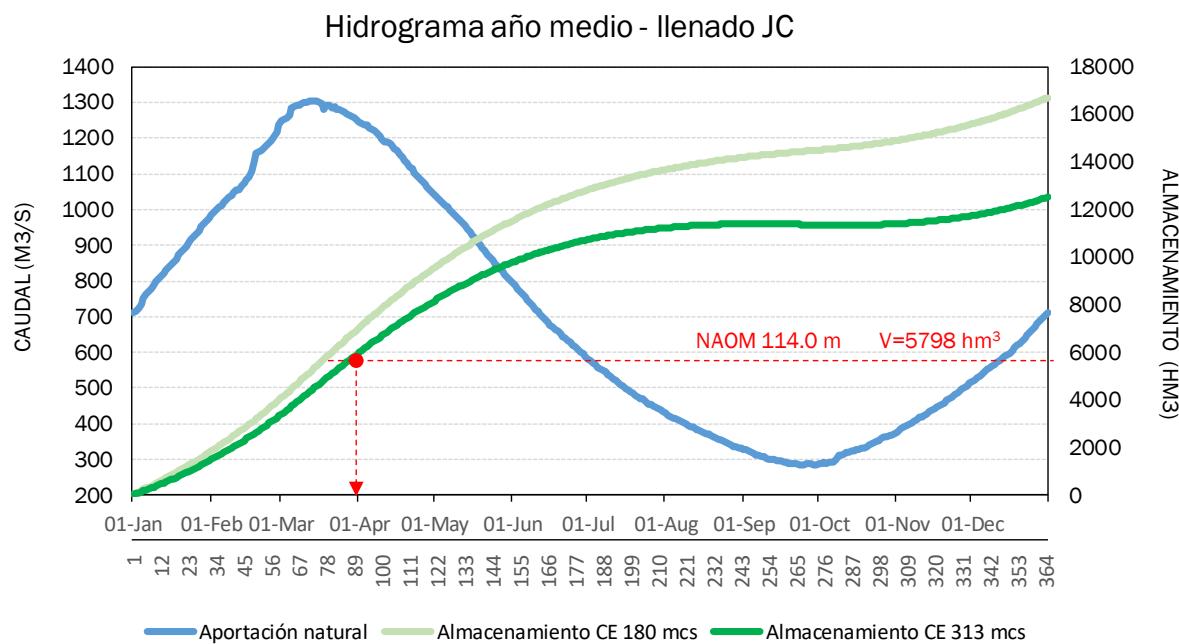


Figura 12. Hidrograma del año medio para análisis del llenado de los embalses (línea azul). El eje secundario representa el almacenamiento acumulado en el vaso de JC para dos CE tentativos: (1) en verde claro el Qmín-90días mínimo de la serie 180  $\text{m}^3/\text{s}$ ; y (2) en verde oscuro el Qmín-90días medio histórico 313  $\text{m}^3/\text{s}$ . En el segundo caso se completa la operación en 3 meses, mientras que con el CE menor se acorta unos 15 días.

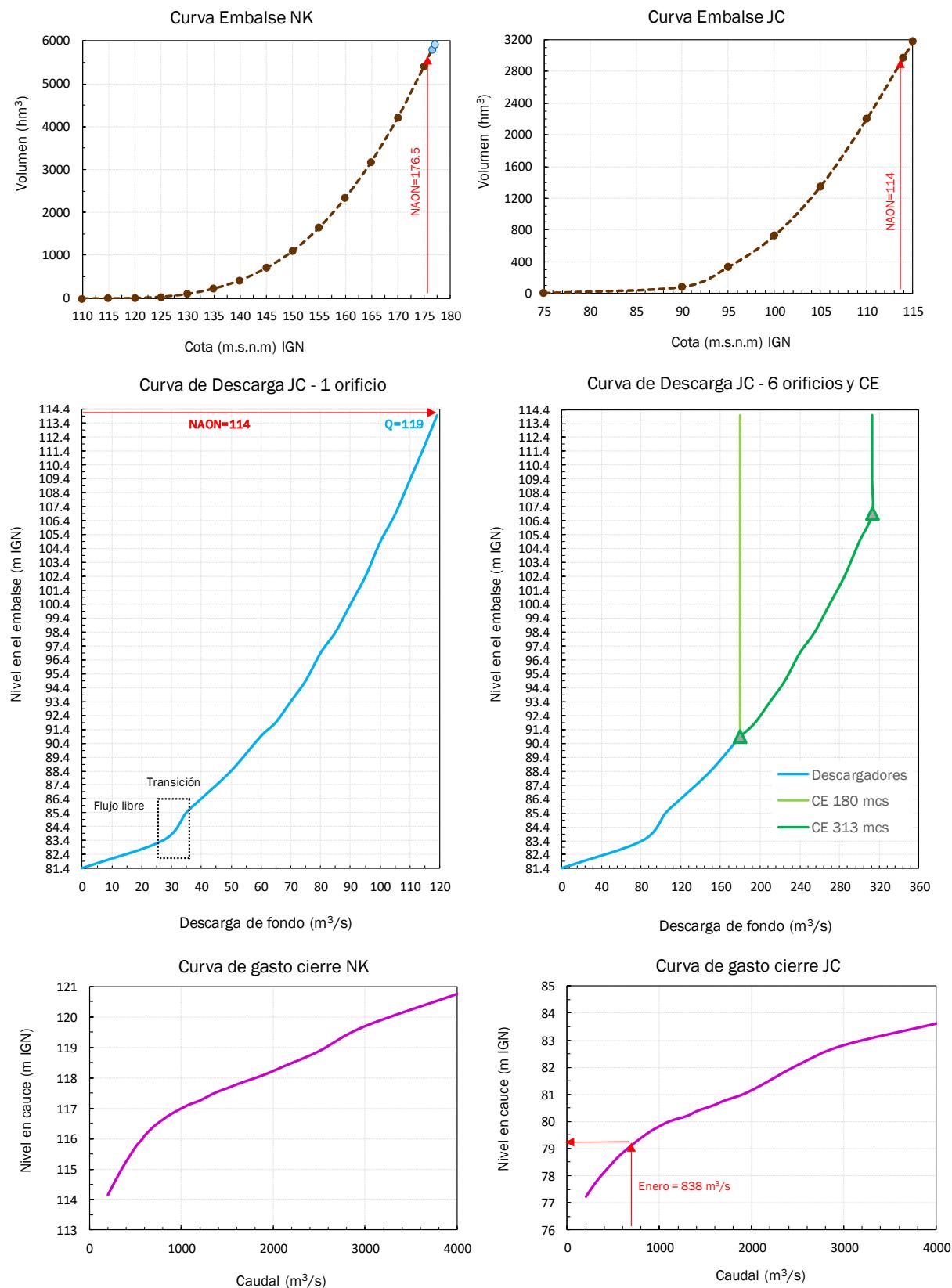


Figura 13. Relaciones funcionales necesarias para aplicar el método Puls Modificado enfocado al llenado de los embalses. Arriba: funciones Cota-Almacenamiento (volumen) derivadas de las cartas IGN. Centro: Curvas de calibración de los descargadores de fondo de JC; a la izquierda en descarga libre, y a la derecha controlada mediante compuertas para erogar dos CE hipotéticos. Abajo: curvas de gasto de las secciones del río en los sitios de presa, señalando en la de JC el caudal medio del mes de enero, en el que se programa el inicio del llenado. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la UTE.

## 5. APPLICACIÓN METODOLOGÍA IFIM

### 5.1. Objetivos

Aunque la detacción de caudal del RSC subsiguiente al cierre de las presas para posibilitar el llenado de los vasos es un evento transitorio, la alteración hidrológica asociada plantea unos efectos potenciales en el hábitat acuático de distinta tipología que van a evaluarse con la metodología IFIM-PHABSIM.

Durante el tiempo que dure el llenado es previsible que el caudal reducido aguas abajo de presa JC cause cambios en las condiciones del hábitat acuático en el fragmento intervenido hasta su desembocadura. Analizar las características de los potenciales efectos temporales de modo cualitativo y cuantitativo es el objetivo principal del ECE. La aplicación IFIM producirá resultados con base científica sobre las respuestas esperadas de la detacción en el hábitat utilizado por los organismos acuáticos y en la estructura del cauce. La cuantificación de estos efectos mediante funciones matemáticas del tipo caudal-hábitat resultará muy práctica en el proceso de concertación de un régimen de caudal ecológico que sea equilibrado en su balance tiempo de llenado vs. alteración de hábitat.

### 5.2. Marco Analítico

U marco sólido de análisis de CE debe evaluar los efectos en el hábitat en términos cualitativos y también cuantitativos, posibilitando que el concepto de “unidad de hábitat utilizable” sea una herramienta práctica en la valoración ambiental-económica de la operación de llenado del proyecto. Además, las implicaciones del proyecto sobre la integridad ecológica deben ser estudiados en su variación espacial en el cauce (direcciones longitudinal, transversal, y vertical) y también a su variación temporal intra/inter-anual. Esta concepción 4D inherente a las corrientes naturales (3D espacial+1D tiempo) así como la capacidad para pronosticar cambios medibles en el hábitat acuático utilizable hacen de las metodologías incrementales u holísticas el tipo de marco analítico apropiado para los Aprovechamientos Hidroeléctricos del RSC.

La metodología de este tipo pionera y la más aplicada en el ámbito mundial desde hace tres décadas es la denominada IFIM (“Instream Flow Incremental Methodology”), desarrollada por un grupo multidisciplinario del antiguo Departamento de Pesca y Vida Silvestre Estadounidense (USFWS) encabezado por Bovee y Milhous (1978) [actualmente Servicio Geológico EEUU-USGS]. La posición hegemónica de IFIM a nivel mundial se debe en gran medida a su reconocimiento científico consolidado (Dumbar *et al.*, 1998), su perspectiva integradora de los componentes y los procesos ambientales, y su enfoque práctico hacia la negociación. En síntesis, IFIM evalúa los efectos de cambios incrementales de caudal en la estructura del cauce y en la disponibilidad de hábitat físico utilizable, combinando modelos hidráulicos y biológicos con datos hidrológicos. Los resultados espaciales y temporales de IFIM consisten en la mejor aproximación posible en gabinete del grado con el que un CE mantendrá la integridad ecológica del RSC, de modo indirecto empleando la variable hábitat utilizable como indicador básico de la condición ecológica. Una aplicación IFIM consta de cinco fases que se describen en el texto referencial de Bovee (1982), las cuales desarrollarán este ECE (Figura 14): 1) Identificación y diagnosis, 2) Planificación del estudio, 3) Modelaje PHABSIM del hábitat acuático, 4) Análisis de alternativas y 5) Propuesta de Régimen CE.

## 6. IDENTIFICACIÓN Y DIAGNOSIS

Caracteriza la situación pre-proyecto de aquellos componentes del medio socioeconómico y del natural que pueden ser afectados por el cambio hidrológico. La información que hemos utilizado está contenida en el EIA inicial y las revisiones hasta la fecha (Serman & Asoc., 2016,2017).

El estudio socio-económico del EIA reporta un área de influencia social directa (AISD) asociada al proyecto que incluye 3 localidades (El Calafate, Cte. Luis Piedrabuena y Puerto de Santa Cruz) y 48 estancias en la zona rural en la zona entre las dos presas. La población total en las 4 localidades es 27,491 habitantes, y en la zona rural no existen datos. La actividad económica principal en El Calafate es el sector turístico (unas 7800 plazas hoteleras y 800 empresas vinculadas), mientras que en Cte. Luis Piedrabuena y Puerto Santa Cruz dependen en gran medida de la administración e inversión pública. En el medio rural la actividad mayoritaria es la ganadería ovina, y algo de bovina. Existe producción agrícola a pequeña escala con riego.

Nos parece interesante destacar el porcentaje de población desocupada en la AISD, que según la LB es del 20% al 30%, correspondiendo el límite inferior a El Calafate por su actividad turística. Sin conocer los datos concretos, pensamos que la construcción y operación de este proyecto muy probablemente activará la economía de la zona y creará nuevos puestos de trabajo de manera significativa. En este sentido las expectativas de la población mayoritaria son muy positivas respecto al proyecto, en cuanto a la oportunidad que supone para el desarrollo regional y local, generación de mano de obra, e inversión en uso de recursos y servicios por parte de la compañía. Las percepciones negativas reportadas en la LB se refieren al proceso de expropiación en la población rural, y a la posible afectación ambiental del Lago en El Calafate. Sobre el último aspecto, recordemos que el desacople hidráulico entre el embalse NK y el Lago ha sido dictaminado por expertos en un estudio específico de LB elaborado por la UTE.

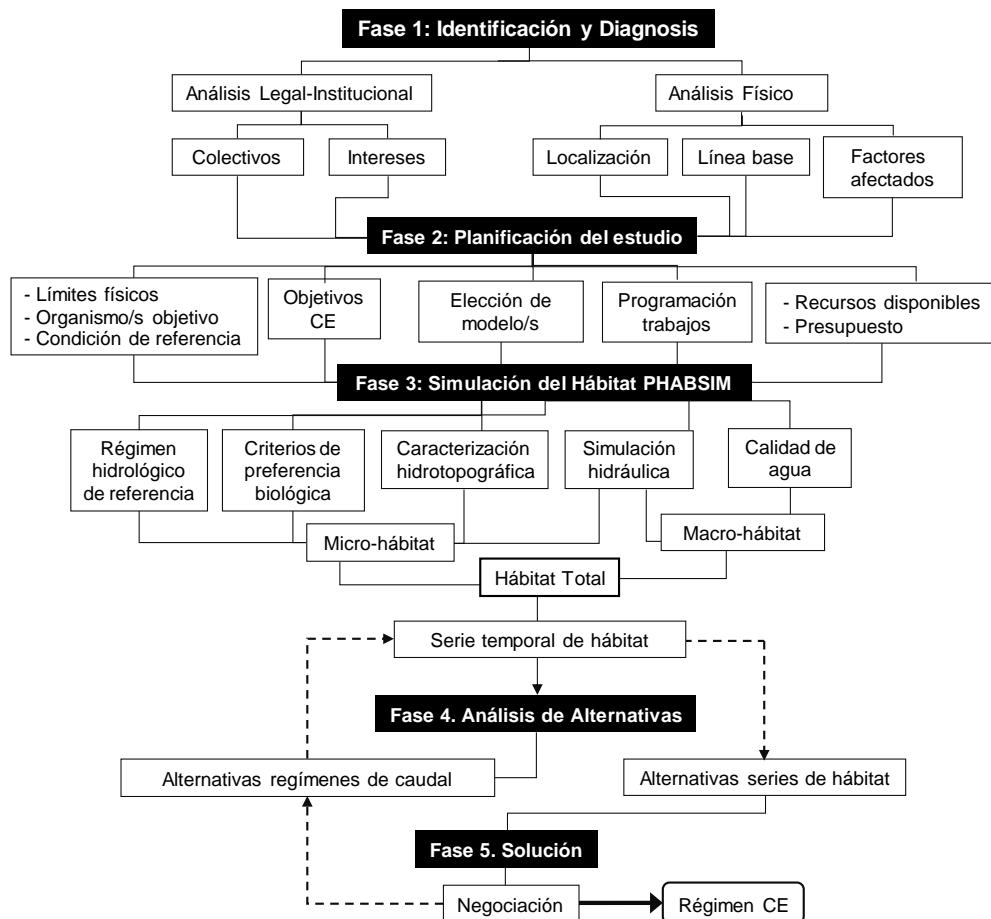


Figura 14. Esquema operativo de la metodología IFIM.

## 7. PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Engloba las dos siguientes actividades de análisis de línea base y de programación.

- Identificación de la información necesaria para desarrollar los intereses de los grupos implicados. El alcance de la LB socio-económica existente es suficiente para ello.
- Interpretación de la línea base biológica** con énfasis en la composición de especies y sus respectivos ciclos de vida, para reconocer los períodos críticos y determinar las especies objetivo. A continuación, sintetizamos los aspectos de la LB ambiental pertinentes para este análisis, los cuales proceden del EIA inicial, así como de las actualizaciones disponibles a día de hoy (Serman & Asociados, 2016, 2017). Complementariamente, incorporamos los resultados recientes de estudios complementarios sobre la biología y la preferencia biológica de la ictiofauna, elaborados por el grupo IDEAUS-CONICET.

## 7.1. Calidad de agua

El muestreo completo realizado en época de caudal alto (29MAR-4ABR2015) en ocho (8) estaciones de muestreo distribuidas desde el Lago Argentino hasta la desembocadura en el sector de Piedrabuena refleja unas condiciones fisicoquímicas correspondientes a una calidad de agua muy buena. Según los estándares propuestos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación Argentina para los usos potenciales del agua, se tipifica como aguas muy aptas. En los puntos de muestreo de modo consistente se registra:

- Concentración de oxígeno elevada, con niveles muy próximos a saturación.
  - Niveles de nitrógeno y de fósforo bajísimos.
  - Transparencia del agua alta y nivel de clorofila muy bajo.
  - Concentración de sustancias minerales baja.
  - Niveles de pH neutros o de ligera alcalinidad.
- Los anterior refleja un ambiente ultraoligotrófico cuyas condiciones fisicoquímicas no limitan la capacidad biogénica del río, ni son impedimento para el desarrollo normal de la biocenosis en su hábitat natural.

También se ha muestreado en el Lago Argentino la distribución vertical de temperatura y de oxígeno, levantando perfiles hasta profundidades de 80 m en tres puntos representativos del gradiente longitudinal del lago: Brazo Sur, El Calafate, y naciente RSC. Se realizó a finales de marzo 2015, período de caudal alto en el cual se efectuará el cierre de las centrales.

- La temperatura superficial se mantiene constante hasta una profundidad de 15 m. A partir de allí hasta los 80 m de profundidad la temperatura se reduce un máximo de 2 °C dependiendo del sitio:
    - i. En la naciente del RSC la variación es nula estricta, manteniéndose constante la temperatura en superficie de 11 °C.
    - ii. En la zona central del lago la disminución es de 1°C con un gradiente estable desde los 11 °C en superficie a los 10 °C a 80 m.
    - iii. En la zona superior más fría la temperatura superficial de 9°C baja 1°C en los 30 primeros metros del perfil, y otro grado adicional hasta el fondo del perfil con 7°C.
  - Los niveles de oxígeno disuelto en los tres sitios se mantienen prácticamente invariables a lo largo de todo el perfil, en condiciones próximas a la saturación rondando los 11 mg/l. Este hecho es normal en lagos andinopatagónicos (Bonetto et al., 1971).
- Estos resultados pensamos que son orientativos para anticipar las condiciones en los embalses durante su llenado, cuyas profundidades máximas cerca de presa son menores que la de los perfiles en el lago: 68 m NK y 41 m JC. En los tres sitios no existe termoclina marcada a la profundidad de los embalses, lo cual ocurre también en otros lagos andinopatagónicos (Baigún y Marione, 1995).

## 7.2. Fitoplancton

Han sido muestreados tres puntos en el área de influencia del proyecto: inicio del embalse NK, eje de presa JC, y sector de Cte. Piedrabuena. Los grupos taxonómicos fueron los mismos que los existentes en el Lago. Dominan las algas Diatomeas (*Bacillariophyta*) y las verdes (*Chlorophyta*), y con mucha menor abundancia se registran Dinoflagelados (*Dinophyta*), algas rojas (*Rhodophyta*), y cianobacterias. El patrón observado es que a medida que descende el río predominan las algas diatomeas sobre las verdes, debido a la mayor cantidad de sólidos transportados y a la menor exigencia lumínica de las primeras. Por eso en el embalse NK dominan las algas verdes sobre las diatomeas; en JC están igualadas; y en Piedrabuena compiten con clara ventaja las diatomeas. La diatomea más abundante es *Aulacoseira pseudogranulata*.

## 7.3. Zooplancton

Prevalecen los rotíferos, que tienen un alta de renovación y distribución amplia. Su riqueza y abundancia aumentan a medida que el río descende. El zooplancton es parte esencial en la alimentación de algunos peces y macroinvertebrados, pero a nivel práctico no son aplicables como organismo objetivo en IFIM al no existir curvas de preferencia.

## 7.4. Perifiton y Macroinvertebrados

La LB examina zonas de orillas con tres condiciones de hábitat distintas: (1) sustrato de gravas-cantos (2-25cm) con poco biofilm y velocidad en el rango 0.5-1.3 m/s; (2) gravas (1-3 cm) con abundante biofilm y velocidad 0.2-0.8 m/s; y (3) arenas (1-3 mm) y algo de grava (0.2-2 cm) con abundante biofilm y velocidad 0.1-0.6 m/s. Se utilizó red Surber (30x30 cm; 250 micras), removiendo los primeros 10-30 cm del lecho.

### Perifiton

El ensamble perifítico está integrado por algas que crecen sobre sustrato rocoso y sobre algas del género *Cladophora*:

- Diatomales: *Synedra sp.*, *Nitzchia sp.*
- Algas verdes (*Clorophyta*): *Oedogonium sp.*, *Zygenema sp.*, *Spirogyra sp.*, y *Ullotrix sp.*
- Algas rojas (*Rhodophytas*): *Audouinella sp.*

El perifiton es productor primario del alimento necesario para mantener el ecosistema y su diversidad, y por ello es reconocido como un buen indicador ambiental (Collins y Weber, 1978). Existen evidencias de que en ciertas condiciones de caudal alterado muy reducido (CEmínimo) mantenidas durante períodos de varios meses de modo continuado, el perifiton puede proliferar (Biggs, 2000). Eso es debido a la acción conjunta de la velocidad baja de la corriente, luminosidad mayor en el cauce, y calentamiento del agua. Las implicaciones ecológicas del crecimiento excesivo son conocidas, entre ellas (Biggs et al., 20020): (a) posible reducción de la diversidad de macroinvertebrados; (b) empobrecimiento general del hábitat para la ictiofauna; y (c) cambios en la fisicoquímica por la disminución de la absorción de amonio, anoxia intersticial, aumento de las fluctuaciones de pH y oxígeno disuelto, elevación del pH, y merma en la capacidad de procesar sustancias orgánicas sin descenso excesivo de oxígeno.

- El proceso de “bloom algal” no es previsible en este caso, por la duración corta de la etapa de llenado, y porque no ocurre en la fase de operación. Sin embargo, por su sensibilidad conocida al cambio de caudal, consideramos al perifiton como un organismo objetivo de la aplicación IFIM (sombrilla).

### Macroinvertebrados

Los organismos dominantes con claridad son los Efemerópteros (frecuencia de ocurrencia 83%), seguido de los Coleópteros (67%) y los Tricópteros (33%). La LB reporta ausencia de Plecópteros, lo cual contrasta con lo observado por Tagliaferro et al. anteriormente (2013). La corriente rápida con carga sólida en suspensión considerable de finos procedentes de los glaciares (limo y arcilla) determina mallas tróficas cortas, con predominio de recolectores/raspadores y menos colectores/filtradores.

- Los efemerópteros más abundantes son de las familias *Baetidae* (*Andesiops sp.*), y *Leptophlebiidae* (*Meridialaris sp.*), los cuales son recolectores/raspadores. Ambas especies frecuentes en Patagonia tienen un ciclo de vida adaptado, con puesta al final del verano, incubación corta, y desarrollo de larvas en otoño-invierno (Epele et al., 2011).
- Los coleópteros de la familia *Elmidae* son muy abundantes; son recolectores/raspadores. Tagliaferro et al. (2013) encuentran que la especie *Luchoemis cekalovici* está presente en el 90% de los sitios relevados a lo largo del RSC.
- Los tricópteros más frecuentes pertenecen a la familia *Hydropsychidae* (*Smicridea sp.*), los cuales son colectores/filtradores.

La LB también reporta algunos Oligoquetos (*Naidiae sp.*), Dípteros mosquitos no picadores (*Chironomidae sp.*), Anfípodos (*Hyalella sp.*), y un molusco muy frecuente en Patagonia (*Lymnea sp.*), todos ellos con baja importancia como indicador ecológico.

La investigación referencial de Tagliaferro et al. (2013) concluye que: (i) la abundancia mayor existe en el tramo del RSC entre los sitios de presa NN y JC; y la (2) riqueza es estable a lo largo de todo el río con unas 8-10 especies, debido a la relativa homogeneidad del hábitat.

- ▶ Por su relación trófica con la ictiofauna al servir de alimento, y por utilizar hábitats comunes, conviene adoptar a los macroinvertebrados bentónicos como organismos objetivo: Coleópteros, Efemerópteros, Tricópteros, y Plecópteros (precautorio).

## 7.5. Ictiofauna

Las capturas realizadas para la LB fueron realizadas en dos campañas en abril y en mayo 2015, que es un tiempo de caudales altos y medios, respectivamente. En cinco (5) estaciones de muestreo se utilizaron redes, trasmallos, y electropesca en franjas próximas a las orillas de anchura 4-5 m y profundidad hasta unos 70 centímetros, debido a la limitación por la velocidad de la corriente: (1) sector superior en Laberinto 1; (2) eje de presa JC; (3-4) zona intermedia aguas abajo de JC; y (5) Cte. Piedrabuena.

La riqueza de peces autóctonos es moderada en relación a otros ríos Patagónicos, incluyendo cuatro especies: Lamprea (*Geotria australis*), Perca (*Percichthys trucha*), Puyen Chico (*Galaxias maculatus*), y Róbalo (*Eleginops maclovinus*). La proporción de ictiofauna exótica es muy alta relativamente, ya que existen la misma cantidad de especies autóctonas (Aigo et al., 2008): Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), Trucha marrón (*Salmo trutta*), Trucha de lago (*Salvelinus mamaycush*), y Salmón chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*). En el trabajo sobre peces Patagónicos de Pascual et al. (2007) se refieren tres especies autóctonas más en la cuenca, pero lo cierto es que no han sido detectadas en la LB: Puyen grande (*Galaxias platei*), Pejerrey patagónico (*Odontesthes hatcheri*), y Peladilla (*Aplochiton zebra*).

Las poblaciones están presentes a todo lo largo del río durante alguna de sus fases vitales, a excepción del róbalo que ocupa la zona de estuario, y la trucha marrón que habita el tramo alto próximo al lago.

- ▶ Cabe destacar que actualmente existen interrogantes significativos sobre la ecología y la biología de las especies, particularmente los relativos a las migraciones, áreas de reproducción y de cría.

### Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*)

Esta especie introducida a principios del siglo XX presenta en el RSC un patrón migratorio característico y único en Patagonia con anadromía parcial (Pascual et al., 2001). Una parte de la población es potadroma y desarrolla todo su ciclo vital en el río (desove, alimentación, crecimiento), mientras que la otra parte es anadroma (cabeza de acero o “steelhead”) y requiere migrar al mar para alimentarse y crecer durante un tiempo antes de regresar al río para reproducirse (Riva Rossi et al., 2003; Pascual et al., 2001). Según los hallazgos de Riva Rossi et al. (2007) ambas formas son fenotipos de una misma población que se encuentran en simpatría, y pueden ser adoptadas por cualquier individuo influido por factores genéticos (gametas de las madres, según Riva Rossi et al., 2007) y ambientales como el tipo de hábitat de cría y la temperatura del agua (Mills et al., 2012). Las truchas anádromas son más grandes que las residentes (2.5kg frente a 300-800g), más longevas (11 años frente a 7), y más fecundas (se reproducen 8 veces en su vida frente a 7 veces) según Pascual et al. (2001).

- La maduración ocurre al año +3 (Riva Rossi et al., 2007). El desove se realiza durante el invierno, con el máximo en el bimestre septiembre-octubre (Riva Rossi et al., 2003). Un sector idóneo para el desove son los laberintos 1-2 del segmento superior, donde parece que convergen las truchas anádromas y las residentes (Riva Rossi et al., 2003)
- El muestreo de 2015 apunta que no puede descartarse la hipótesis de que el desove también pueda ocurrir en los segmentos medios y bajos del río. De hecho, Riva Rossi et al. (2003) concluyen a partir del seguimiento de peces marcados que podría existir un área de reproducción en el curso inferior (km 55-80): esta zona pertenece al SEG-3.
- La eclosión tiene lugar de noviembre a enero, y el alevinaje dura de uno a tres meses durante la primavera (Quiroga et al., 2015). El trabajo de Liberoff et al. (2014) comprueba que los primeros nacimientos determinan las truchas residentes, mientras que los tardíos producen la forma anádroma.
- El estadio juvenil se adquiere al comenzar el verano, y se extiende durante dos años en el río. La forma anádroma entonces se esmolteifica (esguinado) y migra al mar desde octubre hasta diciembre. Luego retorna al río para iniciar el ascenso reproductivo en verano, con máximo de ingreso en febrero (Riva Rossi et al., 2007). Por su parte Pascual et al. (2001) indican que el tiempo de permanencia en el mar el primer año de post-esmolteificación es breve.

En cuanto al patrón de distribución longitudinal el conocimiento no es completo, pero en general se reconoce que el sector alto es adecuado para la reproducción y el sector medio para el crecimiento. Liberoff (2014) encuentra que las truchas anádromas habitan preferentemente el sector alto hasta el km 155 (60% abundancia aprox.), mientras que aguas abajo de ese punto domina la forma residente. Por su parte Quiroga et al. (2015) señalan que la máxima abundancia de juveniles se produce en el sector comprendido entre los dos sitios de presa del proyecto (SEG-2). Aguas abajo de cierre JC en los primeros 20 km aproximadamente la abundancia es intermedia (SEG-3), y a partir de ahí decrece mucho a medida que desciende el río (SEG-4 y SEG-5).

#### **Salmón Chinook (*Onchorhynchus tshawytscha*)**

No se conoce bien su ciclo de vida, pero hay certeza que es semélparo (muere después de reproducirse). Su interés como especie de pesca deportiva es menor que la trucha, debido a que la captura durante su migración ascendente es más difícil, y además los pescadores están menos familiarizados.

Es marino y entra al RSC a mediados de verano, aunque se piensa que podría iniciarse en primavera o extenderse hasta otoño (Pascual et al., 2005). Después de remontar el RSC atraviesa el Lago Argentino y sube al río Caterina y al río Las Vueltas donde desova (Ciancio et al., 2005). Se piensa que los alevines y juveniles descenderían al mar a finales de primavera con la subida de caudal.

#### **Trucha marrón (*Salmo trutta*)**

El valor pesquero-deportivo es bajo. Se conoce poco sobre su biología. La información aportada por Pascual et al. (2005) y las capturas de LB indican que habita solo en el curso superior del RSC (SEG1-SEG2). Su área de reproducción y de cría es el río, y se piensa que utiliza el lago como hábitat trófico.

#### **Trucha de lago (*Salvelinus namaycush*)**

Esta especie carece de relevancia para la pesca deportiva. Habita la mayor parte del tiempo en el Lago, pero puede ingresar a los ríos con fines tróficos (especie carnívora).

#### **Lamprea (*Goetria australis*)**

Se trata de una especie anádroma y semélpara, de la cual prácticamente nada se conoce acerca de su biología reproductiva y su distribución espacio-temporal específica en el RSC. Por ello la información de LB que resumimos a continuación ha sido inferida de otros ríos del hemisferio sur (Alex, 2008). Carece de valor económico-pesquero.

- En el mar son parásitos de peces, y cuando alcanzan su madurez sexual ingresan al río en invierno para remontarlo. En ese momento experimentan una metamorfosis por la que dejan de alimentarse y desarrollan una gran bolsa gular, de mayor tamaño en los machos.
- Desovan en nidos similares a los de los salmónidos en cuanto a la ubicación, disposición en la corriente y diseño (sustrato grava-gravilla y velocidad moderada), y la LB señala al sector superior del RSC como hábitat de reproducción probable. Después del desove el adulto muere (de 3 a 36 días). Se desconoce el periodo de reproducción en el RSC, pero podría desarrollarse durante la primavera, tal y como ocurre en el sur de Chile (Arismendi y Penaluna, 2009).
- Los huevos eclosionan al cabo de días, y las larvas ammocoetes (35-85 mm) permanecen enterradas en el sedimento fino de las orillas, alimentándose por filtración con estilo de vida sedentario.
- Al cabo de un período indeterminado de años experimentan una metamorfosis adoptando un aspecto similar al adulto (fase macroftalmia) pero de tamaño pequeño (9-12 cm). Entonces comienzan la migración hacia el mar nadando superficialmente por la zona central del cauce más rápida. Esto podría ocurrir durante invierno-primavera.
- Una vez en el mar se transforman en adultos a los 6-18 meses.

#### **Puyen chico (*Galaxias maculatus*)**

En el RSC este pececillo de unos 9 cm de longitud en estado adulto (peso 0.5-9 g) habita sobre todo en los sectores medio y bajo. No tiene valor pesquero-económico. Se reporta como alimento muy consumido por las truchas, especie con la cual los juveniles a veces se confunden.

El amplio muestreo de Tagliaferro et al. (2014) en 52 sitios lo largo del RSC, revela que la abundancia aumenta a partir del curso medio (SEG-2), alcanzando los máximos en los sectores bajos (SEG-3/4/5). Las funciones GAM desarrolladas en dicho trabajo reflejan unos patrones claros de abundancia crecientes con la distancia al Lago Argentino, la anchura del cauce, y la profundidad máxima. El muestreo de LB (2015) corrobora esta distribución, y de hecho no se capturó ningún individuo aguas arriba del cierre NK.

La LB tipifica esta especie como anfidroma y asociada especialmente al sector inferior del RSC desde cierre JC hasta la desembocadura, presentando mayor densidad en los últimos 30-40 km en los que la cobertura de la vegetación ofrece unas condiciones de hábitat propicias (SEG-4 y SEG-5). En ausencia de información sobre sus ciclos vitales en la LB, una referencia es el patrón que existe en el sur de Chile (Arismendi y Penaluna, 2009). El desove se realiza en las zonas estuarinas durante las mareas de siccilia de primavera. Las hembras depositan sus huevos en zonas inundadas de la ribera, y los machos los fertilizan. Cuando la marea baja los huevos fertilizados quedan en seco, y después de un tiempo variable (de unas horas a 2 meses) eclosionan y se transforman en larvas cuando la vegetación es inundada nuevamente. Los adultos son carnívoros que se alimentan en el fondo y en la columna de agua de larvas de Quironómidos, Tricópteros, Coleópteros, y microcrustáceos Copépodos.

#### **Perca (*Percichthys trucha*)**

Esta especie endémica del cono sur de Sudamérica (Arismendi y Penaluna, 2009; Ruzzante et al., 2006) tiene un valor económico-pesquero muy bajo. Ha sido capturada a todo lo largo de RSC en el muestreo de LB. No es migratoria, pero realiza movimientos locales. Prefiere fondos fangosos, por lo que según la LB es probable que se localice en bahías protegidas, con mayor abundancia en el sector medio y bajo (SEG-3/4/5). En cuanto a su patrón alimenticio, Arismendi y Penaluna (2009) reportan que los individuos pequeños (2-8cm) se alimentan de larvas de Quironómidos, Copépodos, y Anfípodos; los de tamaño intermedio (7-20cm) se alimentan de Cladóceros y peces; y los adultos (23-52cm) de cangrejos y peces.

#### **Róbalo (*Eleginops maclovinus*)**

El róbalo patagónico (robalito) es un pez marino que ocupa el sector inferior del RSC con una estrategia de anfidromía. La LB señala como hábitats de reproducción y trófico el mar, y como hábitat de cría la zona de estuario. El valor pesquero-comercial es nulo. Durante una fase de su vida entra desde el mar al estuario, y permanece viviendo cerca del fondo, alimentándose de algas y pequeños invertebrados (Guzmán y Campodonico, 1973; Pequeño, 1981). Se han capturado en la zona de Cte. Piedrabuena estadios juveniles, preadultos, y adultos.

#### **Peces objetivo IFIM**

- ▶ Hemos seleccionado un conjunto de cinco peces objetivo para la aplicación IFIM, conforme a los siguientes criterios (Bovee, 1977; Orth y Maughan, 1983). La Tabla 7 especifica el carácter indicador de cada uno de ellos, así como su importancia económico-deportiva en la zona.
  - Abundantes o generalistas a lo largo del tramo intervenido, que representen adecuadamente la mayoría de los hábitats presentes en las condiciones más desfavorables (fase de llenado).
  - Importantes como recurso económico y/o alimenticio para la población.
  - Especies emblemáticas objeto de conservación.
  - Tamaño grande para garantizar la conectividad hidráulica en el cauce durante el CE.
  - Evitar aquellas que son específicas en cuanto al microhábitat que utilizan.
- ▶ La trucha arco iris y el salmón chinook ejercerán como indicadores de carácter dual. (1) Como especies “bandera” que tienen un altísimo grado de aceptación social e interés económico, y que por su carisma se promueven bajo la premisa de que otras especies que coexisten en el RSC serán también protegidas. (2) Además, por su envergadura serán indicadoras “de tamaño”, al requerir unas condiciones mínimas de profundidad en el cauce para garantizar la conectividad hidráulica a lo largo del sector intervenido.
- ▶ La lamprea y el puyen chico serán indicadores “sombrilla”, puesto que asumimos que representan la comunidad autóctona estricta, de modo que salvaguardando su hábitat también otras especies serán protegidas.

- La perca es a nuestro juicio indicadora de “conservación”, ya que, aunque no está bajo una figura de protección oficial, se trata de un endemismo del cono sur cuya población en el RSC debe mantenerse viable de modo autosostenible.

Tabla 7. Peces objetivo de la aplicación IFIM.

Nombre	Especie	Valor pesquero-económico	Tipo de Indicador
Trucha arco iris	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Pesca deportiva-Alto (anádroma)	Bandera ( <i>flagship</i> ) Tamaño ( <i>scale</i> )
Salmón chinook	<i>Onchorhynchus tshawystcha</i>	Pesca deportiva - Moderado	
Lamprea	<i>Goetria australis</i>	Ninguno	Sombrilla ( <i>umbrella</i> )
Puyen chico	<i>Galaxias maculatus</i>	Ninguno	
Perca	<i>Percichthys trucha</i>	Pesca deportiva - Muy bajo	Conservación (PAT)

## 7.6. Reptiles

La LB ha sido ampliada con un nuevo muestreo en invierno 2016 para el EIA actualizado (Rev.2; Sherman & Asoc., 2017). Las especies no están tipificadas como amenazadas (Resl. SA y DS N°1055/13 Secretaría de Estado de Ambiente y Desarrollo) ni como sensibles (IUCN, 2004; Giraudo et al., 2012). El muestreo de 2015 registra una sola especie de lagartija, mientras que el de 2016 reporta tres especies de lagartijas y dos especies de lagartos. La lagartija más abundante es la *Liolaemus escarchadosi*, seguida de lejos por las otras dos especies *L. fitzingeri*, y *L. lineomaculatus*. De los dos matuastos (lagartos) el *Diplolemus bibronii* tiene una presencia mucho mayor que el *D. Darwinii*. Las poblaciones se encuentran en buen estado ecológico para el desarrollo de su ciclo biológico.

## 7.7. Anfibios

El EIA actualizado (Rev.2) incluye también un estudio complementario de invierno 2016. La única especie encontrada es el Sapito de cuatro ojos (*Pleurodema bufonium*), tipificado como No Amenazado (Resl. SA y DS N°1055/13), y con una población abundante.

## 7.8. Avifauna

En el área de influencia directa del proyecto entre las dos presas no existe ninguna AICAs (Área Importante para la Conservación de las Aves). Sólo en zona de influencia indirecta existen dos áreas: Laguna Nímez y PN Los Glaciares. Dos nuevas AICAs están propuestas en la zona de influencia directa: Desembocadura de los ríos Chico y Santa Cruz, y Meseta de las Vizcachas. Como especies de interés destacar: Cóndor andino (*Vultur gryphus*), Cauquén (*Chloephaga picta*), Flamenco (*Phoenicopterus chilensis*), Choique patagónico (*Rhea pennata pennata*), y Chorlito pecho canela (*Charadrius modestus*).

El estuario ofrece hábitat para aves residentes, y también para migradores australes (pasan el invierno) y neárticos (verano). En este sector la diversidad es mayor que en la zona aguas arriba de cierre JC.

## 7.9. Mamíferos

El más abundante es el Guanacos (*Lama guanicoe*), cuyo reciente plan de manejo provincial se enfoca a regular la capacidad de carga de herbívoros. El relevamiento encontró dos especies de las 36 potenciales: Piche patagónico (*Zaedyus pichiy*), y Zorro colorado (*Pseudalopex culpaeus*). El hábitat para los mamíferos se encuentra sometido a las presiones por introducción de ganado doméstico y actividad ovina excesiva.

## 8. CARACTERIZACIÓN HIDROTOPOGRÁFICA

Los datos hidrotopográficos constituyen el sistema de representación fluvial que captura la diversidad de hábitats hidráulicos existentes en el tramo que será detraído durante el llenado. Las mediciones que nos ha facilitado la UTE han sido realizadas por la consultora argentina de agrimensura Del Bianco y Asociados S.A durante OCT-DIC2016, la cual tiene experiencia en el sector.

### 8.1. Sistema de Representación

Se utiliza un esquema de representación exhaustivo del tramo comprendido entre cierre de presa JC y la desembocadura de longitud 152.640 km mediante un conjunto de 109 perfiles transversales batimétricos. Corresponde a la extensión acumulada de los segmentos SEG3-SEG4-SEG5. El espaciamiento medio entre perfiles transversales – denominados **Secciones Transversales (ST)** en PHABSIM (*Cross-sección*) – es 1413 metros, variando entre el máximo de 2010 m en sectores muy uniformes y el mínimo de 380 m en los más irregulares. Todas las secciones están referenciadas topográficamente en 3D. El desnivel entre las secciones extremas siguiendo el fondo de lecho es 69.6 metros, lo que representa una pendiente promedio del 0.459 %. En cada una de las secciones se midió la cota de agua (pelo de agua).

Tabla 8. Descripción hidromorfológica promedio de cada uno de los tres segmentos representativos y del tramo completo, así como condiciones hidráulicas en el momento de la medición.

Parámetro	SEG-3	SEG-4	SEG-5	TRAMO COMPLETO
Delimitación (Long/Latitud)	50°11'12" 70°07'08"	49°58'28" 68°49'13"	49°56'10" 68°34'24"	Sitio presa JC → Desembocad. RSC
Delimitación (ST)	ST1-ST74	ST75-ST96	S97-ST109	ST1 - ST109
Número de Secciones Transversales	75	22	13	109
Longitud (km)	112.19	22.08	18.38	152.64
Representatividad por ST	1.33% 1.50 km	4.55% 1.00 km	7.69% 1.41 km	0.92% 1.40 km
Pendiente media (%)	0.612	0.166	≈ 0	0.459
Anchura media (m)	148	366	2385	470
Profundidad media (m)	2.2	2.26	5.60	2.67
Velocidad media (m/s)	1.0	0.60	0.04	0.80
Puntos por sección – todos	60	180	210	86
Puntos por sección – mojados (y %)	25(42%)	57(32%)	100 (48%)	50 (58%)
Espaciamiento entre puntos – todos (m)	4.8	6.1	12.0	5.9
Espaciamiento entre puntos mojados (m)	6.9	6.2	13.5	7.6
Área hábitat Poza (%) y ST	40	60 (12ST)	100	51.4
Área Tabla (%)	46	32 (8ST)	0	36.9
Área Rápido (%)	14	8 (2ST)	0	11.6
Nº Froude	0.30	0.17	≈ 0	0.21

### 8.2. Topobatimetría

Los perfiles batimétricos fueron realizados mediante ecosonda digital ODOM-HYDROTAC con una precisión del equipo  $<1\text{ cm} \pm 0.1\%$  de la profundidad. El posicionamiento de los puntos en el cauce y la topografía de los puntos en las márgenes se obtuvo mediante sistema global de navegación por satélite (GNSS) en tiempo real (RTK). Teniendo en cuenta el efecto del oleaje, el error máximo salvo situaciones excepcionales de mucho viento es: en la profundidad 10 cm, y en la cota de agua 5 cm.

La geometría del cauce se capturó mediante **86 puntos por sección** como promedio (mínimo 32 y máximo 339), con un **espaciamiento medio de 5.9 m** (de 2 m a 19 m dependiendo de la anchura). El total de puntos del cauce que estaban **mojados durante la medición ronda el 58%** de la geometría completa.



## 9. MODELO PHABSIM

Al menos cinco componentes principales del ecosistema fluvial condicionan su productividad biológica (Karr y Dudley, 1981): el régimen de caudal, la estructura del hábitat físico, la calidad físico-química del agua, la entrada de energía, y las interacciones bióticas. La compleja relación entre estos componentes determina la productividad primaria, la productividad secundaria, y finalmente el estado ecológico.

- ✓ La premisa básica de la aplicación PHABSIM en el Santa Cruz es que la disponibilidad de hábitat físico es el principal condicionante de la actividad vital y de la dinámica poblacional de los organismos objetivo. El factor calidad de agua no se considera limitante, debido a la excelente condición que refleja la línea base. Sin pretender obviar algunos factores que pueden influir en la biocenosis como son la disponibilidad de alimento-nutrientes (Eiseng et al., 1990), las competencias inter e intra-específica (Hegge et al., 1993), o la predación (Gotceitas y Godin, 1991), cuantificar explícitamente los efectos concretos del CE sobre ellos queda fuera del alcance del ECE. Por una parte, el monitoreo espacio-temporal amplio de los parámetros que rigen dichos procesos en condiciones naturales, y que sería necesario para calibrar los modelos, es inviable ahora. Por otra parte, tampoco el monitoreo de las poblaciones durante y/o después de la corta operación de llenado permitiría esclarecer el efecto real del CE en rigor, debido al tiempo largo en que se desarrollan estos procesos.
- ✓ Se asume que los organismos objetivo reaccionan directamente ante cambios en las siguientes tres variables determinantes del hábitat: profundidad, velocidad, y sustrato.
- ✓ El hábitat físico es una condición necesaria pero no suficiente para la supervivencia y la producción para los organismos acuáticos (Milhous, 1999). No obstante, pensamos que la simulación PHABSIM del Santa Cruz es una herramienta indicadora práctica de la integridad biológica en un sentido general.

La evaluación espacial del hábitat PHABSIM en síntesis combina el resultado de la simulación hidráulica de profundidad, velocidad y sustrato en las secciones representativas con los criterios de preferencia biológica de los organismos objetivo, para generar unas relaciones funcionales entre el Caudal (Q) y un Índice de Hábitat (IH). El procedimiento se esquematiza en la Figura 15. El sistema de caracterización del cauce resuelve flujos hidráulicos 1D-pseudo 2D de tipo permanente y variado a lo largo de un conjunto de secciones, las cuales se conciben a efectos de cómputo como compuestas de múltiples subsecciones o “celdas” que describen mediante volúmenes individuales la heterogeneidad del cauce (Fig.15a). Las funciones de preferencia biológica de hábitat (Fig.15.b) expresan la idoneidad de cada una de las variables de hábitat entre cero (inadecuado) y uno (óptimo) para cada organismo objetivo. El Índice de Hábitat (IH) de una celda “i” ( $IH_i$ ) pondera las idoneidades de las diferentes variables que constitutivas del hábitat (velocidad-v; profundidad-p; sustrato-s) mediante una expresión con significación biológica, que de forma genérica es:  $IH_i = I_{Vi} \cdot a + I_{Pi} \cdot b + I_{Si} \cdot c$  (Fig.15c). Los índices de idoneidad de velocidad ( $Iv$ ), profundidad ( $Ip$ ) y sustrato ( $Is$ ) se ponderan con al criterio biológico conveniente para el objetivo del modelaje ( $a+b+c=1$ ).

La extensión del este algoritmo a todo el dominio del cauce produce la distribución espacial del binomio calidad-cantidad de hábitat útil durante un caudal concreto. Integrando las contribuciones de hábitat en todas las celdas mojadas durante cada uno de los caudales incrementales dentro del intervalo de análisis se obtienen las conocidas relaciones entre el Caudal y un Índice de Hábitat (Q-IH, Fig.15.d). El Índice de hábitat más empleado es el Área Ponderada Útil APU (WUA - Weighted Usable Area), el cual consiste en una ponderación de la idoneidad de cada celda por su área (espejo de agua). Existen otras agregaciones suplementarias que se realizan con el perímetro o con el volumen. Los patrones de estas funciones reflejan la sensibilidad de las especies al cambio hidrológico, y permiten evaluar las respuestas esperadas en la oferta de su hábitat útil como consecuencia de escenarios de reducción de caudal definidos.

A partir de los resultados PHABSIM, la metodología IFIM evalúa la disponibilidad de hábitat de modo temporal. Con este planteamiento ecohidrológico calcula la respuesta de cada una de las alternativas de manejo de caudal ecológico (reglas de llenado de los embalses), en términos de hábitat global en el tramo (Fig.15e). Cada valor (a) de una serie temporal de caudal (izquierda) se vincula con su ordenada respectiva de la función Q-IH, estimando así el efecto ecológico en la serie temporal de hábitat (derecha).

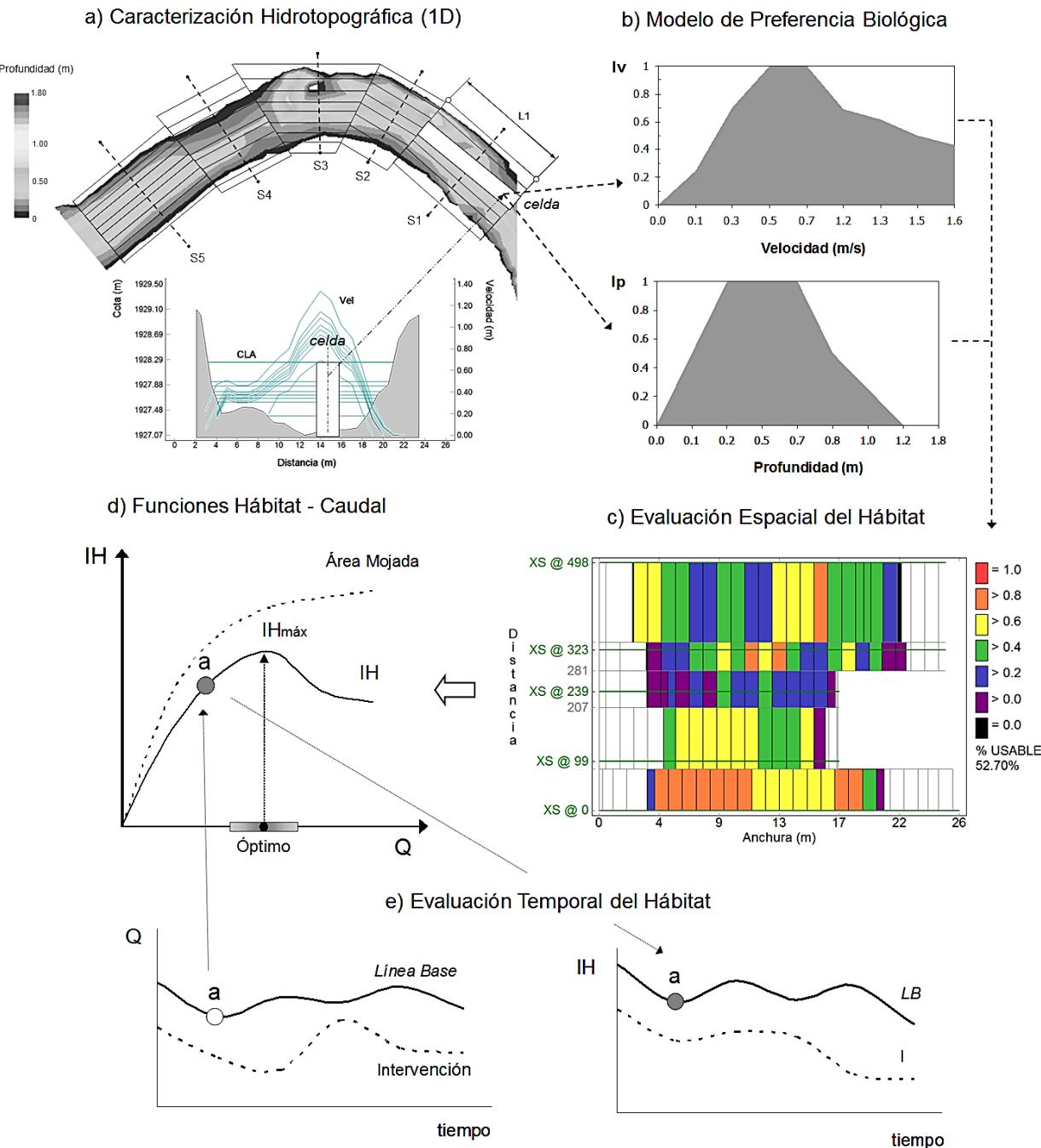


Figura 15. Esquema procedimental de la evaluación espacio-temporal del hábitat acuático PHABSIM-IFIM. Los campos de profundidad y velocidad (a) se combinan con las funciones de preferencia biológica (b), para generar el campo de idoneidad de hábitat (c). La agregación del hábitat en todo el dominio fluvial produce la función Caudal ( $Q$ ) - Índice de Hábitat ( $IH$ ), cuya zona de optimización orienta sobre el rango de caudal ecológico óptimo (d). El análisis temporal del hábitat permite evaluar diferentes escenarios de CE incremental, comparando la referencia de Línea base con cada régimen alterado (e). Cada valor de caudal de una alternativa (izquierda – “a”) se vincula con su  $IH$  respectivo, generando la serie de hábitat (derecha).

El modelaje PHABSIM que hemos diseñado para el Aprovechamiento Hidroeléctrico del RSC es un proceso estructurado que consta de cuatro fases, en las cuales se generan los datos hidráulicos y biológicos de entrada, y se combinan de un modo conveniente enfocado a evaluar el efecto del CE mínimo durante el período muy transitorio de llenado (unos pocos meses). La siguiente Figura 16 esquematiza el proceso con las siguientes fases: [1] Caracterización del cauce y Determinación de los Criterios de preferencia de hábitat; [2] modelaje hidráulico de profundidad (1D) y de velocidad (pseudo-2D); [3] análisis espacial de la conectividad hidráulica en el cauce para los peces; y [4] obtención de las funciones Caudal–Hábitat para el conjunto de organismos objetivo (y procesos).

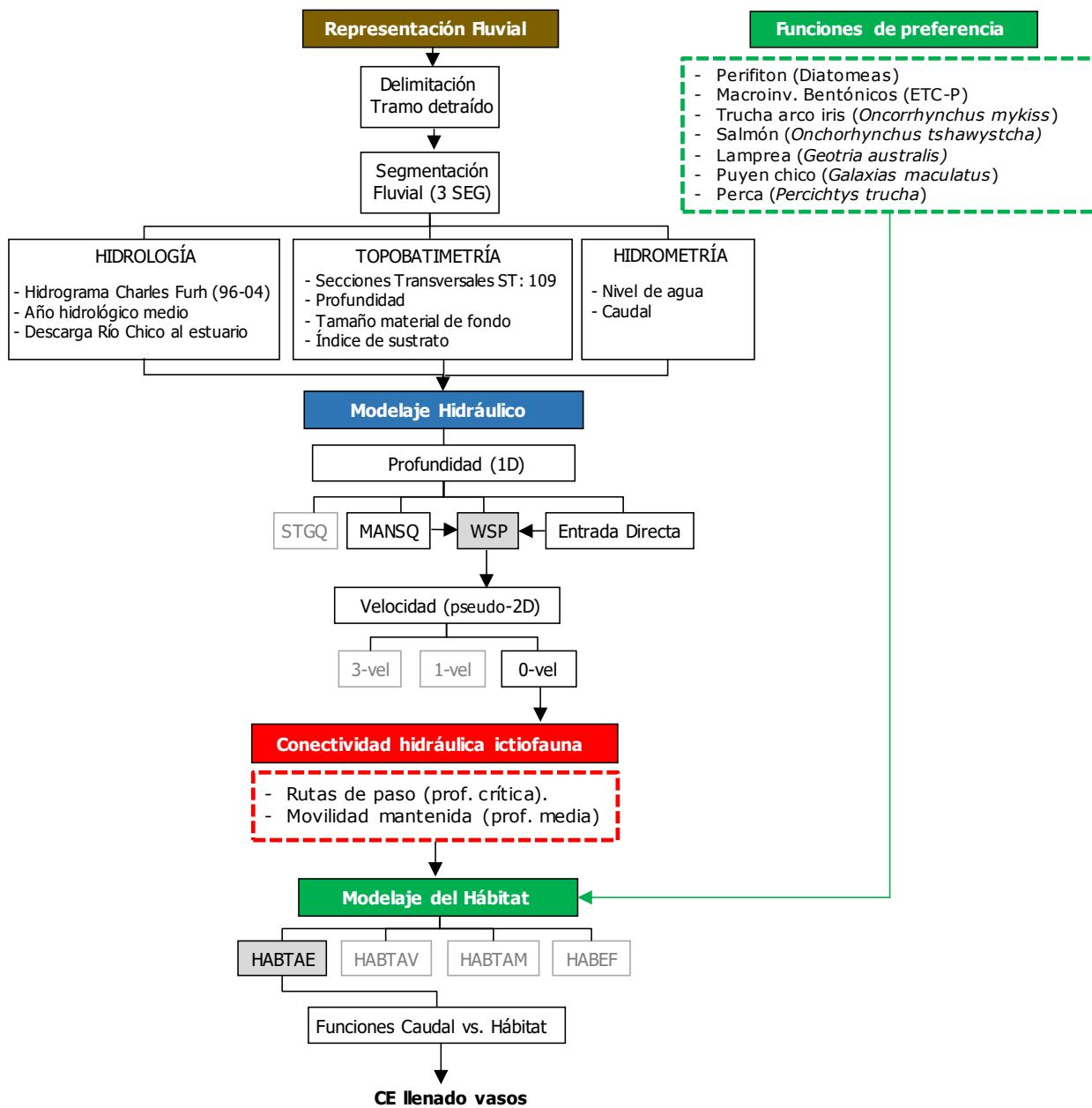


Figura 16. Configuración del modelaje PHABSIM para el Proyecto Aprovechamiento Hidroeléctrico del RSC.

## 10. MODELAJE HIDRÁULICO

El protocolo de caracterización fluvial posibilita la modelación del tramo para régimen permanente variado en 1D. Aplicaremos para ello el modelo de PHABSIM denominado WSP (Water Surface Profile), el cual resuelve el método conocido del “paso estándar”. La velocidad se modelará en cada sección transversal aplicando un esquema particularizado del régimen permanente uniforme al conjunto de celdas (franjas) asociadas a los nodos de la batimetría (pseudo-2D)

La modelación hidráulica y del hábitat ha sido ejecutada con el software RHABSIM 3.0 en español *Riverine Habitat Simulation Software* (Diez Hernández y Payne, 2004), que informatiza de modo fiel los algoritmos originales del modelo PHABSIM-IFIM incorporando algunos métodos complementarios prácticos.

### Profundidad

Para calibrar el modelo WSP se deducen los coeficientes de rugosidad de Manning de todas las secciones, aplicando el método del paso estándar a la inversa, a partir del perfil hidráulico medido en campo y el caudal circulante en ese momento (Figura 17). Como esquema de cálculo optamos por resolver el subtramo entre dos secciones consecutivas, que ha resultado más estable. La pendiente de fricción representativa entre dos secciones se ha calculado dependiendo de la curva de remanso particular: media armónica (curva “S”) o media aritmética (curva “M”).

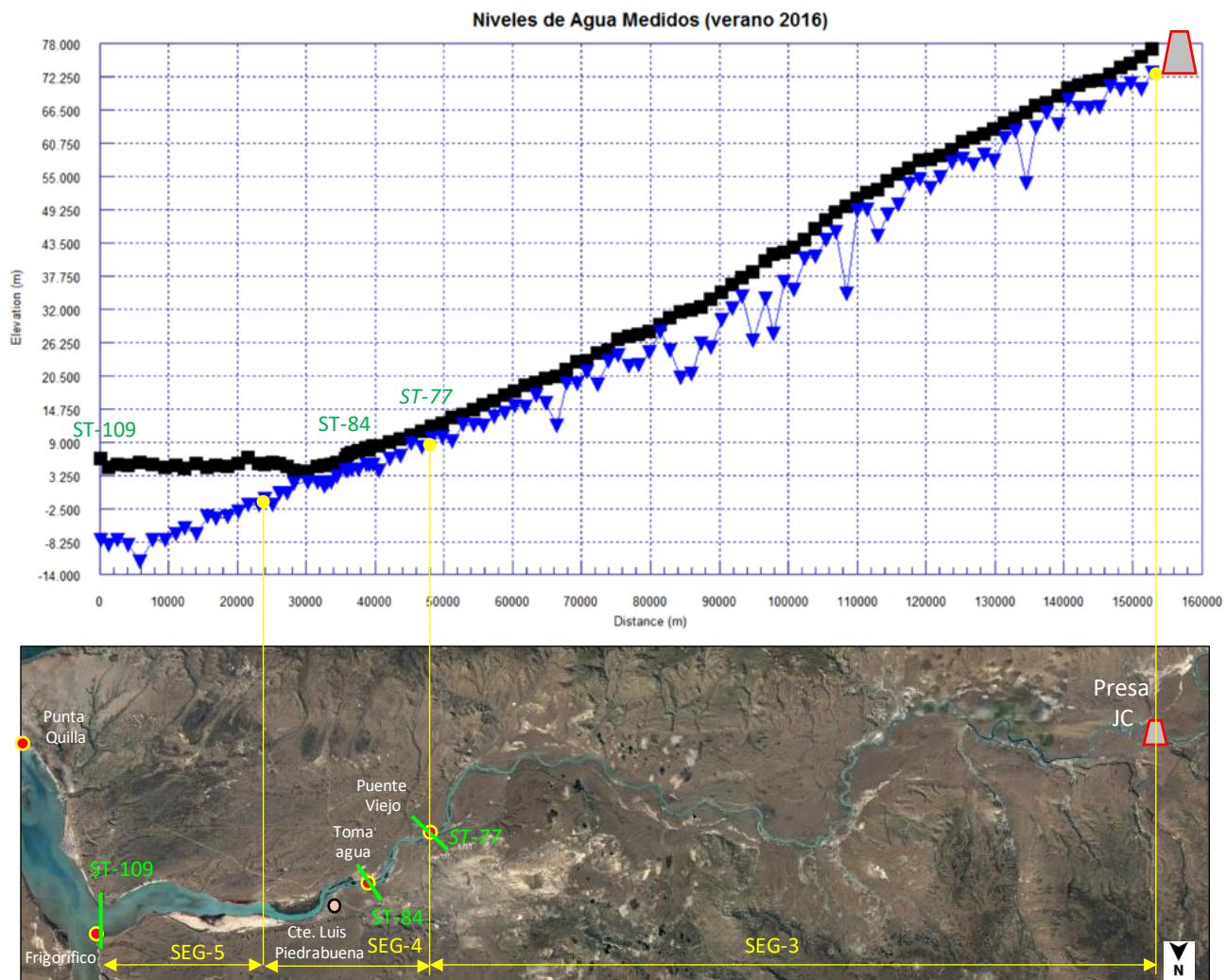


Figura 17. Perfil hidráulico medido en campo (invierno 2016) en un conjunto de 109 secciones transversales. Se señalan con círculos rojos los puntos con escalas instaladas por la UTE para el estudio de mareas.

El balance de energía del modelo del paso estándar entre dos secciones consecutivas resuelve:

$$Z_2 + Y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + \Delta E$$

Z = cota mínima del lecho en la sección - thalweg (m).

Y = profundidad máxima en la sección (m).

$\alpha$  = coeficiente de energía (adim).

v = velocidad media (m/s).

$\Delta E$  = pérdida de energía (m). Incluye las pérdidas continua y singular (estrechamiento/ensanch.).

$$\Delta E = L \cdot \overline{S_e} + C \left| \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} \right|$$

L = distancia (m).

C = coeficiente de contracción/expansión (adimensional).

Se = pendiente de fricción representativa (m/m). Se obtiene a partir de las pendientes de energía individuales (Se), calculadas mediante la fórmula de Manning. Se resuelve a partir del caudal (Q), el coeficiente de rugosidad de Manning (n), el radio hidráulico (Rh), y el área (S).

$$\overline{S_e} = \left( \frac{Q \cdot n}{R h^{2/3} \cdot S} \right)^2$$

### Condición de Contorno

- La sección transversal localizada en la confluencia del RSC con el Río Chico (ST109), en el sitio antiguo Frigorífico Armour impone las condiciones de contorno del modelaje, las cuales están determinadas por el nivel de marea durante el momento de cálculo.
- La única estación de marea incluida en la base de datos del Servicio de Hidrografía Naval (Tablas de Marea) es Punta Quilla, localizada en el sector inferior del estuario. La UTE en octubre 2016 instaló escalas de nivel de agua en un conjunto de cinco (5) puntos dentro del RSC distribuidos en sus últimos 40 km de desembocadura: la superior en el extremo del SEG-3 en Puente Viejo (ST77), y la inferior en la confluencia estricta en sitio Frigorífico (ST109).
- La UTE dentro del estudio que desarrolla sobre “Influencia de la marea sobre el RSC” ha determinado el Plano de Reducción de la Carta Náutica de Punta Quilla en la cota IGN=-6.038 m. El objetivo del estudio es caracterizar el proceso de mareas (niveles y tiempos) en el estuario y desembocadura.
- Analizando las predicciones de las Pleamaras y Bajamaras en la estación Punta Quilla para en trimestre más caudaloso enero-marzo 2017 del Servicio de Hidrografía Naval ([www.hidro.gob.ar](http://www.hidro.gob.ar)), consideramos en este primer avance las cotas medias de referencia en la ST109 (Tabla 10). Se ha determinado para cada nivel de marea la zona de influencia en el RSC, las cuales se describen en la tabla.

Tabla 10. Cotas de marea estimadas en la confluencia – ST109 – Frigorífico para el trimestre enero-marzo 2017, a partir de las tablas de marea para Punta Quilla producidas por el Servicio de Hidrografía Naval ([www.hidro.gob.ar](http://www.hidro.gob.ar)).

Marea	Nivel	Cota IGN (m)	Zona de influencia de marea en el RSC		
			Sitio	Longitud (km)	Sección
Pleamar	Máxima	7.232		44.9 km	ST 72
	Media	5.192	Sitio Puente Viejo	39.0 km	ST 77
Bajamar	Media	- 2.484	Curva aguas abajo Cte. Piedrabuena	21.5 km	ST 95
	Mínima	- 5.108		15.4 km	ST 99

## Velocidad

Cada sección transversal se concibe compuesta de múltiples celdas computacionales, en cada una de las cuales se resuelve un esquema de flujo que se asume 1D uniforme mediante las ecuaciones de Manning y de Continuidad combinadas (Chow, 1959).

$$Q = \sum_1^n Q_i = \sum_1^n \left( \frac{1}{n_i} \cdot h_i^{2/3} \cdot A_i \right) \sqrt{S_o}$$

$n_i$  = coeficiente de rugosidad de Manning de la celda ( $m^{1/6}$ )

$h_i$  = profundidad media de la celda (m)

$A_i$  = área mojada de la celda ( $m^2$ )

$S_o$  = pendiente hidráulica (m/m)

En cada sección hemos deducido una distribución horizontal de velocidad a partir del caudal y la cota de agua medidos en campo, como el de la Figura 18 en un perfil en Isla Pavón muy próximo al puente. El modelo efectúa un balance de masas con el que determina la velocidad en una celda en función de su profundidad, asumiendo una rugosidad constante en el perímetro del cauce, de modo que el flujo más rápido ocurre en la zona más profunda. Para ríos muy grandes con cauce de material homogéneo con el RSC, esta premisa es asumible.

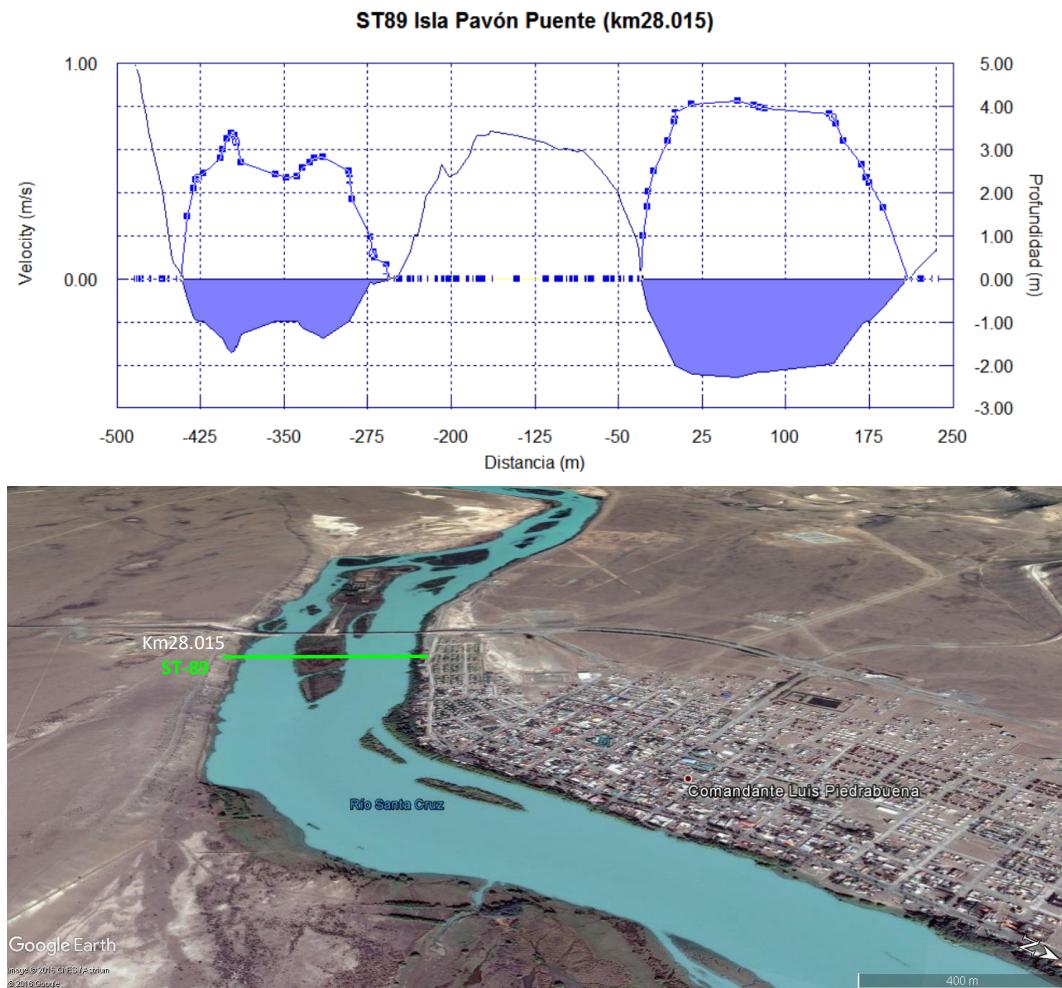


Figura 23. Simulación de velocidad en la ST inferior del Tramo 1. Abajo el patrón de distribución horizontal de rugosidad. Arriba la distribución horizontal de velocidad, calculada mediante el modelo de Manning particularizado (pseudo-2D).

## 11. FUNCIONES DE PREFERENCIA DE HÁBITAT

Los factores abióticos desarrollan roles ecológicos conocidos para los organismos acuáticos, determinando la condición del hábitat en su entorno físico. Las variables hidráulicas clave en esta aplicación IFIM son las tres habituales: profundidad, velocidad, y sustrato.

- La velocidad origina la fuerza tractiva que experimenta la biota, y que influye en sus adaptaciones anatómicas y conductuales (Poff y Ward, 1989). Los gradientes de velocidad y de rugosidad son factores fundamentales que controlan la distribución local de la biota en un cauce (Goring y Biggs, 1996). Existe evidencia (Allan, 1995) de los efectos de la velocidad en: 1) el tamaño y concentración de los sólidos en suspensión y en la granulometría del lecho; 2) la distribución de gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ) y de los nutrientes (detritus e insectos); y 3) los procesos de respiración y reproducción de algunas especies.
- La profundidad determina el espacio físico en el río utilizable por la biocenosis, y puede limitar la conectividad para los organismos móviles (Jowett, 1992). Otros procesos influídos por esta variable son la oxigenación mediante la turbulencia y la temperatura (McBride et al., 1998), así como la fotosíntesis (Davies-Colley y Smith, 2001). Adicionalmente, la profundidad está ligada a la anchura superficial, variable que controla el área total disponible para los organismos bentónicos.
- El tamaño y composición del material del lecho tiene un papel primordial en la composición del ecosistema (De Nicola et al., 1990). Las características del fondo condicionan en gran medida la actividad de los peces, ya que determinan sus estrategias bentónicas y el estado de la fauna macroinvertebrada, perifiton, y vegetación macrofítica.

Debe considerarse que existen otros atributos secundarios que jugar algún papel en la ecología del RSC cuando circule el CE, como son la temperatura del agua, turbidez, y luminosidad. También a mayor escala la calidad de agua influye en la idoneidad del macro-hábitat: materia orgánica, material suspendido, iones disueltos, nutrientes disueltos, gases, pH, y contaminantes (Davies-Colley et al., 1993). No obstante, consideramos en principio que, por la excelente calidad de agua del río y por el carácter muy transitorio que tiene el CE en este caso, es de esperar que los potenciales efectos de cambios en la calidad-cantidad de hábitat que puedan ocurrir sean tolerados por el ecosistema. En cualquier caso, la evaluación de los aspectos anteriores está fuera del alcance de este estudio debido a dos hechos: (1) la capacidad de carga del sistema es desconocida, y (2) no existen curvas de preferencia de hábitat para esas variables.

### 11.1. Macroinvertebrados

Son un componente importante del ecosistema debido a que transforman el material alóctono poniéndolo a disposición de los niveles tróficos más altos, además de servir de alimento directo a múltiples organismos (Orth y Maughan, 1983). Son menos móviles que los peces, y por lo tanto más sensibles a cambios del caudal. Sus rangos de tolerancia son más estrechos que en los peces (Gore y Judy, 1981). Los órdenes indicadores del buen estado ecológico son los EPT – Efemerópteros, Tricópteros, y Plecópteros -, los cuales componen además la dieta de los peces del sector.

En ausencia de unas curvas de preferencia locales del tipo micro-hábitat que es necesario, juzgamos que por el carácter muy generalista de estos organismos resultan aplicables las genéricas de Gore et al. (2001) para los EPT. El estudio de Gore et al. (2001) recopila datos de diez años pertenecientes a unos 1200 ríos de EEUU, a partir de los cuales determina las curvas de preferencia de velocidad, profundidad, y sustrato mostradas en la Figura 24 (pg.sig.). La preferencia de los Coleópteros la representamos mediante las funciones desarrolladas por Jowett et al. (1991) para cuatro ríos de gravas neozelandeses a partir de un conjunto amplio de 334 muestras.

### 11.2. Perifiton

Juega un papel fundamental en la dinámica del ecosistema (Wetzel, 1979; Moreno, 1989) en tres facetas vitales: a) produce el 70%-80% de los metabolitos orgánicos; b) posee una alta tasa alta de reciclaje de nutrientes, dado que en él muchos organismos encuentran abrigo y otros alimentos (peces); y c) es un buen indicador del estado ecológico.

Para anticipar la respuesta de este organismo sombrilla utilizaremos las curvas de idoneidad de las algas diatomeas de la Figura 25 desarrolladas por Jowett et al. (1991). Una aproximación más simplista es la del trabajo de la Universidad de Concepción (EULA, 2000) en un río chileno, que determina a partir de unas 70 muestras las relaciones entre la biomasa de fitobentos y las variables velocidad, profundidad, y sustrato. Las funciones resultantes son equiparables a las de las algas filamentosas largas de Jowett et al. (1991) en cuanto a su forma y los rangos de idoneidades máximas y mínimas.

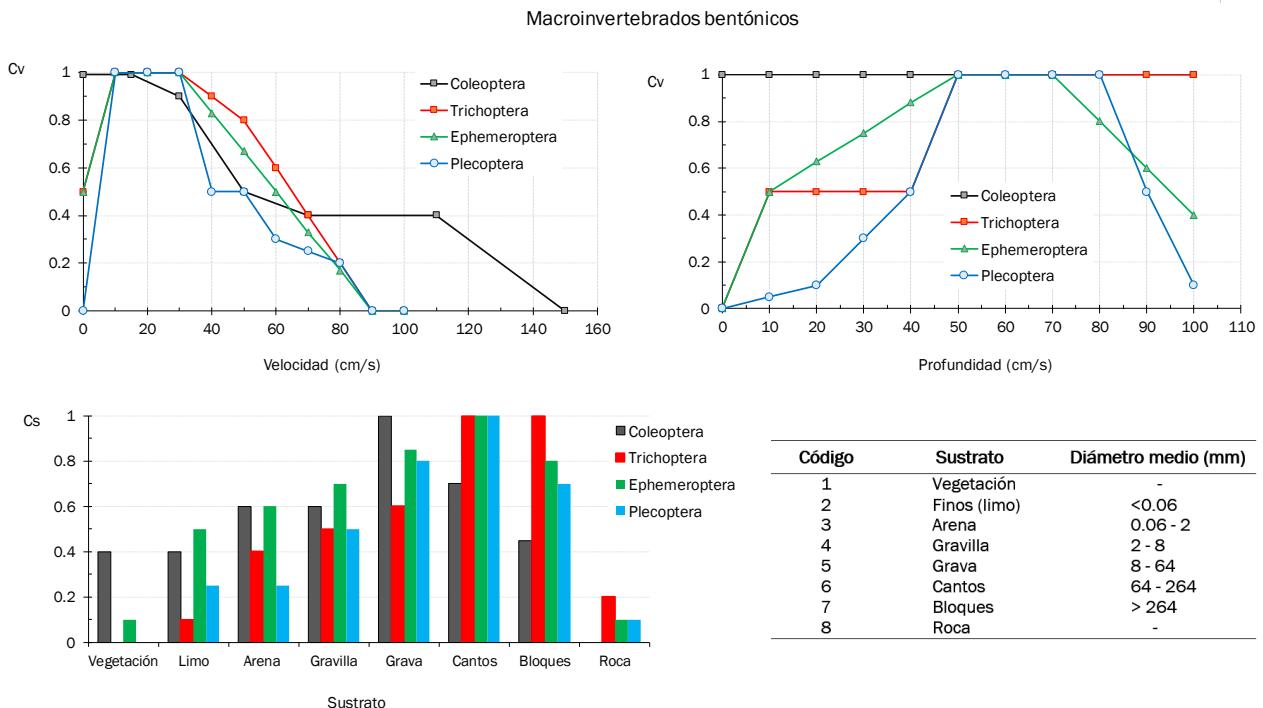


Figura 24. Curvas de preferencia de macroinvertebrados bénicos para las variables profundidad, velocidad, y sustrato. Las de los EPT (Efemerópteros, Plecópteros y Trícópteros) fueron desarrolladas por Gore et al. (2001) a partir de unas 1200 muestras, y las de los Coleópteros por Jowett et al. (1991) con más de 300 muestras.

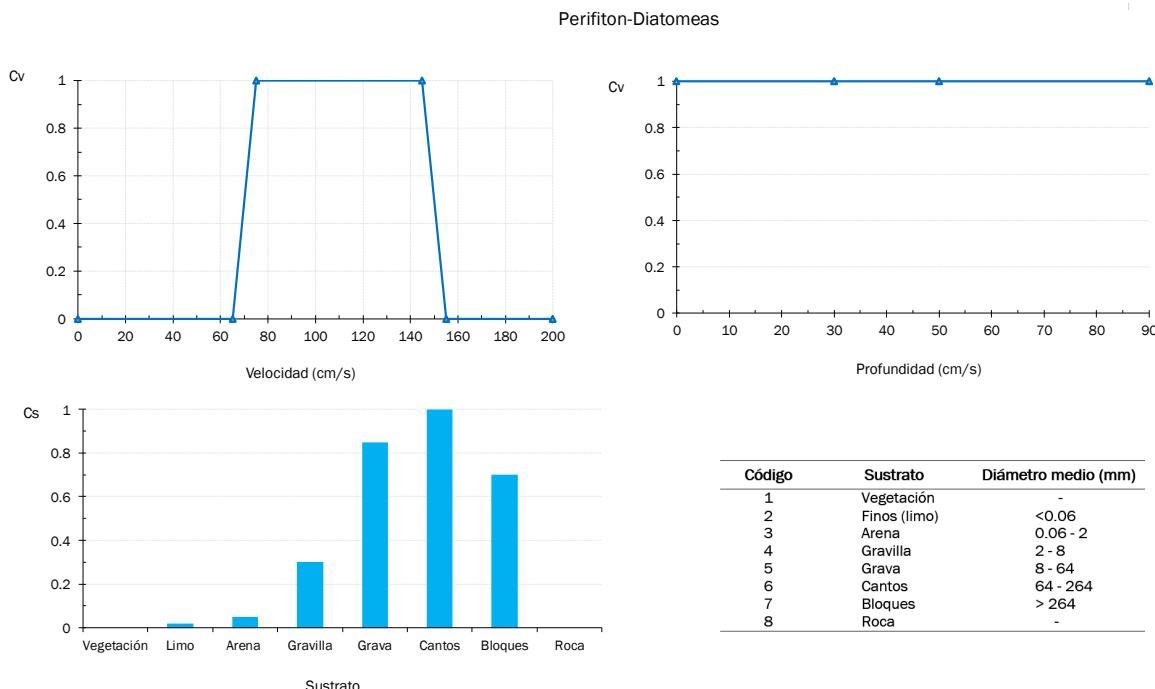


Figura 25. Curvas de preferencia para perifiton: diatomeas (Jowett et al., 1991).

### 11.3. Peces nativos

Para la Lamprea y para el Puyen Chico hemos adoptado las funciones de preferencia desarrolladas en ríos australes, aunque fuera de Argentina, pero que pensamos que son suficientemente solventes para evaluar tendencias generales (Figura 26). Se trata de las curvas de preferencia Tipo III (estricta) obtenidas en Nueva Zelanda para la misma especie de lamprea (*Geotria australis*) por Jellyman y Glova (2002), y para la misma especie de puyen (*Galaxias maculatus*) por Jowett (2002).

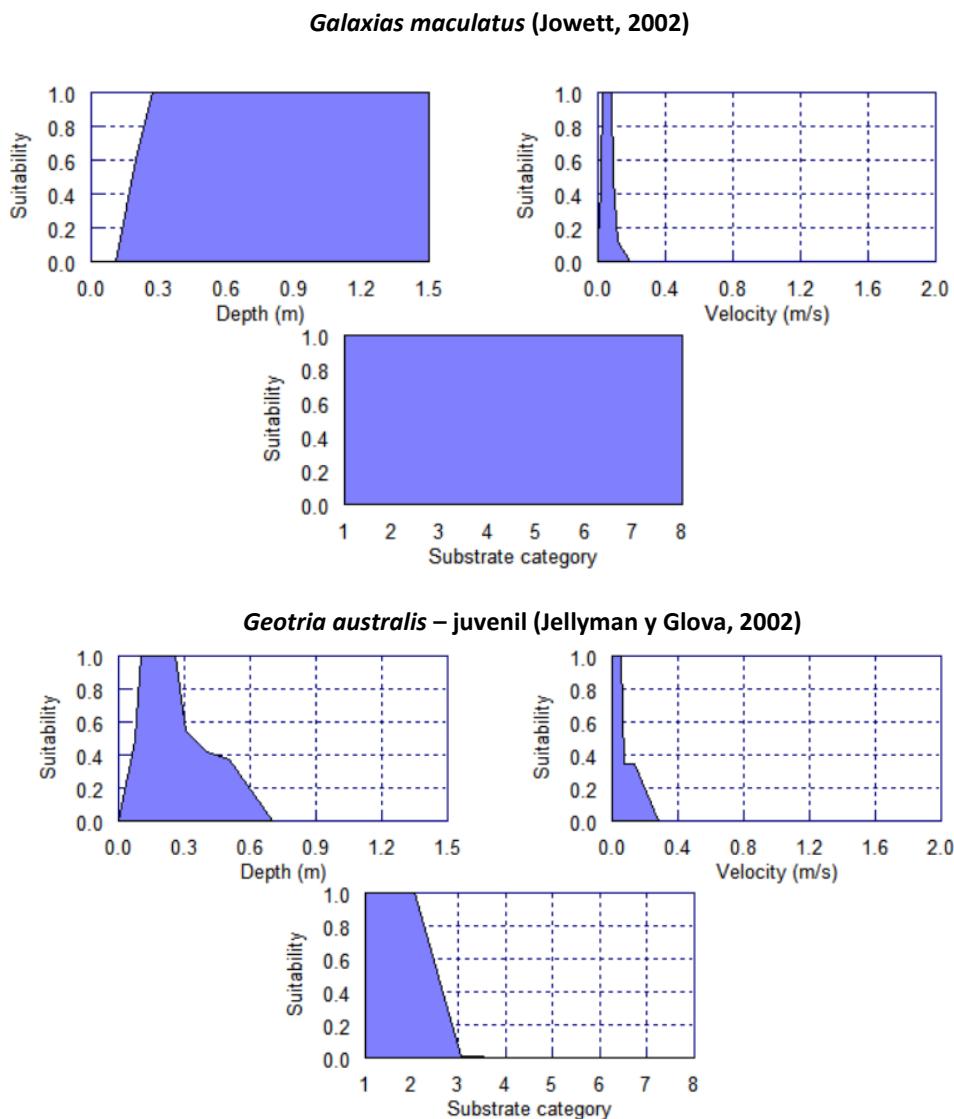


Figura 26. Curvas preferencia para la lamprea (Jellyman y Glova, 2002), y para el puyen chico (Jowett, 2002).

### 11.4. Salmónidos

- La trucha arco iris es uno de los primeros peces para los que se obtuvieron sus curvas de preferencia en EEUU. Las primeras funciones de Bovee (1978) para los estadios adulto, alevín, y juvenil en la Figura 27 han sido empleadas de modo extensivo en las aplicaciones IFIM en el ámbito internacional, y consideramos que también son aptas para predecir los rasgos generales de la respuesta en el RSC. Los criterios para el desove son los de Shirvell y Dungey (1983).
- Para el salmón chinook se ensayarán las curvas desarrolladas para el adulto en migración (Raleigh et al., 1986) y para el juvenil (Washington Fish and Wildlife) de la Figura 27.

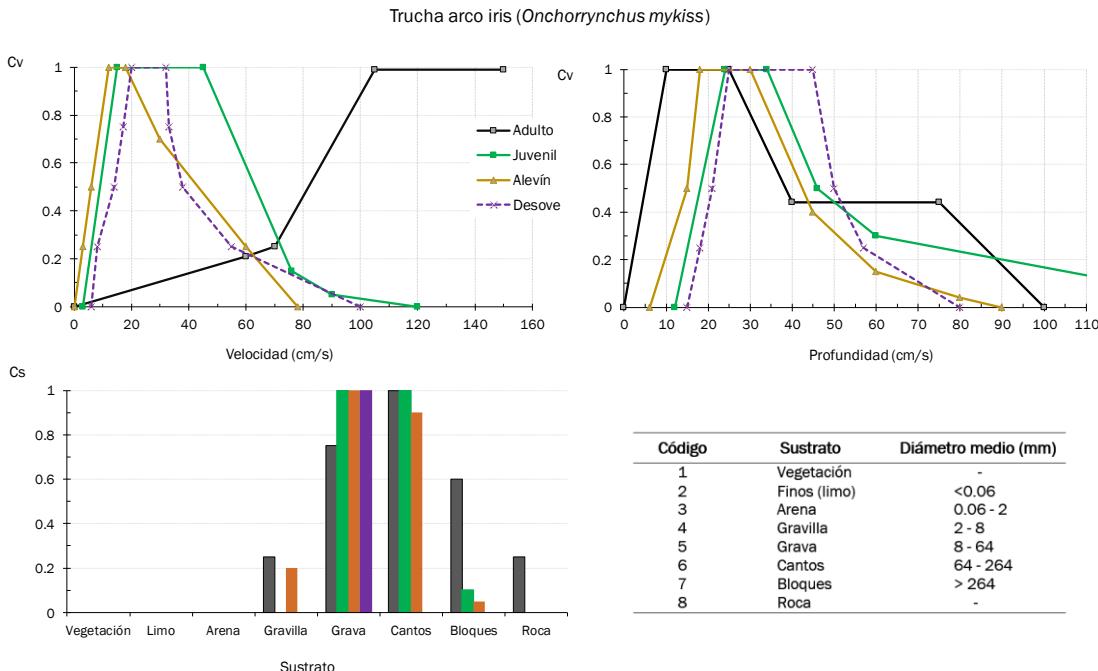


Figura 26. Curvas de idoneidad de hábitat para la trucha arcoíris (*Onchorynchus mykiss*). Las de los estadios adulto, juvenil, y alevín son las primeras de Bovee (1978). Las de la freza (desove) son las de Shirvell y Dungey (1983).

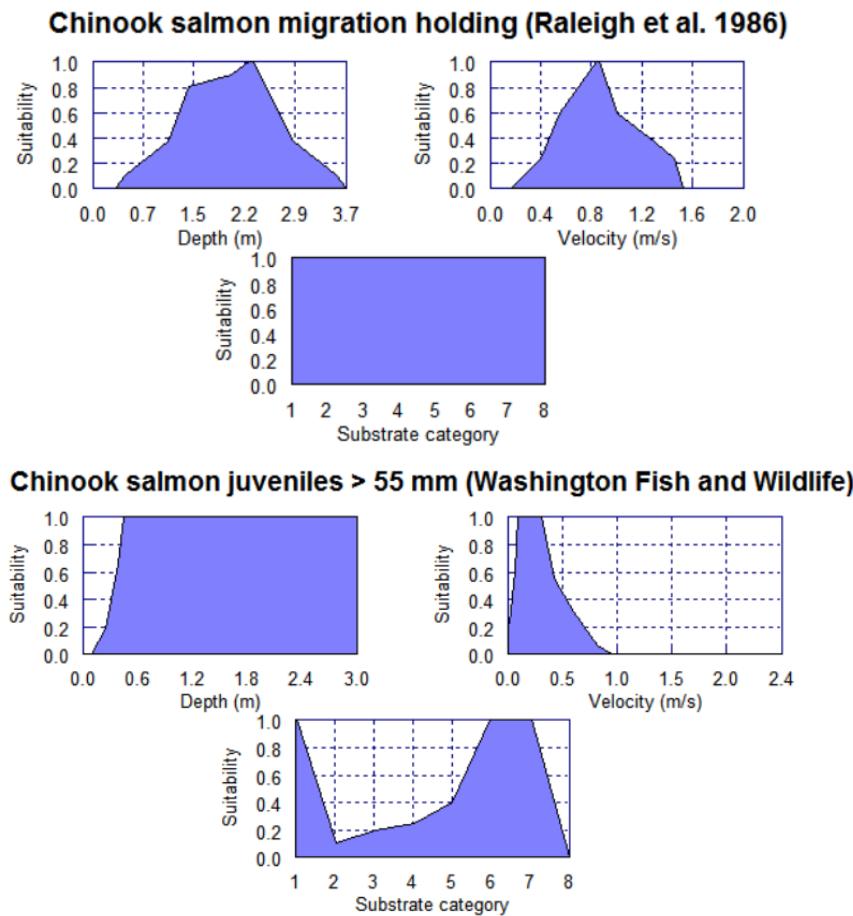


Figura 26. Curvas preferencia para el salmón chinook: adulto migración ascendente y juveniles descendentes.

## 12. EVALUACIÓN DEL HÁBITAT

El índice de hábitat utilizado generalmente en las aplicaciones PHABSIM es el Área Ponderada Útil o "Weighted Usable Area"-WUA, el cual también empleamos aquí. La premisa del WUA es que la suma de las áreas de las celdas ( $A_i$ ) ponderadas por los respectivos índices de hábitat ( $IH_i$ ) es un indicador de las condiciones globales del hábitat en un tramo fluvial durante un caudal concreto. El WUA se expresa como metros cuadrados de hábitat utilizable en una longitud fluvial unitaria de 1 m ( $m^2/m$ ).

$$WUA = \sum A_i \cdot IH_i$$

La configuración de PHABSIM se ha particularizado para su aplicación en el RSC según la Tabla 11.

Tabla 11. Opciones PHABSIM (IOC) configuradas.

Método	Configuración	Opción
Modelo de hábitat	HABTAE	
Índice de hábitat	WUA ( $m^2/m$ )	IOC01
Agregación idoneidades	Multiplicativa	IOC09
Anchura mínima contigua	No	IOC11
Índice de hábitat mínimo	No	IOC19
Resolución hábitat en celda	Interpolado	-
Velocidad adyacente	No	IOC5
Hábitat de orilla	No	IOC22
Tipo de velocidad en celda	Media	IOC14
Exploración vertical en celda	Toda	IOC16
Variable hidráulica alternativa	no	IOC17

- De modo muy preliminar, y con el propósito de ilustrar el tipo de algunos de los resultados que serán generados e interpretados en el ECE final, presentamos a continuación la simulación Q-WUA de todo el sector drenado JC→Desembocadura para los organismos objetivo anteriores.
- Se trata de unos resultados aproximados, de tendencias muy generales.
- Serán perfeccionados con mejoras del modelaje hidráulico y de las funciones de preferencia que se realizarán en el ECE final.

### 12.1. Funciones Caudal - Habitat

La Figura 27 presenta los resultados principales.

- ✓ Arriba el conjunto de las curvas hábitat-caudal, donde se observa que los patrones son en general bastante consistentes, creciendo hasta un entorno de caudal a partir del cual las funciones se estabilizan (maximizan). Es claro que en general el RSC ofrece la mayor cantidad de hábitat disponible para el puyen común (función superior). También el río pone a disposición del salmón y de los macroinvertebrados una cantidad de hábitat destacada en relación al conjunto de organismos objetivo. Existe una tendencia bastante común a estabilizarse el máximo de hábitat utilizable en el entorno de los 400  $m^3/s$ .
- ✓ En el centro las respuestas para el puyen y la lamprea juvenil. En cuanto al puyen la pendiente de la curva tiene pendiente fuerte hasta unos 300  $m^3/s$ , punto a partir del cual el hábitat aumenta en menor proporción. En cuanto a la lamprea juvenil, el hábitat generado es máximo con caudales que rondan los 200  $m^3/s$ .
- ✓ Abajo las funciones de la trucha arco iris. El hábitat máximo para el adulto ocurre con 400  $m^3$ , que es un punto de inflexión claro. Los estadios pre-adultos encuentran la mayor cantidad de hábitat usable con caudales en torno a los 300  $m^3/s$ .

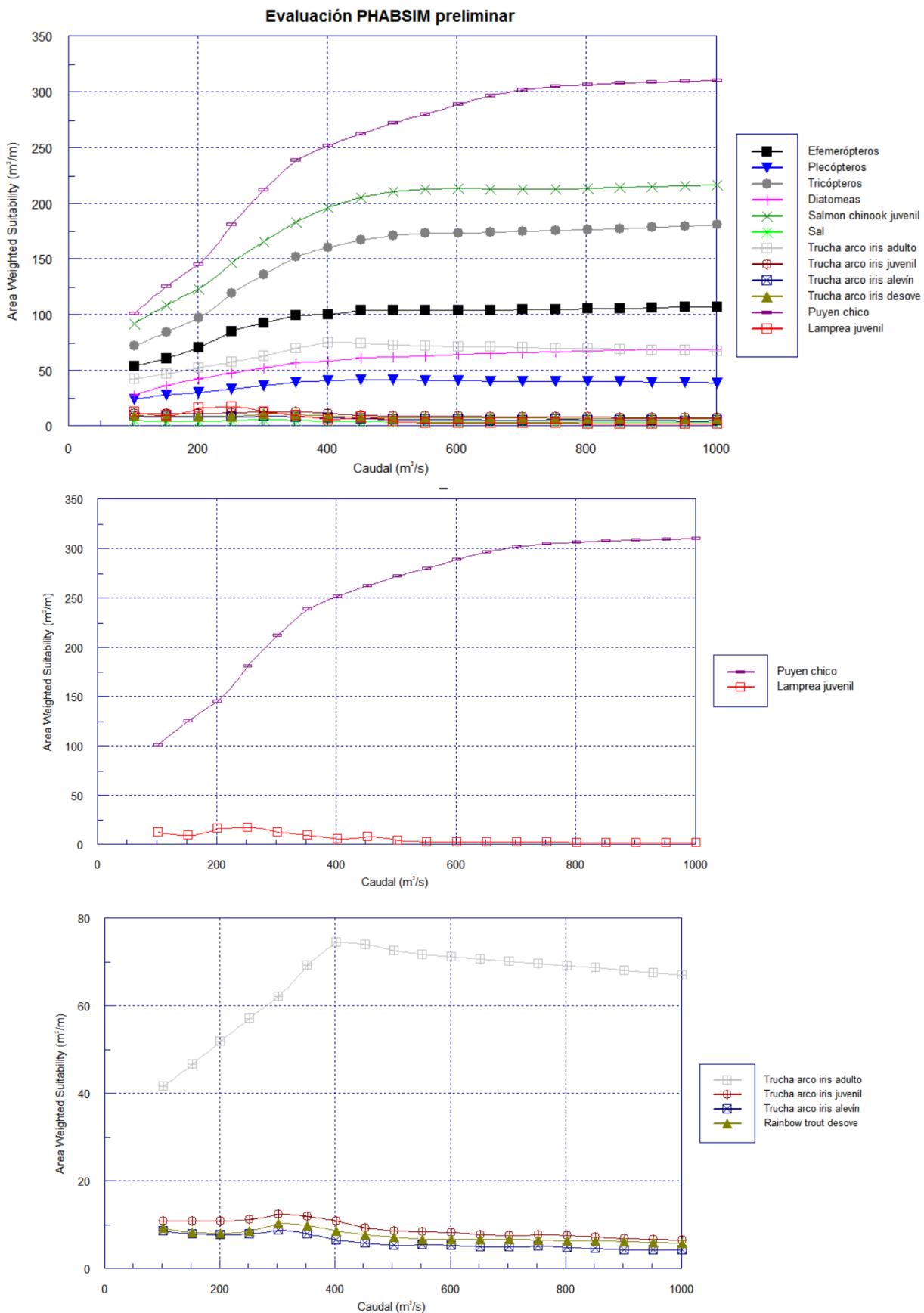


Figura 27. Modelaje PHABSIM preliminar básico del tramo del RSC detraído por el llenado de los vasos.

## 12.2. Retención de Hábitat

El objetivo del CE mínimo no es en modo alguno maximizar el hábitat utilizable, sino evaluar la reducción del mismo asociado a cada uno de los distintos escenarios incrementales de detacción. En la Figura 28 hemos calculado el hábitat remanente respecto al que ocurre con el caudal medio durante los 3 meses más secos del año:  $Q_{\text{mín}}-90\text{días} = 313 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tomamos por lo tanto como referencia esa condición de estiaje natural. Los porcentajes indican la proporción del hábitat original que se mantiene en función del CEmín seleccionado.

Los resultados de esta simulación indican que para el conjunto de los organismos objetivo se consiguen retenciones de hábitat substanciales caudales mucho menores que los que circulan durante aguas altas. Eso indica que, según el modelo PHABSIM, solo una porción del caudal natural es estrictamente necesario para mantener niveles suficientes de hábitat:

- Con un CEmín de  $250 \text{ m}^3$  queda remanente el 80% del hábitat acuático natural para la biocenosis.
- Inclusive, para un CEmín de  $188 \text{ m}^3/\text{s}$  se mantienen niveles de hábitat por encima del 60% de la condición original.

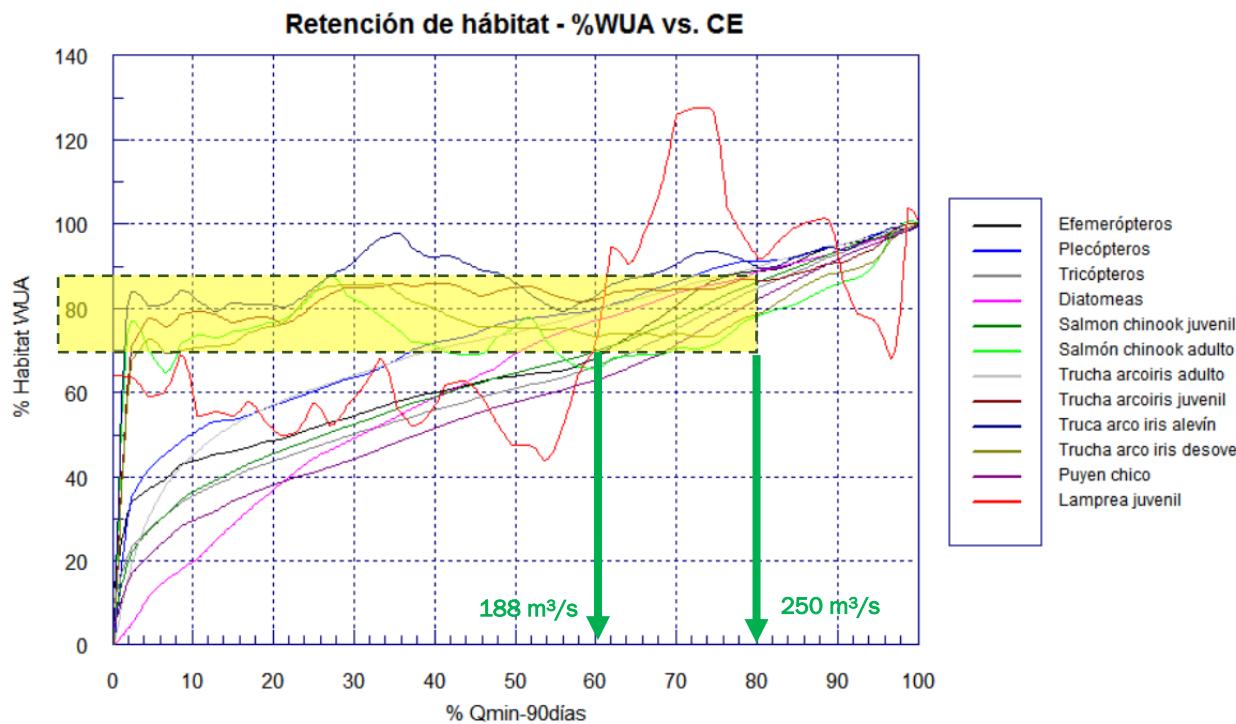


Figura 28. Evaluación PHABSIM del hábitat remanente para distintos escenarios incrementales de CEmínimo.

### 13. REFERENCIAS

- Aguilera, G. y Cancino, F. 2015. Modelos de preferencia de hábitat para la adaptación del método de evaluación de caudales ecológicos PHABSIM. IV Simposio Argentino de Ictiología 2015.
- AIGO, J; V CUSSAC; S PERIS; S ORTUBAY; S GÓMEZ; H LÓPEZ ET AL. 2008. Distribution of introduced and native fish in Patagonia (Argentina): patterns and changes in fish assemblages. Rev. Fish Biol. Fisheries, 18: 387-408.
- ALEX, J. 2008. Ecology of the New Zealand lamprey (*Geotria australis*). New Zealand Department of Conservation, Wangani, New Zealand.
- Arismendi, I. y Penaluna, B. 2009. Peces nativos en aguas continentales del Sur de Chile / Native inland fishes of Southern Chile.
- BAIGUN, C.M.R. Y M.C. MARINONE. 1995. Cold-temperate lakes of South America: do they fit Northern hemisphere models? Archiv. Hydrobiol. 135 (1): 23-51.
- Baker D.B., Richards R.P., Loftus T.T., Kramer J.W.,( 2004). A New Flashiness Index: Characteristics and Applications to Midwestern Rivers and Streams. Journal of the American Water Resources Association 40(2):503-522.
- BARROS, V., C. VERA, E. AGOSTA, D. ARANEO, I. CAMILLONI, A. CARRIL, M. DOYLE, O. FRUMENTO, M. NUÑEZ, M. ORTIZ DE ZÁRATE, O. PENALBA, M. RUSTICUCCI, C. SAULO y S. SOLMAN. 2015. Cambios climáticos en la región Patagonia, Antártida e islas del Atlántico sur. En: Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones. Tercer comunicación nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Capítulo 8. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA).
- Biggs, B., Kilroy, C., Mulcock, C., Scarsbrook, M., y Ogilvie, S. 2002. New Zealand Stream Health Monitoring and Assessment Kit. Stream Monitoring Manual. NIWA Technical Report 111-1. 190 p.
- Bovee, K. D. 1982. A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Instream Flow Information Paper No. 12. U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-82/26. Fort Collins, Colorado. 248 pp.
- Bovee, K.D. 1977. Development and evaluation of weighted criteria, probability-of-use curves for instream flow assessment: fisheries. Washington, D.C.: Fish and Wildlife Service, U.S. Department of the Interior Instream Flow Information Paper #3, FWS/OBS-77/63. 38 p.
- Bovee, K.D. y Milhous, R. T. 1978. Hydraulic simulation in instream flow studies: theory and techniques. Instream Flow Information Paer No. 5. U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-78/33. 130 pp.
- CIANCIO, J. E., M. A. PASCUAL, J. LANCELOTTI, C. M. RIVA ROSSI Y F. BOTTO. 2005. Natural colonization and establishment of a chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*, population in the Santa Cruz River, an Atlantic basin of Patagonia. Environmental Biology of Fishes (2005) 74:219–227.
- Collins, G.B.; Weber, C.I. 1978: Phycocryphion(algae) as indicators of water quality. Transactions of the American Microscopical Society 97: 36-43
- Colwell, R.K. (1974) Predictability, constancy, and contingency of periodic phenomena. Ecology, 55, 1148-1153.
- Davies-Colley, R.J., Vant, W.N., y D. G. Smith. 1993. Colour and Clarity of Natural waters: science and management of optical water quality. Ellis Harwood, New York.
- Davies-Colley, R. J., y Smith, D.G. 2001. Turbidity suspended sediment, and water clarity: a review. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 37: 1085-1101.
- De Nicola, D.M., McIntire, C.D., Lamberti, G.A., Gregory, S.V., y Ashkenas, L.R. 1990. Temporal patterns of grazer-periphyton interactions in laboratory streams. Freshwater Biology 23:475-489.
- Diez Hernández, J.M. y Payne, T.R. 2004. Riverine Habitat Simulation Software: RHABSIM Spanish Version. Proceedings V International Symposium on Ecohydraulics. 12-17/09/04, Madrid, España.
- DUNBAR, M.J., GUSTARD, A., ACREMAN, M.C. y ELLIOT, C.R. 1998. Overseas approaches to setting River Flow Objetives. Institute of Hydrology, Environment Agency, R&D Technical Report W6-161. Wallingford, Reino Unido.
- Eiseng, W., Strange, R.J. y Moore, S.E. 1990. Summer food limitation reduces brook and rainbow trout biomass in a southern Appalachian stream. Transactions of American Fisheries Society, 119: 894-901.
- EPELE L.B., MISERENDINO M.L. y P. PESSACQ. 2011. Life history, seasonal variation and production of *Andesiops torrens* (Lugo-Ortiz and McCafferty) and *Andesiops peruvianus* (Ulmer) (Ephemeroptera: Baetidae) in a headwater Patagonian stream. Limnologica 41: 57-62.
- Giraudo, A., M. Duré, E. Schaefer, J. N. Lescano, E. Etchepare, M. A. Akmentins, G. S. Natale, V. Arzamendia, G. Bellini, R. Ghirardi y M. Bonino. 2012. Revisión de la metodología utilizada para categorizar especies amenazadas de la herpetofauna argentina. Cuad. Herpetol. 26 (Supl. 1): 117-130.
- Gore, J. A. y R. D. J. Judy. 1981. Predictive models of benthic macroinvertebrate density for use in stream flow studies and regulated flow management. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 38(11): 1363-1370.
- Goring, D. G., y Biggs, B.J.F. 1996. The effect of velocity and turbulence on the growth of periphyton in a cobble-bed stream: The five stone experiment, in Proceedings of the 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics, edited by M. Leclerc et al., pp. A239-A250, INRS-Eau, Quebec, Quebec, Canada, 1996.
- Gotceitas V, Godin JGJ (1991) Foraging under the risk of predation in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): effects of social status and hunger. Behavioral Ecology and Sociobiology 29: 255-261.
- Guzmán, L. & I. Campodonico. 1973. Algunos aspectos de la biología de *Eleginops maclovinus* (Cuv. y Val.) 1830, con especial referencia a su morfometría, caracteres merísticos y alimentación. Ans. Inst. Pat., Punta Arenas (Chile), 4: 1-3.
- HEC. 2000. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual. Davis, California, EEUU. 149 p.
- HEC, 2007. Hydrologic Modeling System HEC-HMS version 4.2.1. [www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/)
- Hegge, O., Hesthagen, T. y Skurdal, J. 1993. Juvenile competitive bottlenecks in the production of brown trout in hydroelectric reservoirs due to intraspecific habitat segregation. Regulated Rivers, 8: 41-48.

- ÍTURRASPE, R.J. Y SOTFÍNÍ, R. 2005. Hidrología y Clima. En: Estudio de Prefactibilidad Ambiental de la construcción de las Represas La Barrancosa y Condor Cliff. I Parte. Pág. 218-295. Ministerio de Economía y Obras Públicas, gobierno de la provincia de Santa Cruz- Universidad de la Patagonia Austral. Unidad Académica Río Gallegos.
- IUCN, 2004. Red List Categories. Gland Suize.
- Jowett, I.G. 1992. Models of the abundance of large brown trout in New Zealand rivers. North American Journal of Fisheries Management 12:417-432.
- Karr, J.R. y Dudley,D.R. 1981. Ecological perspectives on water quality goals. Environmental Management, 5: 55-68.
- Langa Sánchez, A., Pagot, A., Rodríguez, A., Martínez Capel, F. 2009. Estudio de Caudales Ecológicos en ríos de la provincia de Córdoba. Cuarto Simposio Regional sobre Hidráulica de ríos. Salta, Argentina.
- LIBEROFF, A. L., J. A. MILLER, C. M. RIVA-ROSSI, F. J. HIDALGO, M. L. FOGLY Y M. A. PASCUAL. 2014. Transgenerational effects of anadromy on juvenile growth traits in an introduced population of rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 71: 398-407.
- McBride, G.B., Wilcock, R.J., Nagels, J.F., Collier, J.J., Wilson, B.T., and Huser B.A. 1998. Characterisation of lowland streams using a single station diurnal curve analysis model with continuous monitoring data for dissolved oxygen and temperature. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 32:1, 67-79,
- Metcalfe, R.A., y Schmith, B.J. 2014. Streamflow Analysis and Assessment Software (SAAS v4).
- Milhous, R.T. 1999. History, theory, use, and limitations of the Physical Habitat Simulation System. Proceedings of the 3rd International Symposium on Ecohydraulics. Logan, UT: Utah State University Extension. p. 1-25.
- Mills, Heath; Reese, B K; Peter, Cruz St (2012): Shifts in the microbial community structure in different temperatures during sample storage from IODP Hole 325-M0058A. doi:10.1594/PANGAEA.788626
- Orth, D. J. y Maughan, O.E. 1983. Microhabitat preferences of benthic fauna in a woodland stream. Hydrobiologia, 106, 157-168.
- QUIROGA, A. P., J. L. LANCELOTTI, C. M. RIVA-ROSSI, M.TAGLIAFERRO, M. GARCÍA ASOREY Y M. A. PASCUAL. 2015. Dams versus habitat: predicting the effects of dams on habitat supply and juvenile rainbow trout along the Santa Cruz River, Patagonia. Hydrobiologia DOI 10.1007/s10750-015-2217-1.
- Pascual, M.A., P. Bentzen, C. Riva Rossi, G. Mackey, M. Kinnison y R. Walker. 2001. First Documented Case of Anadromy in a Population of Introduced Rainbow Trout in Patagonia, Argentina. Transactions of the American Fisheries Society 130: 53-67.
- PASCUAL M.A., CUSSAC V., DYER B., SOTO D., VIGLIANO P., ORTUBAY S. y P. MACCHI. 2007. Freshwater fishes of Patagonia in the 21st century after a hundred years of human settlement, species introductions, and environmental change. Aquat. Ecosyst. Health 10: 212-227.
- Pequeño, G. 1981. Peces de las riberas estuariales del río Lingue, Chile. Biol. Mar., 22: 141-163.
- Poff, N.L., Ward, J.V. 1989. Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: a regional analysis of streamflow pattern. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 46: 1805-1818.
- QUIROGA, A. P., J. L. LANCELOTTI, C. M. RIVA-ROSSI, M.TAGLIAFERRO, M. GARCÍA ASOREY Y M. A. PASCUAL. 2015. Dams versus habitat: predicting the effects of dams on habitat supply and juvenile rainbow trout along the Santa Cruz River, Patagonia. Hydrobiologia DOI 10.1007/s10750-015-2217-1.
- Riva Rossi, C.M., M. Arguimbau y M.A Pascual. 2003. The range and timing of the spawning migration of anadromous rainbow trout in the Santa Cruz River, Patagonia (Argentina) through radio - tracking. Ecología Austral 13: 151 - 159.
- Riva-Rossi, C., M.A. Pascual, J.A. Babaluk, M. García-Asorey y N.M. Halden. 2007. Intra-population variation in anadromy and reproductive life span in rainbow trout introduced in the Santa Cruz River, Argentina. Journal of Fish Biology (2007) 70, 1-18
- Rosguen, 1994. A classification of natural rivers. Catena, 22, 169-199.
- RUZZANTE D.E., S. J. WALDE, V. E. CUSSAC , M. L. DALEBOUT, J. SEIBERT, S. ORTUBAY Y E. HABIT .2006. Phylogeography of the Percichthyidae in Patagonia: roles of orogeny, glaciation, and volcanism. Molecular Ecology, 15: 2949-2968
- SECRETARIA RECURSOS HÍDRICOS. 1994. Estadística Hidrológica de la República Argentina. Buenos Aires. (C, D)
- SECRETARIA RECURSOS HÍDRICOS-EVARSA. 2004. Estadística Hidrológica de la República Argentina. Buenos Aires. (C, D)
- Serman & Asociados, 2016. EIA Aprovechamientos Hidroeléctricos del Río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz: Rev1. Elaborado para la UTE Represas Patagonia.
- Serman & Asociados, 2017. EIA Aprovechamientos Hidroeléctricos del Río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz: Rev2. Elaborado para la UTE Represas Patagonia.
- Soldano, F. 1947. Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina II: 1-264. Ed. Cimera. Buenos Aires.
- TAGLIAFERRO M., MISERENDINO M.L., LIBEROFF A., QUIROGA A. y M. PASCUAL. 2013. Dams in the last large free-flowing rivers of Patagonia, the Santa Cruz River, environmental features, and macroinvertebrate community. Limnologica 43 (2013) 500-509.
- TAGLIAFERRO, M., A. P. QUIROGA Y M. A. PASCUAL, 2014. Spatial pattern and habitat requirements of *Galaxias maculatus* in the last un-interrupted large river of Patagonia: a baseline for management. Environment and Natural Resources Research 4: 54-63.
- VALLADARES, A. 2004. Cuenca del río Santa Cruz. Cuenca Nº 70. Subsecretaría de Recursos Hídricos.



**REPRESAS PATAGONIA**  
**ELING·CGGC·HCSA·UTE**

**UTE China Gezhouba Group Company Limited-Electroingeniería S.A-Hidrocuyo S.A**  
Monseñor Fagnano, 86 Piso 1  
Río Gallegos – Santa Cruz, Argentina  
✉ [www.represaspatagonia.com.ar](http://www.represaspatagonia.com.ar)



**Grupo de Ecohidrología Fluvial - GEF. Universidad de Valladolid.**  
ETS. Ingenierías Agrarias. Av. Madrid 57, Palencia 34004 - España.  
Tel: +34 695260235. E-mail: [jmdiez@iaf.uva.es](mailto:jmdiez@iaf.uva.es)

*Universidad de Valladolid*