



INFORME TÉCNICO
CAUDAL ECOLÓGICO DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO ALTO MAIPO

Centro de Ecología Aplicada Ltda.

Agosto, 2013





1. Introducción

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Corporación Financiera Internacional (IFC) y *Overseas Private Investment Corporation* (OPIC) (en adelante, y conjuntamente, los "Financistas") se encuentran en el proceso de evaluación de la información sobre evaluación de impacto ambiental y social del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (en adelante, "el Proyecto" O "PHAM") como parte del proceso de financiamiento del Proyecto.

Entre los aspectos clave de esta revisión se evaluaron los métodos utilizados para determinar el caudal ecológico del proyecto (CE), así como los caudales mínimos para los usos no consuntivos del río Maipo y los afluentes afectados por el Proyecto.

Este informe da cuenta de la revisión de la evaluación del CE realizada en el marco del financiamiento del Proyecto, que incluye lo siguiente:

- Sección 2, se da cuenta de Antecedentes Generales del Proyecto y su evaluación ambiental;
- Sección 3, se exponen los antecedentes de la revisión efectuada en el marco del financiamiento del Proyecto y sus los resultados;
- Sección 4, se da cuenta del plan de acción adoptado por el Proyecto
- Anexo A: Revisión de Caudal Ecológico del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo
- Anexo B: Estudio de Caudal Ecológico del EIA Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo
- Anexo C: Plan de Manejo Integrado de las Poblaciones de Bagre Chico

2. Antecedentes Generales

2.1. Caudal Ecológico

Las actividades antrópicas desarrolladas en los ríos pueden tener diferentes impactos en las comunidades biológicas que los habitan, resaltando que los cambios en la velocidad y altura de escurrimiento tienen relación directa con las alteraciones en el caudal, mientras que los cambios en temperatura y oxigenación son condiciones de calidad del agua que son afectadas indirectamente. Por este motivo, se han desarrollado numerosos métodos para determinar los denominados "caudales ecológicos" de los ecosistemas acuáticos. Los más simples son los métodos hidrológicos o estadísticos, que determinan el caudal mínimo ecológico a través del estudio de los datos de serie de tiempo de caudales. Un ejemplo de método estadístico es definir el caudal mínimo ecológico como un 10% del caudal medio anual. Según Baeza y García del Jalón (1997) el criterio que resulta más coherente en función de la conservación de los sistemas acuáticos, sería el que relaciona las exigencias de hábitat que tienen las especies fluviales con las variaciones de las características de éste en función de los caudales circulantes y otras características del hábitat, como sustrato y vegetación ribereña. Diversos autores han utilizado metodologías basadas en este criterio, entre los que cabe señalar a Tennant (1976), que analiza

cualitativamente el hábitat piscícola en función de la hidrología de la cuenca vertiente; a White (1976), que desarrolla un análisis hidráulico entre los caudales circulantes y el perímetro mojado del cauce, asumiendo una relación creciente entre éste y la capacidad biogénica del río. Y finalmente, a Stalnaker y Arnette (1976) y Bovee (1982), quienes desarrollan un método (IFIM, Instream Flows Incremental Methodology) basado en las relaciones cuantitativas entre los caudales circulantes y los parámetros físicos e hidráulicos que determinan el hábitat biológico.

Los ríos no solamente mantienen la biodiversidad acuática (ej. peces, invertebrados), sino que además ofrecen una serie de bienes y servicios que son utilizados por las comunidades, tales como usos consuntivos (ej. riego, servicios sanitarios) y no consuntivos (ej. generación hidroeléctrica), y otros usos como turismo y recreación. Este último enfoque, fue la base para la determinación del caudal ecológico del PHAM, a partir de la identificación de Áreas de Importancia Ambiental (ecológicas y/o antrópicas) y su posterior evaluación en términos hidrológicos, hidráulicos y de disponibilidad de hábitat.

El caudal ecológico del Proyecto fue establecido en el proceso de evaluación de impacto ambiental del Proyecto, considerando la fauna íctica y los usos antrópicos del río. Posteriormente fue resuelto en el procedimiento sectorial de autorización de traslado de derechos de aguas, según se expone a continuación.

2.2. Determinación del Caudal Ecológico en el proceso de evaluación de impacto ambiental del Proyecto

El estudio de caudal ecológico del Proyecto Hidroeléctrico de Pasada Alto Maipo fue desarrollado por el Centro de Ecología Aplicada durante el año 2008, en el marco de la evaluación de impacto ambiental del Proyecto, que fue calificado favorablemente, mediante la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del Proyecto, Resolución Exenta N° 256/09 de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región Metropolitana (RCA N° 256/2009).

Para el cálculo del caudal ecológico fueron considerados los métodos hidrológicos indicados por la Dirección General de Aguas (DGA, 2002), que correspondió al Manual de Normas y Procedimiento vigente a la fecha de realización del estudio. Junto con esto, fueron considerados algunos de los métodos definidos en DGA-CEA (2008), de modo de incluir los requerimientos de la fauna íctica y de las actividades antrópicas realizadas en los ríos en estudio.

El enfoque conceptual utilizado para la determinación del caudal ecológico correspondió al de mesohábitat, donde se identificaron áreas de importancia ambiental a lo largo de los ríos (AIA) tanto de relevancia ecológica (AIE), como en función de los usos antrópicos (AUA) y fueron evaluadas eco-hidráulicamente desde la perspectiva de la mantención de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos presentes en los ríos. El caudal mayor entre ellos, correspondió al caudal a mantener en la zona de importancia ambiental. Con el objeto de cumplir dicho(s) caudal(es) se evaluó consecuentemente, el



caudal pasante en bocatoma, considerando la recarga de la cuenca intermedia y la restricción máxima impuesta por las AIA.

Para evaluar las zonas de importancia ambiental (AIA) se realizó una caracterización hidroambiental de los ríos y esteros, que incluyó una descripción de los sistemas en términos de los componentes bióticos (zoobentos, fitobentos, zooplancton, fitoplancton e ictiofauna) y los abióticos (morfología del cauce, profundidad del flujo, velocidad de escurrimiento, tipo de sustrato, y las variables físicas y químicas de calidad de agua). También se incorporan los elementos antrópicos y paisajísticos.

La metodología aplicada considero la evaluación de caudal ecológico en secciones de control de Áreas de Importancia Ambiental definidas por sus características morfológicas, hidráulicas, bióticas y/o antrópicas, entre otros criterios. Estas secciones de control AIA, requieren de un caudal ecológico y una demanda ambiental hídrica específica para cumplir con el desarrollo adecuado de las actividades ecosistémicas y antrópicas. Estos caudales se consideran más bien una propiedad intrínseca del tramo de río que se evalúa, y es una situación que el proyecto debe resguardar.

Los resultados del cálculo de Caudal Ecológico para cada una de las secciones AIA bajo el criterio de caudal de estiaje mínimo medio mensual y caudal de estiaje de probabilidad de excedencia 85%, se presentan en la **Tabla 1**.

De manera complementaria se propuso aplicar un plan integrado de manejo de la fauna íctica, que permita implementar medidas de manejo para para conservar la fauna íctica en el área de estudio y/o eventualmente recuperar las poblaciones de peces.

El informe completo del estudio de caudal ecológico elaborado en el 2008 se encuentra disponible en el Anexo 17 de la Adenda N°1 del EIA en la siguiente dirección web:

<http://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=3342955>.

2.3. Ajuste del Caudal Ecológico del PHAM en el proceso sectorial de traslado de derechos de aguas

AES GENER S.A. es dueña de los derechos de aprovechamiento de aguas requeridos para la implementación del PHAM, proyecto que considera la generación de energía hidroeléctrica a través del uso de tales derechos. Como tal, estos derechos están asociados a un caudal ecológico definido por la DGA en el momento de adjudicación de los mismos, calculado en base a criterios hidrológicos solamente.

El caudal ecológico determinado en el Estudio de Impacto Ambiental del PHAM fue aprobado por la RCA 256/2009 y ajustado posteriormente, con motivo de la adecuación del ejercicio de los derechos de AES GENER S.A. a la configuración del PHAM, proceso que finalizó en el año 2010. El valor determinado en ésta última instancia que es igual o mayor al establecido en la RCA 256/09 es el que deberá respetar el PHAM (**Tabla 1**).

Tabla 1. Caudales ecológicos mínimos para las nuevas bocatomas del PHAM fijados por la DGA y la RCA

| Subcuenca | Bocatoma | DGA (2010) | RCA (2009) |
|--------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| | | (m ³ /s) | (m ³ /s) |
| Río Volcán | Estero El Morado | 0,24 | 0,17 |
| | Estero Colina | 0,37 | 0,37 |
| | Estero La Engorda | 0,20 | 0,15 |
| | Estero Las Placas | 0,14 | 0,10 |
| Río Yeso | Río Yeso | 0,82 | 0,46 |
| Río Colorado | Río Colorado | 2,51 | 0,66 |

3. Revisión y actualización del Caudal Ecológico establecido en el EIA

Durante el Due Diligence realizado por los Bancos multilaterales en el marco del análisis para el financiamiento del Proyecto, y a requerimiento de éstos, se revisaron los resultados obtenidos en el estudio de caudal ecológico de 2008 (CEA, 2008). La revisión realizada arrojó las siguientes observaciones y recomendaciones:

- Respecto al sistema de representación fluvial, incorporar nuevas secciones topobatimétricas que responden al requerimiento de describir detalladamente las AIA estudiadas. De forma simultánea, realizar mediciones de velocidad del flujo, obteniendo una mejor descripción del microhábitat del río/estero.
- Para la caracterización hidrológica, incorporar estadísticas a escala diaria, principalmente para responder a una mejor descripción de los caudales de estiaje. En cuanto al rendimiento del aporte intermedio de la cuenca, considerar la recarga de estiaje (menor caudal mensual en curva de variación estacional de probabilidad de excedencia 85%). Realizar un estudio de estacionalidad de caudales para evaluar la tendencia de la serie hidrológica.
- En cuanto a la simulación hidráulica, incorporar el efecto de la rugosidad en la profundidad y velocidad, mediante un análisis y calibración que considera el efecto macrorrugoso del escurrimiento dependiendo de la magnitud del caudal.
- Dentro de los criterios de idoneidad de hábitat, agregar macroinvertebrados acuáticos como especies de relevancia ecológica, e incorporar la variable sustrato en la evaluación eco-hidráulica.
- Para la modelación eco-hidráulica y cuantificación de hábitat de las especies, utilizar el programa PHABSIM, atendiendo a las exigencias de utilización de un software especialmente diseñado para ello.

En base a las recomendaciones anteriores, se realizó la revisión del caudal ecológico mediante la actualización de la línea de base ambiental y la implementación de una metodología de uso internacional (IFIM/PHABSIM). Ambos elementos permitieron obtener resultados actualizados sobre el hábitat de las especies de relevancia ecológica, y uso antrópico recreativo (rafting/kayak), y con ello verificar que éstos requerimientos son cubiertos por los caudales ecológicos asociados al proyecto establecidos por la Dirección General de Aguas (DGA).

Las Áreas de Importancia Ambiental que fueron analizadas correspondieron a las siguientes: Lajas, Toyo, San Alfonso, Alfalfal, Colorado, Volcán, Yeso, Morado, Engorda, Placas y Colina (**Figura 1**).

Para complementar la información topobatemétrica y la obtención de mediciones de flujo, se realizaron 88 nuevos perfiles y la medición simultánea de aforos en cada uno de estos (**Tabla 2**).

Para complementar la información ambiental se realizaron 3 campañas de monitoreo durante 2012 (septiembre y diciembre) y 2013 (marzo), donde se caracterizó la calidad de agua, flora y fauna acuática, avifauna y fauna terrestre asociada a los cursos de agua (CEA, 2013b).

Los principales resultados obtenidos se detallan a continuación:

Resultados modelación hidráulica

La modelación hidráulica permite estimar el comportamiento hidráulico de los ríos y la morfología del cauce fluvial, mediante ésta se determinó mediante una modelación el nivel del río para distintos caudales, estimándose la profundidad y velocidad en distintas secciones, considerando la rugosidad, la pendiente y la geometría del cauce.

Respecto del resultado de la modelación, se verificó una relación potencial decreciente entre el caudal y el coeficiente de Manning, lo que es esperado, toda vez que la macrorugosidad del flujo aumenta a medida que disminuye la altura de escurrimiento, debido al aumento de la relación Rh/ds , alcanzándose máximos del coeficiente de Manning del orden de $0.1 \text{ s/m}^{1/3}$, obteniéndose estos normalmente para caudales pequeños, dentro del rango evaluado.

Las pendientes medias de los tramos del río Maipo y Colorado fueron del orden de 1% a 2%, mientras que en los esteros varió entre 2% y 4%. De acuerdo con Montgomery y Buffington (1997, Channel-reach morphology in mountain drainage basins. Geological Society of America Bulletin 109: 596-611, fig 12), de una serie de cauces evaluados, el coeficiente de Manning para ríos con pendientes en el rango 1% - 4% se concentró entre $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$ y $0.09 \text{ s/m}^{1/3}$, con valores extremos en $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ y $0.1 \text{ s/m}^{1/3}$ aproximadamente. Así, comparativamente los valores máximos obtenidos para el coeficiente de Manning en las 11 AIA se ubicaron dentro del rango esperado definido en el citado estudio.

Hubo excepciones a la tendencia decreciente de la relación Q v/s n en esteros de bajo escurrimiento, en los que para caudales bajos, los niveles fueron inferiores al tamaño característico del sedimento grueso. En estos casos, para los caudales mínimos, la relación Q v/s n fue creciente.

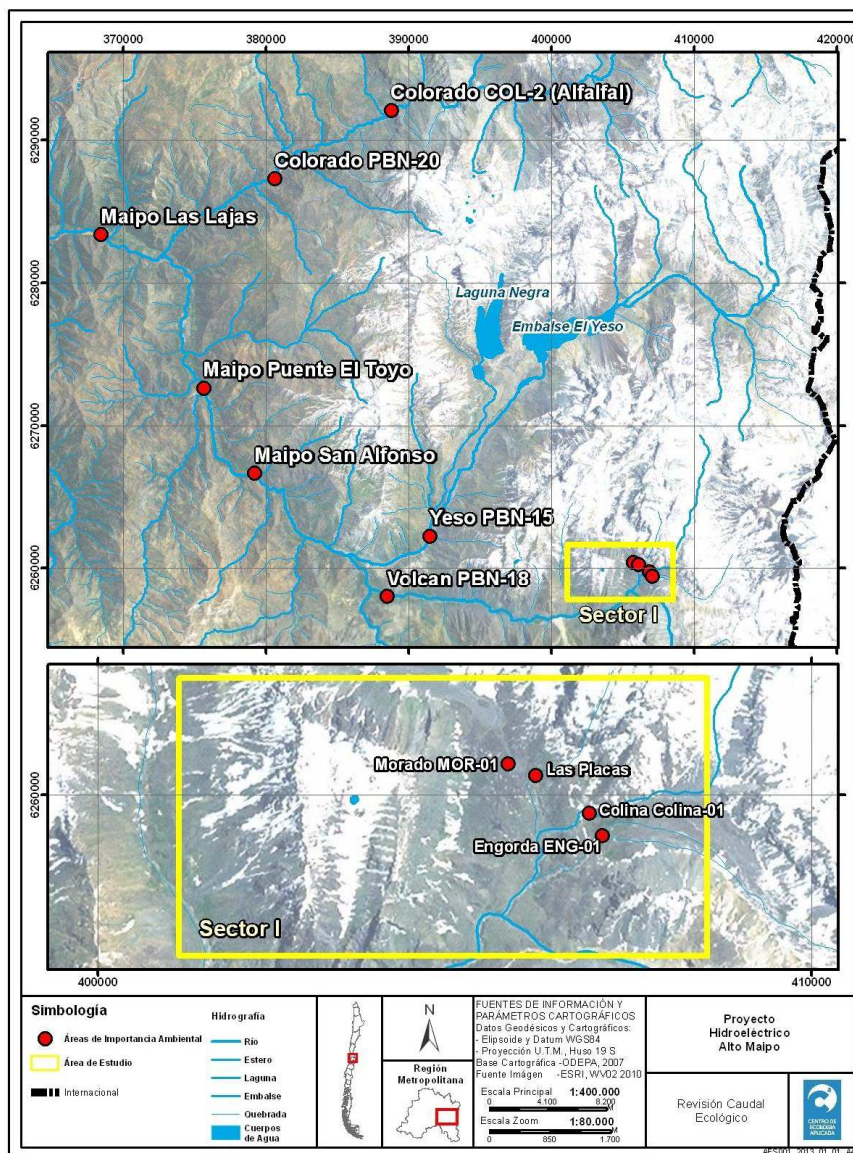


Figura 1. Ubicación de AIA en el área de estudio

Tabla 2. Perfiles topobatimétricos medidos (CEA, 2013).

| Río/estero | AIA | Cantidad de perfiles | Extensión tramo (m) | Coordenadas Datum WGS84 (huso 19) | |
|-----------------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------------|---------|
| | | | | E (UTM) | N (UTM) |
| Engorda | Engorda (ENG01) | 8 | 39 | 407070 | 6259435 |
| Colina | Colina (COLINA01) | 9 | 59 | 406880 | 6259742 |
| Morado | Morado (MOR1) | 8 | 73 | 405750 | 6260441 |
| Placas | Placas (PLACAS-01) | 8 | 59 | 406130 | 6260277 |
| Volcán | Volcán (PBN-18) | 8 | 129 | 388492 | 6257984 |
| Yeso | Yeso (PBN-15) | 8 | 175 | 391473 | 6262279 |
| Colorado | Alfalfal (COL-2) | 8 | 151 | 388776 | 6292084 |
| | Maitenes (PBN-20) | 8 | 171 | 380592 | 6287281 |
| Maipo | San Alfonso (PBN-05) | 5 | 163 | 379179 | 6266649 |
| | Toyo (TOYO) | 10 | 342 | 375635 | 6272634 |
| | Lajas (Lajas2) | 8 | 311 | 368432 | 6283371 |

Resultados modelación del hábitat

Los resultados de la modelación del hábitat en los ríos Maipo y Colorado indican que la mayoría de las especies de fauna íctica y macroinvertebrados bentónicos evaluadas (72%) se encuentran en una condición subóptima (condición sin proyecto), si se consideran los escenarios de caudal comprendidos entre los mínimos históricos y promedio registrados actualmente por el río. Por otra parte y a diferencia de lo anterior, los resultados para los ríos Yeso, Volcán, y los esteros Placas, Colina, Morado y Engorda, indican que las condiciones de hábitat óptimo para las especies evaluadas sí han ocurrido en condiciones actuales.

Respecto a los resultados para fauna íctica, se verificó una mejor condición de hábitat para los salmónidos *Salmo trutta* (*St*) y *Oncorhynchus mykiss* (*Om*) respecto a la especie nativa *Trichomycterus areolatus* (*Ta*), lo cual es consistente con los resultados de línea base, donde las especies salmonídeas introducidas son las más representativas del área de estudio, en términos espaciales y de abundancia (CEA, 2013).

En cuanto a los resultados para macroinvertebrados bentónicos, se observó una mayor disponibilidad de hábitat potencialmente útil respecto a la fauna íctica, así como una mejor condición de hábitat para el orden Ephemeroptera (E), seguido de Trichoptera (T) y Plecóptera (P), lo cual es consistente con lo observado en los registros de línea base sobre abundancia de zoobentos.

Adicionalmente y sobre las características del hábitat potencialmente útil, el análisis de sensibilidad realizado utilizando un umbral de corte ($CF_{min} = 0.5$), mostró que la calidad del hábitat en el área de estudio es baja.



Resultados caudal ecológico antrópico

Fueron evaluadas las condiciones para realizar la actividad de descenso en kayak/rafting en las AIA Maipo San Alfonso y Maipo Toyo, considerándose condiciones mínimas (ancho de 7.5 m y profundidad de 20 cm) y medias (ancho de 12 m y profundidad de 60 cm).

La evaluación de requerimientos mínimos estimó caudales ecológicos asociados de 4.88 m³/s y 6.74 m³/s en las AIA Toyo y San Alfonso, respectivamente. Cabe destacar que para ambos casos, los caudales medios mensuales para un año seco permiten cumplir con tales requerimientos durante el período evaluado (octubre – abril).

La evaluación de requerimientos medios estimó caudales ecológicos asociados de 33m³/s y 54 m³/s en las AIA Toyo y San Alfonso, respectivamente.

En el caso del AIA Toyo, el caudal ecológico es inferior al caudal medio mensual de todos los meses del período octubre – abril para un año seco (Q₈₅), salvo para el mes de abril.

En el caso del AIA San Alfonso, el caudal ecológico es inferior al caudal medio mensual de un año seco solamente para el período noviembre – febrero. En el caso de marzo y octubre, en un año normal el caudal sería suficiente para sustentar la práctica de la actividad. En abril, en tanto, se requiere un caudal intermedio entre el Q₅₀ y el Q₁₅.

Comparación entre situación sin y con proyecto

Se evaluó la variación respecto de la situación sin proyecto de las diferentes AIA en términos del caudal, altura de escurrimiento y habitabilidad, por efecto de la operación del proyecto. Para la evaluación fue considerada la condición de estiaje. Los resultados de esta evaluación se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se consideran las especies encontradas durante las campañas de muestreo y sus respectivas AIA.

Tabla 3. Porcentaje de variación del hábitat ponderado útil para una condición con proyecto en relación a una condición sin proyecto (WUA Con Proyecto / WUA Sin proyecto).

| N° | AIA | CAMBIO CAUDAL (%) | CAMBIO ALTURA (%) | VARIACIÓN DE HABITAT WUA | | | | | | | | |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|------------|-----------|------------|-----|------|--|------|------|
| | | | | Qeco Con Proyecto v/s Q Sin proyecto | | | | | | | | |
| | | | | Fauna íctica ¹ | | | | | | Macroinvertebrados Bentónicos ² | | |
| Q | h medio | St adulto | St juvenil | Om adulto | Om juvenil | Ta adulto | Ta juvenil | E | T | P | | |
| 1 | Lajas | -28% | -10% | 18% | 31% | 18% | 9% | 45% | -26% | 24% | 28% | 24% |
| 2 | El Toyo | -6% | -4% | | | -4% | 1% | -1% | 2% | 2% | 6% | 5% |
| 3 | San Alfonso | -6% | -2% | 3% | 4% | | | | | 3% | -2% | 3% |
| 4 | Colorado-Alfalfal | -65% | -29% | | | | | | | 26% | | |
| 5 | Colorado-Maitenes | -54% | -24% | | | 217% | 92% | 94% | 84% | | 152% | 224% |
| 6 | Yeso | -18% | -3% | -1% | -5% | | | | | 5% | 6% | -2% |
| 7 | Volcán | -14% | -3% | | | | | | | 5% | 5% | 3% |
| 8 | Colina | -46% | -21% | | | | | | | -4% | -2% | |
| 9 | Morado | -47% | -23% | | | | | | | -5% | -3% | -26% |
| 10 | Placas | 0% | 0% | | | | | | | 0% | 0% | 0% |
| 11 | Engorda | -20% | -11% | | | | | | | 3% | 1% | |

1: St: *Salmo trutta*, Om: *Oncorhynchus mykiss*, Ta: *Trichomycterus areolatus*

2: E: Ephemeroptera, P: Plecoptera, T: Trichoptera

En términos de cambio de altura, las mayores variaciones se darían en cuerpos de agua afectados directamente por el proyecto (es decir, ríos o esteros que consideran la instalación de bocatomas). Cabe destacar que las AIA Lajas y Yeso correspondieron a las excepciones a lo señalado anteriormente (el río Yeso, pese a la bocatoma proyectada, vería un descenso de solamente un 3% en su altura media). El estero las Placas no vería modificado su caudal para una condición de estiaje, ya que este sería menor al caudal ecológico.

Respecto al cambio de hábitat, los resultados indican que en las AIA Colorado en Alfalfal, Colorado en Maitenes, Volcán y Engorda, la implementación del proyecto implica una mayor cantidad de hábitat ponderado disponible respecto a la situación sin proyecto. Estas ganancias de hábitat son poco significativas para las AIA Engorda y Volcán (entre +1% y +5%), y de mayor cuantía para las AIA Alfalfal (+26%) y Maitenes (+92% a +224%). El estero las Placas no vería modificado su caudal para una condición de estiaje, por lo tanto no experimentaría variación del hábitat.

En el caso de las AIA Colina y Morado, la implementación del proyecto se traduce en una pérdida de hábitat para todas las especies en evaluación, en su mayoría en torno al -5%, a excepción del orden Plecóptera en la AIA Morado, donde la disminución de hábitat ponderado es de -26%.

Conclusiones generales

Los resultados de la actualización de la línea de base fueron comparables con los presentados en el Estudio de Caudales Ecológicos (CEA, 2008), encontrándose las mismas especies de peces; con una distribución espacial similar; en el área de estudio.

Respecto de la modelación del hábitat en los ríos Maipo y Colorado, donde se concentran los peces y macroinvertebrados bentónicos, los resultados indican que la mayoría de las poblaciones se encuentran en una condición subóptima (condición sin proyecto) para la especie, por lo cual la reducción en los caudales mejorará las condiciones del hábitat acuático. Estos resultados son consistentes con los informados en el Estudio de Caudales Ecológicos (CEA, 2008).

La evaluación de requerimientos mínimos para realizar la actividad de descenso en kayak/rafting en las AIA Toyo y San Alfonso, tuvo caudales ecológicos asociados de 4.88 m³/s y 6.74 m³/s, respectivamente. En ambos casos, los caudales medios mensuales para un año seco permiten cumplir con tales requerimientos durante el período evaluado (octubre – abril).

Es importante señalar que en la revisión del Estudio de Caudales Ecológico, se identificaron los mismos impactos ambientales sobre el ecosistema acuático, que fueron señalados en el EIA del PHAM.

El informe completo del estudio de caudal ecológico elaborado en el 2013 se encuentra en el Anexo A (CEA. 2103a. Revisión del Informe Técnico del caudal ecológico del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo).

4. Plan de monitoreo y manejo adaptativo

El Plan de Manejo Adaptativo de caudal ecológico propuesto por el PHAM, establece un programa de monitoreo de carácter estacional (4 veces al año), incluyendo el seguimiento de las poblaciones del bagre chico (*Trichomycterus areolatus*), calidad de agua, flora y fauna acuática, así como las características del hábitat acuático, en 23 estaciones de control correspondientes a las AIA definidas en el Estudio de Caudal Ecológico de 2008. El monitoreo incluye además a las especies de interés *Merganetta armata* y *Alsodes nodosus*. Los informes con los resultados de estos monitoreos serán publicados en la página web del PHAM.

El concepto de manejo adaptativo se basa en una revisión sistemática de las medidas de manejo propuestas (**Tabla 4**), en función de la respuesta dinámica de las especies de interés y de las variables indicadoras de hábitat a los cambios producidos en los ecosistemas, adaptando permanentemente las medidas para reducir los efectos sobre la biodiversidad. Estas son medidas complementarias, graduales y secuenciales, que permitirían mantener poblaciones viables de las especies de interés en el área de estudio.

Tabla 4. Secuencia de Medidas de Protección. (Plan de Manejo Integrado de las poblaciones de bagre chico (*Trichomycterus areolatus*))

| Etapas | Impacto | Medidas de Protección Ambiental |
|---------------|--|---|
| 1 | Alteración significativa del hábitat | Reconstrucción del hábitat |
| 2 | Disminución significativa del tamaño de la población | Translocación de <i>T. areolatus</i> |
| 3 | Disminución de la población de <i>T. areolatus</i> por depredadores introducidos | Extracción de depredadores del ecosistema |
| 4 | Medidas anteriores inviables | Conservación de <i>T. areolatus</i> fuera del área de influencia del proyecto |

En dicho plan de manejo se considerará además información específica de las tres especies de interés, para describir aspectos de su biología básica: distribución espacial, abundancia y requerimientos de hábitats, para vincular sus estados de conservación con las potenciales modificaciones de los hábitats derivadas de la construcción y operación del PHAM.

Se incorporará también la actividad de *screening* ambiental en la cuenca media-alta de los ríos Maipo, Mapocho y Cachapoal, para identificar la presencia de poblaciones de las 3 especies de interés en cuencas vecinas al río Maipo. Esto implica realizar una caracterización extensiva y de carácter cualitativo para detectar la presencia de las 3 especies y los tipos de hábitats utilizados, durante período de aguas altas y bajas. Este análisis permitirá establecer la relevancia ambiental de las poblaciones detectadas en el área de estudio (línea base PHAM), desde una perspectiva de la existencia de poblaciones únicas, aisladas y/o metapoblaciones. La eventual presencia de otras poblaciones de las especies de interés en la cuenca del río Maipo y cuencas vecinas, permitirá identificar un “offset” de ecosistemas para eventuales medidas de compensación.



3. Referencias

Baeza, D. y García De Jalón. 1997. Caracterización del Régimen de Caudales en 16 ríos de la Cuenca del Tajo atendiendo a criterios biológicos. Limnetica.

Bovee, K. D, Lamb, B.L., Bartholow, J.M., Stalnaker, C.B., Taylor, J. y Henriksen, J. 1997. Stream Habitat Analysis Using The Instream Flow Incremental Methodology. Information and Technology Report 1997-0003. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division. Fort Collins (CO-EEUU).

CEA. 2008. Estimación del caudal ecológico del Proyecto Hidroeléctrico Altomaipo. Preparado para AES Gener.

CEA. 2103a. Informe Técnico del caudal ecológico del Proyecto Hidroeléctrico Altomaipo. Preparado para AES Gener.

CEA. 2013b. Actualización de línea base Proyecto Hidroeléctrico Altomaipo. Preparado para AES Gener.

DGA. 1999. Política Nacional de Recursos Hídricos. www.dga.cl

DGA-CEA. 2008 Determinación de Caudales Ecológicos en Cuencas con Fauna Íctica Nativa y en Estado de Conservación Crítico.

Paredes, X. 2009. Caudales Ecológicos en Chile. Ministerio de Obras Publicas, Dirección General de Aguas.

Postel, S. 1994. Carrying Capacity: Earth's Bottom Line, Challenge (March-April).

Stalnaker, C.B. y J.L. Arnette. 1976. Methodologies for the determination of stream resource flow requirements: An assessment. Utah State University. Logan, (Utah). 199 pp.

Tennant, D.L. 1976. Instream Flow Regimes for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources. Fisheries, 1(4): 6-10.

White, R.G. 1976. A methodology for recommending stream resource maintenance flows for large rivers. Procs. on Instream Flow Needs Sympos. Orsborn & Allman , eds. 376-386.

Riestra, F y G. Benavides. 2004. Caudales ecológicos: perspectivas desde la Dirección General de Aguas. Consultado el 5 de mayo del 2008. Disponible en: http://www.aic.cl/pdf/Gonzalo_Benavides_DGA.pdf.