

## **ANEXO C**

**PLAN DE MANEJO INTEGRADO DE LAS POBLACIONES DE BAGRE CHICO (*Trichomycterus areolatus*) EN LA CUENCA ALTA DEL RIO MAIPO.**

---

## PLAN DE MANEJO INTEGRADO DE LAS POBLACIONES DE BAGRE CHICO (*Trichomycterus areolatus*) EN LA CUENCA ALTA DEL RIO MAIPO.

### 1 INTRODUCCION

La importancia y el rol ecológico de la fauna íctica nativa es un tema de preocupación reciente en el país. Tal es así que históricamente los principales ríos del país fueron hasta hace muy poco los receptores de todo tipo de residuos domésticos e industriales. Por otra parte en épocas pasadas se tomó la decisión de introducir especies exóticas con el fin de incrementar la oferta de especies para la pesca deportiva, sin tomar en cuenta el impacto de estas especies sobre la fauna nativa. Sin embargo, la calidad ambiental de nuestros principales ríos ha mejorado ostensiblemente como consecuencia de la entrada en vigencia de normas que regulan las descargas de aguas servidas domésticas e industriales. Por su parte el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental también ha contribuido a generar conocimiento sobre las especies de fauna íctica nativa. A lo anterior se suma la promulgación del Reglamento para clasificar especies (D.S. 75/2006), que ha permitido incorporar en los listados de especies para clasificar a 38 especies de peces nativos, entre ellas al Bagre Chico (Resolución Exenta N° 2054/2007).

En el presente documento se cita toda la bibliografía relacionada con la especie. Esta especie ha sido muy poco estudiada en el país y es por esa razón que el Titular ha comprometido estudios y medidas orientadas al manejo sustentable de la especie. Es decir, aportar conocimiento que permitan adoptar las decisiones más adecuadas, teniendo en consideración que el PHAM modificará los caudales de los ríos donde habita esta especie. El presente documento incluye la etapa de seguimiento de las poblaciones de *T. areolatus* durante la construcción y operación del proyecto y las medidas para hacerse cargo, en la medida que se produzca algún efecto negativo en la condición del hábitat y que constituyan una amenaza para la especie.

#### 1.1 Antecedentes de la Biología de *Trichomycterus areolatus*<sup>1</sup>

*Trichomycterus areolatus* es una especie endémica de Chile que se distribuye entre la III y X Región, la que, de acuerdo a Campos et al. (1998), presenta un estado de conservación correspondiente a “Vulnerable” entre la III y IX Región y “Fuera de Peligro” en la X Región.

*T. areolatus* es una especie de amplia distribución y muy abundante en ambientes de sustrato de gravilla y bolones. La especie *T. areolatus* es un bagre frecuente en ambientes ritrales de los ríos chilenos. En la Región del Bio Bío (zona centro-sur de Chile) ha sido reportado para los principales cursos fluviales, como son los ríos Bio Bío (Campos et al. 1993a, 1993b), Andalién (Ruiz 1994), Laja (Ruiz 1996) e Itata (Habit 1994b, 1998). Si bien está considerada como una especie vulnerable a nivel nacional (Campos et

---

<sup>1</sup> Arratia, G. 1981. Géneros de peces de aguas continentales de Chile. Publicación Ocasional N° 34. Museo Nacional de Historia Natural

al. 1998), en la mayoría de los ríos mencionados presenta altas abundancias en sectores de bolones y de aguas someras, los que constituyen su hábitat preferencial (Arratia 1983, Campos 1985, Campos et al. 1993a, 1993b, Habit 1994b, 1998, Ruiz 1994, 1996). Para ambientes lóticos naturales *T. areolatus* ha sido descrita como una especie bentófaga, que depreda exclusivamente insectos (Arellano et al. 1983, Campos et al. 1993a, Ruiz et al. 1993, Ruiz y Berra 1994) o que se comporta como un meso depredador carnívoro (sensu Welcomme 1979) en sistemas como el río Maipo (Duarte et al. 1971). Es decir, *T. areolatus* presenta cierta plasticidad trófica, ampliando su nicho trófico en determinados sistemas. En canales de riego, Habit et al. (1998) informaron la existencia de una importante oferta de fauna zoobentónica, lo que sugiere la presencia de condiciones favorables para el mantenimiento de poblaciones locales de este pez. En cuanto a su reproducción, si bien trabajos previos indican que ésta ocurre en los meses de primavera-verano (Manríquez et al. 1988, Campos et al. 1993b, Ruiz et al. 1993), se desconoce si las poblaciones locales que utilizan los canales de riego se reproducen en ellos y en los mismos períodos del año, constituyendo un hábitat adecuado para mantener poblaciones residentes de esta especie.

La reproducción de *T. areolatus* es estacional, presentando su actividad reproductiva a finales de la época de lluvias o comienzos de primavera, tanto en los cauces artificiales como en los naturales. La reproducción de las poblaciones estudiadas es sincrónica con aquellas descritas para los ríos Angostura, Copequén (Arellano et al. 1980) y Andalién (Ruiz 1994). La época de máximo reproductivo comprende entre los meses de septiembre - noviembre, encontrándose juveniles (< 49,9 mm) a partir del mes de octubre.

Los estudios realizados permiten concluir que la conducta oportunista en la estrategia alimentaria de *T. areolatus*, sus hábitos bentónicos y adaptación a ambientes de rápidos, les permite una efectiva colonización de los canales de riego, los que dada su alta heterogeneidad ambiental (velocidad de la corriente, tipo de sustrato, vegetación), resultante de una escasa mantención y su construcción sin revestimiento, permite la formación de hábitat propicios para la colonización de una abundante fauna de macroinvertebrados que sustentan estas poblaciones de peces nativos.

## 1.2 Impactos sobre la Fauna Íctica

La operación del PHAM considera la reducción del caudal de los ríos Yeso, Volcán, Colorado y Maipo, lo cual modificará las características del hábitat utilizado actualmente por la fauna íctica. No obstante, los efectos de dichos cambios sobre las poblaciones de peces y en particular, la de *T. areolatus*, deberían ser mitigados con el establecimiento del caudal ecológico.

Para asegurar la sustentabilidad de las poblaciones de *T. areolatus* en dichos ríos, se propone realizar las siguientes actividades durante la etapa de construcción y operación de la central hidroeléctrica:

- Plan de seguimiento de las poblaciones de *T. areolatus*.
- Plan de medidas de mitigación, reparación y/o compensación de las poblaciones de *T. areolatus*.

## 2 OBJETIVO DEL PLAN

### 2.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un programa de seguimiento que permita evaluar la población de *T. areolatus* durante la construcción y operación del PHAM, de manera de aplicar las medidas de protección necesarias que aseguren la sustentabilidad de su población, bajo un régimen de caudal ecológico en los ríos Yeso, Volcán, Colorado y Maipo.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) Catastrar las poblaciones de *T. areolatus* en la cuenca alta del río Maipo.
- b) Caracterizar el hábitat de *T. areolatus* en base a parámetros físico químicos (ej: O<sub>2</sub> disuelto, temperatura, turbidez).
- c) Implementar un plan de seguimiento de las poblaciones en el área de influencia del proyecto y áreas aledañas.
- d) Implementar un plan de medidas de protección ambiental, que contemple secuencialmente medidas de mitigación, reparación y/o compensación.

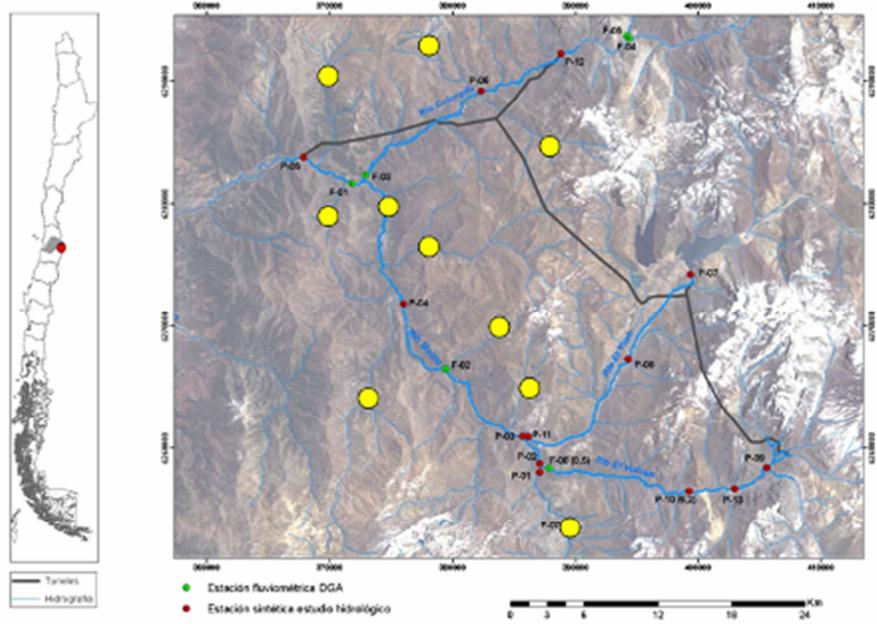
## 3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

### 3.1 Catastro de Poblaciones de *Trichomycterus areolatus*

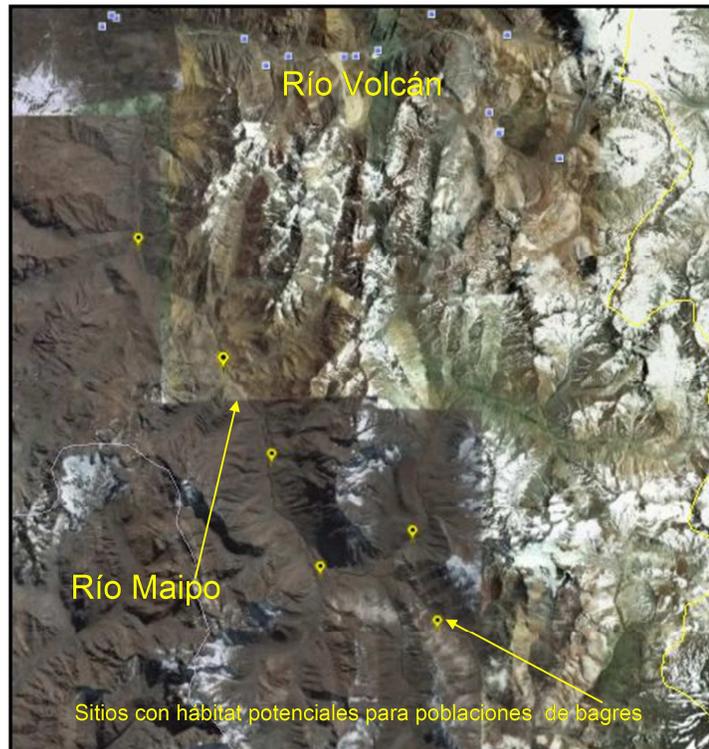
Se realizarán campañas de terreno para identificar la presencia de *T. areolatus* en diferentes ríos y afluentes de la cuenca alta del río Maipo, durante el periodo de estiaje y crecidas.

De manera preliminar se proponen los sitios de muestreo indicados en la Figura 1 y 2, la cual indica los lugares donde se han identificado poblaciones de *T. areolatus* y aquellos de carácter potencial.

El muestreo será de tipo cualitativo-extensivo destinado a identificar exclusivamente la presencia de la especie. El método de captura consistirá en el uso de pesca eléctrica, recorriendo la ribera de los ríos durante 20 minutos ó 100 m de distancia en línea recta. Los individuos capturados serán devueltos vivos en los mismos sitios de captura.



**Figura 1.** Sitios con hábitat potenciales para poblaciones de bagres en la cuenca alta del río Maipo



**Figura 2.** Sitios con hábitat potenciales para poblaciones de bagres en la cuenca alta del río Maipo

---

### 3.2 Caracterización Físico Química del Hábitat de *T. areolatus*

Los parámetros que se utilizarán para caracterizar el hábitat de *T. areolatus* corresponden a los más relevantes para poder definir la estructura y funcionamiento de los ríos y son los recomendados por la bibliografía especializada ("Limnology" R. Wetzel, 1980 y "Limnología" R. Margalef, 1984).

La biología de *T. areolatus* se encuentra en un nivel muy incipiente de conocimiento. Sin duda, la caracterización del ambiente físico de la especie nos permitirá disponer de elementos de juicio importantes al momento de evaluar la condición de hábitat de la especie. Por ejemplo, una disminución en los valores de un parámetro relevante para la fauna íctica, como oxígeno disuelto podrían estar indicando niveles de estrés que la especie no pueda soportar.

### 3.3 Plan de seguimiento de las poblaciones *T. areolatus* en los ríos Maipo y Colorado

El Plan de Seguimiento tiene el propósito de evaluar el comportamiento de los peces en las etapas de construcción y operación del proyecto. En este sentido el plan de seguimiento busca constatar y verificar la efectividad de las medidas propuestas en el Estudio de Impacto Ambiental; identificar tempranamente eventuales impactos o efectos no previstos de manera de diseñar e implementar medidas de mitigación, reparación y/o compensación adicionales al caudal ecológico para asegurar la sustentabilidad de las poblaciones.

El seguimiento de la condición ambiental de las poblaciones de peces se realizará a través del control de los siguientes parámetros:

- a) Composición y abundancia del fitobentos y zoobentos
- b) Composición y abundancia de la fauna íctica
- c) Calidad del hábitat para la flora y fauna acuática

A continuación en la Tabla 1 se presenta el Plan de Seguimiento de flora, fauna acuática y hábitat acuático para su evaluación en el área de influencia del Proyecto.

**Tabla 1.** Diseño del Plan de Seguimiento

Variable	Ítem	Fase Construcción	Fase Operación
<b>Flora Acuática</b>			
Fitobentos	Frecuencia de Monitoreo	Estacional	Estacional
	Número de Estaciones	10	10
	Número de Réplicas	2	2
	Metodologías Empleadas	Las muestras se obtienen de la zona de ribera en roca y sedimentos de los ríos. Colecta con muestreador propuesto por Davies & Gee (área 290 mm <sup>2</sup> ). Fijación con formalina al 4%. Análisis consiste en extracción de alicuotas de las muestras para obtener preparaciones microscópicas, las que son evaluadas respecto de la riqueza y abundancia de las microalgas presentes (Weyzel & Likens 1991).	
	Análisis de resultados	Temporal, espacial, estadístico	Temporal, espacial, estadístico
<b>Fauna Acuática</b>			
Zoobentos	Frecuencia de Monitoreo	Estacional	Estacional
	Número de Estaciones	8	8
	Número de Réplicas	2	2
	Metodologías empleadas	Las muestras se colectan con red Surber (área 0,09 m <sup>2</sup> , red 250 µm). Muestras fijadas con formalina 10% para su posterior análisis en laboratorio. Identificación basada en Bertrand (1995), Lopretto & Tell (1995) y Merrit & Cummin.s (1996).	
	Análisis de resultados	Temporal, espacial, estadístico	Temporal, espacial, estadístico

Variable	Ítem	Fase Construcción	Fase Operación
Peces	Frecuencia de Monitoreo	Estacional	Estacional
	Número de Estaciones	10	10
	Número de Réplicas*	1	1
	Metodologías Empleadas	<p>Pesca eléctrica con equipo generador portátil en un área determinada. Se utilizará un equipo de pesca eléctrica Marca COEFELT Modelo EX 350. Voltaje 240V 50 Hz, Potencia max. 350 VA.</p> <p>La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) consistirá en recorrer 100 m lineales de ribera ó 20 minutos de pesca Los peces capturados, serán identificados y medidos, para posteriormente ser liberados vivos en los mismos sitios de captura</p>	
	Análisis de resultados	Temporal, espacial, estadístico con el con el software SYSTAT 3.0.	Temporal, espacial, estadístico con el con el software SYSTAT 3.0.
<b>Hábitat acuático</b>	Frecuencia de Monitoreo	Estacional	Estacional
	Número de Estaciones	Cuenca alta del río Maipo, a partir de la confluencia con el río Colorado	Cuenca alta del río Maipo, a partir de la confluencia con el río Colorado
	Número de Réplicas*	1	1

Variable	Ítem	Fase Construcción	Fase Operación
	<p>Metodologías Empleadas</p>	<p>Se realizará un análisis de la distribución de rápidos y remansos mediante fotointerpretación de fotografías aéreas. El río se clasificara en diferentes tramos en función de la frecuencia observada de rápidos. Las categorías utilizadas se detallan a continuación: 1) Frecuencia Alta (FA): corresponden a tramos de ríos que presentan evidencias apreciables de turbulencia en forma continua. 2) Frecuencia Media (FM): corresponden a tramos de ríos que presentan aguas con turbulencia no tan marcada como en FA, las que se alternan con tramos de aguas tranquilas. Esta alternancia se presenta en tramos cortos lo que no permite clasificar la sección como FA o FB. 3) Frecuencia Baja (FB): corresponden a tramos de ríos que no presentan evidencias apreciables de turbulencia en sus aguas.</p> <p>La información utilizada se incorporara a un Sistema de Información Geográfica (Arc View), lo cual permitirá su visualización en forma de mapas temáticos y coberturas con distintos tipos de información.</p>	<p>Análisis de resultados espacial, estadístico espacial, estadístico</p>

El Plan de Seguimiento tendrá una vigencia de tres años. Al final de este periodo se evaluará el programa con el fin de determinar su continuidad. Se considera que la vigencia en el tiempo del plan dependerá de la calidad de la información que aporten los nuevos datos.

### 3.4 Plan de Mitigación, Reparación y/o Compensación

El plan de manejo integrado de *T. areolatus* considera medidas de mitigación, reparación y/o compensación destinadas a asegurar la sustentabilidad de las poblaciones de esta especie en el área de influencia del proyecto. Las medidas serán implementadas cuando se detecten cambios significativos en los niveles poblacionales de la especie, en el área de influencia del proyecto, tal como lo establece la Ley General de Pesca y Acuicultura. Es importante señalar que se desconocen las condiciones críticas de estrés que pudieran amenazar la sustentabilidad de la especie, por lo tanto existe un nivel de incertidumbre en la toma de decisiones que debe ser considerado. Es por ese motivo que se decidió utilizar el manejo adaptativo como herramienta metodológica, con el fin de ir ajustando las medidas en

función de los resultados que se obtengan de su aplicación. En este caso las medidas se aplicarían de manera secuencial. Los criterios a seguir serán los siguientes (Tabla 2):

**Tabla 2.** Secuencia de Medidas de Protección

Pasos	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

#### 3.4.1 Medidas de Mitigación

- Remoción de depredadores

Modificar la estructura trofodinámica de la comunidad biológica a la que pertenece *T. areolatus*, a través de la remoción de los depredadores del ecosistema, o por medio de la manipulación de la biomasa de las especies. En el caso del *T. areolatus*, podría eliminarse la veda y aumentarse la cuota de captura de las truchas (*O. mykiss* y *S. trutta*), ya que son sus principales depredadores. Esta medida puede ser implementada a través de Medidas Administrativas Especiales, procedimiento contemplado en Ley General de Pesca y Acuicultura.

- Translocación de individuos de *T. areolatus*

Otra medida de mitigación es la translocación de individuos de *T. areolatus*, desde poblaciones vecinas que no se encuentran en el área de influencia del proyecto. La translocación de individuos se realizará cuando se detecte en el seguimiento, que las medidas de mitigación implementadas (caudal ecológico y manejo trofodinámico) no permiten la mantención de los niveles poblacionales, registrados en la línea de base. Esta situación está contemplada en el Artículo 168 de la Ley General de Pesca y Acuicultura (1989).

Para realizar la translocación de individuos de *T. areolatus* a las zonas afectadas potencialmente por la operación del proyecto se requiere:

- Evaluar genéticamente la población sumidero (afectada) y la población fuente y,
- Determinar el número de individuos que serán trasladados a la población sumidero (población afectada por el proyecto).

A continuación se describe la metodología que será utilizada para desarrollar las actividades señaladas anteriormente:

- Evaluación genética de las poblaciones de *T. areolatus*

Esta actividad está orientada a estudiar los flujos entre las poblaciones. Se colectarán 20 individuos en cada lugar de muestreo, que corresponden a diferentes cursos de agua de la cuenca alta del río Maipo (Figura 1 y 2).

De cada individuo, se extraerá un trozo de tejido muscular y se almacenará en alcohol. La extracción del ADN se llevará a cabo utilizando un protocolo de extracción salina descrito por Aljanabi & Martinez (1997). El ADN extraído se almacenará a 4°C, para su posterior amplificación y secuenciación.

Para la obtención de las secuencias de la Región Control del ADN mitocondrial, se utilizarán partidores para el proceso de amplificación. Luego el fragmento de la región control del ADN mitocondrial de *T. areolatus* se amplificará por medio de reacciones PCR (Polimerase Chain Reaction). Posteriormente, los productos de PCR serán purificados con un kit QIAquick (Qiagen) y luego enviados a MacroGen Inc. ([www.macrogen.com](http://www.macrogen.com)) para obtener la secuencia de la región control del ADN mitocondrial. Finalmente, las secuencias serán ensambladas y luego alineadas utilizando el programa ProSeq v.2.9.

Con esta información, se calcularán distintos índices de diversidad genética (diversidad haplotípica, número de sitios polimórficos, número de haplotipos, número promedio de diferencias entre par de secuencias) con el programa DNA Sequence Polymorphism DNAsp v. 4.10.

- Translocación de individuos

Se realizará el repoblamiento con juveniles de una población fuente (“stocking”), seleccionada a partir de los análisis genéticos. El número de individuos y frecuencia del repoblamiento dependerá de los niveles poblacionales determinados a través del programa de seguimiento.

Los individuos para repoblar provendrán de otros ríos de la misma cuenca hidrográfica o de otro tramo del mismo río.

### 3.4.2 Medidas de Reparación

- Reconstrucción de Hábitat

Se contempla la instalación de deflectores (“Boulders”), equipados con refugios artificiales. Este método consiste en la instalación de barreras que no interrumpen el flujo natural de las aguas en el cauce de los ríos, con materiales artificiales y/o naturales, pero que permiten la recuperación de la dirección de la corriente y régimen sedimentológico. Estos deflectores corresponden a material vegetal y/o rocas, que es instalado en el cauce de los ríos, permitiendo restaurar el régimen de sedimentación, refugios y fuente de alimento para la biota acuática que originalmente utilizaba esos ambientes (Wesche, 1985;

---

Huusko y Yrjana, 1997). En nuestro país existen exitosas experiencias de restauración de hábitat de los bagres, realizadas por el Museo de Historia Natural de Valparaíso<sup>2</sup>

### 3.4.3 Medida de compensación

- Conservación de *T. areolatus* fuera del área de influencia

La medida de compensación propuesta para *Trichomycterus areolatus* corresponde a un área de conservación fuera del área de influencia del proyecto y dentro de la cuenca hidrográfica del río Maipo. Esta medida de compensación se implementará después de evaluar que las medidas de mitigación y reparación no fueron suficientes para mantener las poblaciones de bagre chico en el río Maipo.

Para determinar el área de conservación de *T. areolatus* se desarrollarán las siguientes actividades:

- Evaluación de hábitats en las zonas donde se encuentren poblaciones de *Trichomycterus areolatus*. Para dar cumplimiento a este objetivo se realizarán las siguientes actividades:
  - Análisis imágenes satelitales Landsat de la cuenca del río Maipo para determinar presencia de ríos con desarrollo lateral, mediante determinación índice NDVI.
  - Elaboración de un modelo de elevación digital (DEM), para analizar las pendientes mediante técnicas SIG.
  - Campaña terreno para verificar los ríos que cumplen con los requerimientos físicos de los peces (ej. altura escurrimiento, pendiente, granulometría, desarrollo lateral, vegetación ripariana).
  - Campaña a terreno para determinar de hábitat y alimento para los peces en los ríos seleccionados, mediante métodos de evaluación rápida.
  - Catastro de las potenciales amenazas de origen antrópico que puedan afectar el área de conservación.
- Análisis de la capacidad de carga de los hábitats donde se encuentren poblaciones de *Trichomycterus areolatus*. La capacidad de carga se determinará comparando la disponibilidad areal de hábitat favorables para la mantención de los bagres y la disponibilidad de alimento.

El área de compensación corresponderá a aquella que reúna los siguientes criterios:

- Presencia de poblaciones de *Trichomycterus areolatus*.
  - Hábitats con condiciones favorables para la mantención de los peces.
  - Capacidad de carga suficiente para mantener las poblaciones de peces.
  - Ausencia o baja presencia de fauna de peces introducidos.
  - Ausencia o baja presión de tipo antrópico.
-

#### 4 REFERENCIAS

Campos H., Dazarola G., Dyer B., Fuentes L., Gavilan J., Huaquín L., Martínez G., Meléndez R., Pequeño G., Ponce F., Ruíz V., Sielfeld W., Soto D., Vega R. y I. Vila. 1998. Categorías de conservación de peces nativos de aguas continentales de Chile. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural. Número Especial 47: 101-122.

Pardo R. 2002. Diferenciación morfológica de poblaciones de *Trichomycterus areolatus* valenciennes 1846 (pisces: siluriformes: trichomycteridae) de Chile. Gayana (Concepc.). 2002, vol.66, no.2, p.203-205. Disponible en la World Wide Web: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-65382002000200015&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382002000200015&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0717-6538.

Evelyn H, Victoriano P & H.Campos, Ecología trófica y aspectos reproductivos de *Trichomycterus areolatus* (Pisces, Trichomycteridae) en ambientes lotícos artificiales, Rev. Biol. Trop. Vol. 53 (1-2): 195-210, March-June 2005 ([www.tropiweb.com](http://www.tropiweb.com)) (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744).