

MANTENCIÓN DE PECES NATIVOS DULCEACUÍCOLAS DE CHILE EN CAUTIVERIO: UN APORTE A SU CONSERVACIÓN *EX SITU*

Catterina Sobenes V.^{1,2} Alex García L.^{1,*}, Evelyn Habit C.¹ & Oscar Link L.³

¹Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción, Barrio Universitario s/n, casilla 160-C, Concepción, Chile. *email: alexgarcia@udec.cl.

²Departamento de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Alonso de Rivera 2850, Concepción, Chile.

³Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Barrio Universitario s/n, casilla 160-C, Concepción, Chile.

Resumen

Se generó conocimiento básico para la adecuada mantención en cautiverio de los peces nativos *Percilia gillissi*, *P. irwini* (Perciformes), *Trichomycterus areolatus* (Siluriformes), *Cheirodon galusdae* (Characiformes) y *Galaxias platei* (Osmeriformes). Los peces se mantuvieron en acuarios entre 10 a 750 l, con sustratos de arena, grava y canto rodado, con plantas, aireación y filtro biológico. Las variables físico-químicas del agua fueron mantenidas mediante cambios semanales de agua entre un 10 y 30% del volumen del acuario. Se mantuvo densidades entre 0,100 y 0,900 g l⁻¹, según especie y talla. De los alimentos ensayados, *Percilia* spp. aceptó sólo alimento vivo. Las demás especies consumieron alimento vivo y comercial. El alimento vivo fue entregado a saciedad y el comercial en dosis de hasta un 2% del peso de los peces, por tres a cuatro veces por semana. La enfermedad del 'punto blanco' apareció durante las primeras dos semanas del ingreso de los peces y afectó a *Percilia* spp., *T. areolatus* y *G. platei*. Fue tratada exitosamente con sal de mar en una concentración máxima de 2 g l⁻¹. Las especies *P. irwini* y *P. gillissi* fueron las que presentaron mayor dificultad en su mantención por la aparición de la enfermedad del punto blanco y una aceptación lenta a los alimentos.

Palabras clave: Alimentación de peces, enfermedad del punto blanco, agua dulce.

Maintenance of Chilean native freshwater fish in captivity: a contribution for *ex situ* conservation

Abstract

Basic knowledge for the maintenance of the native fishes *Percilia gillissi*, *P. irwini* (Perciformes), *Trichomycterus areolatus* (Siluriformes), *Cheirodon galusdae* (Characiformes) and *Galaxias platei* (Osmeriformes) was generated by maintaining them in aquaria between 10 to 750 l with a substrate of sand, pebbles and cobbles, with plants, aeration and a biological filter. Physical and chemical variables of the water were kept through weekly changes of water, between 10 and 30% of the volume of the aquarium. Fish density was between 0.1 and 0.9 g l⁻¹ according to species and length. Of the different feeding items tested, *Percilia* spp. only accepted live food and the other species accepted live and commercial food. Live food was supplied to satiety and commercial food was supplied in a ratio of 2% of the fish's body weight, three to four times a week. White spot disease appeared during the first couple of

weeks after the fish arrival, and affected *Percilia* spp., *T. areolatus* and *G. platei*. It was successfully treated with sea salt in a maximum concentration of 2 g l⁻¹. The species *P. irwini* and *P. gillissi* were the most difficult to keep in captivity because of the white spot disease and slow food acceptance.

Key words: fish feeding, white spot disease, freshwater.

Introducción

La ictiofauna dulceacuícola es uno de los grupos faunísticos más amenazados entre los vertebrados de Chile (Vila *et al.*, 2006). De las 44 especies descritas, el 29% se clasifica Fuera de Peligro, Insuficientemente Conocida o Rara, y el 71% en alguna de las categorías de conservación de mayor amenaza (30% Vulnerable, y 41% en Peligro de Extinción). Entre las principales causas que explican este delicado estado de conservación se encuentran la pérdida y fragmentación de hábitat debido a distintas intervenciones directas o indirectas de los cauces fluviales (Habit *et al.*, 2006a; Campos *et al.*, 1993). Por ello, las actividades que implican tales intervenciones tienen como exigencia mitigar, restaurar o compensar sus impactos negativos (DS 95/2001, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental). Cualquiera de estas medidas debe ser implementada adecuadamente, de forma tal que aseguren una efectiva conservación de la fauna íctica continental. Sin embargo, muchas de estas medidas como las relocalizaciones, repoblamientos, propuestas de cultivo o restauración de hábitats tienen como limitante la falta de conocimiento de aspectos básicos de la biología de los peces dulceacuícolas chilenos. Más aún, las entidades interesadas en aplicar medidas alternativas de conservación *ex situ* (Sarmiento, 2001), las cuales permitirían mantener poblaciones de manera precautoria fuera de sus hábitats, carecen de información mínima de cómo mantener adecuadamente estos individuos en cautiverio. Recientemente, a nuevas centrales hidroeléctricas aprobadas ambientalmente en Chile se les ha exigido generar establecimientos de cultivo de peces nativos a pesar de esta falta de información básica (ver Resoluciones de Calificación Ambiental de Central Hidroeléctrica San Pedro y Proyecto Hidroeléctrico Aysén en www.e-seia.cl). Un primer paso, hacia la reproducción exitosa de peces nativos *ex situ* consiste en generar el conocimiento necesario para mantener individuos saludables en cautiverio.

En los años recientes el conocimiento de las especies ícticas nativas se ha incrementado principalmente en cuanto a: sus patrones de distribución y abundancia (Figuroa *et al.*, 2010; Habit *et al.*, 2010; Unmack *et al.*, 2009), efectos de efluentes de plantas de celulosa (Chiang *et al.*, 2010), interacción con salmónidos (Arismendi *et al.*, 2009, 2011; Young *et al.*, 2008, 2010; García de Leaniz *et al.*, 2010; Vargas *et al.*, 2010; Pardo *et al.*, 2009; Penaluna *et al.*, 2009), y estructura genética y filogeografía (Quezada-Romagnelli *et al.*, 2010; Zemlak *et al.* 2008, 2010; Ruzzante *et al.*, 2008). Por el contrario, el conocimiento de las especies nativas chilenas sobre su fisiología, etología, reproducción o capacidad de natación es limitado o nulo (e.g. Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT), 2009), probablemente asociado a la falta de experiencia en la mantención de estas especies en condiciones de laboratorio y la dificultad de estudiarlos en su ambiente natural.

A nivel internacional existen entidades que velan por el cuidado y uso de animales para investigación en laboratorio, entregando guías que describen los procedimientos desde la

captura de los peces hasta su mantención en el tiempo (e.g. Canadian Council on Animal Care, 2005). Por el contrario, en Chile, la Ley de protección animal (e.g. Ministerio de Salud (MINSAL), 2009) establece sólo de manera general los requisitos sobre el tipo de personal y las necesidades de contar con instalaciones adecuadas para realizar experimentos, según cada especie y acorde a los antecedentes que aporta la ciencia. Sin embargo, en el caso de los peces nativos de agua dulce, tales antecedentes no existen. La mantención de especies nativas en acuarios conlleva varias dificultades debido al estrés propio del confinamiento, el desconocimiento sobre condiciones de transporte y mantención, dietas, calidad del agua, densidades de individuos, y tratamiento de enfermedades. Para lograr la mantención de peces nativos, es necesario entonces, conocer las condiciones base que permitan su cautiverio en buenas condiciones, con individuos aclimatados, disminuyendo el estrés asociado al transporte y al cambio en las condiciones del entorno. Esto es posible utilizando ecosistemas naturales simplificados, que permitan la observación directa y el control de las condiciones ambientales (Kangas & Adey, 2008), denominados microcosmos (Odum & Barret, 2006).

Por ello, con el fin de aportar al conocimiento básico necesario para implementar medidas de conservación *ex situ* y facilitar estudios de laboratorio de esta fauna, estudiamos medidas de manejo en cautiverio de cinco especies de peces nativos de agua dulce. *Percilia gillisi* (Girard, 1855), clasificada en Peligro de Extinción entre la V y VI regiones y Vulnerable entre la VII y X regiones (e.g. Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES), 2008), que habita preferentemente en ríos en zonas de alto caudal de baja profundidad, sobre sustratos de bolones o mixtos (García *et al.*, 2012a); *Percilia irwini* (Eigenmann, 1927), que se encuentra en Peligro de Extinción (Habit & Belk, 2007) en la VIII Región, amenazada por la construcción y operación de centrales hidroeléctricas (García *et al.*, 2011; Habit *et al.*, 2006b), y que habita en zona someras de baja velocidad sobre sustratos de bolones o mixtos (Habit & Belk, 2007); *Trichomycterus areolatus* (Valenciennes, 1840) clasificada como Vulnerable en todo su rango distribucional (MINSEGPRES, 2008), que se encuentra en hábitats de zonas de alto caudal en diversos tipos de sustratos de bolones y mixtos (Arratia *et al.*, 1983; García *et al.*, 2012a); *Cheirodon galusdae* (Eigenmann, 1928) clasificada como especie Vulnerable (Habit *et al.*, 2006a, 2006b), que se encuentra en ríos en las zonas de transición y potamón (Habit *et al.*, 2007) y *Galaxias platei* (Steindachner, 1898), que habita preferentemente zonas de bajo caudal con sustrato mixto (García *et al.*, 2012a), clasificada como Fuera de Peligro (MINSEGPRES, 2008). Esta última especie presenta una amplia distribución, desde la cuenca del río Valdivia hasta Tierra del Fuego y una alta plasticidad en el uso de hábitat, lo que la convierte en una especie 'paraguas' para la conservación (Roberge & Angelstam, 2004; Lambeck, 1997). Por lo tanto, la protección de *G. platei*, implicaría a su vez la protección de la mayor parte de la biota acuática que ocupa los mismos sistemas acuáticos, los que son mayoritariamente Patagónicos.

Para cada una de estas especies, se describen las técnicas de traslado, métodos de preparación y mantención de acuarios, alimentación y tratamiento de la enfermedad más común en acuarios de agua dulce ('punto blanco').

Materiales y Métodos

Durante este estudio se capturó un total de 141 ejemplares (Pesca de Investigación Res. Ex. N° 55/2010) provenientes de los ríos Andalién, Biobío y Pingueral en la Región del Biobío *P. irwini*, *C. galusdae* y *T. areolatus*, y del río San Pedro en la Región de los Ríos *P. gillissi* y *G. platei* (Tabla 1). Los peces fueron capturados mediante pesca eléctrica (Smith-Root LR-24) y luego depositados en recipientes con agua del mismo sistema fluvial, para ser transportados y mantenidos en el Laboratorio de Ingeniería Hidráulica Ambiental de la Universidad de Concepción (R.N.A N° 21750/2011). Independientemente de la especie, se probó el transporte de hasta seis individuos en estanques de 5 l sin aireación para viajes de menos de 1 hora y con aireación para viajes más largos. El transporte de más de 10 individuos se realizó en estanques de 100 l sin aireación. Todos los ejemplares fueron medidos y pesados antes de ser introducidos en los acuarios.

Tabla 1. Especies de peces nativos y número total de ejemplares mantenidos en el laboratorio (\bar{x} : promedio; DE: desviación estándar. - no se registró talla).

Table 1. Native fish species and total number of individuals kept in the laboratory (\bar{x} : average; DE: standard deviation. – length not registered).

Orden	Familia	Especie	Nombre común	Número de peces	Longitud total	Río de origen
					(cm) $\bar{x} \pm DE$	
Perciformes	Perciliidae	<i>Percilia gillissi</i>	Carmelita	35	5,60±1,20	Pingueral; San Pedro
Perciformes	Perciliidae	<i>Percilia irwini</i>	Carmelita de Concepción	28	4,90±0,70	Andalién; Biobío
Siluriformes	Trichomycteridae	<i>Trichomycterus areolatus</i>	Bagrecito	20	6,50±0,50	Andalién; Biobío; Pingueral
Characiformes	Characidae	<i>Cheirodon galusdae</i>	Pocha	13	-	Andalién
Osmeriformes	Galaxiidae	<i>Galaxias platei</i>	Puye grande	45	10,90±2,80	San Pedro

Se prepararon microcosmos, comúnmente denominados acuarios, construidos de materiales inertes al agua, evitando piezas de cobre, cadmio, níquel o bronce (DeTolla *et al.*, 1995). Se habilitaron 12 acuarios de distintos materiales y tamaños: 3 acuarios de vidrio de 10 l, 3 de 40 l, 1 de 120 l y 1 de 750 l, 1 de acrílico de 10 l, y 3 acuarios de plástico negro de 70 l. En cada acuario se agregó sustrato de grava o canto rodado (ver Tabla 2), según las características de tipos de hábitats en los que se encuentran de manera natural (Arratia *et al.*, 1983; García *et al.*, 2012a, b). Se ubicaron en una habitación sin calefacción y fuera de la incidencia directa del sol.

Tabla 2. Características de los acuarios utilizados para la mantención de peces nativos (*: acuario con agua de río).

Table 2. Aquarium characteristics used to maintain native fishes (*: aquarium with river water).

Nº	Volumen (l)	Material	Tiempo maduración	Grava (<2 cm)	Canto Rodado (10-20 cm)	Especies de Plantas	Especies de Peces Nativos
3	10	vidrio	2 semanas	sí	sí	<i>R. rotundifolia</i> y <i>H. leucocephala</i>	<i>P. gillissi</i> y <i>P. irwini</i>
1	10	acrílico	2 semanas	sí	sí	<i>C. demersum</i>	<i>P. gillissi</i>
1	40	Vidrio	2 semanas	no	sí	no	<i>P. irwini</i>
				sí	sí	<i>E. densa</i>	<i>P. irwini</i>
1	40	Vidrio	2 semanas	sí	sí	<i>L. minor</i> y <i>C. demersum</i>	<i>P. gillissi</i> y <i>P. irwin.</i>
1	40	Vidrio	2 semanas	sí	sí	<i>E. densa</i>	<i>G. platei</i>
1	120	Vidrio	*	no	sí	no	<i>T. areolatus</i> y <i>C. galusdae</i>
				sí	sí	<i>L. minor</i>	<i>T. areolatus</i>
3	70	Plástico	24 hrs	sí	sí	<i>E. densa</i>	<i>G. platei</i>
1	750	Vidrio	24 hrs	sí	sí	<i>E. densa</i>	<i>G. platei</i>

Para que los peces no fueran afectados por los compuestos tóxicos provenientes de su metabolismo, como amonio, urea, aminas y amino ácidos (Porter *et al.*, 1987), es necesaria la colonización del acuario por bacterias nitrosomas (Grommen *et al.*, 2002) que conviertan las formas tóxicas de nitrógeno en nitrito y nitrato (Crab *et al.*, 2007). Por ello, cada acuario fue equipado con un filtro mecánico-biológico (filtro esponja o filtro interno con esponja) o mecánico-biológico-químico (filtro interno o de mochila, con esponja y carbón activado) con una capacidad de bombeo de al menos cuatro veces el volumen del acuario por hora. Para lograr un acuario “maduro”, es decir, que sea capaz de remover los compuestos amoniacaes, los acuarios fueron llenados con agua de grifo previamente desclorada de dos maneras: con una solución de tiosulfato de sodio en una proporción de 1 gota por cada litro de agua, o con agua de grifo previamente agitada mediante aireación con piedra difusora durante 48 horas. Posteriormente, se dejaron en funcionamiento los filtros de cada acuario con un sistema de aireación con piedra difusora, durante 2 semanas antes de ser incorporados los peces. Sin embargo, en los acuarios de plástico de 70 l y el de vidrio de 750 l el tiempo de maduración fue menor al agregar un medio de filtrado biológico con bacterias nitrificantes (marca SERA bio nitrivec), en una proporción de 10 ml por cada 25 l de agua del acuario. Sólo un acuario de vidrio de 120 l fue habilitado en una primera oportunidad con agua del mismo río desde donde se capturaron los peces (ver Tabla 2), para observar su evolución.

Para que los acuarios entregaran una condición ambiental similar a la natural y se favoreciera la eliminación de nutrientes del agua, se incluyeron plantas acuáticas de tipo comerciales de las especies *Egeria densa* (Planchon, 1849), *Ceratophyllum demersum* (Linnaeus, 1753), *Lemma minor* (Griff, 1851), *Rotala rotundifolia* (Linnaeus, 1771) e *Hydroctyle leucocephala* (Chamisseau & Schlechtendal, 1826) (ver Tabla 2). Para ello se implementó un sistema de iluminación con luces

fluorescentes (18 W), de manera de mantener un fotoperíodo similar al natural de 12hl:12ho (horas luz: horas oscuridad) en verano, hasta 8hl:16ho en invierno.

La introducción de los peces a los acuarios se realizó de la siguiente forma. Primero, los peces fueron incorporados en una bolsa de plástico, transparente, cerrada, con 1 l del agua extraída del lugar de procedencia del pez y se dejaron dentro del acuario por un período entre 15 a 30 minutos considerando que Tomasso (1993, en DeTolla *et al.*, 1995) reporta que una variación de 1°C hr⁻¹ es adecuado para evitar estrés térmico. Luego se abrió la bolsa con los peces y se incorporó 1 l de agua del acuario para equilibrar parámetros de calidad del agua, y se mantuvo en el acuario durante 15 a 30 minutos. Se retiró la bolsa del acuario, se extrajeron los peces de la bolsa con una malla y se depositaron dentro del acuario, evitando que el agua de aclimatación entrara al acuario. Un proceso similar se realizó cada vez que un pez fue cambiado de acuario. Para *G. platei* se probó aclimatar a los peces en un balde con 15 l de agua de transporte y 5 l de agua del acuario destino, durante 15 minutos para luego ingresarlos al acuario final. Durante este proceso se observó la conducta de los peces, en cuanto a la frecuencia en el uso de los hábitat ofrecidos (canto rodado, plantas), así como el nivel de actividad observado (nadando o en reposo), durante 5 minutos por cada acuario.

La alimentación que se ensayó en todas las especies varió desde alimento natural como macroinvertebrados bentónicos de río hasta alimento vivo cultivado y comercial, en momentos y cantidades distintas, según aceptación de cada especie y talla de los individuos. El comienzo de alimentación de los peces fue realizado 24 hrs posterior al arribo al laboratorio, con macroinvertebrados bentónicos (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) proporcionados hasta que se observara que no se alimentaban más, durante las primeras dos semanas. Considerando que el uso de alimento comercial en peces de acuario facilita el control de una dieta balanceada y reduce los tiempos de cuidado asociados a alimentación, posterior a las dos primeras semanas se probó con distintos tipos de alimento como *Tubifex* sp. liofilizado, *Artemia* sp. liofilizada, krill (*Euphausia* sp.) liofilizado, hojuelas para peces de agua tropical y hojuelas para peces de agua fría, tabletas de espirulina, alimento granulado para peces carnívoros, y micropellet de calibre 5 utilizado para la alimentación de alevines en la industria de salmonicultura. Se entregó una cantidad estimada menor a un 2% del peso del pez, de manera de identificar si los peces se alimentaban del alimento ofrecido y de no ser consumido evitar ensuciar el agua. Este alimento se proporcionó durante la mañana, en ayuna, dejando un tiempo de observación de seis horas. Si el alimento no era consumido, se ofrecía alimento vivo, de lo contrario se entregaba una cantidad equivalente estimada al 2% del peso total de los peces que estaban en el acuario. A la cuarta semana se probó alimento vivo cultivado como gusanos grindal (*Enchytraeus buchholzi* Henle, 1837), tenebrios (*Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758) y lombriz californiana (*Eisenia foetida* Savigny, 1826). En cada prueba se registró mediante observación directa si era consumido por todos los individuos, por la mayoría de los individuos, por pocos individuos o no era consumido por los peces.

Para controlar la calidad del agua, las principales variables físico-químicas monitoreadas semanalmente previo a realizar cambios de agua, fueron la temperatura del agua (°C), concentración de oxígeno disuelto (OD mg l⁻¹), pH, conductividad (μS cm⁻¹), potencial de óxido reducción (ORP mV), dureza total (CaCO₃ mg l⁻¹), compuestos nitrogenados (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻

mg l⁻¹) y fosfatos (PO₄³⁻). Se consideró que debía mantenerse la concentración de oxígeno > 6 mg l⁻¹ y pH > 7, de manera de evitar daños fisiológicos en los peces (DeTolla *et al.*, 1995).

En cuanto a la presencia de alguna enfermedad durante el estudio, se identificaron los síntomas de la enfermedad del punto blanco, también llamada Ich, causada por el protozoo parásito *Ichthyophthirius multifiliis* (Fouquet, 1876) (Ruiz *et al.*, 1989). Esta enfermedad es común en acuarios ornamentales y sistemas de cultivo de peces comerciales (Durborow *et al.*, 1998), siendo una de las enfermedades parasitarias más serias en peces de agua dulce (Svobodova & Kolarova, 2004) que puede causar la muerte de muchos peces si no es tratada a tiempo. Los peces infectados con Ich se observaron después de tres a cuatro días de la incorporación de los peces al acuario. Los peces presentaron puntos blancos en su piel, observándose que antes de que se vean los puntos blancos, los peces infectados se frotan contra las piedras del acuario. Luego, aparecen los puntos blancos, la piel aumenta su mucosidad, algunos peces dejan de comer. Más adelante se observan muchos puntos blancos, la mucosidad aumenta y se desprende del cuerpo, los peces dejan de comer y se acercan a los aireadores o a los filtros de agua. Finalmente, los peces mueren. Para combatir esta enfermedad se probó tratar con sal común (cloruro de sodio, NaCl) y azul de metileno.

Durante dos años (2009 – 2010) se probaron técnicas de mantención, alimentación y tratamiento de enfermedades. En este trabajo se describen los mejores métodos de mantención para cada especie, basadas en los dos años de pruebas, antecedentes bibliográficos y comunicaciones personales con acuaristas.

Resultados

Captura y transporte de peces: Todos los peces nativos capturados en los distintos ríos mediante pesca eléctrica, sobrevivieron sin daño observable. El tiempo de transporte de menos de 1 hora, en las especies *P. irwini*, *P. gillissi*, *C. galusdae* y *T. areolatus* puede ser realizado en estanques sin aireación, considerando una relación de hasta 10 individuos por 5 l de agua en media hora. De necesitar más tiempo, se puede incorporar aireación o bien aumentar el volumen de agua. Este procedimiento resulta adecuado luego de contrastar con mediciones preliminares de consumo de oxígeno de peces nativos que están en el orden de 100-400 mg O₂ hr⁻¹ kg⁻¹ (García *et al.*, 2012b). Así por ejemplo, un estanque de 5 l con agua a saturación (9 mg O₂ l⁻¹ a 19°C) tendrá 20 mg O₂ disponibles (hasta bajar a 5 mg O₂ l⁻¹), que pueden satisfacer a uno o varios individuos con un peso total de 100 g por 30 minutos como mínimo. Los ejemplares de la especie *G. platei*, deben ser transportados en recipientes separados para las tallas menores a 5 cm, entre 5,5 – 8 cm y mayores a 8 cm, para así evitar canibalismo propio de esta especie.

Construcción y preparación de acuarios: El mejor procedimiento de habilitación de acuarios para *P. gillissi*, *P. irwini*, *T. areolatus*, y *C. galusdae* fue primero, incorporar grava al acuario, cubriendo todo el fondo con un espesor uniforme. En tanto, para *G. platei* fue mejor cubrir el 75% del fondo con un espesor variable entre 1 a 5 cm, generando una pendiente suave. Luego, ubicar las piedras (canto rodado) y plantas acuáticas sumergidas sobre la grava para crear zonas de refugio, ofreciendo al menos una zona de refugio por ejemplar para las especies *P. gillissi* y *P.*

irwini. Una vez montado el sustrato, llenar el acuario con agua previamente desclorada, ubicando un filtro mecánico –biológico. El medio de filtrado, puede ser agregado para acelerar el proceso de maduración del agua en acuarios nuevos entre 24 a 48 horas antes de introducir los peces.

Aclimatación de los peces a los acuarios: El ingreso de los peces desde los tanques de transporte al acuario de destino, debe ser de manera gradual que incluya una mezcla de agua según se describe en materiales y metodos. Para *G. platei* es necesario separar tallas para evitar canibalismo. Este procedimiento también es importante para el traslado de un pez de un acuario a otro.

Luego de introducir a los peces a los acuarios de destino, el comportamiento de las especies fue diferente en los distintos acuarios. En el acuario de 120 l de vidrio que fue habilitado inicialmente sólo con agua de río y canto rodado, se observó que los ejemplares de *T. areolatus* permanecieron gran parte del día agrupados bajo un canto rodado. El mismo acuario tuvo alta turbidez durante tres a cuatro semanas y una carga de sólidos que saturaba el filtro biológico diariamente. En general, los peces no mostraron mal desempeño en este acuario, sin embargo, la alternativa no fue repetida. En el acuario de 40 l con sólo *P. irwini*, que inicialmente no contenía grava pero sí canto rodado, los individuos permanecieron separados y repelían cualquier pez que se acercara a sus refugios. Al cubrir la base de ambos acuarios con grava y canto rodado se observó una disminución de la agresividad entre los peces (perseguirse y morderse) y mayor movilidad. En *G. platei* se observó que en el primer día los individuos presentaron baja actividad en la zona de grava y canto rodado, la que fue aumentando en el tiempo.

Tabla 3. Densidad de peces nativos según especie para mantener en acuarios (* sólo un registro; - no registrado).

Table 3. Native fish density by species for maintenance in aquarium (*one record; - no data).

Especie	Volumen acuario (l)	Densidades	
		Individuos l ⁻¹	g l ⁻¹
<i>P. gillissi</i>	10 – 50	0,080 – 0,360	0,100*
<i>P. irwini</i>	14 – 100	0,020 – 0,160	0,200 – 0,330
<i>T. areolatus</i>	40 – 120	0,070 – 0,130	0,530 – 0,900
<i>C. galusdae</i>	12 – 120	0,130 – 0,420	-
<i>G. platei</i>	70 – 750	0,040 – 0,350	0,190 – 0,410

La mayoría de los peces recién ingresados en los acuarios se mantienen inmóviles en el fondo por varias horas antes de comenzar a reconocer su entorno y buscar un refugio. Transcurridos dos a tres meses en cautiverio, la mayoría de los peces de todas las especies no se alteran en los

horarios de alimentación, procesos de cambio de agua, limpieza de filtros, o ante la presencia de personas alrededor de los acuarios.

Los peces fueron mantenidos en acuarios separados por especie (excepto el acuario de 120 l con *T. areolatus* y *C. galusdae*), en acuarios de distintos tamaños según se indica en la Tabla 3. Durante todo el período de estudio, se presentó mortalidad en ejemplares de las especies *P. gillissi* y *P. irwini*, *C. galusdae* y en ejemplares de la especie *G. platei* de tallas menores a 5 cm.

Alimentación: En la Tabla 4 se indica el tipo de alimento proporcionado a cada especie y grado de aceptación observada. La alimentación de los peces en cautiverio se puede controlar con el tiempo, según la especie. En todos los casos, durante las primeras dos semanas los peces deben ser alimentados con macroinvertebrados bentónicos (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) a saciedad, tres a cuatro veces por semana. Esto favorece su aclimatación. Los individuos de *P. gillissi* y *P. irwini* fueron las de más difícil alimentación. La mejor opción es alimentarlos con alimento vivo cultivado, como gusanos grindal (*E. buchholzi*) o con trozos de lombriz californiana (*E. foetida*). Los ejemplares de *G. platei* aceptaron además alimento comercial del tipo *Tubifex* sp. o pellet, *T. areolatus* se puede alimentar con *Tubifex* sp. y *C. galusdae* con *Tubifex* sp. y hojuelas, en una cantidad de un 2% del peso total de los ejemplares a alimentar tres a cuatro veces por semana. El alimento comercial debe ser proporcionado de manera gradual, la que inicialmente debe ser mezclada con *E. foetida* en una proporción de un 50% de alimento vivo y 50% alimento comercial. La dieta puede ser variada en el tiempo, mezclando alimento natural o cultivado con alimento comercial, que dependerá de los objetivos de mantención.

Tabla 4. Tipo de alimento para peces y consumo por especie de pez. ++: alimento consumido por todos los individuos, +: consumido por la mayoría de los individuos, ±: consumido por pocos individuos, -: no consumido, ?: no ofrecido a la especie.

Table 4. Type of fish feed and consumption by fish species. ++: food consumed by all fishes, +: food consumed by most of fishes, ±: food consumed by few fishes, -: not consumed, ?: not offered to the species.

Especie	Natural	Cultivado			Comercial						
	Zoobentos	<i>Enchytraeus buchholzi</i>	<i>Tenebrio molitor</i>	<i>Eisenia foetida</i>	<i>Tubifex</i> sp.	<i>Artemia</i> sp.	<i>Euphausia</i> sp.	Hojuela	Granulado	Espirulina	Micropellet
<i>P. gillissi</i>	++	++	+	+	±	±	?	-	-	-	-
<i>P. irwini</i>	++	++	+	+	±	±	?	-	-	-	-
<i>T. areolatus</i>	++	+	+	±	++	±	±	±	-	±	±
<i>C. galusdae</i>	++	?	?	?	++	?	±	+	-	?	?
<i>G. platei</i>	++	-	-	++	+	-	±	-	-	?	++

Características del agua y mantención de los acuarios: La Tabla 5 muestra el valor de las variables de físico-químicas que resultó adecuada para la mantención de los peces estudiados,

durante el período de estudio. Para conservar las variables físico-químicas en tales rangos se debe mantener aireación constante mediante piedras difusoras, limpiar las paredes de los acuarios con una esponja y retirar fecas y restos de comida no consumida por los peces al menos una vez por semana para evitar su descomposición en el acuario. Además, cada vez que se realiza un recambio de agua, las esponjas contenidas en los filtros mecánico-biológicos de cada acuario deben ser retiradas y limpiadas en un recipiente con agua del mismo acuario. Los filtros que contienen carbón activado deben ser renovados cada dos meses.

Se debe utilizar un recambio de agua semanal entre un 25 y 30% del volumen del acuario Este recambio resulta adecuado para mantener las variables físico-químicas estables. Para *G. platei* un recambio de un 10% es adecuado para ejemplares de tallas mayores a 5 cm.

Tabla 5. Variables físico-químicas registradas en los acuarios y rango recomendado para cada una (*en acuarios sin aplicación de sal para el tratamiento de la enfermedad del punto blanco).

Table 5. Physical and chemical variables recorded in the aquaria and suggested ranges for each one (* in aquaria without salt application for White Spot disease treatment).

Variable	Rango
OD (mg l ⁻¹)	> 8,0
pH	7,300 – 8,500
Temperatura (°C)	7 - 22
Conductividad (µS cm ⁻¹)	100-250*
Sólidos disueltos totales (mg l ⁻¹)	90 - 190*
Salinidad (psu)	0,090 – 0,120*
ORP (mV)	50 - 200
Nitrito (NO ₂ ⁻) (mg l ⁻¹)	< 0,070
Nitrato (NO ₃ ⁻) (mg l ⁻¹)	< 70
Amonio (NH ₄ ⁺) (mg l ⁻¹)	< 0,100
Fosfato (PO ₄ ³⁻) (mg l ⁻¹)	< 2,000
Dureza (CaCO ₃)(mg l ⁻¹)	20 - 120

Enfermedad del punto blanco: Todas las especies de peces que se mantuvieron en los acuarios fueron infectadas por Ich. Los primeros síntomas de la enfermedad se observaron después de tres a cuatro días de la incorporación de los peces en los acuarios. Los tratamientos aplicados (por separado) fueron limpieza abundante del fondo del acuario con recambio de agua, azul de metileno ($0,1 - 0,3 \text{ mg l}^{-1}$), y sal de mar (2 g l^{-1}). Sólo el tratamiento con sal de mar erradicó el parásito del acuario sin causar la muerte de los peces.

El tratamiento con sal de mar se debe aplicar al acuario cuando un pez es observado con síntomas de la enfermedad. La sal de mar debe ser agregada en forma gradual, subiendo la concentración a $0,5 - 1,3$ y 2 g l^{-1} durante tres días. La concentración se debe mantener en 2 g l^{-1} por cuatro días cuando la enfermedad es detectada en su primera etapa y hasta por dos semanas cuando es detectada en un estado avanzado (tres semanas desde la incorporación de los peces al acuario). El aumento de salinidad provoca la mortalidad de bacterias nitrificantes, por lo que se recomienda desconectar el filtro mecánico – biológico durante todo el período de tratamiento. Se debe continuar con el tratamiento hasta que no se observen puntos en ningún pez del acuario en tratamiento. Finalmente, la sal debe ser eliminada del acuario de manera progresiva, a través de los cambios de agua regulares. Este procedimiento resultó exitoso para el tratamiento de todos los ejemplares de los peces nativos tratados.

Discusión

La conservación de la ictiofauna nativa de Chile requiere del avance en conocimiento aplicado sobre técnicas de mantención en cautiverio, las que permitirán su conservación *ex situ*. Con ello, es posible además generar conocimiento sobre la autoecología, fisiología o técnicas de fertilización, que facilitarán la rehabilitación de poblaciones Vulnerables o en Peligro de Extinción (Ireland *et al.*, 2002). Diversas investigaciones han enfatizado previamente la necesidad de mantener ejemplares de peces nativos en acuarios por tiempos prolongados para realizar estudios experimentales sobre comportamiento, interacciones intra e interespecíficas o depredación (Stuart-Smith *et al.*, 2008; Glova, 2003; Pettersson *et al.*, 2001). Este tipo de investigación permite la generación de medidas de manejo adecuadas para la conservación como translocación y repoblamiento, así como lo plantean Ward (2008) y en Nueva Zelanda en el Plan de Recuperación de Especies amenazadas (Department of Conservation, 2005).

En Chile, la legislación relacionada con el manejo de fauna en cautiverio, señala específicamente que las instalaciones deben ser adecuadas para los animales que se utilicen para experimentación, basado en el conocimiento científico. Ello, avala también la necesidad de generar conocimiento científico como el que se desarrolló en este trabajo, indicando los pasos y cuidados necesarios para mantener en cautiverio a seis especies de peces nativos de aguas continentales. Las técnicas de mantención descritas son simples y específicas a las especies estudiadas, aunque similares a las descritas en guías internacionales para el cuidado de peces para experimentación (Canadian Council on Animal Care, 2005).

Del estudio, se identifica como período crítico el de aclimatación de los peces, ya que es cuando se observan peces con punto blanco o no ingesta de alimento. Sin embargo, en este estudio se

han establecido los requerimientos básicos para el traslado y aclimatación inicial de los peces que permiten una sobrevivencia exitosa de los ejemplares colectados. En este sentido, para disminuir los riesgos de mortalidad y enfermedad en todas las especies, es necesario que al incorporar los peces en acuarios éstos se encuentren debidamente habilitados y madurados. De igual forma, se debe realizar una transición gradual de la dieta, desde alimento natural (macroinvertebrados bentónicos) a alimento cultivado o comercial, considerando la talla en cada especie.

En cuanto a la presencia de la enfermedad producida por *I. multifiliis* existe alta probabilidad que los peces hayan venido infectados desde el medio natural, así como lo describen Ruiz *et al.*(1989). Las mortalidades obtenidas en ejemplares de *Percillia* spp. con punto blanco tratadas con azul de metileno y las mortalidades de *G. platei* de tallas menores a 5 cm sugieren que son especies particularmente sensibles. Al respecto, se sugiere que ejemplares de *Percilia* spp. deben ser tratadas únicamente con sal de mar y *G. platei* (< 5cm) deben ser mantenidos en acuarios con recambios de agua mayores a un 10%, y proporcionando únicamente alimento vivo.

Si la alimentación y mantención de los acuarios es permanente, y se aplica tratamiento en caso de presencia de la enfermedad de punto blanco, los peces nativos pueden mantenerse en el tiempo, permitiendo la realización de experimentos controlados. Estos resultados, permitirán el desarrollo de nuevas investigaciones en éstas y otras especies de características similares, que permitan la generación de conocimiento para la conservación *ex situ* en nuestro país y a nivel internacional.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigación, Ciencia y Tecnología CONICYT por el financiamiento otorgado a través de las becas de doctorado nacional CONICYT D-21070133 y D-21080436, y de los proyectos CONICYT AT-24091002 y AT 24110081, FONDECYT 1110441. También, agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad de Concepción, por el financiamiento otorgado a través del proyecto DIUC-Patagonia 210.310.057-ISP, y a la Dirección de Postgrado de la Universidad Católica de la Santísima Concepción. Además, queremos agradecer a la Dra. Gloria Arratia y Dr. Brian Dyer por sus aportes y sugerencias en este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Arismendi, I., D. Soto, B. Penaluna, C. Jara, C. Leal, & J. León, 2009. Aquaculture, non-native salmonid invasions, and associated declines of native fishes in lakes of the northern Chilean Patagonia. *Freshwater Biology*, 54: 1135-1147.
- Arismendi, I., B. Penaluna & D. Soto, 2011. Body condition indices as a rapid assessment of the abundance of introduced salmonids in oligotrophic lakes of southern Chile. *Lake Reservoir Management*, 27(1): 61 – 69.
- Arratia, G., 1983. Preferencias de hábitat de peces siluriformes de aguas continentales de Chile (Fam. Diplomystidae y Trichomyctidae). *Studies of Neotropical Fauna and Environment*, 18(4):217-237.

- Campos, H., J. Gavilán, F. Alay & V. Ruiz, 1993. Comunidad íctica de la hoya hidrográfica del Río Biobío pp. 249–278. En: Faranda F. y Parra O. (eds). *Gestión de Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Biobío y del Área Marina Costera Adyacente*: Monografías científicas 12. Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción.
- Canadian Council on Animal Care, 2005. *Guidelines on: the care and use of fish in research, teaching and testing*. <http://ccac.ca/Documents/Standards/Guidelines/Fish.pdf>. Última consulta: 28 Enero 2012.
- Chiang, G., K. Munkittrick, R. Orrego & R. Barra, 2010. Monitoring of the environmental effect of pulp mill discharges in Chilean Rivers: lessons learned and challenges. *Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents 2010: Select Papers from the 7th International Conference*, 45(2): 111-122.
- CONICYT, 2009. *Aspectos Bioéticos de la Experimentación Animal*. <http://www.conicyt.cl/documentos/bioetica19nov.pdf>. Última consulta: 19 Mayo 2011.
- Crab, R., Y. Avnimelech, T. Defoirdt & W. Verstraete, 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for sustainable production. *Aquaculture*, 270: 1-14.
- Department of Conservation, 2005. *New Zealand large galaxiid recovery plan, 2003 – 2013: Shortjaw kokopu, giant kokopu, banded kokopu, adn koaro. Threatened Species Recovery Plan 55*. Department of Conservation, Wellington. <http://www.doc.govt.nz/upload/documents/science-and-technical/TSRP55entire.pdf>. Última consulta: 12 Mayo 2011.
- DeTolla, L., S. Srinivas, B. Whitaker, C. Andrews, B. Hecker, A. Kane & R. Reimschuessel. 1995. Guidelines for the Care and Use of Fish in Research. *ILAR Journal*, 37 (4): 1-27.
- Durborow, R., A. Mitchell & M. Crosby, 1998. Ich (White Spot Disease). *SRAC Publication 476*: 1-6.
- Figuerola, R., V. Ruiz, P. Berríos, A. Palma, P. Villegas & A. Andreu-Soler, 2010. Trophic ecology of native and introduced fish species from the Chillán river, South-Central Chile. *Journal of Applied Ichthyology*, 26:78-83.
- García de Leaniz, C., G. Gajardo & S. Consuegra, 2010. From the Best to Pest: changing perspectives on the impact of exotic salmonids in the southern hemisphere. *Systematics and Biodiversity*, 8(4): 1-13.
- García, A., K. Jorde, E. Habit, D. Caamaño & O. Parra, 2011. Downstream environmental effects of dam operations: changes in habitat quality for native fish species. *River Research and Applications*, 27(3): 312-327.
- García, A., J. González & E. Habit, 2012a. Caracterización del hábitat de peces nativos en el río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana*, 76):36-44.
- García, A., C. Sobenes., O. Link & E. Habit, 2012b. Bioenergetic models of the threatened darter *Percilia irwini*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 5(1):17-28.
- Glova, G. 2003. A test for interaction between brown trout (*Salmo trutta*) and inanga (*Galaxias maculatus*) in an artificial stream. *Ecology of Freshwater Fish*, 12(4): 247-253.
- Grommen, R., I. Van Hauteghem, M. Van Wambeke & W. Verstraete, 2002. An improved nitrifying enrichment to remove ammonium and nitrite from freshwater aquaria systems. *Aquaculture*, 211: 115-124.
- Habit, E., B. Dyer & I. Vila, 2006a. Estado de conocimiento de los peces dulceacuícolas de Chile. *Gayana*, 70(1): 110-112.

- Habit, E., M. Belk, R. Tuckfield & O. Parra, 2006b. Response of the fish community to human-induced changes in the Biobío River in Chile. *Freshwater Biology*, 51(1): 1–11.
- Habit, E. & M. Belk, 2007. Threatened fishes of the World: *Percilia irwini* (Eigenmann 1927) (Perciliidae). *Environmental Biology of Fishes*, 78:213-214.
- Habit, E., M. Belk, P. Victoriano & E. Jaque, 2007. Spatio-temporal distribution patterns and conservation of fish assemblages in a Chilean coastal river. *Biodiversity Conservation*, 16(11):3179-3191.
- Habit, E., P. Piedra, D. Ruzzante, S. Walde, M. Belk, V. Cussac, J. Gonzalez & N. Colin, 2010. Changes in distribution of native fishes in response to introduced species and other anthropogenic effects. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5): 697-710.
- Ireland, S., P. Anders & J. Siple, 2002. Conservation Aquaculture: an adaptive approach to prevent extinction of an endangered white sturgeon population. *American Fisheries Society Symposium*, 28:211-222.
- Kangas, P. & W. Adey, 2008. *Mesocosm Management* pp. 2308-2313. In: Jorgensen, Sven E. and Fath, Brian (eds), *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier, Amsterdam.
- Lambeck, R. 1997. Focal Species: A multi-species umbrella for nature conservation. *Conservation Biology*, 11 (4): 849-856.
- MINSEGPRES, 2008. Aprueba y oficializa nómina para establecer el tercer proceso de clasificación de especies según su estado de conservación, Ministerio General de la Presidencia, 4 pp. <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=273235>. Última consulta: 9 Marzo 2012.
- MINSAL, 2009. Sobre sobre protección de animales Ley N° 20.380 de Salud Pública, Ministerio de Salud de Chile, 5 pp. <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1006858>. Última consulta: 9 Marzo 2012.
- Odum, E. & G. Barret, 2006. *Fundamentos de Ecología*, Thomson S.A., México, 600 pp.
- Pardo, R., I. Vila & J. Capella, 2009. Competitive interaction between introduced rainbow trout and native silverside in a Chilean stream. *Environmental Biology of Fishes*, 86(2): 353-359.
- Penaluna, B., I. Arismendi & D. Soto, 2009. Evidence of Interactive Segregation between Introduced Trout and Native Fishes in Northern Patagonian Rivers, Chile. *Transactions of the American Fisheries Society*, 138: 839-845.
- Pettersson, L., K. Anderson & K. Nilsson, 2001. The diel activity of crucian carp, *Carassius carassius*, in relation to chemical cues from predators. *Environmental Biology of Fishes*, 61:341-345.
- Porter, C., M. Krom, M. Robbins, L. Brickell, & A. Davison, 1987. Ammonia excretion and total N budget for gilthead seabream (*Sparus aurata*) and its effects on water quality conditions. *Aquaculture*, 66: 287-297.
- Quezada-Romagnelli, C., M. Fuentes & D. Véliz, 2010. Comparative population genetics of *Basilichthys microlepidotus* (Atheriniformes: Atherinopsidae) and *Trichomycterus areolatus* (Siluriformes: Trichomycteridae) in north central Chile. *Environmental Biology of Fishes*, 89: 173-186.
- Roberge, J. & P. Angelstam, 2004. Usefulness of the Umbrella Species Concept as a Conservation Tool. *Conservation Biology*, 18(1): 76–85.
- Ruiz, V., F. Alay, M. López, J. Gavilán, R. Montoya, M. Almonacid, J. Cabello & R. Chávez, 1998. Presencia de *Ichthyoptirius multifiliis* Fouquet, 1876 (Protozoa, Ciliophora) en peces chilenos. *Biota*, Osorno, 5:13-20.

- Ruzzante, D., S. Walde, J. Gosse, V. Cussac, E. Habit, T. Zemplak & E. Adams, 2008. Climate control on ancestral population dynamics: insight from Patagonian fish phylogeography. *Molecular Ecology*, 17(9): 2234-2244.
- Sarmiento, F. 2001. *Diccionario de ecología: paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica*. Ediciones Abya-Yala, Quito: CLACS-UGA, CEPEIGE, AMA. 514 pp. <http://www.ensayistas.org/critica/ecologia/diccionario/>. Última visita: 12 Enero 2011.
- Stuart-Smith R., R. White & L. Barmuta, 2008. A shift in the habitat use pattern of a lentic galaxiid fish: an acute behavioural response to an introduced predator. *Environmental Biology of Fishes*, 82: 93-100.
- Svobodova, Z. & J. Kolarova, 2004. A review of the diseases and contaminant related mortalities of tench (*Tinca tinca* L.). *Veterinarni Medicina*, 49 (1): 19-34.
- Unmack, P., A. Bennin, E. Habit, P. Victoriano & J. Johnson, 2009. Impact of ocean barriers, topography, and glaciation on the phylogeography of the catfish *Trichomycterus areolatus* (Teleostei: Trichomycteridae) in Chile. *Biological Journal of the Linnean Society*, 97: 876-892.
- Varga, P., I. Arismendi, G. Lara, J. Millar & S. Peredo, 2010. Evidencia de solapamiento de micro-hábitat entre juveniles del salmón introducido *Oncorhynchus tshawytscha* y el pez nativo *Trichomycterus areolatus* en el río Allipén, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 45(2): 285-292.
- Vila I., R. Pardo, B. Dyer & E. Habit, 2006. Peces límnicos: diversidad, origen y estado de conservación. En: I. Vila, A. Veloso, R. Schlatter & C. Ramírez (eds.) *Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile*. Editorial Universitaria, Valdivia. pp 73-102.
- Ward, D. 2008. *Bubbling ponds native fish propagation and research facility, status update*. http://www.scribd.com/full/4791616?access_key=key-1pube6svv5awoavxjwl5. Último acceso: 5 Mayo 2011.
- Young, K., J. Stephenson, A. Terreau, A. Thailly, G. Gajardo & C. García de Leaniz, 2008. The diversity of juvenile salmonids does not affect their competitive impact on a galaxiid. *Biological Invasions*, 11(8): 1955-1961.
- Young, K., J. Dunham, J. Stephenson, A. Terreau, A. Thailly, G. Gajardo & C. García de Leaniz, 2010. A trial of two trouts: comparing the impacts of rainbow and brown trout on a native galaxiid. *Animal Conservation*, 13(4): 399-410.
- Zemplak, S., E. Habit, S. Walde, M. Battini, E. Adams & D. Ruzzante, 2008. Across the southern Andes on fin: glacial refuge, drainage reversals and a secondary contact zone revealed by the phylogeographical signal of *Galaxias platei* in Patagonia. *Molecular Ecology*, 17(23): 5049-5061.
- Zemplak, S., E. Habit, S. Walde, C. Carrera & D. Ruzzante, 2010. Surviving historical Patagonia landscape and climate: molecular insights from *Galaxias maculatus*. *Evolutionary Biology*, 10: 67