



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
Facultad de Ciencias Ambientales
Centro EULA – Chile
Ingeniería Ambiental

CONDICIÓN POBLACIONAL DE UNA ESPECIE ÍCTICA ENDÉMICA DE LA CUENCA DEL RÍO BIOBÍO SOMETIDA A DIFERENTES ESTRESORES AMBIENTALES: BASES PARA LA CONSERVACIÓN.

Habilitación presentada para optar al título de
INGENIERO AMBIENTAL

Danitza Fernanda Bravo Soto.

Profesor guía: Dra. Evelyn Habit.

Profesor co-guía: Dr. Gustavo Díaz.

Concepción, Chile (2024).

“CONDICIÓN POBLACIONAL DE UNA ESPECIE ÍCTICA ENDÉMICA DE LA CUENCA DEL RÍO BIOBÍO SOMETIDA A DIFERENTES ESTRESORES AMBIENTALES: BASE PARA SU CONSERVACIÓN”

Profesor Guía: Dra. Evelyn Habit Conejeros



Profesor Comisión: Dr. Gustavo Díaz Garrido



Profesor Comisión: Dr. Mauricio Aguayo Arias



CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- | | |
|----------------------------------|---------------------------|
| ✓ Aprobado por Unanimidad : | (En Escala de 4,0 a 4,9) |
| ✓ Aprobado con Distinción | (En Escala de 5,0 a 5,6) |
| ✓ Aprobado con Distinción Máxima | (En Escala de 5,7 a 7,0) |

Concepción, mayo 2024

Dedicado a todos aquellos que siempre confiaron en mí, aquellos que no me soltaron la mano durante todo este camino, de ustedes es mi esfuerzo y mis logros.

Solo porque tú lo dices las redes echaré.

Lucas 5:5

AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar agradeciendo a

Mis padres, a ellos la vida.

Mi familia, mis abuelos y tíos, mi fortaleza.

Mi hermano, la luz que Dios trajo a iluminar mi vida.

Mis amigos de la vida, mi refugio.

Mis amigos de la universidad que hicieron más sencillo el camino.

Mis perros, mi Goofy y Donna. Mi Cleo y Nike que me acompañan desde más allá. Mi compañía y serenidad.

Mi dojo y sensei Ivan.

Mi prima hermana amiga, Fran, no alcanzan las palabras para agradecer.

Mujeres que no tienen ningún lazo, sin embargo, estaban y creían en mí, Chocho, Yuly.

Aquellas que ya no están físicamente, Editra, Abu Casilda, gracias por ver cosas en mí que yo no podía.

Mi profesora guía, que no solo guió y apoyó mi camino académico, sino que muchas veces también guió el camino en mi vida.

Integrantes del laboratorio ecología y conservación de peces de agua dulce LEC-PAD, en especial a mi co-guía, quienes siempre tenían la disposición de enseñar y ayudar desinteresadamente, gracias por la oportunidad de trabajar y aprender de ustedes.

Que este aquí y celebrando que soy ingeniera es posible por ustedes, muchísimas gracias.

Por último, quiero nombrar a mi padre y mi abuelo José por inculcar mi amor por los ríos y los peces. Y por supuesto a mi profesora Evelyn por traspasar su conocimiento y pasión por la ictiofauna.

RESUMEN

La cuenca del río Biobío posee una gran riqueza de ictiofauna. Dentro de esta, alberga la especie endémica ***Percilia irwini***, la cual se encuentra gravemente amenazada debido a la alteración de su hábitat al ser la cuenca del río Biobío una de las más importantes para el país debido al desarrollo de múltiples actividades antrópicas. El presente estudio tiene como objetivo analizar la condición de la especie a través de la red hídrica del río Biobío para reconocer su relación con la presencia de múltiples estresores antrópicos y definir propuestas de conservación efectiva; así se evaluó la condición poblacional de *P. irwini* mediante análisis multifactorial que incluyó: la condición corporal, estimada con una metodología nueva para la especie; la abundancia, la variabilidad temporal, las principales actividades antrópicas y otra información relevante en distintas áreas de la cuenca, con el fin de proponer estrategias de manejo para su conservación.

Los resultados identificaron zonas críticas de alta vulnerabilidad para ***P. irwini***, lo que subraya la necesidad de implementar medidas de conservación inmediatas. Entre las estrategias sugeridas se propone la conservación de hábitats prioritarios, la translocación de individuos para mantener la diversidad genética, y la creación de sistemas de monitoreo para evaluar la eficacia de las intervenciones.

Asimismo, se propone la designación de ***P. irwini*** como monumento natural, lo que contribuiría a destacar su importancia ecológica y a fomentar la educación ambiental. La sensibilización de las comunidades locales es crucial para garantizar la implementación efectiva de las estrategias de conservación recomendadas y asegurar la protección a largo plazo de esta especie endémica.

Este estudio concluye que la preservación de ***P. irwini*** requiere un enfoque integral que combine ciencia, gestión ambiental y participación comunitaria, con el fin de proteger a la especie en su hábitat natural y prevenir su extinción.

Índice

AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN.....	5
1. ANTECEDENTES.....	11
1.1 Endemismo en Chile.....	11
1.2 Íctiofauna de agua dulce en Chile	12
1.3 Estado de conservación y amenazas para la íctiofauna de agua dulce en Chile	12
1.4 Cuenca del río Biobío	15
1.5 Múltiples usos de la cuenca del río Biobío.....	16
1.5.1 Actividad forestal y agrícola	16
1.5.2 Actividad hidroeléctrica	17
1.5.3 Actividad industrial	17
1.5.4 Extracción de áridos.....	17
1.5.5 Actividad doméstica	18
1.5.6 Canales de riego	18
1.6 Especie <i>Percilia irwini</i>	19
1.7 Amenazas para la especie <i>P. irwini</i>	20
1.8 Métodos para identificar la condición de salud de los peces	23
1.9 Conservación de especies.....	26
1.9.1 Técnicas de conservación.....	26
1.9.2 Conservación de biodiversidad y especies en Chile	26
2 Pregunta de investigación.....	28
3 Objetivos.....	28
3.1 Objetivo general: Analizar la condición de <i>Percilia irwini</i> a través de la red hídrica del río Biobío para reconocer su relación con la presencia de múltiples estresores antrópicos y definir propuestas de conservación efectiva	28
3.2 Objetivos específicos:.....	28
4 Metodología.....	29

4.1	Área de estudio y fuente de información	29
4.2	Selección y filtro de datos poblacionales	29
4.3	Variables geomorfológicas de la cuenca y poblaciones genéticas de la especie	29
4.4	Otra información relevante	30
4.5	Selección de actividades antrópicas.....	30
4.6	Cálculo de índice de masa escalado como indicador de factor de condición corporal	31
4.7	Clasificación de SMI según medidas de condición corporal.	32
4.8	Cálculo de abundancia estandarizada.....	32
4.9	Análisis uni-variados espaciales y temporales	33
4.10	Análisis multivariados	33
4.11	Identificación de zonas de alta y baja condición poblacional.....	33
4.12	Medidas de manejo para la especie.	34
5	Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	34
5.1	ODS 15 Vida de ecosistemas terrestres.....	34
6	Resultados.....	35
6.1	Determinación de zonas poblacionales	35
6.1.1	Selección de datos poblacionales	35
6.1.2	Actividades antrópicas.	36
6.1.3	Determinación de zonas poblacionales de <i>P. irwini</i>	38
6.2	Dinámica espaciotemporal de las características poblacionales	44
6.2.1	Índice de masa escalado.	44
6.2.2	Clasificación de condición corporal.	46
6.2.3	Análisis univariados por índice de masa escalado.....	48
6.2.4	Abundancia estandarizada.....	53
6.2.5	Análisis univariados de abundancia estándar.	57
6.2.6	Análisis multivariados.....	63
6.3	Condición poblacional para la conservación de la especie por cada zona	65
6.3.1		65

a.	Medidas de manejo.....	69
2	Discusión.....	72
a.	Principales hallazgos.....	72
b.	Especificación de condición poblacional para la conservación por cada zona.....	73
i.	Clasificación alta condición poblacional.....	73
ii.	Clasificación media condición poblacional	75
iii.	Clasificación baja condición poblacional.....	76
c.	Medidas de manejo.....	77
	Creación de área protegida para zona 14 Huequecura y 12 Rucúe	77
	Declarar sitios prioritarios.....	78
	Santuario de la naturaleza Humedal Desembocadura río Biobío	79
	Declaración de especie de importancia conservación con base en su categoría de conservación.	79
	Medidas de control de especies exóticas	80
3	Conclusión.....	80
	Referencias.....	82

Índice de tablas

Tabla 1: Zonas poblacionales determinadas en la red hídrica de la cuenca del río Biobío. 39**Tabla 2:** Zonas poblacionales determinadas en la red hídrica de la cuenca del río Biobío. 40**Tabla 3:** Estadística del índice de masa escalado (SMI) por cada una de las zonas. **¡Error! Marcador no definido.**Tabla 4 Parámetros descriptivos del conjunto de datos índice de masa escalado (SMI) (n= 9036). 46**Tabla 5:** Categorías de clasificación según percentiles de los valores de SMI para *Percilia irwini* en la red hídrica de la cuenca del río Biobío 47**Tabla 6:** Parámetros descriptivos del conjunto de datos de abundancia estándar para cada zona poblacional. 55**Tabla 7:** Parámetros descriptivos del conjunto de datos de abundancia estándar. 55**Tabla 8:** Categoría de clasificación según percentiles de los valores abundancia estandarizada de

Percilia irwini en la red hídrica de la cuenca del río Biobío. 55**Tabla 9:** Índice de dispersión multivariado de condición corporal (SMI), longitud y abundancia.

64**Tabla 10:** Clasificación poblacional de cada zona según relación de las variables poblacionales, variabilidad temporal, las actividades antrópicas presentes y otra información relevante. 66**Tabla 11:** Propuesta de instrumentos para la conservación de la especie, a escala de hábitat.

69**Tabla 12:** Propuesta de instrumentos para la conservación de la especie a escala de especie. 71

Índice de figuras

Figura 1: Estados de conservación de peces de agua dulce en Chile.....	13
Figura 2: Imagen <i>percilia irwini</i> entregada por el laboratorio de ecología y conservación de peces de agua dulce (LEC-PAD).....	20
Figura 3: Human-induced habitat fragmentation effects on connectivity, diversity, and population persistence of an endemic fish, <i>Percilia irwini</i> , in the Biobío River basin (Chile)	22
Figura 4: Localización geográfica de las estaciones seleccionadas en la red hídrica de la cuenca del río Biobío.....	35
Figura 5: Localización geográfica de las barreras y extracción de áridos (actividades antrópicas) presentes en la red hídrica de la cuenca del río Biobío	36
Figura 6: Localización geográfica de las barreras y extracción de áridos (actividades antrópicas) presentes en la red hídrica de la cuenca del río Biobío.	37
Figura 7: Localización geográfica de las efluentes industriales y domésticos (actividades antrópicas) presentes en la red hídrica de la cuenca del río Biobío.	38

Figura 8: Localización y extensión de las zonas poblacionales de <i>P. irwini</i> en la red hídrica de la cuenca del río Biobío. Cada color representa una zona poblacional distinta.	43
Figura 9: Localización geográfica de los sitios de muestreo seleccionados y su correspondencia con cada zona poblacional en la red hídrica de la cuenca del río Biobío.	44
Figura 10: Localización y extensión de cada tipo de zona poblacional de <i>P. irwini</i> , según su valor promedio de condición corporal. Cada color indica una categoría distinta (alta, media y baja).	48
Figura 11: Gráfico de cajas basado en los valores de SMI para cada zona poblacional.....	49
Figura 12: Gráfico de cajas basado en los valores de SMI en el tiempo para cada zona poblacional clasificada actualmente alta.	51
Figura 13: Gráficos de cajas y bigotes de los valores de SMI para cada año en cada zona poblacional clasificada con condición corporal media.	52
Figura 14: Gráficos de cajas y bigotes de los valores de SMI para cada año en cada zona poblacional clasificada con baja condición corporal.	53
Figura 15: Localización en la red hídrica de la cuenca del río Biobío de la abundancia estándar.	57
Figura 16: Gráfico de caja y bigotes de los valores de abundancia estándar en cada zona poblacional.	58
Figura 17: Gráficos de cajas y bigotes de los valores de abundancia estándar en cada zona poblacional clasificada con alta condición corporal.	59
Figura 18: Gráficos de cajas y bigotes de los valores de abundancia estándar en cada zona poblacional clasificada con media condición corporal.	61
Figura 19: Gráficos de cajas y bigotes de los valores de abundancia estándar en cada zona poblacional clasificada con baja condición corporal	63
Figura 20: Condición poblacional para la conservación de la especie en cada zona poblacional en la red hídrica de la cuenca del río Biobío.	69

1. ANTECEDENTES

1.1 Endemismo en Chile

Chile es un país que cuenta con un alto grado de aislamiento geográfico, dada la presencia del desierto de Atacama, la cordillera de Los Andes, masas glaciares y el océano Pacífico (CONAMA, 2008). Estos accidentes geográficos, a su vez, otorgan una amplia variedad climática y geográfica que resulta en la existencia de un alto grado de endemismo (25%). El endemismo hace referencia a especies que se encuentran en una área geográfica específica y exclusiva, por lo que solo habitan de forma natural en esa zona, con sus determinados aspectos ecológicos y biológicos.

Los hábitats de especie endémicas suelen ser áreas con alto interés de conservación, al igual que los hotspots de biodiversidad. Estas son regiones donde se concentra un mínimo de 1.500 especies de plantas vasculares endémicas equivalente al 0,5 por ciento del total de plantas vasculares en el mundo, una alta proporción de vertebrados endémicos, y en donde el hábitat original ha sido fuertemente impactado por las acciones del hombre (Myers et al., 2000). Entonces, los hotspots son áreas geográficas que albergan una extraordinaria cantidad de especies, muchas endémicas, y que se encuentran altamente amenazadas por actividades antrópicas. A la fecha se han definido 34 Hotspot en el mundo, entre los cuales se encuentra el “Chilean winter rainfall-Valdivian forests” (Bosque templado siempreverde de Valdivia). Este hotspot abarca parte de Chile central y el Norte Chico, ambos con lluvias de invierno, y su mayor parte en el sur de Chile, con lluvias de verano e invierno (Kalin et al., 2006). Por lo tanto, su ubicación geográfica coincide en gran parte con la zona central, donde se encuentra registrado el mayor número de especies (Norman, 2003).

Aquí deriva la importancia de conservar las especies endémicas, debido a su mayor vulnerabilidad en comparación con especies que disponen de una gama genética más amplia, convirtiéndolas en especies susceptibles a la extinción, lo cual implicaría una pérdida total de la especie.

1.2 Íctiofauna de agua dulce en Chile

Chile posee una singular geomorfología, proveniente de una amplia extensión latitudinal entre los 17° y 56° S y un importante gradiente altitudinal que comprende cumbres desde los 100 m en la Cordillera de la Costa hasta aquellas por sobre los 3000 m.s.n.m en la Cordillera de los Andes (Niemeyer, 1984; Habit et al., 2022). Estas diferencias de altura configuran un paisaje con una marcada pendiente, que da origen a cuencas hidrográficas con ríos que fluyen de forma paralela de Este a Oeste, sin interconexiones Norte-Sur entre ellas (Habit et al., 2015). Esta disposición además de generar ríos cortos y rápidos, con pocos nichos ecológicos para una mayor diversidad de especies, restringe el flujo a nivel intra e interespecífico entre ríos. Por otra parte, los eventos geológicos pasados, como la actividad tectónica y los cambios en el nivel del mar, han contribuido a la extinción de la fauna preandina, lo que ha reducido aún más la diversidad de especies. Este hábitat presenta un alto grado de endemismo, tanto a nivel de especies como de géneros y familias, siendo su subsistencia altamente dependiente de la estabilidad de su hábitat. Además, esta fauna posee una importancia biológica y evolutiva significativa, dado que algunos de sus taxones se consideran primitivos y en su gran mayoría presentan pequeño tamaño corporal. La ictiofauna chilena es única y altamente sensible a la alteración de sus hábitats naturales, los cuales podrían tener graves consecuencias, incluida la disminución y eventual extinción de las poblaciones de peces nativos (Campos, 1998).

1.3 Estado de conservación y amenazas para la ictiofauna de agua dulce en Chile

Los ecosistemas de agua dulce se encuentran entre los más amenazados en el planeta y su diversidad experimenta considerables disminuciones a nivel global debido a la exponencial demanda de bienes, que datan del siglo pasado. Más de la mitad de la escorrentía continental accesible ahora está controlada y utilizada por los seres humanos, lo que ha producido que los principales ríos del mundo están gravemente contaminados y fragmentados (Burlakova et al., 2011).

En Chile, según los datos más recientes sobre del reglamento de clasificación de especies (RCE, mayo 2024), se ha identificado que en los sistemas acuáticos de todo el país existen 51 especies de ictiofauna nativa (Figura 1), de las cuales 35

son endémicas, lo que refleja un alto grado de endemismo. Entre las especies endémicas, tres de ellas se encuentran en la categoría de En Peligro Crítico. Además, otras 24 especies son clasificadas como En Peligro, de las cuales 20 son endémicas y en categoría de Vulnerable se encuentran 14 especies, de las cuales 10 son endémicas.

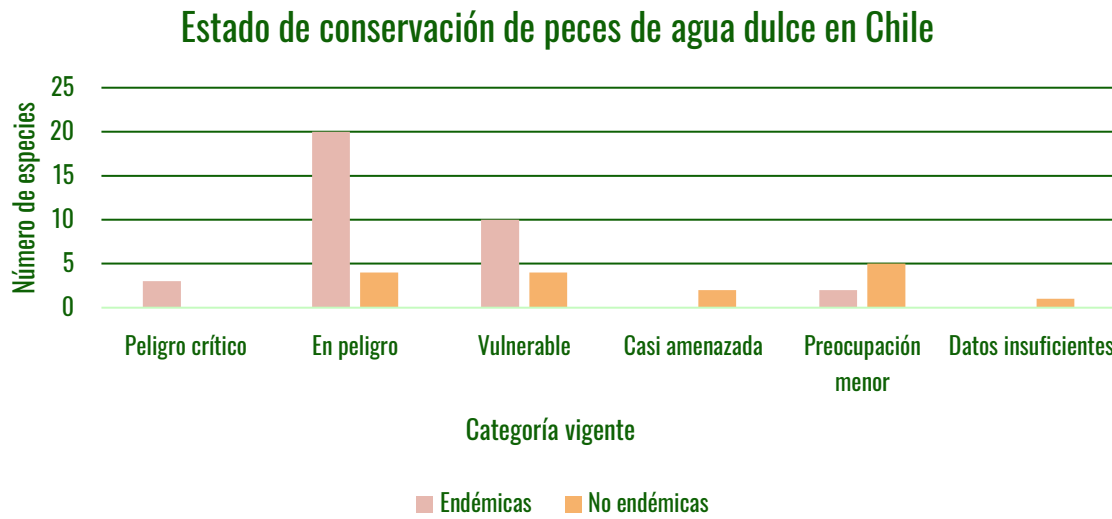


Figura 1: Estados de conservación de peces de agua dulce en Chile.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Reglamento de Clasificación de Especies (RCE) (mayo 2024)

El estado de conservación de los peces de agua dulce en Chile se encuentra en continuo deterioro, las principales amenazas para los peces son: la operación de centrales hidroeléctricas, extracción de agua para riego, vertido de RILES y aguas servidas, extracción de áridos, canalización de los cauces, sustituciones de bosque nativo por plantaciones forestales y contaminación difusa por pesticidas (Habit et al., 2006). En cualquier caso, los efectos suelen ser cumulativos y potenciados por el actual escenario de cambio climático.

Además, las actividades antes mencionadas suelen actuar en un contexto de desconocimiento y subvaloración hacia las especies ícticas nativas. Esto subestima los alcances de los efectos y las consecuencias para la pérdida de biodiversidad íctica. La literatura sugiere que el desconocimiento por la fauna

íctica proviene del desinterés ante el reducido tamaño, simpleza morfológica y cromática de sus especies (CONAMA, 2008). De hecho, comúnmente sólo se conocen especies objetivo en pesca y acuariofilia, como son pejerreyes, percas y puyes.

Actualmente, las especies exóticas invasoras son la segunda causa de amenaza y extinción de especies, precedida tan sólo por la pérdida de hábitat (Poorter, 2000). Sudamérica es uno de los 6 hotspots globales de invasión de peces de agua dulce, la gran mayoría de los ríos y lagos de Chile están invadidos por una o más especies de peces exóticos. La zona centro sur del país es la zona mediterránea con mayor cambio en su ictiofauna debido a las introducciones de peces. (S. Marr et al., 2013). En esta zona se destacan por su amplia distribución y abundancia las especies de carpa común *Cyprinus carpio*, *Gambusia* *Gambusia olbrooki*, Chanchito *Australoheros facetus* y *Cnesterondon decemmaculatus*, algunos de ellos característicos de zonas bajas de los ríos andinos o costeros con mala calidad ambiental, aunque la especie exótica con mayor éxito en la invasión en Chile es el grupo de salmónidos que presenta gran interés económico para el país; este presenta una distribución a lo largo del país, sin embargo, la zona principalmente invadida es la Patagonia, considerada una de las últimas reservadas prístinas del planeta (Habit et al., 2015). Algunos de los impactos que genera la introducción de especies son: la competencia por alimento, espacio y hábitat con las especies nativas, pudiendo provocar disminución de la población en las especies nativas; depredación hacia especies nativas, lo que puede provocar alteraciones en los ecosistemas acuáticos; hibridación entre especies nativas y exóticas, perjudicando la diversidad genética; alteración del hábitat a través de cambios de la vegetación, sedimentos y erosión; transmisión de enfermedades, los peces introducidos pueden actuar como vectores de enfermedades hacia especies nativas, lo que puede provocar disminuciones en las poblaciones y alterar los equilibrios ecológicos (S. M. Marr et al., 2013). Un ejemplo claro es, *Gambusia* que ha mostrado efectos en especies nativas como *Brachygalaxias bullocki* y *Galaxias maculatus* desplazándolas y reemplazándolas en ríos de la zona centro sur de Chile. Además, es posible que esta especie haya introducido la infección del “gusano ancla” (*Lernaea* sp).

“Este delicado estado de conservación de los peces nativos de aguas continentales, sumado a su alto endemismo e importancia social, ecológica y

evolutiva, hacen que deba ser un conjunto de especies de enorme preocupación y cuidado” (*EULA-Chile: Evolución y perspectivas a 30 años de su creación*, 2020).

1.4 Cuenca del río Biobío

La hoya del río Biobío, es la tercera más grande del país, se extiende, entre los 36° 45' y los 39° de latitud sur, con un área de drenaje de 24.370 km², un orden de Strahler máximo de 7 en el curso principal del río y 10.719 Km de longitud de red hídrica (Díaz et al., 2019). El río Biobío se caracteriza por un régimen de aporte mixto, lo que significa influencia pluvial y nival y alta pendiente (Habit et al., 2022).

Respecto a su diversidad biológica, la cuenca exhibe la mayor riqueza de especies a nivel nacional, posee gran variedad biológica en cuanto a especies de peces, son 18 las especies nativas descritas que viven en la cuenca y 5 especies introducidas (Vila & Habit, 2014).

La cuenca cuenta con Norma Secundaria de Calidad, la cual busca la preservación del ecosistema mediante la regulación de la presencia de agentes antrópicos. Este plan estratégico trabaja a escala de tramos que muchas veces coinciden con las subcuencas y considera las influencia de distintos ambientes y factores geográficos. En este sentido, el río Biobío ha sido comúnmente subdividido en 15 subcuencas y tres grandes secciones, desde el inicio de su curso hasta su desembocadura.

Los segmentos que componen al río;

- Tramos de cabecera desde su nacimiento hasta la ciudad de Santa Bárbara. Posee características de ritrón con aguas de mucha velocidad y está bordeado por bosques nativos, esta característica de ritrón se ve interrumpido por la presencia de los embalses, sin embargo, no recibe descargas industriales.
- Santa Bárbara – río Vergara: comienza en el área terminal del sector de ritrón, en este tramo la vegetación ha sido reemplazada por plantaciones forestales y sector agrícola, también recibe efluentes industriales y descargas de aguas servidas; y recibe dos afluentes.
- Río Vergara- Santa Juana: comienza en la zona alta del sector potamal del río en donde pierde pendiente y pasa de flujo turbulento a laminar, recibe los principales tributarios y aportes de pequeños afluentes, la mayor

parte está dominada por plantaciones forestales y recibe descargas industriales y domésticas importantes.

- Santa Juana – Concepción desembocadura: Este tramo es similar en cuanto a características al anterior, solo su lecho se expande más, no recibe afluentes importantes y es la zona donde se encuentra la mayor parte de la población de la cuenca, por lo que recibe descargas de origen urbano y también industriales y la zona final se ve afectada por la salinidad de la marea (*EULA-Chile: Evolución y perspectivas a 30 años de su creación*, 2020).

1.5 Múltiples usos de la cuenca del río Biobío

La cuenca del río Biobío es uno de los ríos más importantes para uso humano, se caracteriza por sus múltiples usos y todas las actividades antrópicas que se realizan generan impactos sobre la calidad del agua y en consecuencia en la ictiofauna.

1.5.1 Actividad forestal y agrícola

Actualmente en la cuenca del río Biobío existe un alto porcentaje de plantaciones forestales gracias a la agresiva gestión empresarial y las condiciones óptimas del suelo. El uso forestal es uno de los más representativos en la cuenca. Abarca una superficie de 493.154 Ha, de las cuales 474.648 corresponden a bosques plantaciones, dichas plantaciones son conformadas por *Pinus radiata* en mayor medida y *Eucalyptus globulus*. Se ha desarrollado un establecimiento masivo de la actividad forestal, lo cual trae consecuencias en el uso de suelo (Valdovinos, 2006).

Se tiene el uso para la agricultura, en donde se utiliza agua para riego, en el cual el volumen anual de riego es de 3.125 millones de metros cúbicos aproximadamente, los cultivos más importantes dentro de la cuenca son el trigo, remolacha, avena, papas, raps, cebada y maíz. En el caso del trigo, éste ha provocado graves problemas de erosión de los suelos. Adicionalmente la agricultura implica contaminación a la cuenca, ya que las aguas de riego transportan sustancias químicas utilizadas, como los fertilizantes, pesticidas y plaguicidas (Diagnóstico clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, 2004).

1.5.2 Actividad hidroeléctrica

Las pendientes del cauce, su régimen hidrológico pluvio-nival alimentado por aguas lluvias en invierno, el derretimiento de las nieves en primavera y verano y su caudal en el área alta poco variable, lo convierte en una fuente potencial para energía eléctrica. Existen alrededor de 17 centrales hidroeléctricas a lo largo de la cuenca, 7 de ellas se ubican en el río Laja (Abanico, El Toro, Antuco, Quilleco, Rucúe, Laja y Diuto), dos en el río Duqueco (Mampil y Peuchén), otras como Boquiamargo, Los Padres, Palmucho, Renaico y tres centrales hidroeléctricas ubicadas en el curso principal del río, llamadas; Ralco, Pangué y Angostura, estas tres son centrales de embalse que modificaron la estructura del río, pasando de ritrón a un sistema lacustre, también producen fragmentación por los muros y cambios en el caudal de la cuenca debido a su funcionamiento de hydropeaking que genera fluctuaciones diarias del caudal, lo que afecta la puesta de huevos, crianza de larvas, distribución de alimento y disponibilidad de hábitat. Todo lo previo con una producción superior a 2800 MW, lo que puede cambiar con los nuevos proyectos que ya poseen RCA aprobada, como la central Rucalhue próximamente ubicada en el río Quilme y la central Frontera próximamente ubicada en el río Biobío cercana a la localidad de San Carlos de Purén (*EULA-Chile: Evolución y perspectivas a 30 años de su creación*, 2020).

1.5.3 Actividad industrial

La actividad industrial en la cuenca realiza captaciones de agua para su uso, como es el caso de las plantas de celulosa que tienen un consumo de agua que varían entre 59 a 127 m³ /ton de producto. El problema mayor radica en cuanto el agua es devuelta a la cuenca, donde el río debe realizar una función depuradora, dentro de estas emisiones de contaminantes se encuentran residuos tóxicos, persistentes y difíciles de remover como los microcontaminantes orgánicos (organoclorados). En los últimos años, las industrias han mejorado su sistema de tratamiento, sin embargo, continúan siendo los principales en aportar contaminantes, siendo 10 veces más que el aporte de vertidos urbanos en cuanto a DBO₅ (Valdovinos, 2006). Entre las empresas, se destacan Forestal e industrial Santa Fe, CMPC Laja, CELPAC S.A, BO Paper Biobío, ENAP refinería Biobío, Huachipato e IANSA (*EULA-Chile: Evolución y perspectivas a 30 años de su creación*, 2020).

1.5.4 Extracción de áridos

También existen extracción de áridos y arenas, estas actividades se realizan bajo poco control, trae impactos como pérdida de la capa vegetal, el ruido, las

vibraciones, las emisiones de partículas, los efluentes líquidos, los residuos mineros e industriales, además de que los movimientos de sedimentos realizados por las extracciones modifican el trazado del cauce y la morfología de los márgenes. Las extracciones de áridos producen una discontinuidad en el cauce, las cuales genera cambios en el hábitat producto de las excavaciones y el cambio en el balance de los sedimentos del fondo, resuspenden material modificando la calidad del agua y del hábitat. La presencia de estos sólidos suspendidos productos de las extracciones producen efectos negativos sobre los peces, los cuales colapsan las agallas de los organismos, afectando la eficiencia de respiración (Bilotta & Brazier, 2008) además la posterior sedimentación de estas partículas altera las características del sustrato y por tanto la capacidad de refugio.

1.5.5 Actividad doméstica

Otro de los usos de la cuenca, es destinada al uso doméstico, el que representa uno de los usos de las aguas del río Biobío más importantes, los caudales de captación se cuantifican en 46.000.000 m³/año. Posee un total de 326 localidades pobladas, siendo 17 de estas ciudades. Además de la captación de aguas, el uso doméstico comprende el vertimiento de efluentes (*EULA-Chile: Evolución y perspectivas a 30 años de su creación*, 2020). Varios estudios han informado que muchas de las sustancias presentes en los efluentes domésticos sólo se eliminan selectiva o parcialmente durante los procesos de tratamiento de aguas residuales y se vierten en los sistemas acuáticos naturales (Barra et al., 2021).

1.5.6 Canales de riego

En la cuenca existe una red de canales, actualmente administrados por Asociaciones de Canalistas (AC). Se estima que el caudal captado para riego, en términos de la cantidad de conducción de los canales matrices, asciende a los 220m³ /s, los cuales se utilizan para regar una superficie de aproximadamente 220.000 hectáreas (Parra et al., 2009; EULA, 2016)

Por otro lado, la introducción de especies de peces exóticos a la cuenca produce cambios en la abundancia y riqueza del ambiente, generando competencia por alimentos y siendo depredadores de especies nativas.

La invasión del *Didymo*, microalga bentónica de rápida expansión, ha tenido como consecuencia que el lecho del río se encuentre “tapizado”, lo que significa una pérdida del sustrato el cual es hábitat para algunas especies, además en él se encuentran macroinvertebrados bentónicos reduciendo el alimento para algunos y también donde ponen huevos los peces, por lo que la consecuencia de la presencia del *Didymo* significa una gran pérdida de hábitat para los peces (EULA-Chile: *Evolución y perspectivas a 30 años de su creación*, 2020).

1.6 Especie *Percilia irwini*

Percilia irwini, comúnmente conocida como "carmelita de Concepción", es una especie íctica endémica que se encuentra exclusivamente en la cuenca del río Biobío en el centro sur de Chile. Esta especie está clasificada como En Peligro de extinción debido a su distribución limitada y la degradación de su hábitat. Perteneciente a la familia Percilidae, *Percilia irwini* es de pequeño tamaño, alcanzando una longitud máxima de 9,6 cm, con una longitud típica de alrededor de 6 cm. Se observa que los machos tienden a ser más grandes que las hembras en todas las etapas de la vida. Este pez es bentopelágico y generalmente habita aguas poco profundas (<1m) con sustrato rocoso y movimientos de agua lentos (<0,5 m/s). Su esperanza de vida promedio es de aproximadamente 4 años (Habit & Belk, 2007).

Percilia irwini se distingue por poseer dos aletas dorsales continuas, siendo la primera aleta notable por su forma aserrada y su coloración naranja amarillenta brillante. Su dieta se compone exclusivamente de crustáceos e insectos, siendo estos últimos predominantes y representando más del 80% de su alimentación. Por esta razón, se clasifica como una especie insectívora, siendo efemerópteros y dípteros los ítems de insectos de mayor consumo (Valdovinos, 2006).

Percilia irwini es una especie residente, lo que significa que habita y permanece en un área específica, sin realizar migraciones significativas. Su velocidad crítica de nado es de 35 cm/s, lo que indica la velocidad mínima que puede mantener durante un largo período de tiempo sin fatigarse (García et al., 2012) Sus huevos son bento-adhesivos, lo que significa que se adhieren al sustrato rocoso, proporcionando protección y estabilidad durante su desarrollo. Además, esta especie alcanza la madurez reproductiva al año de vida (Aedo et al., 2009).

Estudios recientes demuestran que *P. irwini* es capaz de desplazarse largas distancias (> 30 km) dentro de áreas idóneas de la cuenca, sin embargo, aún se desconocen los factores que impulsan estos movimientos. Este hallazgo

representa un notable contraste con las creencias previas sobre la capacidad de desplazamiento de especies nativas de menor tamaño (Vivancos et al., 2021).



Figura 2: Imagen percilia irwini entregada por el laboratorio de ecología y conservación de peces de agua dulce (LEC-PAD).

1.7 Amenazas para la especie *P. irwini*

El Ministerio del Medio Ambiente de Chile clasificó como una especie en peligro de extinción a *Percilia irwini* debido a su estrecha distribución y degradación de su hábitat (Habit & Belk, 2007).

La evaluación de factores estresantes de manera individual a menudo no es suficiente para representar adecuadamente la situación; es necesario considerar al menos dos factores de estrés diferentes para obtener una respuesta ecológica integrada o más completa. En el río Biobío, se observa una pérdida en la asociación de patrones estacionales, afectando tanto los aspectos taxonómicos

como funcionales que responden a las áreas de contaminación (Colin et al., 2022). Los efectos de actividades antrópicas sobre la especie *Percilia irwini* se pueden presentar a diferentes escalas temporales y espaciales, dependiendo del tipo de impacto que se produzca sobre el hábitat. Sin embargo, es complejo realizar una identificación relación-causa de cada actividad por separado en la cuenca del río Biobío que es de uso múltiple, pero es seguro que la suma de todos estos provoca un efecto acumulativo.

Faltan estudios que determinen con certeza como las actividades antrópicas afectan a esta especie, no obstante, recientemente se estudió los efectos de la fragmentación (Valenzuela-Aguayo et al., 2020). En este estudio se evaluó el efecto que producen las 4 centrales de embalse de la cuenca del río Biobío, El Toro, Ralco, Pangue y Angostura, modulado a través de la fragmentación e hydropeaking o regulación de caudal (liberación repentina de flujo para satisfacer las demandas máximas de energía). Las centrales con operación de pasada poseen menores efectos de barrera, de igual manera, se conoce que generan alteraciones en el hábitat. Adicionalmente en el río Laja se encuentra una barrera natural generada por el Salto del Laja. Se determinó la existencia de 3 poblaciones genéticas, cada una correspondiente a la zona del río Laja, zona del río Biobío cauce principal junto a sus tributarios y la zona de los ríos Renaico y Malleco, con 8 subpoblaciones de la especie a lo largo de la cuenca. Estas mantenían un contacto reproductivo. Sin embargo, debido a la presencia de las centrales hidroeléctricas se produjo pérdida de esta conectividad. En el tramo del río Biobío, específicamente en el área entre la central Ralco y Pangue, no se encontró evidencia de la presencia de *P. irwini*, así como tampoco se encontró en el tramo del río Laja ubicado entre las centrales El Toro y Abanico y según registros históricos confirman la presencia de *P. irwini* años atrás (Habit & Belk, 2007). Esto significa que se produjo extirpación local de la especie en esos tramos del río. De esta forma el estado de conservación de la especie se ve altamente amenazado en el área entre la central Pangue y Angostura, en donde la cantidad de individuos es baja, lo que representa una zona latente a una nueva extirpación (Valenzuela-Aguayo et al., 2020).

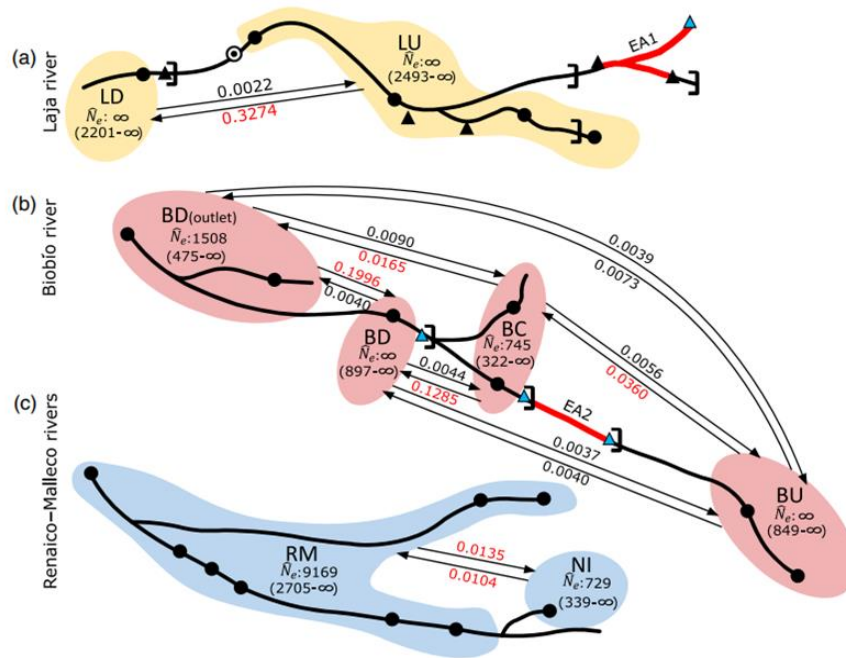


Figura 3: Human-induced habitat fragmentation effects on connectivity, diversity, and population persistence of an endemic fish, *Percilia irwini*, in the Biobío River basin (Chile)

Chile se ha destacado por su creciente desarrollo comercial en cuanto a la producción y cultivo de salmónidos, sin embargo, esto trae consigo riesgos para las especies nativas. La especie *P. irwini*, al igual que otras especies nativas de pequeño tamaño, se considera altamente vulnerable ante la depredación por especies de mayor tamaño, como son los salmónidos. En este sentido, la acuicultura aumenta el riesgo de introducción de especies exóticas depredadoras en los ambientes naturales, y el riesgo de depredación y competencia sobre especies como *P. irwini* es alto. La acuicultura también conlleva la transmisión de enfermedades infecciosas y proliferación de parásitos y *P. irwini* ha mostrado alta prevalencia a este tipo de infecciones. Un estudio ha demostrado que *Percilia irwini* muestra una alta diversidad de parásitos, evidenciando que un 76% de los peces examinados mostraron infección. Entre los parásitos identificados se encuentran los *Monogenea* de la familia Ancyrocephalidae en un 62% de los individuos infectados, seguidos por *Mixosporidia Henneguya* sp. en un 50% ambos parásitos hallados en filamentos branquiales, *Acanthocephala Pomphorhynchus* sp. en un 19% y un nemátodo indeterminado en un 6% de los peces parasitados, estos últimos hallados en el intestino (Olmos et al., 2003).

Su hábitat se encuentra en un estado deteriorado por los múltiples usos que posee la cuenca del río Biobío, alterado principalmente por la contaminación de los cursos de agua por vertido de residuos industriales, principalmente proveniente de plantas de celulosa, los cuales contienen disruptores endocrinos que producen un efecto en los estrógenos generando un impacto negativo en la función reproductiva. Aguas servidas que contienen numerosos contaminantes emergentes como productos farmacéuticos, por ejemplo: antiinflamatorios, anticonceptivos, analgésicos, antibióticos, etc. Los cuales son excretados a través de la orina lo que causa alteración en los sistemas endocrinos, produciendo un cambio en los peces, como la aparición de características femeninas en el tejido masculino, la reducción de la producción de gametos, la capacidad de fertilización de los peces macho, la aparición de condiciones intersexuales en los peces macho y niveles alterados de hormonas esteroides sexuales (Barra et al., 2021). El deterioro de la calidad del agua es uno de los factores que amenaza a esta especie susceptible a dichas alteraciones. El cambio de uso de suelo es uno de los responsables de este deterioro, actividades como la agricultura aportan a través de contaminación difusa altas cantidades de agroquímicos, materia orgánica y sedimentos. Del mismo modo, las plantaciones forestales contribuyen al incremento de sedimentos y cambios en la escorrentía superficial.

Por otro lado, el cambio climático juega un rol importante por las sequías estacionales que genera, lo cual reduce el caudal de la cuenca del río Biobío. La calidad del agua es vulnerable a las reducciones en el flujo, a través de contaminantes históricos y emergentes. En consecuencia, una reducción progresiva del caudal del río afecta la funcionalidad del ecosistema (Yevenes et al., 2018). La estrecha relación entre la calidad del agua y el flujo del caudal es una amenaza latente para *P. irwini*, la cual es vulnerable a los cambios del hábitat.

1.8 Métodos para identificar la condición de salud de los peces

Las comunidades de peces, tanto residentes como migratorias, pueden verse afectadas por diversas actividades humanas, estas presiones pueden modificar su diversidad y biomasa, sus tasas de desove, sus fuentes de alimento, e incluso su comportamiento y tasas de supervivencia. Identificar su estado de salud o bienestar se convierte en un desafío para entender los efectos de las actividades antrópicas en la fauna íctica.

Existen variados métodos de estudio, proporcionan información valiosa sobre la salud de los peces. Los biomarcadores a nivel de órganos, el tamaño del hígado (índice hepatosomático, HIS) y los agregados de macrófagos en el bazo de la lubina son útiles para monitorear la contaminación de las aguas residuales de las plantas de tratamiento de aguas residuales. (Al-Ghais, 2013) Las proporciones de la masa de órganos o tejidos particulares en relación con la masa corporal total también se pueden utilizar como índices de cambio en el estado nutricional y energético. Los índices organosomáticos comúnmente utilizados incluyen: índice hepatosomático (HSI) o hígado-somático (LSI), índice gonadosomático (GSI), índice viscerosomático (VSI) y índice esplenosomático (SSI). La suposición que generalmente se hace con estos índices es que los valores más bajos de lo normal indican una desviación de energía del crecimiento de órganos o tejidos para combatir un factor estresante (Barton, 2002).

El Índice de Evaluación de la Salud (HAI) es una extensión y refinamiento de un sistema de necropsia. Es un índice cuantitativo que permite comparaciones estadísticas de la salud de los peces entre conjuntos de datos. A las variables del índice se les asignan valores numéricos dependiendo de la gravedad o el daño sufrido por un órgano o tejido de un pez debido a factores estresantes ambientales. Este enfoque se ha utilizado para evaluar la salud general de las poblaciones de peces (Adams et al., 1993)

La prueba de micronúcleos (MN) detecta el efecto de agentes mutagénicos en los cromosomas mediante la identificación de fragmentos acéntricos y/o cromosomas rezagados que, cuando se dejan fuera del núcleo, forman estructuras características. Esta técnica fue adaptada para peces (Torres Bugarín et al., 2007) para evaluar los efectos de la exposición a sustancias carcinogénicas y/o mutagénicas. Los peces se consideran organismos bioindicadores ideales porque ocupan muchos eslabones de la cadena alimentaria, pueden acumular sustancias tóxicas y reaccionar fácilmente a bajas concentraciones de agentes mutagénicos. Además, los peces de agua dulce tienen una mayor cantidad de sangre que los peces de agua salada, lo que los hace muy útiles para experimentos de toxicología cuando se trabaja con células sanguíneas con fines de seguimiento.

Sin embargo, estos métodos para evaluar el bienestar de la fauna íctica implican la mortalidad de los individuos estudiados, lo que no es viable para especies endémicas y en peligro de extinción. Por ello, se utilizan otros métodos que no pongan en riesgo la conservación de estas especies sin procedimientos

invasivos. Uno de los indicadores ecológicos del cambio en un entorno determinado es la variación en la abundancia de la población de una o más especies. Esto puede observarse como una disminución o aumento en el número de individuos, su biomasa, su tamaño y edad promedio, así como una expansión o contracción de su rango de distribución a lo largo del tiempo (Pinna et al., 2023).

El análisis de la estructura de tallas de la población de peces es un método que proporciona información valiosa sobre la dinámica de crecimiento y supervivencia de la especie. La distribución de tamaños dentro de una población puede reflejar la salud general de los individuos, las tasas de crecimiento, y el éxito reproductivo de los individuos.

El estudio de la relación longitud-peso y los indicadores de condición corporal de los peces proporciona información sobre el crecimiento, la madurez, la reproducción, la nutrición y, en consecuencia, la salud de las poblaciones. Esto permite realizar estudios comparativos entre poblaciones, que luego pueden utilizarse en modelos predictivos de comportamiento o dinámica. Por lo tanto, el conocimiento de la condición corporal de las poblaciones de peces puede predecir cambios potenciales en poblaciones que están amenazadas de extinción o que habitan en sistemas perturbados (Cifuentes et al., 2012) y se utilizan frecuentemente para comparar el efecto de factores bióticos y abióticos sobre la salud. Las medidas de la condición de los peces han estado disponibles desde principios del siglo XX, siendo la primera medida de condición el factor de condición de Fulton (Bolger & Connolly, 1989). Desde entonces, la medición de la condición ha evolucionado y se han desarrollado varios enfoques nuevos para medir la condición. Recientes investigaciones estudiaron la idoneidad de un índice de condición novedoso, el índice de masa escalado (SMI) (Maceda-Veiga et al., 2014), basado en relaciones masa- longitud, para el análisis de los efectos que las presiones abióticas y bióticas tienen sobre la condición corporal, este índice se ajusta dependiendo de cada población, lo que lo convierte en un indicador específico. Dentro del estudio, el SMI funcionó mejor para explicar la variación espacial en la condición corporal que el método tradicional para estudios de peces índice de Fulton. La disminución del factor de condición puede indicar cambios en el almacenamiento de energía, el metabolismo y la actividad alimentaria debido a factores estresantes ambientales. Sin embargo, estos cambios también pueden ocurrir por razones distintas al estrés (por ejemplo, cambios estacionales y de desarrollo) y, por lo tanto, el uso de factores de condición en estos casos debe interpretarse con precaución.

1.9 Conservación de especies

1.9.1 Técnicas de conservación

La conservación es una disciplina enfocada en preservar, rescatar, mantener, estudiar y utilizar la biodiversidad como patrimonio. Esta conservación puede llevarse a cabo de dos maneras: in situ y ex situ. Ambas modalidades se complementan y permiten asegurar la conservación del patrimonio genético de las especies y sus poblaciones a mediano y largo plazo .

La conservación in situ es un proceso dinámico en el que las especies siguen expuestas a las presiones de la selección natural y a los efectos de aislamientos geográficos y reproductivos, tal como se han desarrollado sus poblaciones. Este método permite la evolución natural, facilitando el desarrollo de nuevas características genéticas y adaptaciones a los cambios ambientales. Además, promueve la coevolución con otras especies, generando variantes genéticas que mejoran los procesos adaptativos tanto en respuesta al ambiente como a los cambios genéticos de las especies acompañantes. Asimismo, la conservación in situ involucra a las comunidades locales, que poseen el control territorial y el conocimiento tradicional sobre el manejo y uso de los recursos naturales. Estas comunidades juegan un papel crucial en la conservación, ya que mantienen y transmiten este conocimiento de generación en generación, apoyando la preservación de la biodiversidad (Pezoa, 2001).

Las poblaciones que se encuentran distribuidas en fragmentos corren el riesgo de extinción si la cantidad de fragmentos ocupados disminuye. En este contexto, una medida de conservación a considerar es la incorporación de individuos, un proceso conocido como conservación ex situ. Los métodos ex situ para conservar especies amenazadas incluyen extraer a los miembros de una población de su hábitat natural y mantenerlos en condiciones artificiales, reintroducirlos en lugares dentro de su área de distribución histórica, o introducirlos en áreas fuera de su distribución nativa con menor frecuencia. Estas estrategias ayudan a aumentar la viabilidad de las poblaciones fragmentadas y a prevenir su extinción (Rojas-Castro & Araya-Crisóstomo, 2019).

1.9.2 Conservación de biodiversidad y especies en Chile

La conservación biológica se instaló en el discurso político internacional a partir de la Cumbre Mundial del Medio Ambiente en Río de Janeiro, durante 1992 comprometiendo a países signatarios, entre estos Chile, a impulsar la conservación y uso sustentable de sus recursos biológicos en el marco del

Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB, de aquí en adelante). Mientras avanza la discusión internacional sobre cómo y dónde proteger la biodiversidad en el planeta, su pérdida aun supera los esfuerzos de conservación, delineando un escenario complejo de abordar (JORQUERA-JARAMILLO et al., 2012).

Debido al preocupante estado de conservación de gran parte de la biodiversidad nacional, en 2017 se introdujo una nueva Estrategia Nacional de Biodiversidad. Uno de los objetivos principales de esta estrategia es enfocarse en la protección de las especies nativas. Para el año 2030, se propone reducir el número de especies que enfrentan problemas de conservación (clasificadas como En Peligro Crítico, En Peligro, o Vulnerable) y establecer una normativa sólida que favorezca la protección de las especies endémicas.

Luego de más de una década de tramitación en el Congreso, finalmente fue aprobada la Ley 21.600 que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) esto representa un paso significativo en la conservación y protección de la biodiversidad en Chile. Esta ley tiene como objetivo principal la conservación de la biodiversidad y la gestión sostenible de las áreas silvestres protegidas.

2 Pregunta de investigación

De acuerdo con los antecedentes presentados, la cuenca del río Biobío presenta usos múltiples que generan diversos impactos ambientales en la estructura y funcionamiento del ecosistema fluvial. En consecuencia, la fauna íctica se ve afectada, lo cual puede resultar particularmente severo para especies En Peligro y endémicas de la cuenca, como *Percilia irwini*.

¿Dónde se encuentran poblaciones de *Percilia irwini* en mejores condiciones según sus características poblacionales dentro de la red hídrica de la cuenca del río Biobío?

3 Objetivos

3.1 Objetivo general: Analizar la condición de *Percilia irwini* a través de la red hídrica del río Biobío para reconocer su relación con la presencia de múltiples estresores antrópicos y definir propuestas de conservación efectiva

3.2 Objetivos específicos:

1. Determinar zonas poblacionales de *Percilia irwini* en la red hídrica de la cuenca del río Biobío considerando las características genéticas, hidro-geomorfológicas de la cuenca y los estresores antrópicos.
2. Analizar la dinámica espaciotemporal de las características poblacionales de *P. irwini* en las distintas zonas identificadas.
3. Identificar zonas de alta condición poblacional de la especie que permitan su conservación y aquellas que albergan poblaciones en malas condiciones para realizar propuestas.

4 Metodología

4.1 Área de estudio y fuente de información

El área de estudio corresponde a la red hídrica de la cuenca del río Biobío, ubicada en la zona centro-sur (36°S – 38°S). La cuenca cuenta con un área de drenaje de 24.370 km², un orden de Strahler máximo de 7 en el curso principal del río y 10.719 Km de longitud de red hídrica. El río Biobío se caracteriza por un régimen de aporte mixto, lo que significa influencia pluvial y nival y alta pendiente.

Los datos analizados provienen de muestreos realizados por el Laboratorio de Ecología y Conservación de Peces de Agua Dulce (LEC-PAD) de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de Concepción y Centro EULA-Chile. Estos muestreos fueron parte de monitoreos de fauna íctica y el proyecto de investigación Fondecyt 1190647.

4.2 Selección y filtro de datos poblacionales

Desde la base de datos proporcionada por el LEC-PAD, se seleccionaron sitios que registraron la presencia de *Percilia irwini* y que incluían datos de longitud corporal y peso de los individuos capturados. Información básica y esencial para posteriores análisis de poblaciones. Además, datos espaciales como coordenadas geográficas y temporales como fecha de muestreo también fueron considerados.

Estos datos fueron organizados en una matriz para la elaboración de un archivo KML que permitió la elaboración de mapas con el software ArcMap v.10.xx (ESRI), con la finalidad de realizar una exploración visual de los datos recopilados de la cuenca. A partir de esta inspección se identificaron las áreas de la red hídrica que estaban poco representadas y se realizaron muestreos complementarios. Finalmente, se realizaron muestreos complementarios en la zona potamal del curso principal del río Biobío y los registros correspondientes fueron añadidos a la base de datos a utilizar.

4.3 Variables geomorfológicas de la cuenca y poblaciones genéticas de la especie

Para identificar las características geomorfológicas de la cuenca se utilizó la información proporcionada de los estudios de zonas de proceso funcional, los cuales indican las variables geomorfológicas de la cuenca estimadas a través de 16 variables (Elgueta et al., 2019).

Por otro lado, se contempló la genética de las poblaciones identificadas en el paper titulado “Human-induced habitat fragmentation effects on connectivity, diversity, and population persistence of an endemic fish, *Percilia irwini*, in the Biobio River basin” (Valenzuela-Aguayo et al., 2020).

4.4 Otra información relevante

A través de revisión bibliográfica se identificó información de gran importancia para el estudio, tal como el área de conservación que se encuentra localizado en el área de la desembocadura del río Biobío “Santuario de la naturaleza Humedal Desembocadura río Biobío” (Ambiente., 2023). También, medidas de conservación a través de campañas de control de depredadores en el río Quillaileo, por parte de la empresa Colbún, siendo una de las medidas de compensación por la central hidroeléctrica Angostura. Por otro lado, un estudio reciente, reveló una particularidad condición natural en el río Queuco, el cual produce cambios de caudal “explosivos” que causa mortandad de peces, pese a eso, las poblaciones mejoran con el tiempo (Bañales, 2023).

4.5 Selección de actividades antrópicas

Para identificar las actividades antrópicas relevantes en la cuenca del río Biobío, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura especializada. Esta revisión incluyó la consulta de fuentes como el estudio “Evolución y Perspectivas a 30 años de su Creación” (EULA, Chile, 2020) e informes de investigación “Patrones de distribución de extracción de áridos en ríos andinos del centro-sur de Chile”, realizado por Eduardo Méndez en 2023, “Ríos Andinos de Chile como Cuerpos Receptores de Efluentes: Análisis de Patrones Espaciales”, elaborado por Rocío Pedreros en 2022 y “Efectos de las alteraciones del régimen de caudal en la estructura de ensambles de macroinvertebrados y peces: un enfoque taxonómico y funcional”, elaborado por Anaysa Elgueta en 2020.

Los estudios proporcionaron la información necesaria para la cuantificación y representación visual de extracciones de áridos, descargas de efluentes industriales y domésticos, presencia de bocatomas y barreras junto con la presencia de influencia de hydropeaking (fluctuaciones de caudal) asociado a las centrales hidroeléctricas en la red hídrica de la cuenca del río Biobío. La información se utilizó para generar un archivo en formato KML, del cual, posteriormente se elaboraron mapas con la ubicación precisa de cada actividad

antrópica de la cuenca del río Biobío, empleando el software ArcMap v.10.xx (ESRI).

La inspección visual de mapas permitió identificar patrones espaciales y relaciones entre las actividades antrópicas y los sitios de muestreo de peces registrados anteriormente. Para organizar sistemáticamente esta información, se generaron tablas que agruparon los sitios de muestreo según las características propias de la cuenca y las actividades antrópicas presentes en cada área. Esta clasificación permitió definir de manera coherente la correspondencia entre áreas que sugieren teóricamente albergar poblaciones de *P. irwini* y determinadas actividades antrópicas. A estas áreas se les denominó “zonas poblacionales”.

4.6 Cálculo de índice de masa escalado como indicador de factor de condición corporal

Se estimó el factor de condición para cada zona poblacional mediante el índice de masa escalado (Maceda-Veiga et al., 2014) calculado según la fórmula

$$SMI = Wi \left(\frac{L0}{Li} \right)^{bSMA}$$

En donde:

- Wi: Peso total de cada individuo en gramos
- Li: Longitud total de cada individuo en centímetros
- L0: Longitud promedio de los individuos
- bSMA: Pendiente de la ecuación

Además, cabe mencionar que este cálculo se ajustó para cada población, lo que implicó realizar el cálculo individual por zona poblacional en el año de muestreo correspondiente.

Consecuentemente, se obtuvo un solo valor de Índice de Masa Escalado (SMI) por cada zona poblacional por campaña de muestreo, por lo tanto, una zona puede acumular tantos valores de SMI como número de muestreos a través del tiempo. Posteriormente, se realizaron análisis estadísticos descriptivos con los

valores de SMI obtenidos, lo que permitió un análisis de la distribución y variabilidad del SMI en cada zona poblacional.

4.7 Clasificación de SMI según medidas de condición corporal.

Dado que el Índice de Masa Escalado (SMI) es interpretado como un indicador de la condición corporal y a que no existe una clasificación de valores estandarizados para la especie *P. irwini*, se clasificaron los valores de SMI en rangos que reflejan distintos niveles de condición corporal.

Los valores fueron agrupados utilizando percentiles que lograran una mayor distribución de los valores para su mejor representación, los percentiles utilizados fueron: 15%, 35%, 50%, 65% y 85%. Se estableció que valores menores o iguales al 35% indican valores de condición corporal bajos, los comprendidos entre el 35% y el 65% serían medios, y valores iguales o superiores al 65% se consideran altos.

Para facilitar la interpretación visual de estos rangos de condición corporal, se asignaron colores específicos: rojo para valores bajos, naranja para medios y verde para altos.

4.8 Cálculo de abundancia estandarizada

La abundancia estandarizada se estimó utilizando la fórmula:

$$Abundancia\ estándar = \frac{N^{\circ}\ de\ individuos}{N^{\circ}\ de\ muestreos}$$

Se obtuvo el valor de abundancia estandarizada para zona poblacional en cada muestreo. Se utilizó el mismo criterio de clasificación por percentiles que para el SMI (15%, 35%, 50%, 65% y 85%) para definir las categorías de abundancia (baja, media y alta).

Para facilitar la interpretación visual de estos rangos de abundancia, se asignaron colores específicos: celeste para valores bajos, rosados para medios y azul para altos.

4.9 Análisis uni-variados espaciales y temporales

Se realizaron análisis estadísticos y visuales para evaluar la distribución y variabilidad de los datos de SMI y abundancia estandarizada. Primero, se inspeccionó visualmente la distribución de los valores de SMI y abundancias estandarizadas mediante gráficos boxplot para cada zona poblacional con al menos 5 años de datos. Cada boxplot se identificó con un color, según si su valor promedio era alto, medio o bajo.

Se llevaron a cabo análisis univariados espaciales y temporales para el SMI y la abundancia estandarizada. La normalidad de los datos se evaluó con el análisis de Shapiro. Para determinar diferencias significativas entre zonas poblacionales, se utilizó el test de Kruskal-Wallis debido a la no normalidad de los datos. Todos los análisis y representaciones gráficas se realizaron con el software Statistica

4.10 Análisis multivariados

Se calculó el índice de dispersión multivariado (MVDISP) utilizando el software PRIMER v.6 para determinar la variabilidad temporal de los valores de SMI, longitud y abundancia estandarizada entre campañas de muestreo en cada zona poblacional. Este análisis multivariado se basó en una matriz de distancia euclidiana, la cual fue previamente normalizada y sometida a una transformación logarítmica para equiparar la escala de medición de las variables.

4.11 Identificación de zonas de alta y baja condición poblacional

Se recopilaron en tablas resumen los resultados de los análisis univariados y multivariados basados en los valores de SMI, abundancia estandarizada y longitud total, junto con otra información relevante y las actividades antrópicas presentes en cada zona y sus posibles efectos sinérgicos/acumulativos. Esta recopilación tiene como objetivo establecer un marco para identificar zonas poblacionales que puedan favorecer la conservación de la especie y aquellas que requieran medidas de manejo específicas.

Según los valores de los parámetros registrados y la relación entre ellos, se propuso clasificar las zonas poblacionales en alta, media y baja condición poblacional. Para determinar esta clasificación, se consideraron dos escenarios:

1. **Mejor condición poblacional:** Caracterizada por alta condición corporal, alta abundancia y baja variabilidad temporal.
2. **Peor condición poblacional:** Caracterizada por baja condición corporal, baja abundancia y alta variabilidad temporal.

Entre estos dos extremos, existe un gradiente con diversas combinaciones de variables. No existe una única respuesta para cada combinación, ya que la condición poblacional es zona dependiente, por ende, la clasificación de condición poblacional además de los valores de las variables poblacionales depende de las variables antrópicas y de otra información relevante.

Para facilitar la interpretación visual de estos rangos de condición poblacional, se asignaron colores específicos: rojo para valores bajos, naranja para medios y verde para altos.

4.12 Medidas de manejo para la especie.

En cuanto a las medidas de manejo, se realizó revisión de la nueva Ley N° 21.600 que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SBAP), a través de este se sugieren medidas para el manejo de la especie, específicas para cada clasificación, de alta condición poblacional, media condición poblacional y baja condición poblacional, que cuenten con respaldo normativo según dicha ley.

5 Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) que esta investigación ayuda a alcanzar:

5.1 ODS 15 Vida de ecosistemas terrestres

Los ecosistemas acuáticos se encuentran insertos y estrechamente conectados con los ecosistemas terrestres. Específicamente, las redes hídricas resultan de la captación y drenaje dentro del área de una cuenca, por lo tanto, la conservación de ríos y su biota dependen en parte de la gestión de los sistemas terrestres adyacentes. Esta investigación contribuye a comprender como las actividades antrópicas presentes en el área de la cuenca afectan a los ecosistema acuáticos, a través del estudio de la condición de una especie acuática endémica. Al determinar y analizar estos efectos, se promueve la gestión sostenible y conservación de los ecosistemas terrestres y acuáticos.

6 Resultados

6.1 Determinación de zonas poblacionales

6.1.1 Selección de datos poblacionales

Del total de estaciones de muestreo con registros de *P. irwini* se seleccionaron 87, las cuales contaban con datos de longitud, peso, coordenadas geográficas y fecha de muestreo. Un total de 9036 individuos fueron registrados en estas estaciones y contaban con dichos datos (Figura 4). Los registros más antiguos correspondieron a los años 1997, 1998, 2000, 2003 y 2006. En la base de datos, entre el año 2006 y 2015, existió un intervalo temporal sin datos, pero a partir del año 2016 existen registros continuos hasta el año 2023.

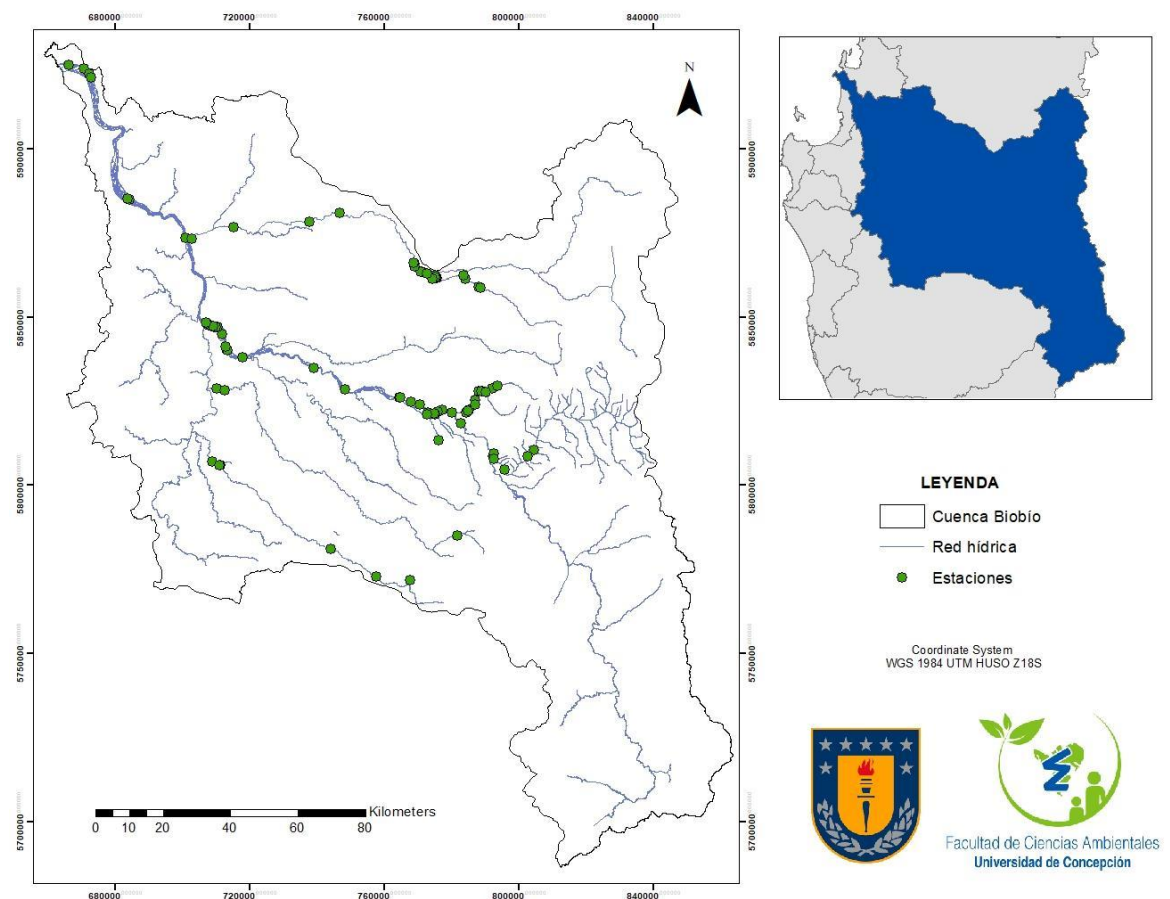


Figura 4: Localización geográfica de las estaciones seleccionadas en la red hídrica de la cuenca del río Biobío.

6.1.2 Actividades antrópicas.

De las diferentes tipologías de actividades antrópicas analizadas, se constató la presencia de 19 barreras que bloquean el curso del río y de 11 zonas de extracción de áridos (Figura 5). El mayor número de extracción de áridos se observó en el curso principal del río Biobío. Por otra parte, las barreras se localizan principalmente en el tributario río Laja. Este río posee una barrera natural que corresponde a un salto de agua (Salto del Laja) y 3 centrales hidroeléctricas de pasada y una de embalse. El curso principal del río Biobío cuenta con barreras que corresponden a centrales hidroeléctricas de embalse, que producen cambios en el régimen de caudal (hydropeaking), afectando tramos de río y áreas aguas abajo de estas.

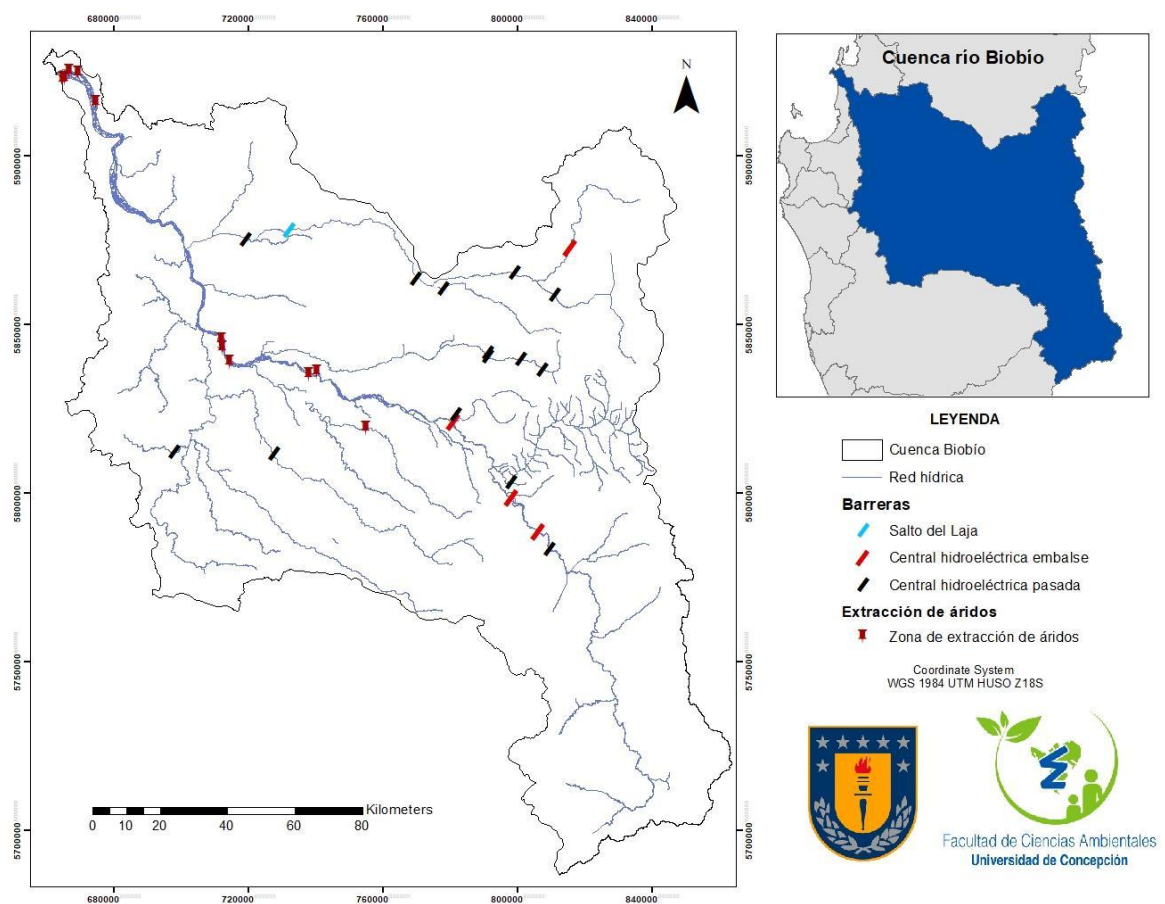


Figura 5: Localización geográfica de las barreras y extracción de áridos (actividades antrópicas) presentes en la red hídrica de la cuenca del río Biobío

En la red hídrica de la cuenca existe un total de 62 bocatomas (Figura 6). El río tributario Laja es el que presenta mayor número y corresponden principalmente a canales de riego. Luego, el río tributario Renaico presenta 7 bocatomas.

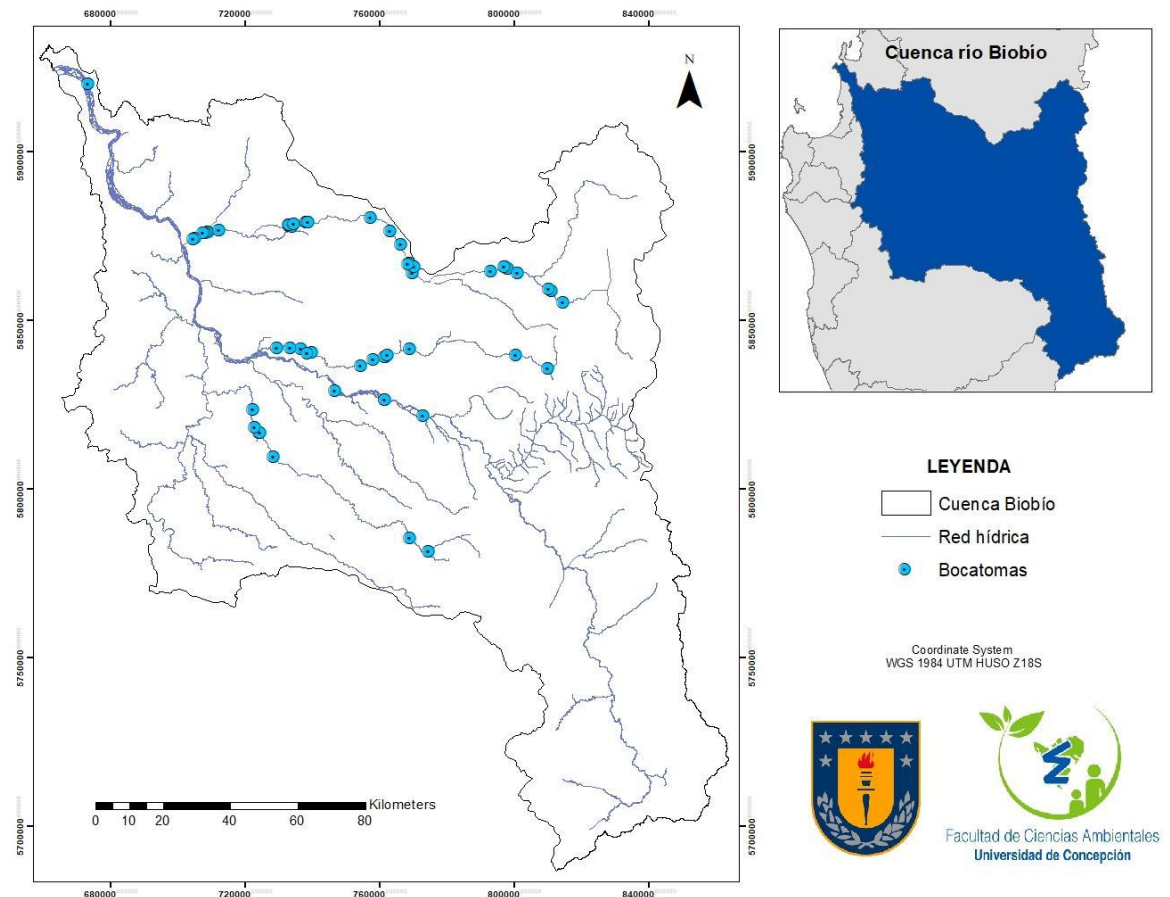


Figura 6: Localización geográfica de las barreras y extracción de áridos (actividades antrópicas) presentes en la red hídrica de la cuenca del río Biobío.

En la red hídrica de la cuenca existen 46 puntos de descargas de efluentes industriales y 24 de efluentes domésticos (Figura 7). La mayoría de estas descargas de efluentes industriales y domésticos se observan en el curso principal del río Biobío. El resto se distribuyen en el río tributario Laja y el río tributario Renaico.

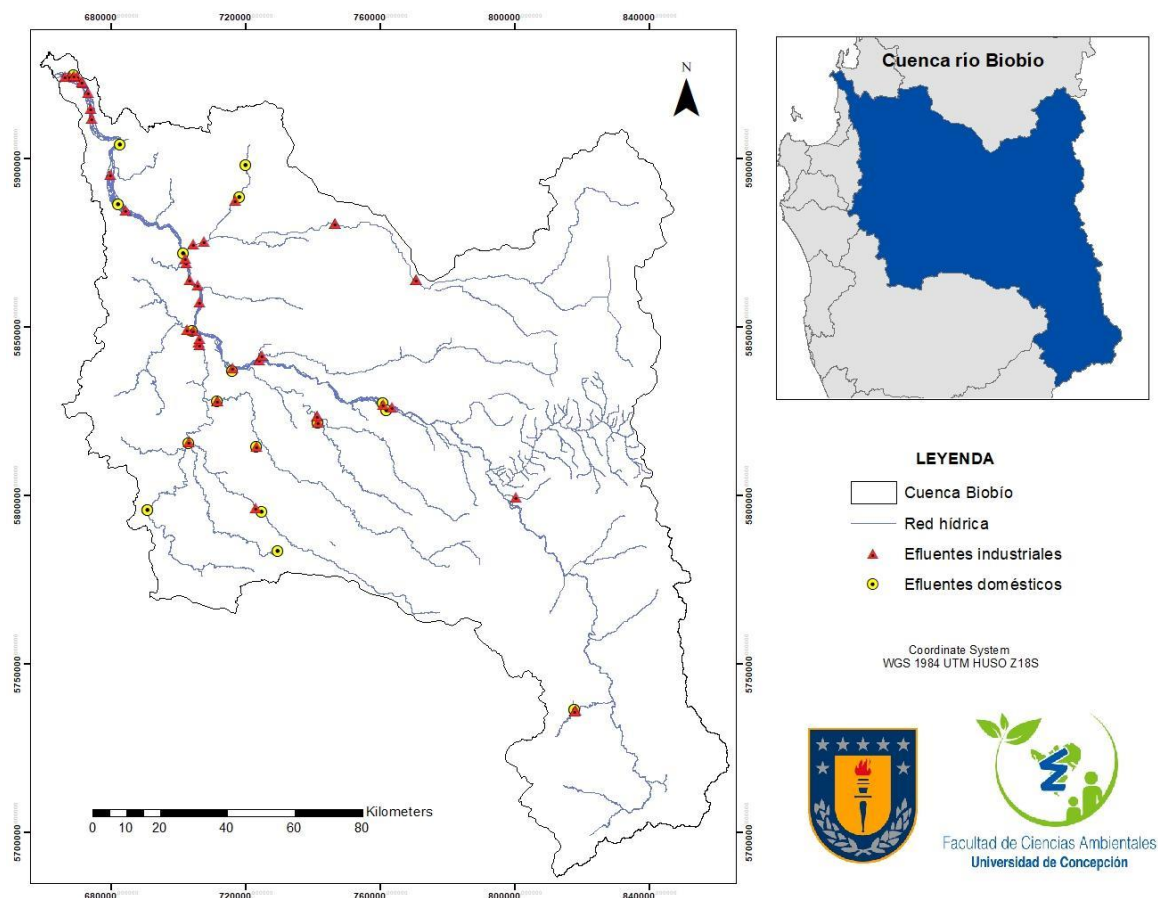


Figura 7: Localización geográfica de las efluentes industriales y domésticos (actividades antrópicas) presentes en la red hídrica de la cuenca del río Biobío.

6.1.3 Determinación de zonas poblacionales de *P. irwini*.

Se determinaron 18 zonas poblacionales ubicadas en los tramos señalados en la Tabla 1 y Figura 8. Las zonas poblacionales fueron renombradas según su ubicación de cada zona para facilitar la comprensión. Las actividades antrópicas y características geomorfológicas de la red hídrica que explican la zonificación se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1: Zonas poblacionales determinadas en la red hídrica de la cuenca del río Biobío.

Cada zona cuenta con un nombre único y distintivo y una descripción de su localización geográfica. El número de estaciones corresponde al número de sitios con datos poblacional

Zona	Nombre	N° de estaciones	Descripción
1	BB-Pang-Ang	3	Se ubica desde la confluencia del río Queuco hasta aguas arriba de la central hidroeléctrica Angostura.
2	BB-Emb-Ang	2	Está ubicada en la zona de embalse de la central hidroeléctrica Angostura.
3	BB-Ang-StaBar	7	Se encuentra desde aguas abajo de la central hidroeléctrica Angostura hasta aguas arriba de la localidad de Santa Bárbara.
4	BB-StaBar-Nac	7	Se localiza desde aguas abajo de la localidad de Santa Bárbara hasta aguas arriba de la localidad de Nacimiento.
5	BB-Nac	7	Se encuentra ubicada en la localidad de Nacimiento.
6	BB-Laja-StaJua	1	Se ubica aguas abajo de la confluencia del río Laja.
7	BB-StaJua	2	Se localiza en la localidad de Santa Juana.
8	BB-Conc	4	Ubicada desde aguas abajo del río Biobío hasta aguas arriba de la desembocadura del río Biobío.
9	Laja-Ant	6	Se ubica aguas abajo de la central hidroeléctrica Rucúe hasta aguas arriba de la restitución de la central hidroeléctrica Quilleco.
10	Laja-Quill-Salto	6	Se localiza aguas abajo de la restitución central hidroeléctrica Quilleco hasta aguas arriba de Saltos del Laja.

11	Laja-Confl	3	Se ubica aguas abajo de Salto del Laja, hasta aguas arriba de la confluencia del río Biobío.
12	Rucúe	8	Ubicada en el tributario río Rucue.
13	Queuco	5	Ubicada en el tributario río Queuco.
14	Huequecura	10	Ubicada en el tributario río Huequecura y Quillaileo.
15	Quilme	3	Ubicada en el tributario río Quilme.
16	Lirquen	2	Ubicada en el tributario río Lirquén.
17	Mininco	1	Ubicada en el tributario río Mininco.
18	Renaico	10	Ubicada en el tributario río Renaico y río Malleco.

Tabla 2: Zonas poblacionales determinadas en la red hídrica de la cuenca del río Biobío.

Cada zona cuenta con un nombre único y distintivo y una descripción de su localización geográfica. El número de estaciones corresponde al número de sitios con datos poblacional.

Zona	Nombre	Actividad antrópica
1	BB-Pang-Ang	Aguas abajo de tres barreras producidas por las centrales hidroeléctricas Ralco, Pangue y Palmucho.
2	BB-Emb-Ang	Zona de embalse producida por la central hidroeléctrica Angostura.
3	BB-Ang-StaBar	Aguas abajo de una barrera producida por la central hidroeléctrica Angostura. En la zona existe presencia de una bocatoma canal llamada Biobío sur.
4	BB-StaBar-Nac	Aguas abajo de dos bocatomas llamadas: canal Biobío norte y canal El Parrón. Dos efluentes domésticos de la empresa Essbio y dos efluentes industriales. En zona se encuentra una bocatoma de canal llamada Picitue, 4 puntos de extracción de áridos; Carlos de Purén, Mirador del Biobío, Fundo El Sauce y La Suerte. Una

		descarga de efluente doméstico proveniente de la empresa Essbio y una descarga de efluente industrial.
5	BB-Nac	Aguas abajo de una extracción de áridos en Fundo Tralpenes. En la zona se encuentra presente la descarga de efluentes industriales provenientes de la empresa CMPC.
6	BB-Laja-StaJua	Aguas abajo de 5 puntos de descargas de efluentes industriales y 1 punto de descarga de efluente doméstico.
7	BB-StaJua	Se encuentra aguas arriba de un efluente doméstico. En la zona se encuentra una descarga de efluente industrial.
8	BB-Conc	Aguas abajo de tres puntos de descarga de efluentes industriales, de un punto de efluente doméstico y de una extracción de áridos de la interconexión vial. En zona se encuentran 4 puntos de extracciones de áridos; Arenera Pacífico, San Pedro de la Paz, Boca sur y río Biobío. También 7 puntos de descarga de efluentes industriales.
9	Laja-Ant	Aguas abajo de la barrera Antuco y de las bocatomas; canal Ortiz, canal Ríos Mirrihue Pinochet, canal Zañartu, canal Collao, canal Antuco y captación Laja.
10	Laja-Quill-Salto	Aguas abajo de la barrera Quilleco, la bocatoma canal Bulnes, efluente industrial del centro de cultivos de salmónidos. En zona se encuentran 9 bocatomas; canal Laja Diguillin, canal los Litres, canal Laja, canal Siberia, canal Lo Piedra, canal Lo Moreno, canal La Mancha, canal Roo Claro, canal Batuco. Un efluente industrial, sistema de disposición efluente Ptas campanario Yungay.
11	Laja-Confl	Aguas abajo de 11 bocatomas; canal La Aguada, canal La Piscina, bomba Isla El Salto uno, bomba Isla El Salto dos, bomba Isla El Salto tres, canal Quilales, canal bomba La Playita, canal Morales Quijada, canal El Salto, canal Dueñas y canal bomba Mardones, dos barreras, una de ellas natural por Saltos del Laja. En zona se encuentran 8 bocatomas; bomba san Gabriel, bomba Panilemu, bomba Locomóvil, bomba Pedro Pascal, bomba Coigue, bomba Tarpellanca sur, bomba Stocker,

		canal bomba Charlon. También dos descargas de efluentes industriales.
12	Rucúe	
13	Queuco	Alto porcentaje de especies introducidas
14	Huequecura	Alto porcentaje de especies introducidas
15	Quilme	Alto porcentaje de especies introducidas
16	Lirquen	Alto porcentaje de especies introducidas
17	Mininco	Alto porcentaje de especies introducidas
18	Renaico	En zona se encuentran 7 bocatomas; canal Cule, canal Jauja, canal Stagno, canal Manzanache, aguas de Renaico, Tuc Santa Ana Parronal y San Miguel, canal Molino el globo San Gabriel. También una barrera llamada Renaico, 5 descargas de efluentes industriales y 2 descargas de efluentes domésticos.

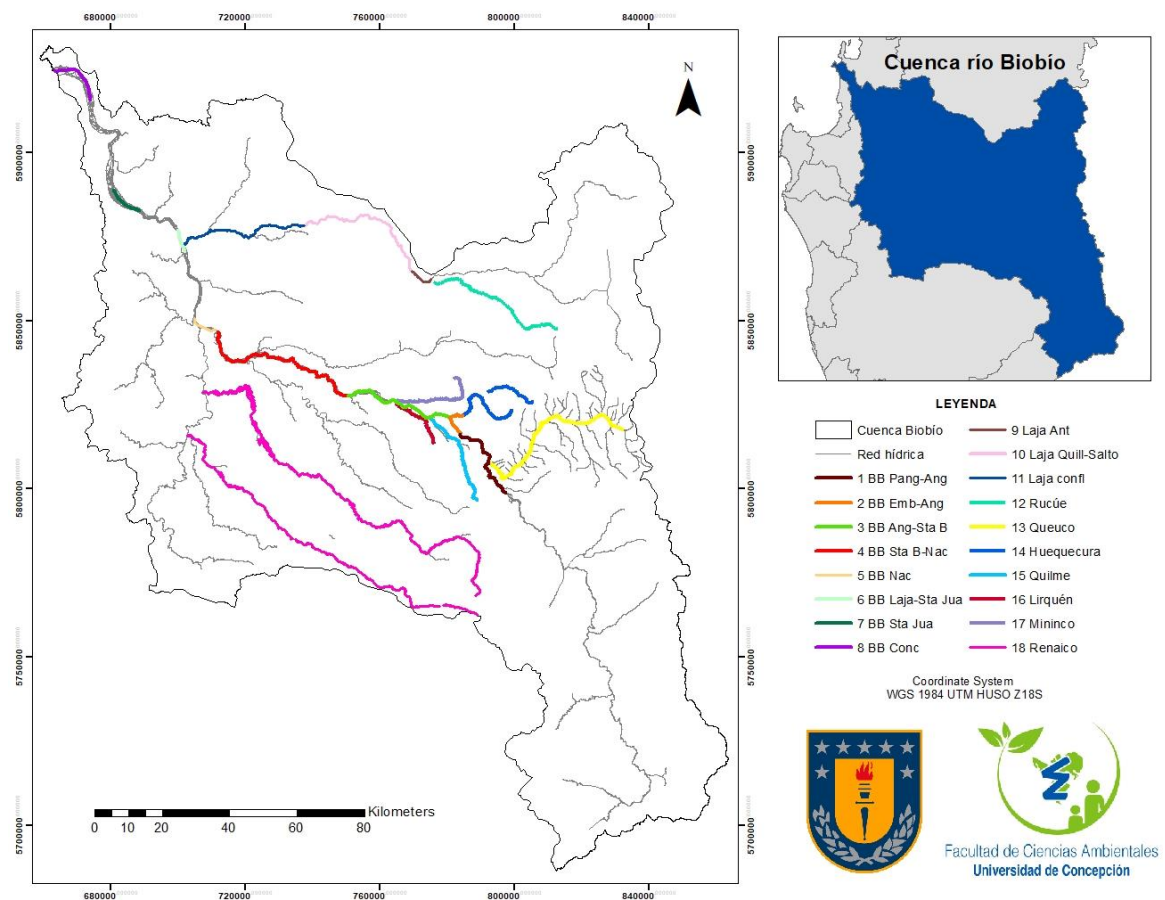


Figura 8: Localización y extensión de las zonas poblacionales de *P. irwini* en la red hídrica de la cuenca del río Biobío. Cada color representa una zona poblacional distinta.

Las zonas poblacionales pueden considerar una o más estaciones de muestreo (figura 9) y representan gran parte de la red hídrica de la cuenca. Desde la zona 1 a la zona 8 se ubican en el curso principal del río y están dispuestas en orden secuencial desde la zona superior de la cuenca a la inferior. Esta disposición implica que cada zona poblacional recibe influencia de las actividades antrópicas presentes aguas arriba. Las zonas 9 a la 12 se sitúan en el tributario río Laja, también organizadas en secuencia desde aguas arriba hacia aguas abajo, con su tributario, río Rucúe, designado como zona poblacional 12. Finalmente, las zonas 13 a la 18 se ubicaron en otros ríos tributarios y siguen el mismo patrón de ordenación desde aguas arriba hacia aguas abajo.

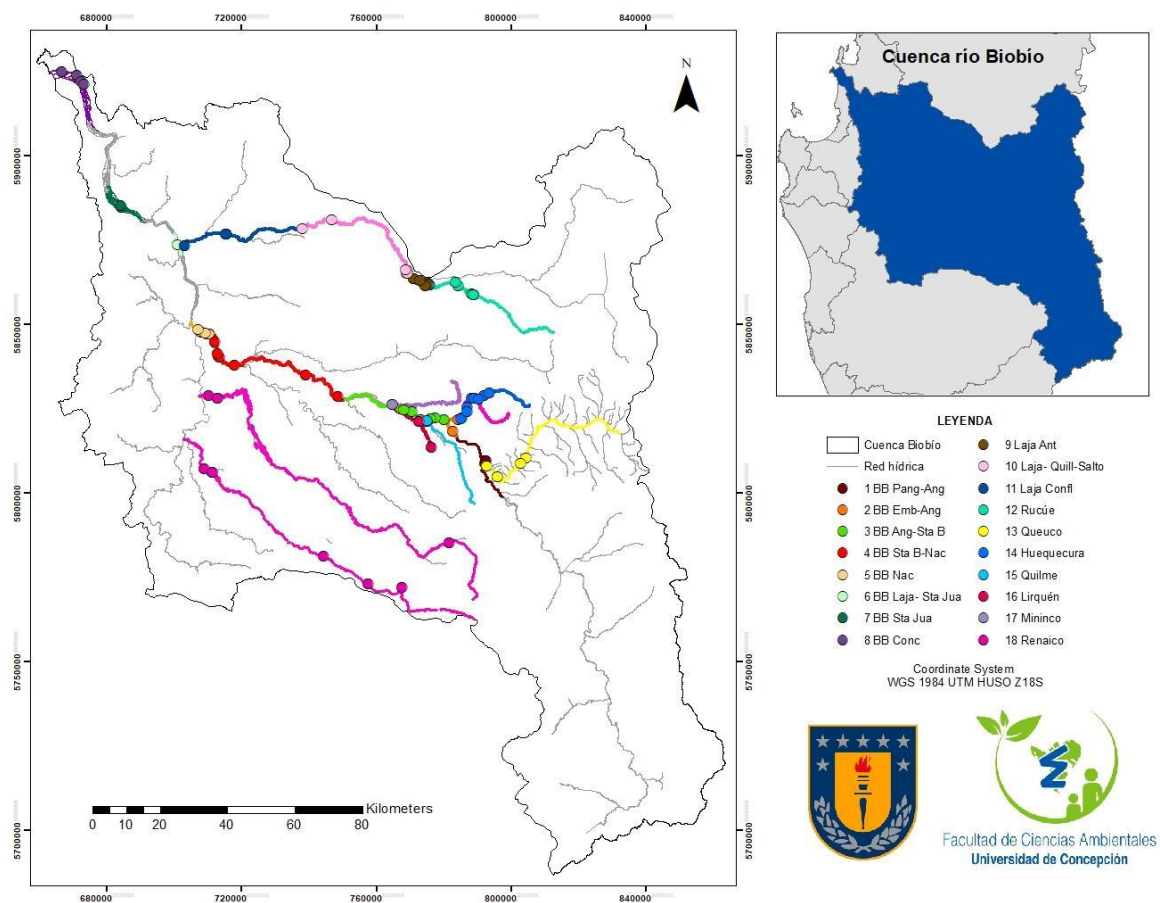


Figura 9: Localización geográfica de los sitios de muestreo seleccionados y su correspondencia con cada zona poblacional en la red hídrica de la cuenca del río Biobío.

6.2 Dinámica espaciotemporal de las características poblacionales

6.2.1 Índice de masa escalado.

En la Tabla 3 se presentan los valores de parámetros poblacionales de *P. irwini* en cada una de las 18 zonas poblacionales. Entre los valores de SMI, el valor mínimo correspondió a la zona 3 BB-Ang-StaBar y el valor máximo a la zona 14 Huequecura. Las zonas poblacionales con mayor número de individuos fueron las zonas 5 BB Nac, 9 Laja Ant y 14 Huequecura. Por otro lado, las zonas 6 BB

Laja-Sta Jua y 7 BB Sta Jua exhibieron una menor densidad poblacional en el contexto del estudio.

Tabla 3: Estadística del índice de masa escalado (SMI) por cada una de las zonas.

Considerando también la longitud promedio (LT X), el peso promedio (W X) y la clasificación de condición corporal según los percentiles (Tabla 5), donde B indica baja, M media y A

Zona	Nombre	N° individuos	Promedio	Mínimo	Máximo	Desv. estándar	LT X	W X	Clasificación
1	BB-Pang-Ang	238	1,027	0,057	4,854	0,769	4,132	1,111	M
2	BB-Emb-Ang	118	1,327	0,166	3,984	0,769	4,565	1,464	M
3	BB-Ang-StaBar	675	1,540	0,015	5,164	0,934	4,850	1,774	M
4	BB-StaBar-Nac	704	0,868	0,159	3,079	0,528	4,089	0,954	B
5	BB-Nac	1581	0,881	0,081	4,649	0,532	4,135	0,971	B
6	BB-Laja-StaJua	22	0,582	0,210	1,165	0,262	3,513	0,602	B
7	BB-StaJua	74	1,333	0,265	3,032	0,783	4,630	1,433	M
8	BB-Conc	157	0,747	0,174	2,636	0,540	3,825	0,814	B
9	Laja-Ant	1446	2,180	0,240	5,800	1,021	5,548	2,459	A
10	Laja-Quill-Salto	496	1,234	0,032	4,713	0,796	4,523	1,353	M
11	Laja-Confl	144	1,038	0,219	3,355	0,523	4,225	1,112	M
12	Rucúe	645	1,862	0,064	5,387	1,141	4,401	1,192	A
13	Queuco	521	1,096	0,124	4,637	0,615	5,598	2,549	M

14	Huequecura	1136	2,182	0,309	6,579	1,089	5,378	2,123	A
15	Quilme	352	1,938	0,151	4,716	0,903	5,586	2,359	A
16	Lirquen	134	2,142	0,538	4,680	0,874	5,139	2,024	A
17	Mininco	131	1,783	0,199	4,464	0,971	3,948	1,068	A
18	Renaico	462	0,910	0,061	4,365	0,742	4,805	1,737	M

Tabla 4: Parámetros descriptivos del conjunto de datos índice de masa escalado (SMI) (n= 9036).

Índice de masa escalado	
Mínimo	0,01561
Q1	0,72211
Mediana	1,21235
Media	1,49017
Q3	2,06838
Máximo	6,57963

6.2.2 Clasificación de condición corporal.

Los valores del índice de condición corporal (SMI) fueron representados en la Tabla 5. Se consideró como bajos, aquellos valores de SMI $\leq 0,900$, la clasificación media consideró valores entre 0,901-1,660, los valores $\geq 1,661$ representan clasificación de alta condición corporal.

Tabla 5: Categorías de clasificación según percentiles de los valores de SMI para *Percilia irwini* en la red hídrica de la cuenca del río Biobío

Percentiles	
15%	0,532
35%	0,901
50%	1,212
65%	1,661
85%	2,603
BAJO	<0,901
MEDIO	0,902-1,660
ALTO	>1,661

La clasificación de los valores de SMI permitió identificar 4 zonas poblacionales con baja condición corporal, 8 zonas poblacionales con condición corporal media y 6 zonas poblacionales con alta condición corporal (Tabla 3). Las zonas con poblaciones caracterizadas por una alta condición corporal se distribuyen a lo largo de los ríos tributarios Laja (zona 9 Laja Ant, Rucúe, Huequecura, Quilme, Lirquén y Mininco) (Figura 10), en las cuales, el peso promedio supera 1 gramo y longitudes que oscilan entre 3,9 y 5 cm. Entre las zonas de condición corporal media, cuatro se encuentran en el curso principal del río Biobío (1 BB-Pang-Ang, 2 BB-Emb-Ang, 3 BB-Ang-StaBar y 7 BB-StaJua), mientras que otras cuatro están en tributarios (zonas 10 Laja-Quill-Salto, 11 Laja-Confl, 13 Queuco y 18 Renaico). Por otro lado, las zonas con baja condición corporal se ubican principalmente en el cauce principal (zonas 4 BB-StaBar-Nac, 5 BB-Nac, 6 BB-Laja-StaJua y 8 BB-Conc), y en algunos casos el peso promedio (W X) no supera 1 gramo, con longitudes promedio entre 3 y 4 cm (Tabla 3).

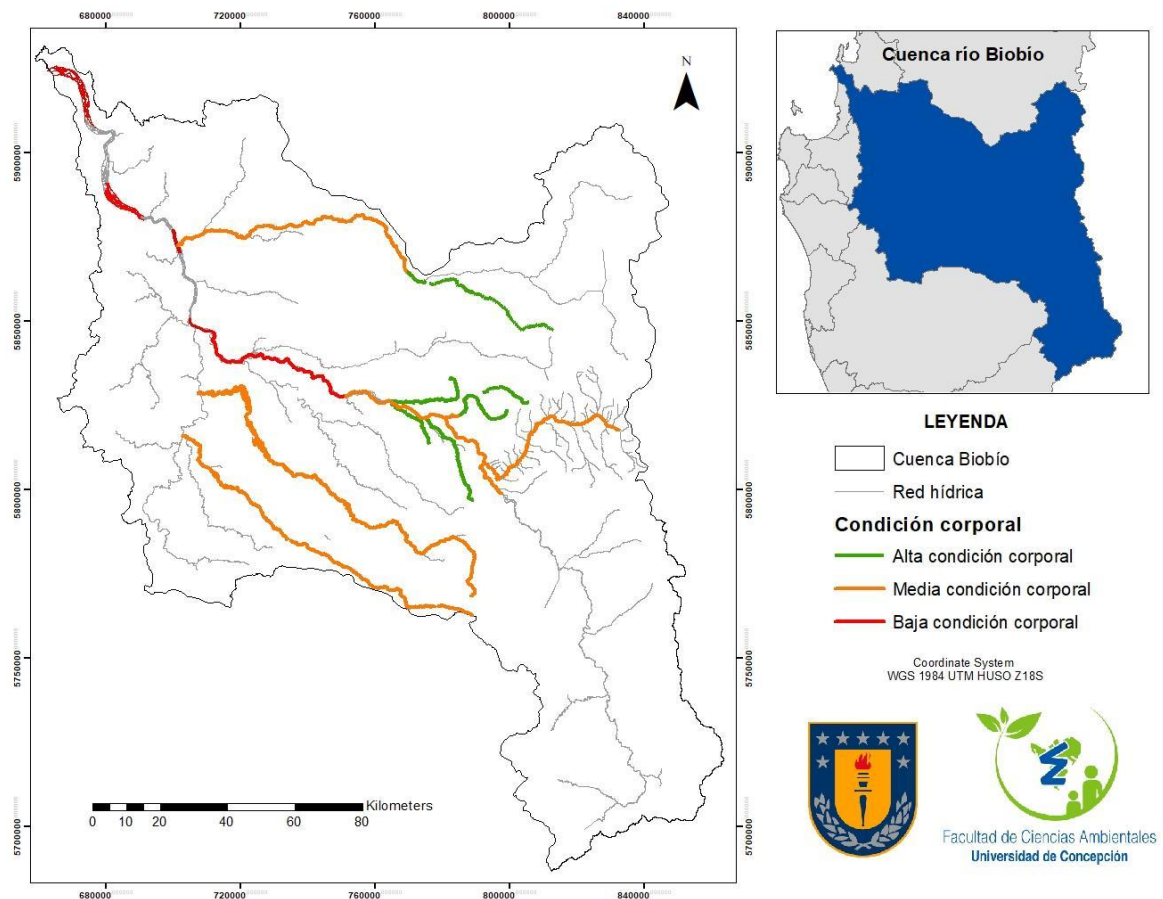


Figura 10: Localización y extensión de cada tipo de zona poblacional de *P. irwini*, según su valor promedio de condición corporal. *Cada color indica una categoría distinta (alta, media y baja).*

6.2.3 Análisis univariados por índice de masa escalado

El análisis del promedio del índice de masa escalado (SMI) muestra una clara tendencia de las zonas poblacionales de los ríos tributarios a presentar valores altos de condición corporal, por el contrario, las zonas del curso principal del río Biobío presentan una baja condición poblacional. Además, revela que la mayoría de las zonas poblacionales muestran una baja variabilidad, sin embargo, la zona 7 BB-StaJua exhibe la mayor variabilidad (Figura 11). Entre las zonas clasificadas con alta condición corporal, las zonas 16 y 17 mostraron mayor variabilidad dentro de esta categoría. Destaca la zona poblacional 18, cercana al límite de la

categoría baja condición corporal. Las zonas 1 y 11 son caracterizadas por valores de SMI medio-bajo, a diferencia de la zona 3, que se sitúa en el rango medio-alto. Finalmente, las cuatro zonas clasificadas en la categoría de baja condición corporal, mostrando una baja variabilidad en el SMI, siendo la zona 6 la que presenta el promedio más bajo de SMI. La prueba de Kruskal-Wallis reveló la existencia de diferencias significativas para los valores de SMI entre zonas, con un valor de $p < 0.001$ (Figura 11).

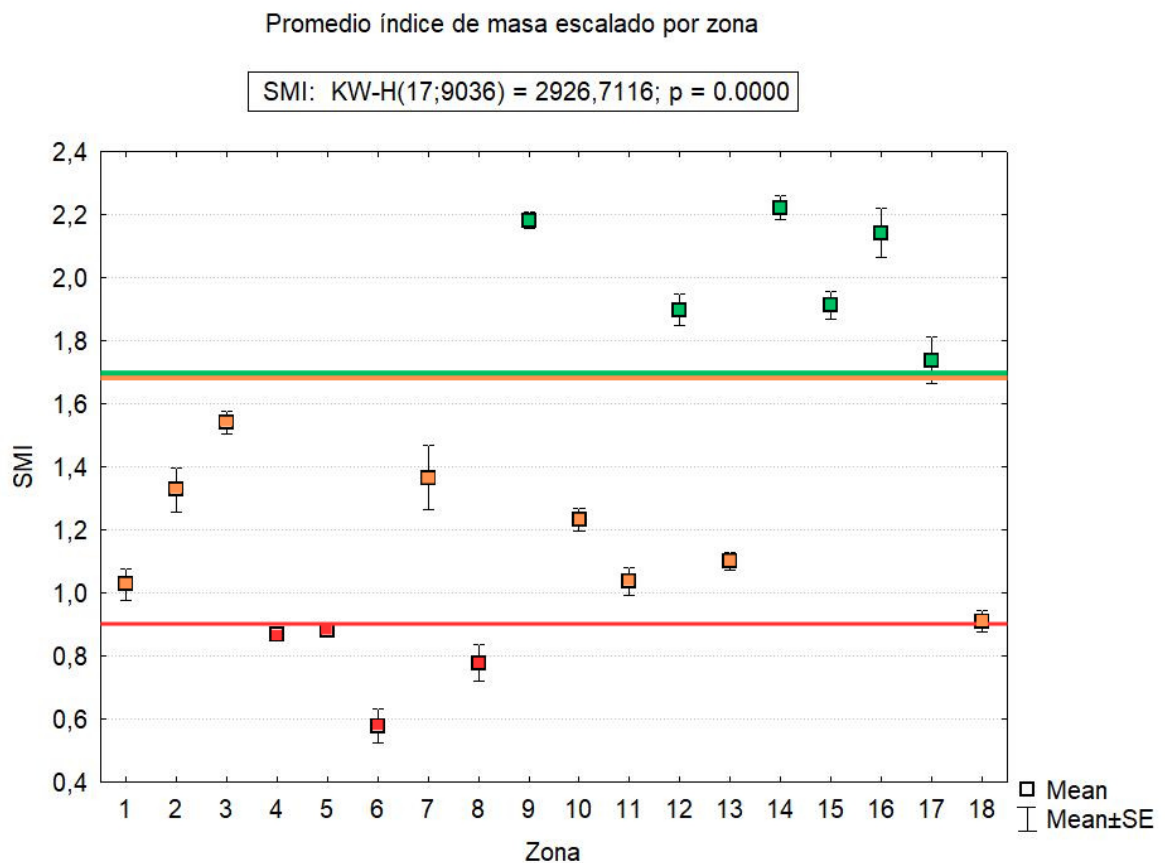


Figura 11: Gráfico de cajas basado en los valores de SMI para cada zona poblacional.

Cada caja representa el valor promedio de SMI y los bigotes el error estándar. El color de cada caja indica su categoría según su valor promedio de SMI y las líneas señalan los límites entre ellas.

En las zonas poblacionales de la categoría de alta condición corporal se observó baja variabilidad temporal, por lo que cada zona mostró valores similares de SMI en el tiempo (Figura 12). Sin embargo, la zona 12 Rucúe, mostró una disminución importante en su valor promedio en el año 2016, alcanzando la clasificación de baja condición corporal, no obstante, se recupera en los años siguientes. Un patrón similar pudo ser observado en la zona 14 Huequecura. La línea temporal de la zona 9 Laja Ant mostró en un principio un alto valor promedio de SMI, pero luego experimentó una disminución considerable, y finalmente se mantuvo constante, aunque siempre en la categoría de alta condición corporal. Un patrón completamente distinto fue observado en la zona 15 Quilme, que mostró en un primer momento un aumento en el valor promedio de SMI, pero luego decae a través del tiempo.

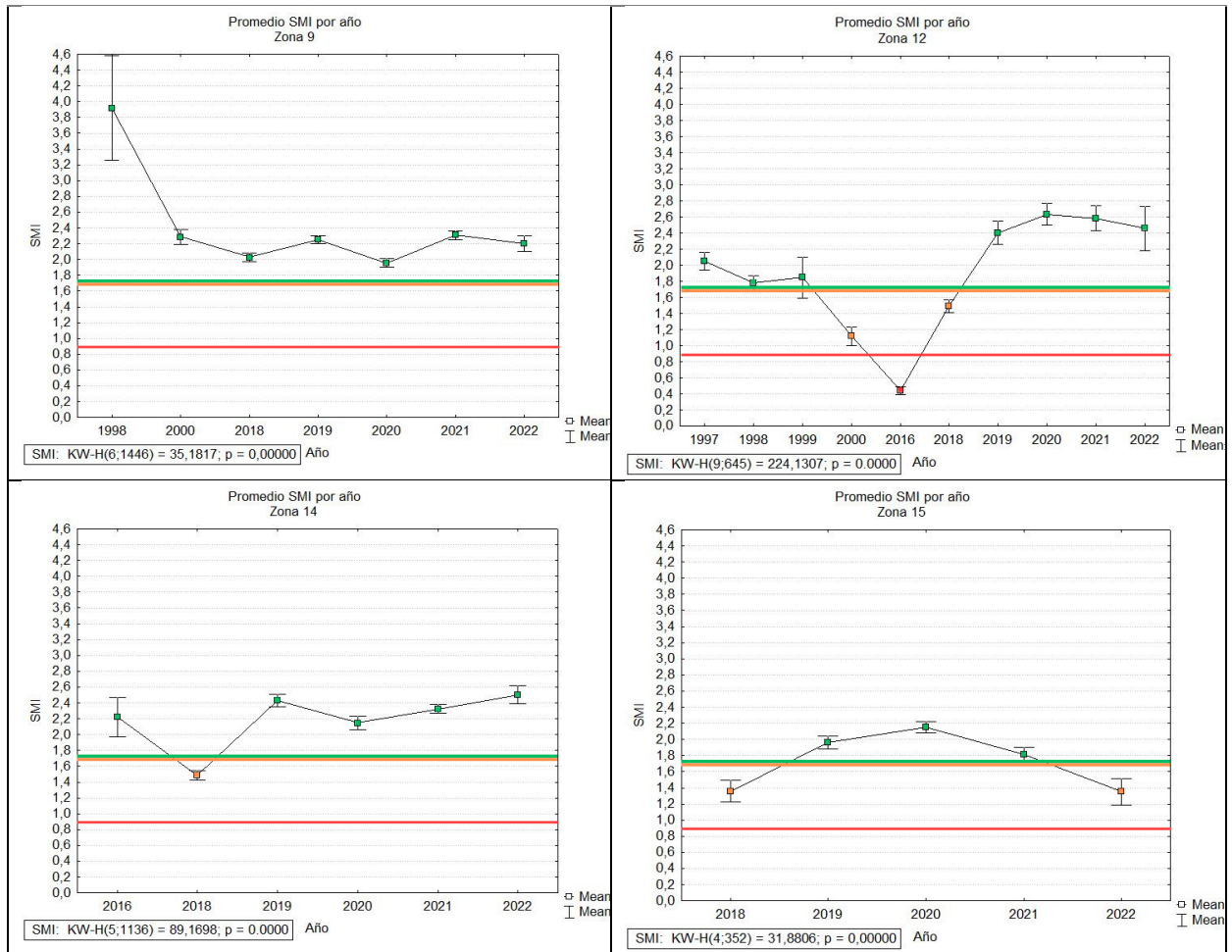


Figura 12: Gráfico de cajas basado en los valores de SMI en el tiempo para cada zona poblacional clasificada actualmente alta.

Cada caja representa el valor promedio de SMI y los bigotes el error estándar. El color de cada caja indica su categoría según su valor p de SMI y los bigotes el error estándar. El color de cada caja indica su categoría según su valor promedio de SMI y las líneas señalan los límites entre categorías (ver Tabla 3).

Las zonas poblacionales clasificadas en la categoría de valores medios (Figura 13) presentaron un comportamiento temporal similar entre sí. En estas zonas, los valores promedio mostraron una recuperación gradual a través del tiempo, que en algunos casos acabó con valores promedio de SMI dentro de la clasificación de alto. Así, las zonas 1 BB-Pang-Ang, 2 BB-Emb-Ang y 3 BB-Ang-StaBar en su año más actual alcanzaron altos valores de condición corporal

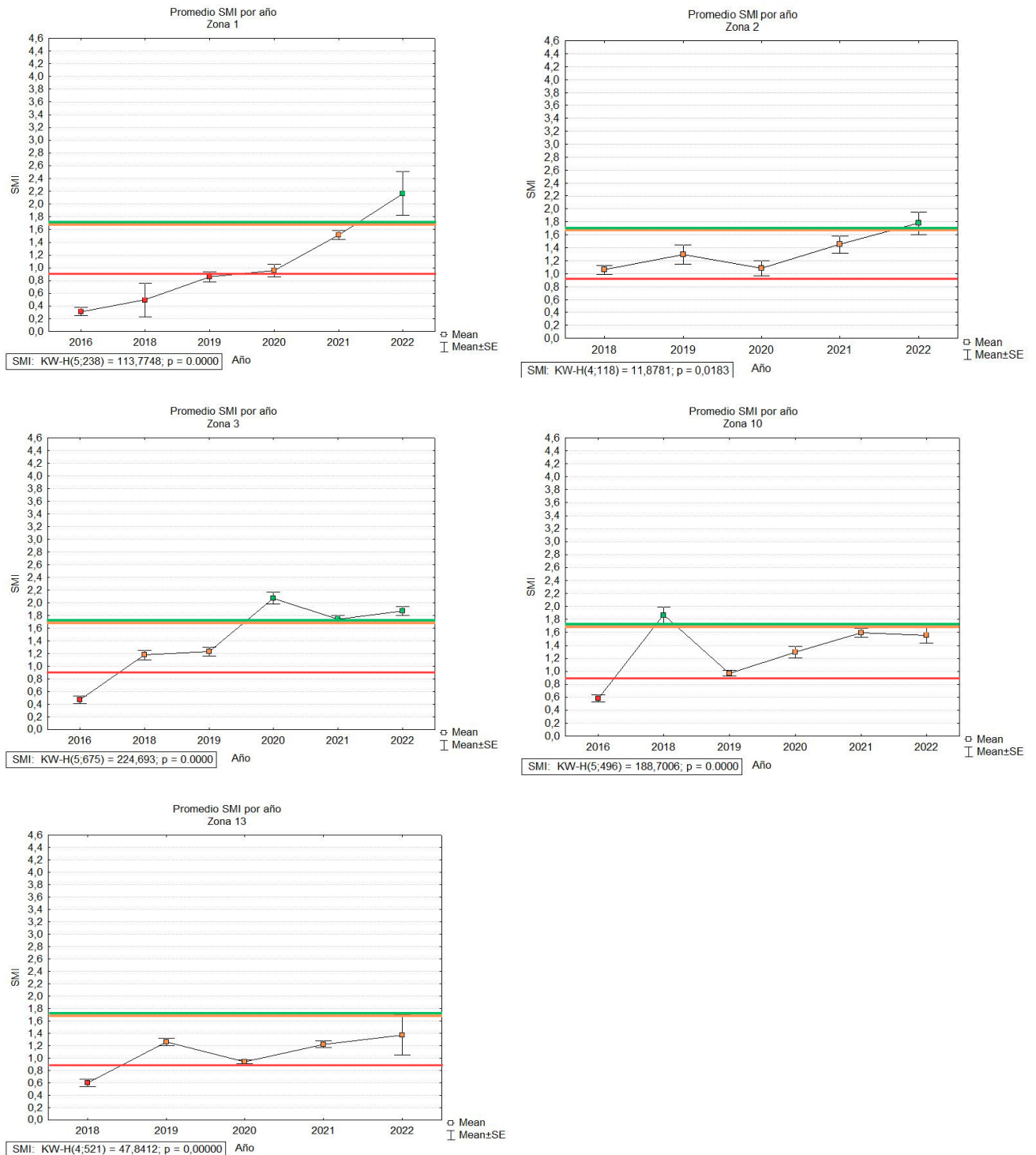


Figura 13: Gráficos de cajas y bigotes de los valores de SMI para cada año en cada zona poblacional clasificada con condición corporal media.

Cada caja representa el promedio de SMI y los bigotes el error estándar. Los colores de las cajas y las líneas indican a qué clasificación de condición corporal se encuentra (Tabla 3).

Los promedios de las zonas poblacionales clasificadas en la categoría de baja condición corporal (Figura 14) mostraron una tendencia a mantenerse en valores similares a través de los años. Se observó que estos valores promedios oscilan en el límite entre los valores de la clasificación media y baja, manteniéndose constantes con el paso del tiempo.

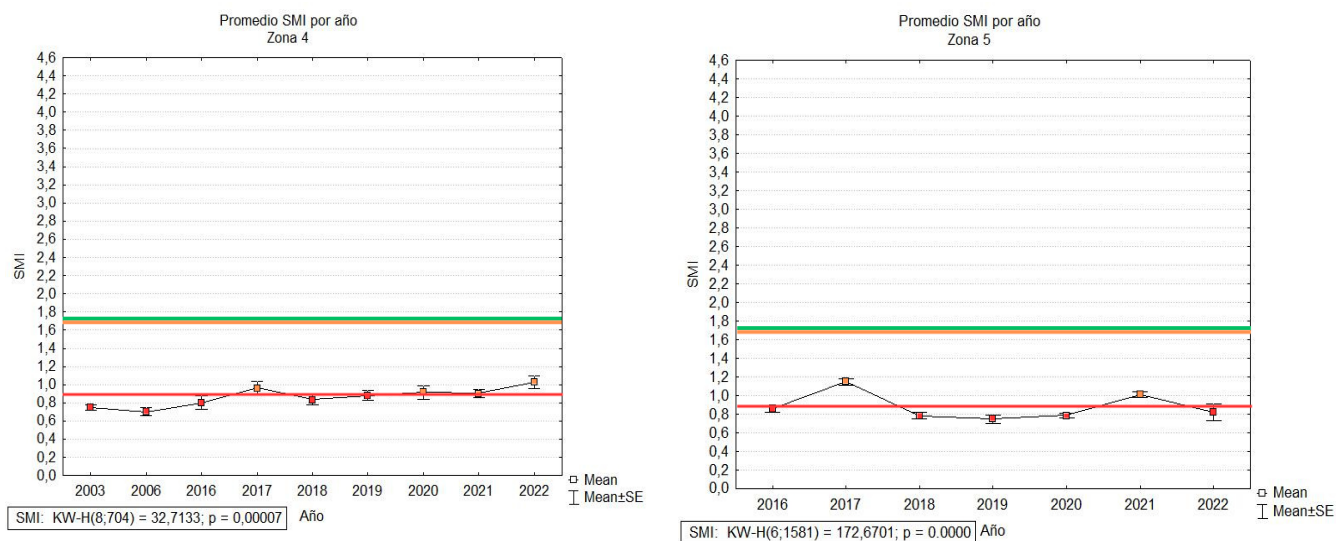


Figura 14: Gráficos de cajas y bigotes de los valores de SMI para cada año en cada zona poblacional clasificada con baja condición corporal.

Cada caja representa el promedio de SMI y los bigotes el error estándar. Los colores de las cajas y las líneas indican a qué clasificación de condición corporal se encuentra (Tabla 3).

6.2.4 Abundancia estandarizada.

Los valores de abundancia estándar fueron más bajos en la zona 1 BB-Pang-Ang, mientras que los más altos fueron registrados en la zona 18 Renaico (Tabla 6).

Tabla 6: Parámetros descriptivos del conjunto de datos de abundancia estándar para cada zona poblacional.

Letras y colores señalan su clasificación según percentiles señalados en Tabla 8, donde B indica baja, M media y A alta.

Zona	Nombre	N° individuos	N° muestreos	Abundancia estándar	Promedio	Mín	Máx	Desv. Estándar	Clasificación
1	BB-Pang-Ang	238	15	15,8	14,8	2,0	24,0	9,1	M
2	BB-Emb-Ang	118	17	6,94	7,1	2,5	13,0	3,8	B
3	BB-Ang-StaBar	675	45	15,0	23,8	11,1	69,0	22,6	M
4	BB-StaBar-Nac	704	29	24,2	30,3	8,8	79,0	23,4	A
5	BB-Nac	1581	40	39,5	41,3	23,0	75,0	20,0	A
6	BB-Laja-StaJua	22	4	5,50	5,5	5,5	5,5		B
7	BB-StaJua	74	5	14,8	17,1	5,5	37,0	13,7	M
8	BB-Conc	157	4	39,2	49,5	7,5	122,0	63,0	A
9	Laja-Ant	1446	41	35,2	28,7	5,0	44,5	16,7	A
10	Laja-Quill-Salto	496	20	24,8	27,3	15,8	41,0	9,7	A
11	Laja-Confl	144	4	36,0	36,0	2,0	76,0	39,0	A
12	Rucúe	645	38	16,9	17,7	5,5	40,0	10,1	M
13	Queuco	521	17	30,6	25,5	5,0	61,0	22,8	A
14	Huequecura	1136	57	19,9	21,2	16,9	32,2	5,5	M
15	Quilme	352	20	17,6	19,2	10,5	31,0	9,0	M

16	Lirquen	134	19	7,05	7,2	4,0	9,2	2,3	B
17	Mininco	131	12	10,9	12,3	5,0	20,0	6,2	B
18	Renaico	462	11	42,0	49,5	15,2	75,7	25,1	A

Tabla 7: Parámetros descriptivos del conjunto de datos de abundancia estándar.

Abundancia estandarizada	
Mínimo	2
Q1	9,93
Mediana	18,25
Media	24,54
Q3	32,27
Máximo	122

De la misma manera que se obtuvo las clasificaciones de los valores SMI que indican condición corporal alta, media o baja, se consideró clasificación baja abundancia valores $\leq 13,3$, la clasificación media se consideró los valores entre 13,4-24,6, los valores $\geq 24,7$ representan clasificación de alta abundancia estándar (Tabla 8).

La clasificación de alta abundancia estándar está compuesta por ocho zonas poblacionales (Tabla 6), 4 BB-StaBar-Nac, 5 BB-Nac, 8 BB-Conc, 9 Laja-Ant, 10 Laja-Quill-Salto, 11 Laja-Confl, 13 Queuco y 18 Renaico. En la categoría de abundancia media se encuentran seis zonas poblacionales: 1 BB-Pang-Ang, 2 BB-Ang-StaBar, 7 BB-StaJua, 12 Rucúe, 14 Huequecura y 15 Quilme. Por último, en la categoría de abundancia baja se encuentran cuatro zonas: 2 BB-Emb-Ang, 6 BB-Laja-StaJua, 16 Lirquen y 17 Mininco.

Tabla 8: Categoría de clasificación según percentiles de los valores abundancia estandarizada de *Percilia irwini* en la red hídrica de la cuenca del río Biobío.

Percentiles	
15%	7,0625
35%	13,3875
50%	18,25
65%	24,7875
85%	41
BAJO	<13,2
MEDIO	13,3-24,6
ALTO	>24,7

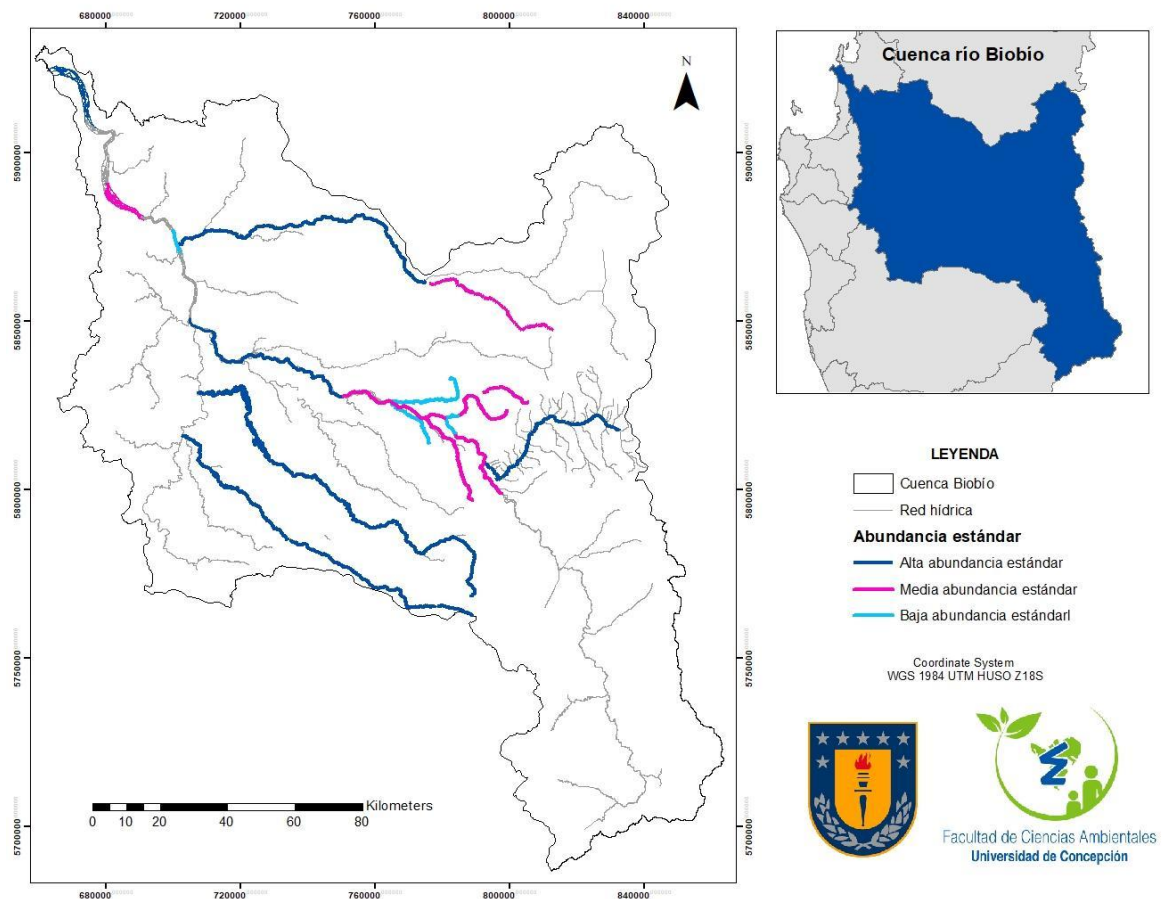


Figura 15: Localización en la red hídrica de la cuenca del río Biobío de la abundancia estándar.

6.2.5 Análisis univariados de abundancia estándar.

Se observa que las zonas poblacionales clasificadas con condición alta presentan abundancias estándar ubicables en las categorías media y baja. La excepción es la zona 9 Laja Ant, que muestra correspondencia exacta entre su condición y abundancia estándar (ambas altas). Las zonas poblacionales clasificadas con condición media no muestran alta correspondencia de clasificación con su abundancia estándar (Figura 15). En cuanto a las zonas poblacionales clasificadas con condición baja, la mayoría presenta abundancias estándar mayoritariamente altas, excepto la zona 6 BB Laja-StaJua, que presenta una abundancia estándar baja (Figura 15).

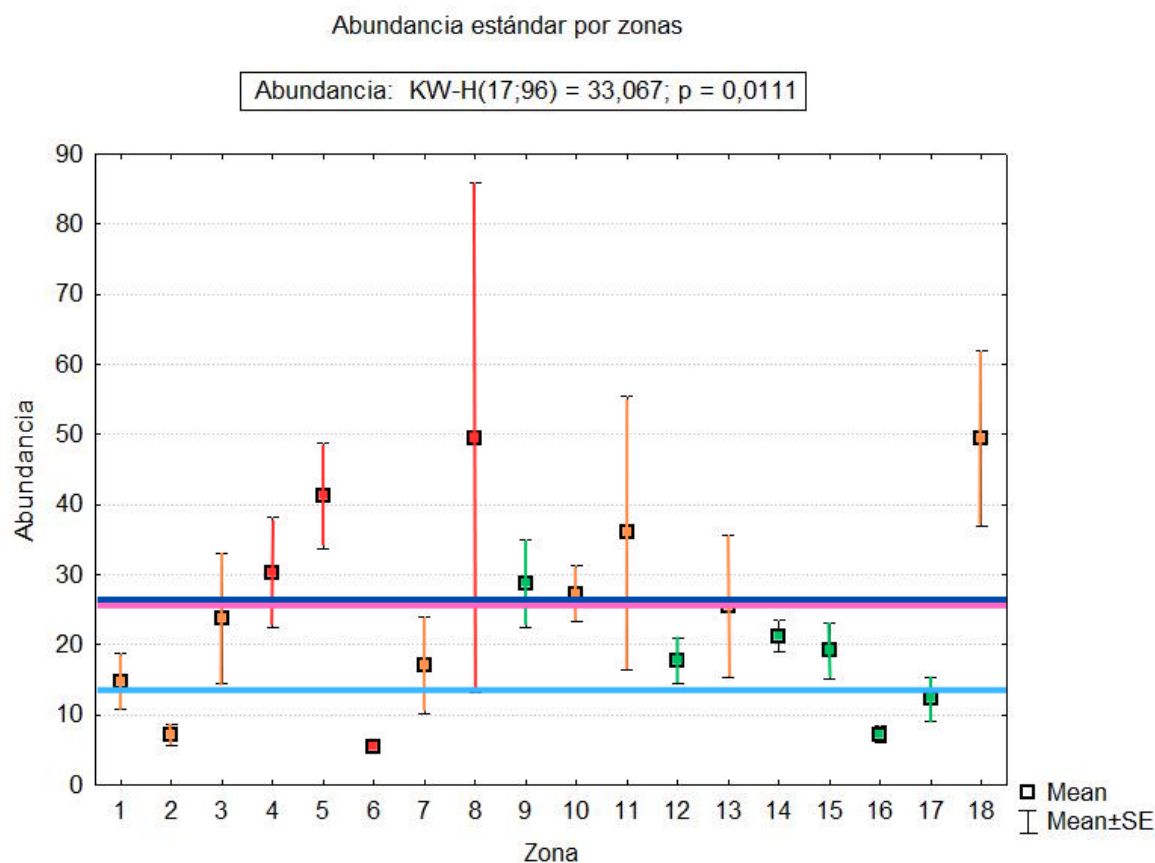


Figura 16: Gráfico de caja y bigotes de los valores de abundancia estándar en cada zona poblacional.

Cada caja representa el promedio y los bigotes el error estándar. Los colores de las cajas y los bigotes indican a que clasificación de condición corporal se encuentra (Tabla 3) y las líneas indican a que clasificación de abundancia se encuentra (Tabla 6).

La abundancia estándar de las zonas poblacionales con alta condición (Figura 16) mostraron bajos valores en los primeros años registrados y un leve aumento en las zonas 14 Huequecura y 15 Quilme, mientras que en las zonas 9 Laja Ant y 12 Rucúe este aumento es significativo. Por lo tanto, en la actualidad, todas las zonas poseen una mayor abundancia en comparación a sus primeros años de registro y específicamente las zonas poblacionales 9 Laja Ant y 12 Rucúe fueron clasificadas con abundancias estándar altas en los años 2016 y 2018. Además, actualmente, las zonas poblacionales 9 Laja Ant, 14 Huequecura y 15 Quilme se

encuentran en clasificación de alta abundancia, sin embargo, la zona 15 Quilme no se encuentra con condición corporal alta a diferencia de las otras zonas. Es importante destacar que zona 12 Rucúe la condición corporal del año 2016 presentó un aumento en la abundancia considerable, pero su condición corporal pasa de clasificación alta a baja.

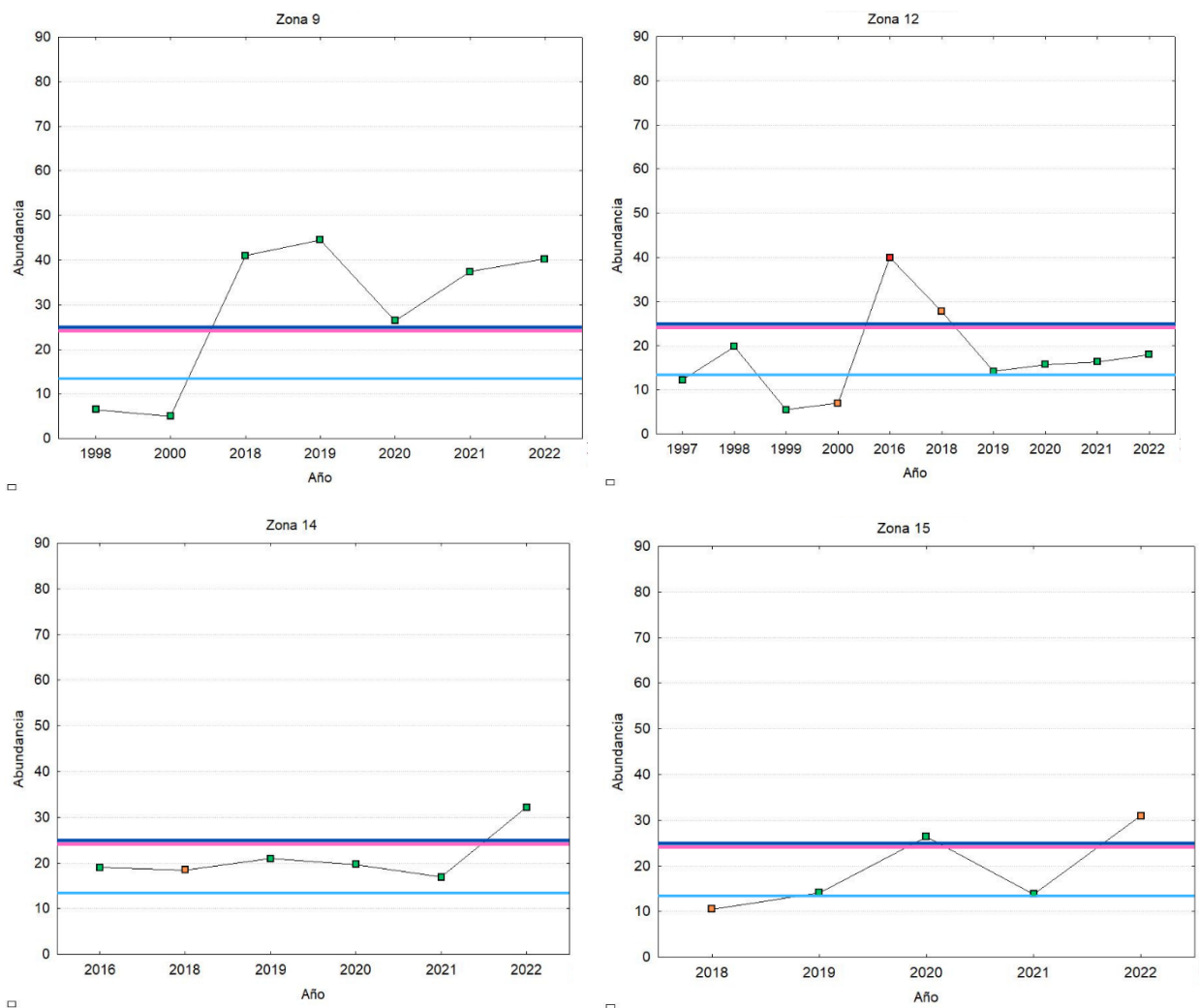


Figura 17: Gráficos de cajas y bigotes de los valores de abundancia estándar en cada zona poblacional clasificada con alta condición corporal.

Cada caja representa el promedio y los bigotes el error estándar. Los colores de las cajas y los bigotes indican a que categoría de condición corporal se encuentra

(Tabla 3) y las líneas indican a que clasificación de abundancia se encuentra (Tabla 6).

Las zonas poblacionales clasificadas actualmente con condición corporal media (Tabla 17) muestran actualmente abundancias estándar medias y bajas. Se observó que las zonas 1 BB Pang-Ang y 2 BB Emb Ang no experimentaron grandes variaciones en su abundancia estándar a lo largo de los años, manteniéndose en niveles medio y bajo respectivamente. Además, las zonas 3 BB Ang- Sta B y 10 Laja Quill-Salto experimentaron una marcada disminución fluctuación en sus abundancias estándar, pasando de niveles altos a medios y que vuelven a aumentar a lo largo del tiempo. En cuanto a la zona 13 Queuco, presenta una abundancia estándar baja que muestra un valor máximo en el año 2020 alcanzando una clasificación de abundancia alta abundancia, aunque luego baja y se mantiene hasta actualidad.

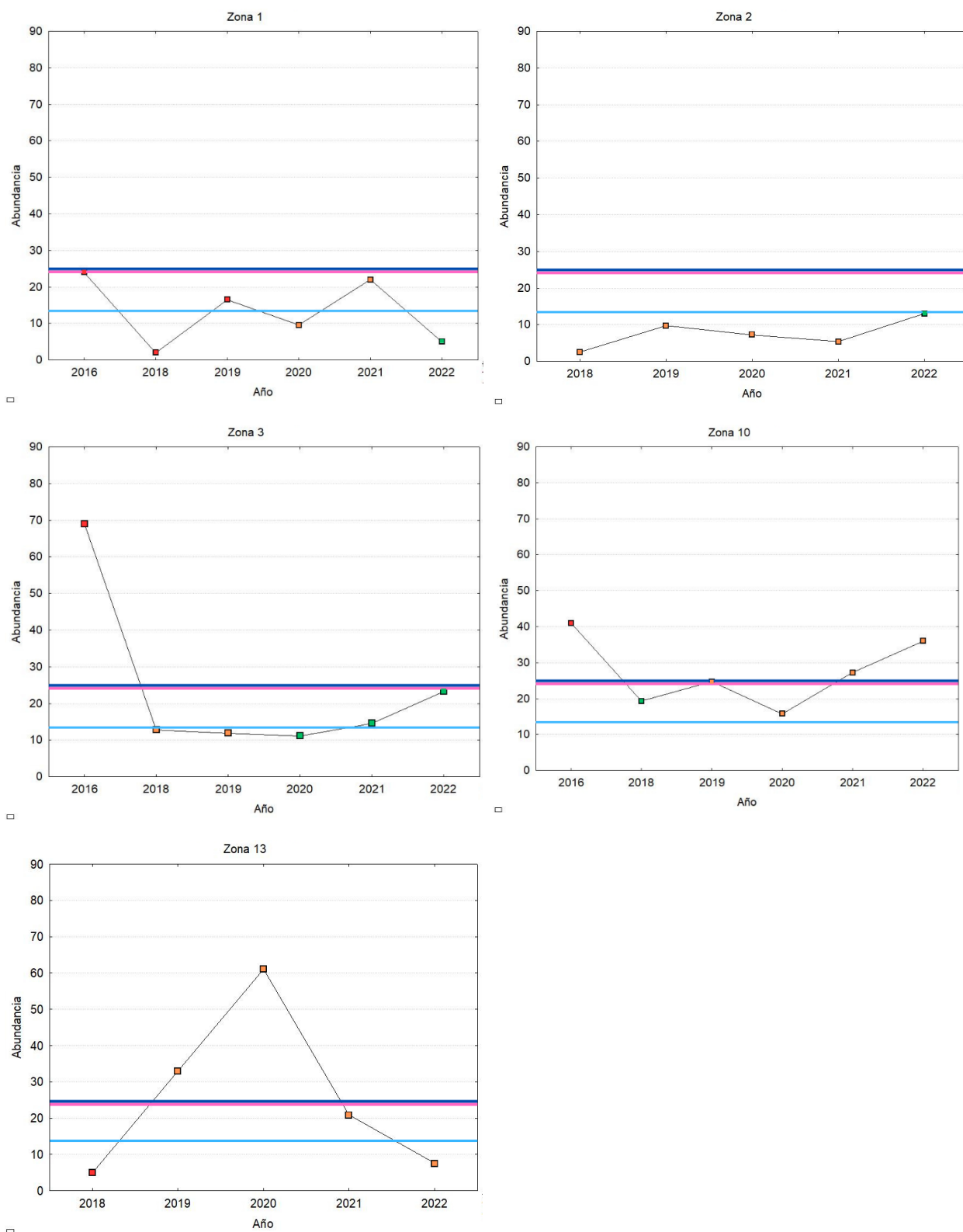


Figura 18: Gráficos de cajas y bigotes de los valores de abundancia estándar en cada zona poblacional clasificada con media condición corporal.

Cada caja representa el promedio y los bigotes el error estándar. Los colores de las cajas y los bigotes indican a que categoría de condición corporal se encuentra (Tabla 3) y las líneas indican a que clasificación de abundancia se encuentra (Tabla 6).

Las zonas clasificadas con condición corporal baja (Figura 18) muestran una alta abundancia en los años iniciales, el cual disminuye en ambas zonas, en la zona 4 BB Sta B-Nac, esta disminución llega a valores de clasificación baja de abundancia en los años 2017 y 2018, posteriormente, experimenta un aumento significativo alcanzando una clasificación de alta abundancia y se mantiene en este nivel en la actualidad, en la zona 5 BB Nac, la disminución solo llega a una clasificación media de abundancia. Desde ese punto, experimenta un aumento en la abundancia alcanzando valores de alta abundancia en el año 2020, los cuales posteriormente disminuyen, pero se mantienen en clasificación alta. En cuanto a su condición corporal, en ambas zonas poblacionales se mantiene baja o media independientemente de su abundancia, aunque es importante mencionar que los valores más altos de abundancia representan valores bajos de condición corporal.

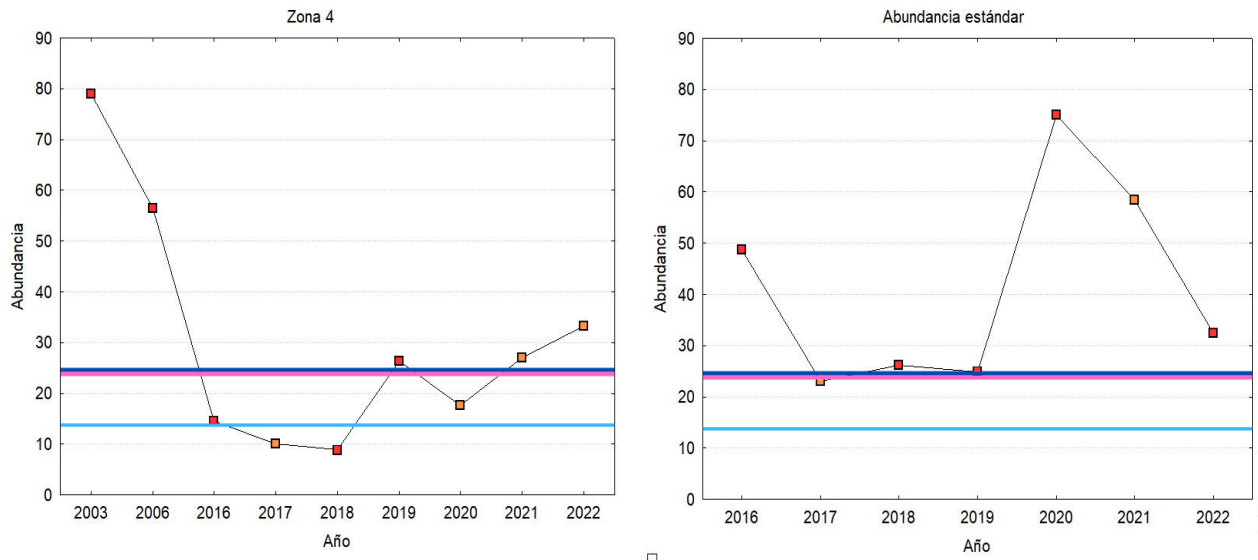


Figura 19: Gráficos de cajas y bigotes de los valores de abundancia estándar en cada zona poblacional clasificada con baja condición corporal

Cada caja representa el promedio y los bigotes el error estándar. Los colores de las cajas y los bigotes indican a que categoría de condición corporal se encuentra (Tabla 3) y las líneas indican a que clasificación de abundancia se encuentra (Tabla 6).

6.2.6 Análisis multivariados

Se puede apreciar que las zonas poblacionales con condición alta, zonas; 9 Laja-Ant, 12 Rucúe, 14 Huequecura, 15 Quilme, 16 Lirquén y 17 Mininco (Tabla 3), presentaron un valor de dispersión bajo (Tabla 9), esto se puede asociar a que las variables SMI, abundancia y longitud tienden a cambiar en la misma dirección de manera uniforme. Lo mismo ocurre en las zonas poblacionales 4 BB-Ang-StaBar y 5 BB-Nac que presentaron condición corporal baja (Tabla 3). Se puede observar que las zonas poblacionales con condición corporal media, zonas; 1 BB-Pang-Ang, 2 BB-Emb-Ang, 3 BB-Ang-StaBar, 7 BB-StaJua, 10 Laja-Quill-Salto, 11 Laja-Confl, 13 Queuco y 18 Renaico (Tabla 3), presentaron un valor de dispersión alto (Tabla 9), la cual ser explicada por la dirección de la variación de los valores de los parámetros anteriormente mencionados. En particular, la zona poblacional 12 Rucúe destacó por tener un valor de dispersión más elevado que otras zonas con alta condición corporal, esto podría atribuirse a que esta zona

cuenta con un mayor número de registros en el tiempo porque el análisis de Índice Dispersión Multivariado puede ser sensible al número de datos.

Mide la dispersión o la variabilidad de los datos a través de la temporalidad de cada zona. La zona 6 Confl-Laja no entra en este análisis debido a que no cuenta con la temporalidad necesaria para realizarse.

Tabla 9: Índice de dispersión multivariado de condición corporal (SMI), longitud y abundancia.

Mide la dispersión o la variabilidad de los datos a través de la temporalidad de cada zona. La zona 6 Confl-Laja no entra en este análisis debido a que no cuenta con la temporalidad necesaria para realizarse.

Zona	Temporalidad	Dispersión
14	(2016,2018,2019,2020,2021,2022)	0,504
16	(2019,2020,2021,2022)	0,559
5	(2016,2017,2018,2019,2019,2020,2021,2022, 2023)	0,681
2	(2018,2019,2020,2021,2022)	0,813
15	(2018,2019,2020,2021,2022)	0,858
4	(2003,2006,2016,2017,2018,2019,2020,2021,2022)	0,871
17	(2019,2020,2021,2022)	0,915
9	(1998,2000,2018,2019,2020,2021,2022)	0,934
10	(2016,2018,2019,2020,2021,2022)	1,012
12	(1997,1998,1999,2000,2016,2018,2019,2020,2021,2022)	1,099
3	(2016,2018,2019,2020,2021,2022)	1,165
18	(2016,2018,2021,2023)	1,192
13	(2018,2019,2020,2021,2022)	1,313
7	(2003,2006,2020,2023)	1,321
11	(2003,2006,2016,2022)	1,422
8	(2003,2006,2023)	1,587
1	(2016, 2018,2019,2020,2021,2022)	1,601

6.3 Condición poblacional para la conservación de la especie por cada zona

6.3.1

Zonas alta condición poblacional

Se identificó 7 zonas con alta condición poblacional que permiten la conservación de la especie (Tabla 10), siendo estas zonas; 9 Laja-Ant, 12 Rucúe, 13 Queuco, 14 Huequecura, 15 Quilme, 16 Lirquén y 17 Mininco, todas estas zonas se encuentran ubicadas en los ríos tributarios de la cuenca del río Biobío (Figura 18).

Zonas media condición poblacional

Las zonas con media condición poblacional, presentan media condición corporal, alta/media abundancia y su variabilidad es media. Poseen alteración por estresores antrópicos, por lo que son zonas poblacionales que no presentan las características para conservar la especie, pero no en pésimas condiciones, por lo que se pueden implementar esfuerzos para su conservación, estas son la zona 7 BB Sta Jua, 10 Laja Quill-Salto, 11 Laja Confl y 18 Renaico.

Zonas de baja condición poblacional

Las zonas con baja condición poblacional (Tabla 10), presentan una gran alteración de actividades antrópicas los cuales, a su vez, generan efectos acumulativos y/o sinérgicos (Tabla 2). Aunque muchas de estas áreas tienen una alta abundancia (Tabla 6), su condición corporal clasificada en media o baja (Tabla 3) y las alteraciones por estresores antrópicos (Tabla 2), sugiere desafíos importantes para la sobrevivencia de la especie. La localización de las zonas con baja condición poblacional se ubican en la cuenca principal; 1 BB-Pang-Ang, 2 BB-Emb-Ang, 3 BB-Ang-StaBar, 4 BB-Ang-StaBar, 5 BB-Nac, 6 BB-Confl-Laja y 8 BB Conc.

Tabla 10: Clasificación poblacional de cada zona según relación de las variables poblacionales, variabilidad temporal, las actividades antrópicas presentes y otra información relevante.

Zona	Act. Antrópica	Otra info. relevante	C. Corporal	$\bar{x}$ Abundancia	V. Temporal	Condición para la conservación
1 BB-Pang-Ang	3 barreras Efectos sinérgicos y acumulativos		1,03	14,82	1,601	Baja
2 BB-Emb-Ang	Embalse Hydropeaking Efectos sinérgicos y acumulativos		1,33	7,14	0,813	Baja
3 BB-Ang-StaBar	1 barrera 1 bocatoma Hydropeaking Efectos sinérgicos y acumulativos		1,54	23,78	1,165	Baja
4 BB-StaBar-Nac	3 bocatomas 4 extracción de áridos 3 efluentes industriales 3 efluentes domésticos Hydropeaking Efectos sinérgicos y acumulativos		0,87	30,34	0,871	Baja
5 BB-Nac	1 extracción de áridos 1 efluente industriales Hydropeaking Efectos sinérgicos y acumulativos		0,88	41,26	0,681	Baja
6 BB-Laja-StaJua	5 efluentes industriales 1 efluente doméstico Efectos sinérgicos y acumulativos		0,58	5,50	-	Baja
8 BB-Conc	10 efluentes industriales	Santuario	0,75	49,50	1,587	Baja

	1 efuente doméstico 5 extracciones de áridos Efectos sinérgicos y acumulativos					
7 BB-StaJua	1 efuente industrial 1 efuente doméstico Efectos sinérgicos y acumulativos	1,33	17,13	1,321	Medio	
10 Laja-Quill-Salto	1 barrera 10 bocatomas 2 efluentes industriales Efectos sinérgicos y acumulativos	1,23	27,33	1,012	Medio	
11 Laja-Confl	19 bocatomas 2 efluentes industriales Efectos sinérgicos y acumulativos	1,04	36,00	1,422	Medio	
18 Renaico	7 bocatomas 5 efluentes industriales 2 efluentes domésticos Efectos sinérgicos y acumulativos, Se considera río Renaico y Malleco, por lo que la cantidad de act. antrópicas es de ambos ríos. No posee barreras que corten el flujo genético	0,91	49,47	1,192	Medio	
15 Quilme	Alto porcentaje de especies invasoras Futura construcción de central hidroeléctrica Rucalhue.	1,94	19,17	0,858	Alta	
9 Laja-Ant	1 barrera 6 bocatomas	2,18	28,73	0,934	Alta	
12 Rucúe	1 barrera Efectos sinérgicos y acumulativos Sin regulación de caudal y buena proporción de bosque nativo	1,86	17,67	1,099	Alta	
13 Queuco	Alta abundancia de especies introducidas, No posee barreras que corten el flujo genético, es un río	1,10	25,47	1,313	Alta	

	principalmente especies salmonídeas.	que produce un cambio natural explosivo de caudal y estudios demuestran que es apto para la conservación de especies ícticas.				
14 Huequec ura	Alta abundancia de especies introducidas, principalmente especies salmonídeas.	No posee barreras que corten el flujo genético, baja alteración del hábitat, ya existen esfuerzos de conservación	2,18	21,21	0,504	Alta
16 Lirquén	Alta abundancia de especies introducidas, principalmente especies salmonídeas.	No posee barreras que corten el flujo genético, baja alteración del hábitat.	2,14	7,22	0,559	Alta
17 Mininco	Alta abundancia de especies introducidas, principalmente especies salmonídeas.	No posee barreras que corten el flujo genético, baja alteración del hábitat.	1,78	12,25	0,915	Alta

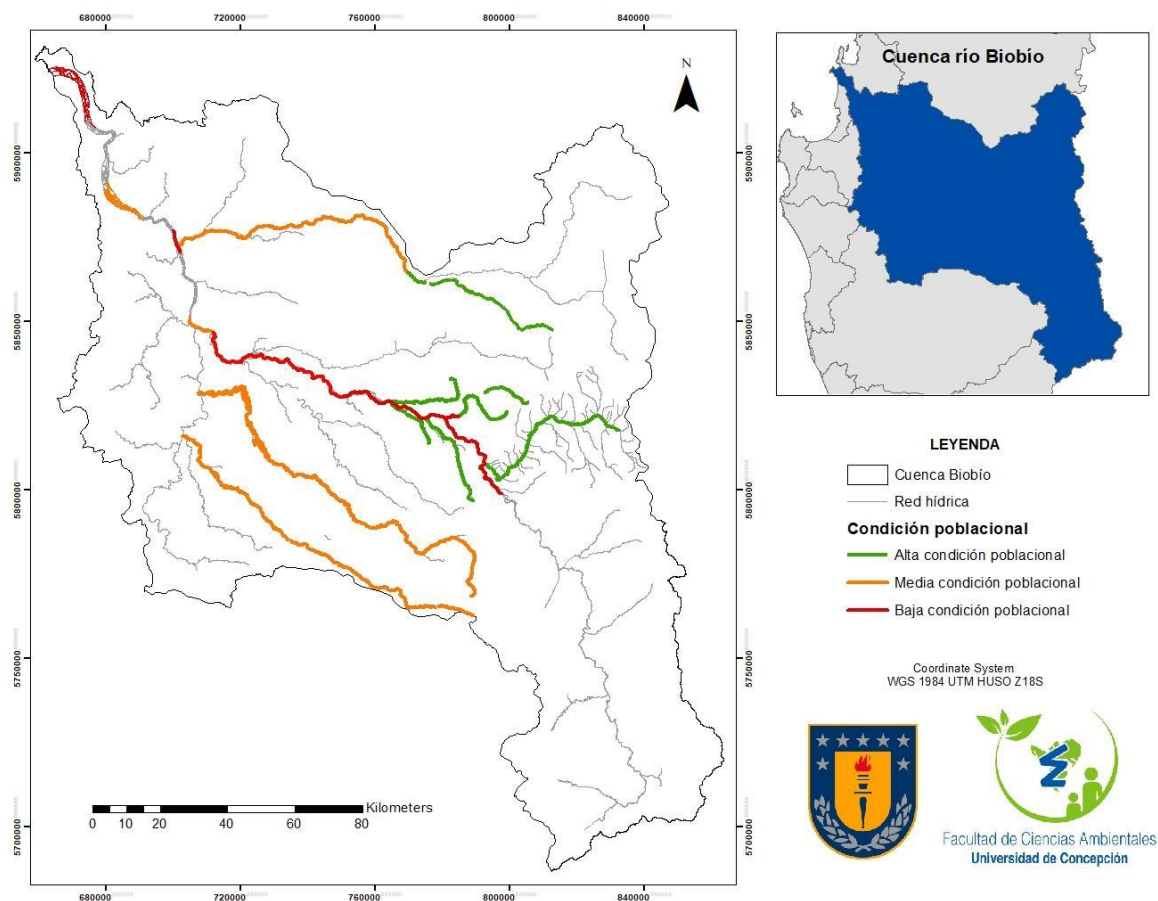


Figura 20: Condición poblacional para la conservación de la especie en cada zona poblacional en la red hídrica de la cuenca del río Biobío.

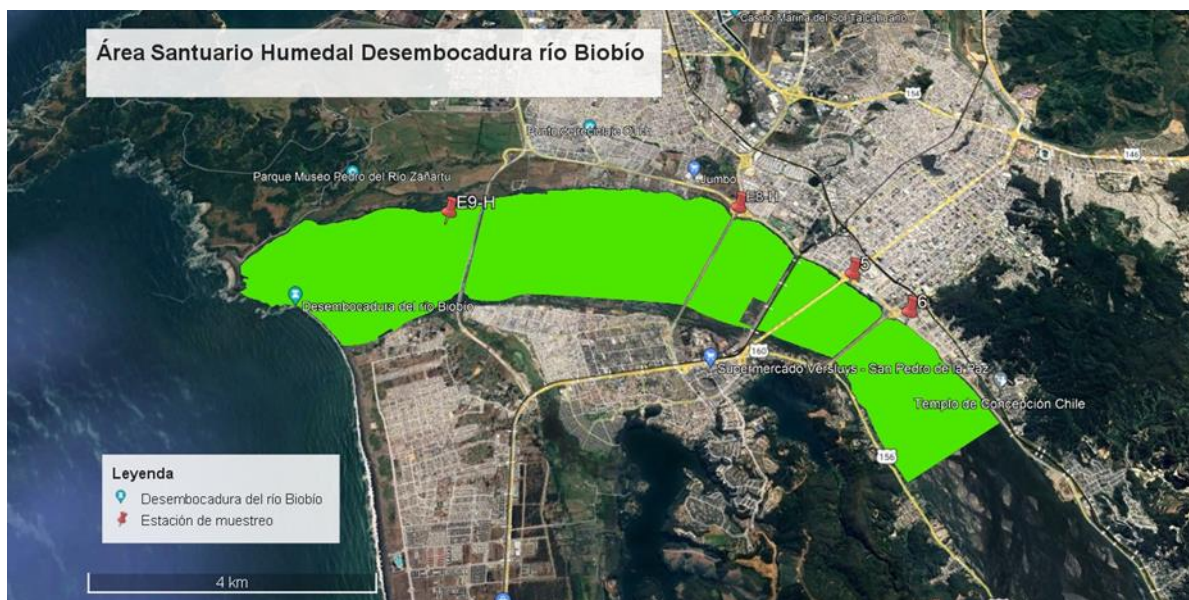
a. Medidas de manejo

De acuerdo con los resultados de la clasificación de condición poblacional, se realizó propuestas de medidas de manejo

La Ley 21600 Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (**SBAP**) establece disposiciones para proteger la biodiversidad y administración de áreas de conservación. Consecuente a esto y los resultados de las condiciones poblacionales, se sugieren las siguientes propuestas de medidas de manejo para la conservación de la especie.

Tabla 11: Propuesta de instrumentos para la conservación de la especie, a escala de hábitat.

Instrumentos para la conservación	Condición poblacional	Acciones y consideraciones
Declaración de Área de Conservación - Área de Conservación de Múltiples Usos - Reserva Nacional	Alta condición poblacional 14 Huequecura 12 Rucúe	Plan de manejo estratégico e integral, considerando planes para conservación, control y gestión.
Declarar sitios prioritarios (SBAP)	Zona alta condición poblacional 13 Queuco, 16, 17	Plan de manejo estratégico e integral, considerando planes para conservación, control y gestión.
Santuario de la naturaleza Desembocadura (Ya declarado por , Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, CMN)	Baja condición poblacional Zona 8 BB Conc	Planes de restauración, que incluyan medidas de control y gestión.



Área del santuario Humedal Desembocadura río Biobío y estaciones de muestreo correspondientes a la zona 8 BB Conc de este estudio.

Tabla 12: Propuesta de instrumentos para la conservación de la especie a escala de especie.

Instrumentos para la conservación	Condición poblacional	Acciones y consideraciones
Declarar en base con su categoría de estado de conservación como especie de importancia para la conservación.	7 BB Sta Jua, 10 Laja Quill-Salto, 11 Laja Confl, 18 Renaico	Planes de recuperación, conservación y gestión de especies.
Declarar especie como Monumento Natural (SBAP) en base con su interés científico	No aplica.	Adopta protección, impidiendo el daño a la especie.
Control y erradicación de especies exóticas.	Zonas 14 Huequecura, 16 Lirquén, 17 Minico.	Campañas de control de especies exóticas, considerando la depredación por salmónidos.

2 Discusión

Este estudio determinó zonas poblacionales de la especie *Percilia irwini*, de acuerdo con las distintas áreas localizadas en la red hídrica de la cuenca del río Biobío que contenían datos de longitud, peso y coordenadas geográficas; junto con información de la especie a través de estudios (Valenzuela-Aguayo et al., 2020) sobre la relación genética, estudios de la geomorfología de la cuenca (Elgueta et al., 2019), su relación con los estresores antrópicos presentes (R. Pedreros, 2022, E. Méndez, 2023) y otra información relevante (Bañales, 2023) MMA SANTUARIO DE LA NATURALEZA HUMEDAL DESEMBOCADURA RÍO BIOBÍO, 2023). Se analizaron dichas variables y características ambientales junto con las características poblacionales de la especie, incluido su índice de condición corporal (SMI), abundancia y longitud. Para cumplir con los objetivos de analizar la condición de *Percilia irwinia* a través de la red hídrica del río Biobío reconociendo su correspondencia con los múltiples estresores antrópicos, para finalmente determinar zonas que permitan la conservación de la especie junto con medidas para su conservación.

a. Principales hallazgos

Los resultados revelaron que, de las 18 zonas poblacionales determinadas, 7 zonas se definieron con alta condición poblacional que podrían permitir la conservación de la especie, las cuales se ubican en los ríos tributarios de la cuenca del río Biobío; 9 Laja-Ant, 12 Rucúe, 13 Queuco, 14 Huequecura, 15 Quilme, 16 Lirquén y 17 Mininco. En contraste, las 11 zonas poblacionales restantes, se dividen, 4 de ellas en media condición poblacional que no favorecen la conservación de *Percilia irwini*, pero que no se encuentran en malas condiciones y se pueden aplicar medidas para mejorar dicha condición, siendo estas: 7 BB Sta Jua, 10 Laja Quill-Salto, 11 Laja Confl y 18 Renaico y 7 de baja condición poblacional que se encuentran en gravemente amenazadas, estas se ubican en la cuenca principal; 1 BB-Pang-Ang, 2 BB-Emb-Ang, 3 BB-Ang-StaBar, 4 BB-Ang-StaBar, 5 BB-Nac, 6 BB-Confl-Laja y 8 BB Conc (Figura 19 (Maceda-Veiga et al., 2014)).

Para definir la condición poblacional de las zonas determinadas, fue necesario evaluar su condición corporal, medida a través del índice de masa escalado SMI, además de evaluar su abundancia, viendo así su comportamiento (variabilidad) a través de los años y asignándole clasificaciones a dichas variables. Con respecto a la condición corporal, los valores promedios de cada zona son bastante representativos, ya que no presentan gran variabilidad. Los valores de

SMI de clasificación para alta condición corporal se encuentran en zonas poblacionales ubicadas en ríos tributarios, estas zonas de alta condición corporal a través de los años se muestran constantes y poco variables, con algunas excepciones, dándose la tendencia en algunos años en presentar alta abundancia y baja condición corporal, esto se dio específicamente en zona 12 Rucúe año 2016, zona 3 BB Emb Ang- Sta B año 2016, zona 10 Laja Quill-Salto año 2016, 4 BB Sta B-Nac años 2003, 2004, 2019 y 5 BB Nac años 2016, 2018, 2020 y 2022. Esto fue contrastado con la estructura de talla de dichos casos, (Revisar figuras de anexos), para la zona 12 Rucúe, 3 BB Emb Ang-Barb y 10 Laja Quill-Salto, la mayoría de los individuos muestreados ese año eran juveniles, lo que podría justificar que su condición corporal sea baja debido a su precaria alimentación, sin embargo, en la zona 4 y 5 no es posible justificar la baja condición por población de juveniles, debido a que eran mayoritariamente adultos (Cifuentes et al., 2012).

Es evidente que las actividades antrópicas se encuentran asociadas en cambios negativos de la dinámica poblacional de la especie, ya que las zonas poblacionales se ubican en los ríos tributarios, que en común tienen una baja alteración del hábitat por actividades antrópicas, además, las zonas que se encuentran en peores condiciones poblacionales son justamente aquellas que se ven mayormente intervenidas y alteradas por actividades antrópicas.

b. Especificación de condición poblacional para la conservación por cada zona.

i. Clasificación alta condición poblacional

Zona 9 Laja Ant: Esta zona se ve perturbada por estresores antrópicos; una barrera de pasada y seis bocatomas de canales de riego, pese a estas alteraciones presenta alta condición corporal, alta abundancia y variabilidad baja según índice de dispersión, lo cual es óptimo para la conservación de la especie; ya que los altos valores de los parámetros (condición corporal y abundancia) muestran bajas variaciones en el tiempo, mostrando que se mantienen en buenas condiciones permitiendo así que la especie pueda perdurar.

Zona 12 Rucúe: Esta zona presenta alteración antrópica por la presencia de una barrera, destaca por su alta condición corporal, abundancia y variabilidad medias por índice de dispersión, cabe mencionar, que es la zona que contiene mayor data, lo que puede verse reflejado en el valor de la variabilidad, además de

presentar mayor número de juveniles en 2016, lo que disminuye la condición corporal y nuevamente puede afectar a la variabilidad (Tabla 10).

Zona 13 Queuco: Esta zona muestra una condición corporal media, alta abundancia y variabilidad media alta por su valor de dispersión, estos valores no se observan para definir como zona de alta condición poblacional, sin embargo, no presenta estresores antrópicos que produzcan gran perturbación en la zona y es importante mencionar que el río Queuco es caracterizado por su rapidez y corrientes generadas por ser una zona de ritrón con mayor pendiente que otras zonas de la cuenca, por lo que presenta cambios explosivos de caudal de forma natural generando mortalidad en algunos casos, los cuales vuelven a recuperarse (Bañales, 2023), esto puede ser respuesta a su valor de variabilidad más elevado, lo cual es positivo e indica que la zona es adecuada para la conservación de la especie.

Zona 14 Huequecura: Esta zona destaca por su alta condición corporal y su bajo índice de dispersión, además de contar con una abundancia media. Estas características indican una buena área para la conservación de la especie, pero se encuentra perturbada por abundancia de especies invasoras, lo que podría estar causando que su población se encuentre altamente amenazada por la depredación y en consecuencia presentar una abundancia media, sin embargo, al compararse con otras zonas con la misma situación de especies introducidas, Huequecura cuenta con mayor abundancia, lo que puede atribuirse a la realización de campañas de control de depredadores por parte de medidas de compensación de la empresa Colbún, la población de especies introducidas, tales como *Oncorhynchus mykiss*, *Salmo trutta* y *Gambusia affinis*. Estas especies introducidas se encuentran dentro del listado de las 100 especies exóticas más dañinas para los ecosistemas (Poorter et al., 2000).

Zonas 16 Lirquén y 17 Mininco: Ambas zonas presentan una alta condición corporal y un valor bajo en el índice de dispersión, lo que indica ser una zona que permite la conservación de la especie, por otro lado, presentan una baja abundancia, estas zonas se encuentran perturbadas por abundancia de especies invasoras que significan una amenaza en cuanto a depredación, lo que podría explicar la baja abundancia de las zonas y no cuenta con campañas de control de depredadores en comparación con la zona 14 Huequecura. la población de especies introducidas, tales como *Oncorhynchus mykiss*, *Salmo trutta* y *Gambusia*. Estas especies introducidas se encuentran dentro del listado de las 100 especies exóticas más dañinas para los ecosistemas (Poorter et al., 2000).

Zona 15 Quilme: Esta zona presenta valores alta condición corporal, media abundancia y baja variabilidad según dispersión, esto significa que en ese sector de la cuenca del Biobío sea un lugar adecuado para la conservación de la especie, sin embargo, en esta zona se encuentra un proyecto de central hidroeléctrica de pasada aprobado, eventualmente por la construcción de la central Rucalhue esta zona quedará inundada (Central Rucalhue cuenta con su Resolución de Calificación Ambiental (RCA) aprobada, vigente desde 2016) , por lo que será necesario evaluar los efectos de esta central en la dinámica poblacional de la especie con el tiempo, ya que existe evidencia de los efectos negativos que conlleva una central de hidroeléctrica, por la alteración del hábitat en cuanto a fragmentación y cambios en el régimen de caudal (Díaz et al., 2019; Valenzuela-Aguayo et al., 2020)

ii. Clasificación media condición poblacional

Zona 7 BB Sta Jua: Presenta valores medios tanto en condición corporal como en abundancia, su variabilidad es relativamente alta según su valor de dispersión y presenta actividades antrópicas como descarga de efluentes industriales y domésticos y posibles efectos acumulativos, sin embargo, no presenta barreras, ni cambios de caudal, los cuales generan un gran impacto negativo (Valenzuela-Aguayo et al., 2020) (Elgueta, A 2020).

Zona 10 Laja Quill- Salto y 11 Laja Confl: Ambas zonas destacan por su condición corporal media y alteración por estresores antrópicos mayoritariamente de canales de riego, lo que plantea preocupaciones sobre su capacidad para mantener una población saludable, sin embargo, su abundancia es alta y variabilidad relativamente alta por el valor de dispersión, por lo que son zonas poblacionales que se encuentran amenazadas, pero no en malas condiciones, por lo que es posible implementar esfuerzos para su conservación.

Zona 18 Renaico: Esta zona presenta una alta abundancia, media condición corporal y un variabilidad relativamente alta en el tiempo por la dispersión, y su alta abundancia puede implicar competencia por recursos, sin embargo, es necesario contemplar que en esta zona se encuentran los ríos Renaico y Malleco por su correspondencia genética (Valenzuela-Aguayo et al., 2020), por lo que sus actividades antrópicas se encuentran localizadas en estos dos ríos y que no posee cambios en el régimen de caudal.

iii. Clasificación baja condición poblacional

Zonas 1 BB Pang-Ang: Presenta valores medios tanto en condición corporal como en abundancia, su variabilidad es alta según su valor de dispersión y debido a las actividades antrópicas presentes se encuentra encerrada entre dos represas, por lo que no es compatible con la conservación de la especie.

Zona 2 BB Emb Ang: Los individuos en esta zona se encuentran con condición corporal media; sin embargo, se encuentran altamente amenazados por el cambio de hábitat generado por el embalse Angostura y los efectos acumulativos y/o sinérgicos de la cuenca. Además, presenta un bajo índice de dispersión, lo que indica que sus variables cambian hacia una misma dirección. Considerando esto, su abundancia es extremadamente baja, lo cual es preocupante en términos de extinción local. Esto, junto con estudios recientes, indican lo mismo (Valenzuela-Aguayo et al., 2020).

Zona 3 BB Emb Ang - Sta B: Presenta valores medios tanto en condición corporal como en abundancia, su variabilidad es relativamente alta según su valor de dispersión y debido a las actividades antrópicas presentes se encuentra altamente alterada y amenazada.

Zonas 4 BB Sta B - Nac y 5 BB Nac: Estas zonas presentan alta abundancia, una baja condición corporal y un bajo índice de dispersión que puede indicar que habitan en un ambiente que se encuentra alterado permanentemente por lo que no presenta cambios en la dirección de sus variables, esta condición plantea preocupaciones sobre la salud de la población y su capacidad para sobrevivir en el largo plazo considerando que su abundancia no es de juveniles, sino de adultos que se encuentran en baja condición corporal, esta alta abundancia genera competencia y sobrepasa la capacidad de carga del ambiente y eventualmente podría producirse alta mortalidad (Murua Figuerola et al., 2014) y en extremo una extinción local de la especie.

Zona 6 BB Laja-StaJua: Esta zona presenta baja condición corporal, baja abundancia y alterada por estresores antrópicos, lo que indica la necesidad de tomar medidas urgentes para evitar una eventual extinción de la población local.

Zona 8 BB Conc: Esta zona presenta una alta abundancia, baja condición corporal y alta variabilidad según índice de dispersión, lo que sugieren un ambiente muy alterado que podría poner en peligro la supervivencia de la especie, por otro lado, esta zona se localiza en el reciente declarado Santuario de la naturaleza en la desembocadura del río Biobío (DECLARA SANTUARIO

DE LA NATURALEZA HUMEDAL DESEMBOCADURA RÍO BIOBÍO Núm. 28.- Santiago, 21 de agosto de 2023, MMA) esto es beneficioso en términos locales, ya que se implementarán esfuerzos para la conservación de especies dentro del área del Santuario.

c. Medidas de manejo

De acuerdo con la determinación de las clasificaciones de condición poblacional de las zonas poblacionales, se proponen medidas de manejo que permitan la conservación de la especie.

Creación de área protegida para zona 14 Huequecura y 12 Rucúe

A través de lo que establece la ley 21600 (Ministerio de Medio Ambiente, 2023) como instrumento para la conservación de la especie.

Tipo de área aplicable para dicho caso:

- A. **Reserva Nacional:** Existencia de comunidades biológicas, especies nativas, hábitats y sitios de reproducción relevantes para la protección de especies y ecosistemas en condiciones predominantemente naturales que son importantes para la educación, ciencia y turismo. El objetivo es la conservación de las comunidades biológicas, especies y hábitats, a través de la recuperación, mantención y provisión de servicios ecosistémicos. Se podrán desarrollar actividades de uso sustentable, siempre que no pongan en riesgo los servicios ecosistémicos que esta área provee.
- B. **Área de Conservación de Múltiples usos:** Caracterizada por una interacción tradicional entre los seres humanos y la naturaleza, relevante para la conservación de la biodiversidad. El objetivo es asegurar el uso sustentable de recursos naturales y los servicios ecosistémicos, a través de un manejo integrado del área. En esta área podrán desarrollarse distintas actividades de uso sustentable, siempre que no pongan en riesgo los servicios ecosistémicos que esta área provee.

Estas áreas protegidas tienen como medida la implementación de planes de manejo, se sugiere que, dentro de los planes de manejo, se considere a partir de la evaluación y diagnóstico tanto de la especie y su hábitat se tenga en cuenta las siguientes acciones y/o medidas:

- Delimitación precisa del área de la reserva que incluya áreas clave de la especie *percilia irwini*, como áreas de reproducción/desove y áreas de refugio.

- Control de la calidad del agua según la norma NCh 1.333
- Implementación de medidas para mejorar la conectividad y reducir la fragmentación genética mediante translocación de especies según su genética.
- Monitoreo regular de la presencia de especies invasoras y aplicación de medidas de control efectivas.

Se debe considerar que los estudios de evaluación y diagnóstico tanto de la especie como de la cuenca existen, dentro de ellos se tiene:

- Cartografía y distribución geográfica: Mapeo detallado de la distribución de la especie en las zonas 14 Huequecura y 12 Rucúe.
- Evaluación de poblaciones: Estimación de la abundancia, estructura de las poblaciones y condición poblacional.
- Estudios genéticos: Estudio de poblaciones genéticas de la especie (CITAR)
- Hábitat: Hay información acerca de la cuenca del río Biobío ya que es una de las cuencas más importantes del país, por lo que existe registro de parámetros físicos y químicos
- Amenazas: Existe evidencia sobre las amenazas específicas para la especie como lo son las barreras en el estudio 2019 VALENZUELA CITAR, además existe evidencia para presiones antrópicas sobre especies de peces.

Declarar sitios prioritarios

Según la ley (Ministerio de Medio Ambiente, 2023) indica que, a través de la planificación ecológica, se propondrá definir prioridades de conservación de la biodiversidad dictado por el Ministerio de Medio Ambiente.

Considerando que las zonas 13 Queuco, 16 Lirquén y 17 Mininco presentan una alta condición poblacional, son buen candidato para declarar sitios prioritarios, teniendo en cuenta el estado de conservación de la especie y alterado hábitat, a través de planes estratégicos integrales para su conservación, incluyendo su diversidad genética en cuanto a poblaciones y la alta fragmentación de la cuenca.

Santuario de la naturaleza Humedal Desembocadura río Biobío

Según el Sistema de Información y Monitoreo de Biodiversidad SIMBIO, el objeto de protección de la creación del santuario de la naturaleza es; la red hídrica, vegetación nativa ribereña, dunas y geomorfos, avifauna, fauna (anfibios, peces y reptiles), patrimonio histórico y cultural, prácticas tradicionales ligadas a la pesca artesanal y servicios ecosistémicos (Ambiente., 2023), además según la base de datos 145 especies se encuentran dentro de esta área geográfica, sin embargo, *Percilia irwini* no es una de ellas, pese a que habita dicha zona, por lo que es necesario que se incluya dentro del futuro plan de conservación.

Declaración de especie de importancia conservación con base en su categoría de conservación.

La ley indica que, considerando el diagnóstico del estado de la especie, la determinación de su hábitat, la determinación de las amenazas reales o probables, acciones de recuperación, conservación o gestión y un plan de metas medibles (Ministerio de Medio Ambiente, 2023).

Teniendo en cuenta el estado de conservación de *Percilia irwini*, el estado de su hábitat, las amenazas que presentan ambos aspectos y la importancia que le otorga ser una especie endémica, es posible declarar a la especie de importancia para su conservación, debido a que satisface lo que indica la ley.

Declaración de la especie como Monumento Natural

La ley indica que de acuerdo con el interés científico se puede declarar Monumento Natural (Ministerio de Medio Ambiente, 2023).

De acuerdo con la información recaba sobre la especie, esta presenta gran potencial para ser una especie declarada como monumento natural, debido a que *Percilia irwini* es una especie endémica de Chile, micro-endémica de la cuenca del río Biobío, lo cual le confiere una importancia biológica y evolutiva por sus taxones evolutivamente significativos y primitivos, esto mismo le confiere susceptibilidad a la extinción, además es una especie que ha sido sujeto de estudios científicos y se encuentra en estado de conservación En Peligro. Por otro lado, en Chile se desconoce la riqueza de especies de peces nativos, la sociedad chilena reconoce peces introducidos, los cuales son dañinos para la ictiofauna nativa, de este modo, otorgarle por su interés científico “especie

monumento natural” sería un aporte para el conocimiento y la valorización de la fauna nativa.

Medidas de control de especies exóticas

Para las zonas que se encuentran amenazadas por una alta abundancia de especies exóticas (salmónidos), 13 Queuco, 14 Huequecura, 16 Lirquén Y 17 Mininco, la ley indica que, se tomaran medidas de prevención, control y erradicación de especies exóticas y exóticas invasoras (a excepción de aquellas actualmente en cultivo o crianza, a través de elaboración y ejecución de planes (Ministerio de Medio Ambiente, 2023).

Para finalizar, este trabajo resalta la urgencia de implementar acciones activas para la protección y conservación de las poblaciones de *Percilia irwini*. A través de estos instrumentos para la conservación de la especie, se proponen medidas que tengan como objetivo mantener la conectividad reproductiva entre poblaciones genéticas, debido a la alta fragmentación que altera la cuenca, por lo que se sugiere implementar esfuerzos en la translocación de individuos y en futuros proyectos que puedan influir negativamente en la conexión de estos ecosistemas (Pennock et al., 2024), establecer programas de monitoreo continuo para evaluar cambios en las características poblacionales de la especie y detección de amenazas, proteger zonas aptas para la conservación a través de la declaración de áreas de conservación y realizar esfuerzos en educación y sensibilización. Es crucial implementar programas educativos para aumentar la conciencia pública sobre la importancia de la conservación de la biodiversidad (Ministerio del Medio Ambiente, 2017), con un enfoque específico en la protección de especies en peligro como *Percilia irwini*. Se espera que esta propuesta sea contemplada por las autoridades ambientales y que las áreas de conservación y medidas sugeridas puedan instaurarse legalmente como figuras de protección conforme a la legislación chilena.

3 Conclusión

El presente estudio generó información sobre la especie endémica *Percilia irwini* mediante un análisis multifactorial de la condición poblacional, considerando factores ambientales, genéticos, geomorfológicos y antropogénicos. Además, se implementó una nueva técnica para el cálculo de la condición corporal de la

especie. Con base en esta evaluación, se identificaron y clasificaron áreas clave para la conservación en la cuenca del río Biobío. Los resultados han permitido determinar áreas prioritarias para la conservación de esta especie endémica y proponer medidas específicas para su manejo y conservación.

Los resultados indican que las actividades humanas tienen una influencia importante en las zonas poblacionales de *Percilia irwini*. Las áreas menos afectadas por la intervención humana proporcionan condiciones favorables para la especie, mientras que las áreas altamente antropizadas muestran disminuciones significativas en cuanto a la condición poblacional, lo que requiere una intervención inmediata.

Aunque las áreas de conservación con alta condición poblacional han sido identificadas como, áreas donde la actividades antrópicas no producen grandes alteraciones, estas áreas no están exentas a presiones como la fragmentación en la conectividad reproductiva y las especies exóticas que generan competencia y depredación.

El estudio destaca la necesidad de un enfoque integrado a nivel de cuenca que considere tanto las interacciones de los múltiples factores que alberga un sistema acuático, como los efectos acumulativos de las actividades antrópicas (efectos sinérgicos y/o acumulativos), para así tener un escenario más acabado que permita gestionar de manera coherente las complejas amenazas que enfrenta la ictiofauna, en especial aquellas endémicas y en Peligro como lo es *Percilia irwini*, la cual pese a estar gravemente amenazada ha demostrado a través de los resultados de este estudio ser una especie persistente. La implementación de medidas es perentoria para la conservación de la especie en su hábitat natural.

Referencias

- Aedo, J. R., Belk, M. C., & Habit, E. M. (2009). Geographic variation in age, growth and size structure of *Percilia irwini* from south-central Chile. *J Fish Biol*, 74(1), 278-284. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.02113.x>
- Ambiente., M. d. M. (2023). *Santuario de la Naturaleza "Humedal Desembocadura Río Biobío*. Simbio
- Al-Ghais, S. M. (2013). Acetylcholinesterase, glutathione and hepatosomatic index as potential biomarkers of sewage pollution and depuration in fish. *Marine Pollution Bulletin*, 74(1), 183-186. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.07.005>
- Bañales, C. (2023). RESILIENCIA DE LOS RÍOS COMO SOCIO-ECOSISTEMAS EN EL SUR DE CHILE: EL CASO DEL RÍO QUEUCO EN ALTO BIOBÍO.
- Barra, R. O., Chiang, G., Saavedra, M. F., Orrego, R., Servos, M. R., Hewitt, L. M., McMaster, M. E., Bahamonde, P., Tucca, F., & Munkittrick, K. R. (2021). Endocrine Disruptor Impacts on Fish From Chile: The Influence of Wastewaters. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 12, 611281. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.611281>
- Barton, B. A. (2002). Physiological and condition-related indicators of environmental stress in fish. In J. D. M. a. M. M. Vijayan (Ed.), *Biological indicators of aquatic ecosystem stress*.
- Bilotta, G., & Brazier, R. (2008). Understanding the Influence of Suspended Solids on Water Quality and Aquatic Biota. *Water research*, 42, 2849-2861. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.018>
- Bolger, T., & Connolly, P. L. (1989). The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition. *Journal of Fish Biology*, 34(2), 171-182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1989.tb03300.x>
- Burlakova, L. E., Karatayev, A. Y., Karatayev, V. A., May, M. E., Bennett, D. L., & Cook, M. J. (2011). Endemic species: Contribution to community uniqueness, effect of habitat alteration, and conservation priorities. *Biological Conservation*, 144(1), 155-165. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.08.010>
- Campos, H., G. Dazarola, B. Dyer, L. Fuentes, J.F. Gavilán, L. Huaquín, G. Martínez, R. Meléndez, G. Pequeño, F. Ponce, V.H. Ruiz, W. Siefeld, D. Soto, R. Vega & I. Vila. (1998). *Categorías de Conservación de peces nativos de aguas continentales de Chile*. (Vol. 47).
- Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortiz, N., Piedra, P., & Habit, E. (2012). Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepción)*, 76, 86-100. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382012000100009&nrm=iso

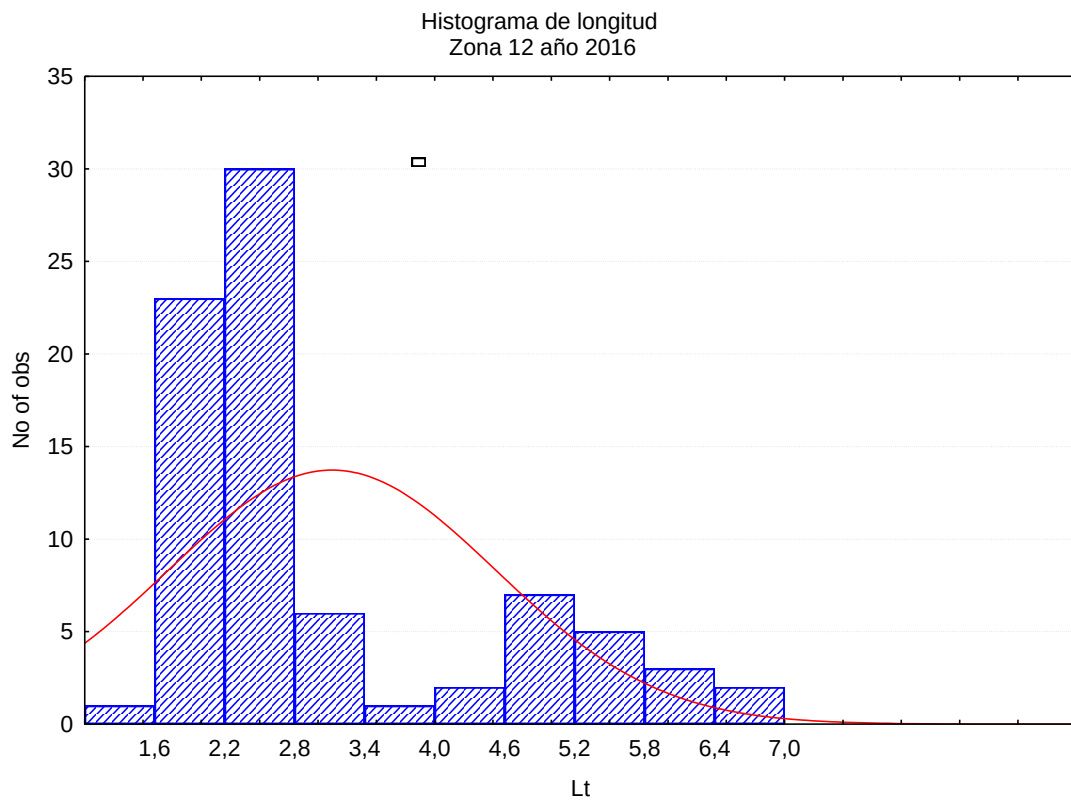
- Colin, N., Habit, E., Manosalva, A., Maceda-Veiga, A., & Górski, K. (2022). Taxonomic and Functional Responses of Species-Poor Riverine Fish Assemblages to the Interplay of Human-Induced Stressors. *Water*, 14(3), 355.
- CONAMA. (2008). *Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos*. (Segunda edición ed.). Ocho Libros Editores.
- Díaz, G., Arriagada, P., Górski, K., Link, O., Karelovic, B., Gonzalez, J., & Habit, E. (2019). Fragmentation of Chilean Andean rivers: expected effects of hydropower development. *Revista chilena de historia natural*, 92. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2019000100201&nrm=iso
- Elgueta, A., Thoms, M. C., Górski, K., Díaz, G., & Habit, E. M. (2019). Functional process zones and their fish communities in temperate Andean river networks. *River Research and Applications*, 35(10), 1702-1711.
- EULA-Chile: *Evolución y perspectivas a 30 años de su creación*. (2020). Trama Impresores. <https://books.google.cl/books?id=TXIyzwEACAAJ>
- García, A., Sobenes, C., Link, O., & Habit, E. (2012). Bioenergetic models of the threatened darter *Percilia irwini*. *Marine & Freshwater Behaviour & Physiology*, 45(1), 17-17-28. <https://doi.org/10.1080/10236244.2012.668283>
- Habit, E., & Belk, M. C. (2007). Threatened fishes of the world: *Percilia irwini* (Eigenmann 1927)(Perciliidae).
- Habit, E., Dyer, B., & Vila, I. (2006). Estado de conocimiento de los peces dulceacuícolas de Chile. *Gayana (Concepción)*, 70, 100-113. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382006000100016&nrm=iso
- Habit, E., González, J., Ortiz-Sandoval, J., Elgueta, A., & Sobenes, C. (2015). Efectos de la invasión de salmónidos en ríos y lagos de Chile. *Ecosistemas*, 24(1), 43-51. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-1.08>
- Habit, E., Zurita, A., Díaz, G., Manosalva, A., Arriagada, P., Link, O., & Górski, K. (2022). Latitudinal and Altitudinal Gradients of Riverine Landscapes in Andean Rivers. *Water*, 14(17), 2614.
- JORQUERA-JARAMILLO, C., VEGA, J. M. A., ABURTO, J., MARTÍNEZ-TILLERÍA, K., F. LEON, M., A. PÉREZ, M., GAYMER, C. F., & SQUEO, F. A. (2012). Conservación de la biodiversidad en Chile: Nuevos desafíos y oportunidades en ecosistemas terrestres y marinos costeros. *Revista chilena de historia natural*, 85, 267-280. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2012000300002&nrm=iso
- Kalin, M., Marquet, P., Marticorena, C., Simonetti, J., Cavieres, L., & Squeo, F. (2006). El hotspot chileno, prioridad mundial para la conservación. *Diversidad de Ecosistemas, Ecosistemas Terrestres*. in *Diversidad de Chile: Patrimonios y Desafíos*, 94-97.

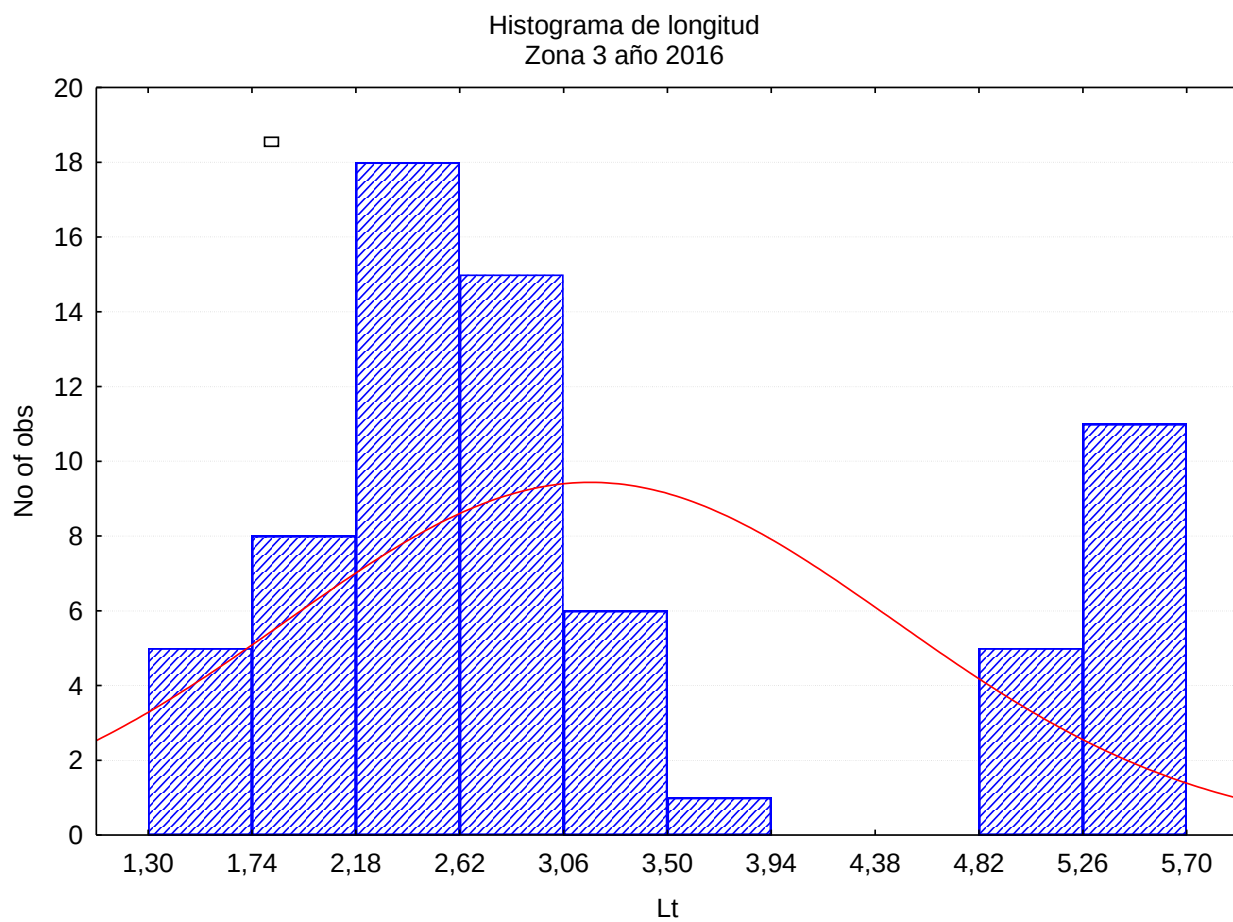
- Maceda-Veiga, A., Green, A., & Sostoa, A. (2014). Scaled mass index shows how habitat quality influences the condition of four fish taxa in north-eastern Spain, and provides a novel indicator of ecosystem health. *Freshwater Biology*, 59. <https://doi.org/10.1111/fwb.12336>
- Marr, S., Olden, J., Leprieur, F., Arismendi, I., Čaleta, M., Morgan, D., Nocita, A., Sanda, R., Tarkan, A., & García-Berthou, E. (2013). A global assessment of freshwater fish introductions in mediterranean-climate regions. *Hydrobiologia*, 719, 317-329. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1486-9>
- Marr, S. M., Olden, J. D., Leprieur, F., Arismendi, I., Čaleta, M., Morgan, D. L., Nocita, A., Šanda, R., Serhan Tarkan, A., & García-Berthou, E. (2013). A global assessment of freshwater fish introductions in mediterranean-climate regions. *Hydrobiologia*, 719(1), 317-329. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1486-9>
- LEY 21600 (SBAP) SERVICIO DE BIODIVERSIDAD Y ÁREAS PROTEGIDAS Y EL SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS., (2023).
- Ministerio del Medio Ambiente, C. (2017). *Estrategia Nacional de Biodiversidad (2017-2030)*.
- Murueta Figueroa, L. N., Carlos Rochera, C., Antonio, C., Eduardo Vicente, P., Lidia Romero, V., & Eugenio Rico, E. (2014). *Efecto de la carga orgánica y de nutrientes y su biorremediación en sedimentos de ecosistemas acuáticos con distintas características ecológicas* Universitat de València]. <https://producciocientifica.uv.es/documentos/5eb09cce299952764111fc7c>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Norman, M. (2003). Biodiversity Hotspots Revisited. *BioScience*, 53(10), 916-917. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0916:Bhr\]2.0.Co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0916:Bhr]2.0.Co;2)
- Olmos, V., Victoriano, P., Habit, E., & Valdovinos, C. (2003). Parásitos de peces nativos de la cuenca del río Laja (Chile Central) y alcances sobre sus ciclos de vida. *Archivos de medicina veterinaria*, 35(2), 195-203.
- Pennock, C. A., Healy, B. D., Bogaard, M. R., McKinstry, M. C., Gido, K. B., Cathcart, C. N., & Hines, B. (2024). Translocation in a fragmented river provides demographic benefits for imperiled fishes. *Ecosphere*, 15(5), e4874. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ecs2.4874>
- Pezoa, A. (2001). Estrategias de Conservación de la Diversidad Biológica. In *Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo* (Vol. 18, pp. 273-280). <http://www.biouls.cl/lrojo/Manuscrito/Capitulo%2018%20Conservacion.PDF>
- Pinna, M., Zangaro, F., Saccomanno, B., Scalone, C., Bozzeda, F., Fanini, L., & Specchia, V. (2023). An Overview of Ecological Indicators of Fish to

- Evaluate the Anthropogenic Pressures in Aquatic Ecosystems: From Traditional to Innovative DNA-Based Approaches. *Water*, 15(5), 949. <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/5/949>
- Poorter, M. D., Lowe, S. M., Boudjelas, S., & Browne, M. (2000). 100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo : una selección del Global Invasive Species Database.
- (Poorter et al., 2000) Adams, S. M., Brown, A. M., & Goede, R. W. (1993). A Quantitative Health Assessment Index for Rapid Evaluation of Fish Condition in the Field. *Transactions of the American Fisheries Society*, 122(1), 63-73. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1993\)122<0063:AQHAIF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1993)122<0063:AQHAIF>2.3.CO;2)
- Rojas-Castro, H., & Araya-Crisóstomo, S. (2019). Medidas de conservación ex situ: Un enfoque metapoblacional a partir del modelo clásico de Levins. *Gayana (Concepción)*, 83, 46-56. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382019000100046&nrm=iso
- Torres Bugarín, O., Zavala Aguirre, J. L., Gómez Rubio, P., Buelna Osben, H. R., Zúñiga González, G., & García Ulloa Gómez, M. (2007). Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago "La Alberca", Michoacán, México. *Hidrobiológica*, 17(1), 75-81. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57811709> (IN FILE)
- Valdovinos, C. P., O. . (2006). La Cuenca del Río Biobío: Historia Natural de un Ecosistema de Uso Múltiple. *Publicaciones Centro de Ciencias Ambientales EULA*, 25.
- Valenzuela-Aguayo, F., McCracken, G. R., Manosalva, A., Habit, E., & Ruzzante, D. E. (2020). Human-induced habitat fragmentation effects on connectivity, diversity, and population persistence of an endemic fish, *Percilia irwini*, in the Biobio River basin (Chile). *Evol Appl*, 13(4), 794-807. <https://doi.org/10.1111/eva.12901>
- Vivancos, A., Gorski, K., Manosalva, A., Toledo, B., Reid, M., & Habit, E. (2021). Hydrological connectivity drives longitudinal movement of endangered endemic Chilean darter *Percilia irwini* (Eigenmann, 1927). *J Fish Biol*, 98(1), 33-43. <https://doi.org/10.1111/jfb.14554>
- Yevenes, M. A., Figueroa, R., & Parra, O. (2018). Seasonal drought effects on the water quality of the Biobio River, Central Chile. *Environ Sci Pollut Res Int*, 25(14), 13844-13856. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1415-6>

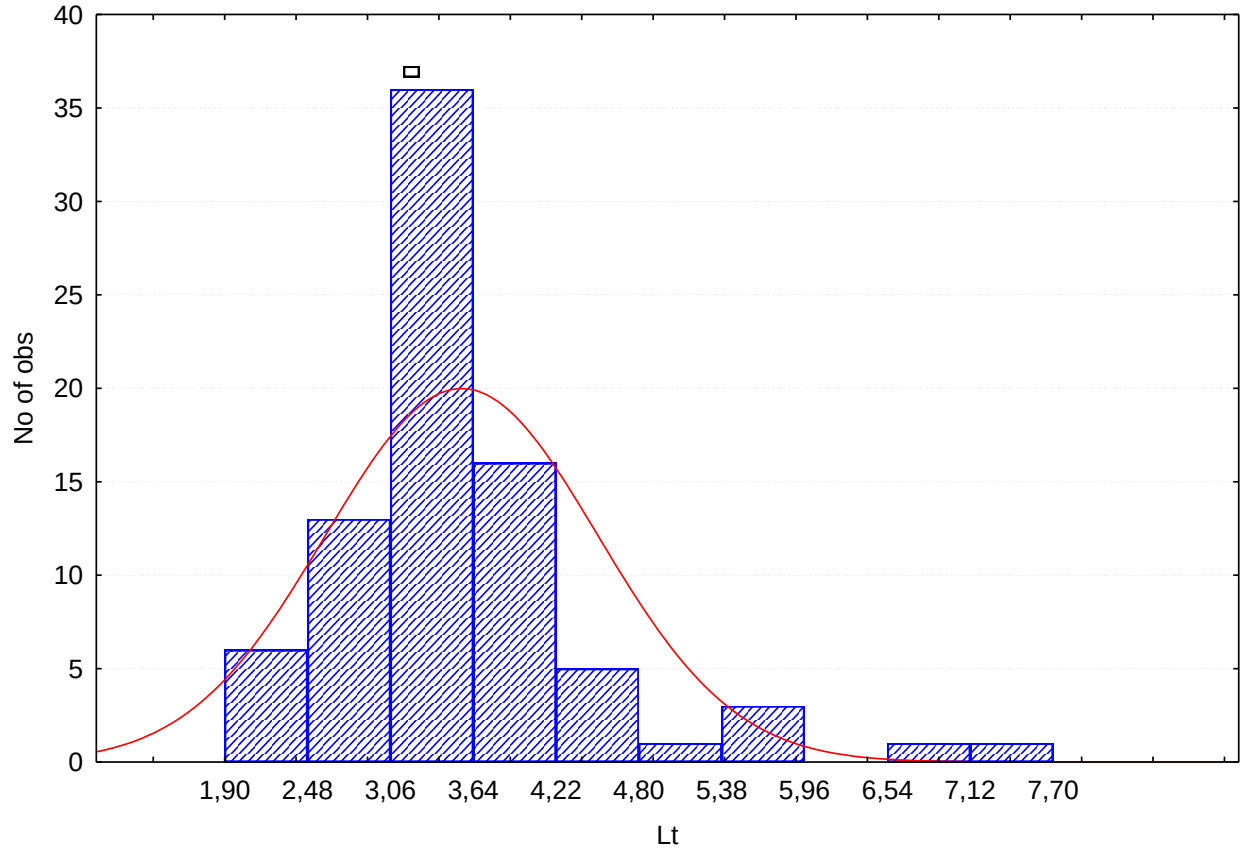
ANEXOS

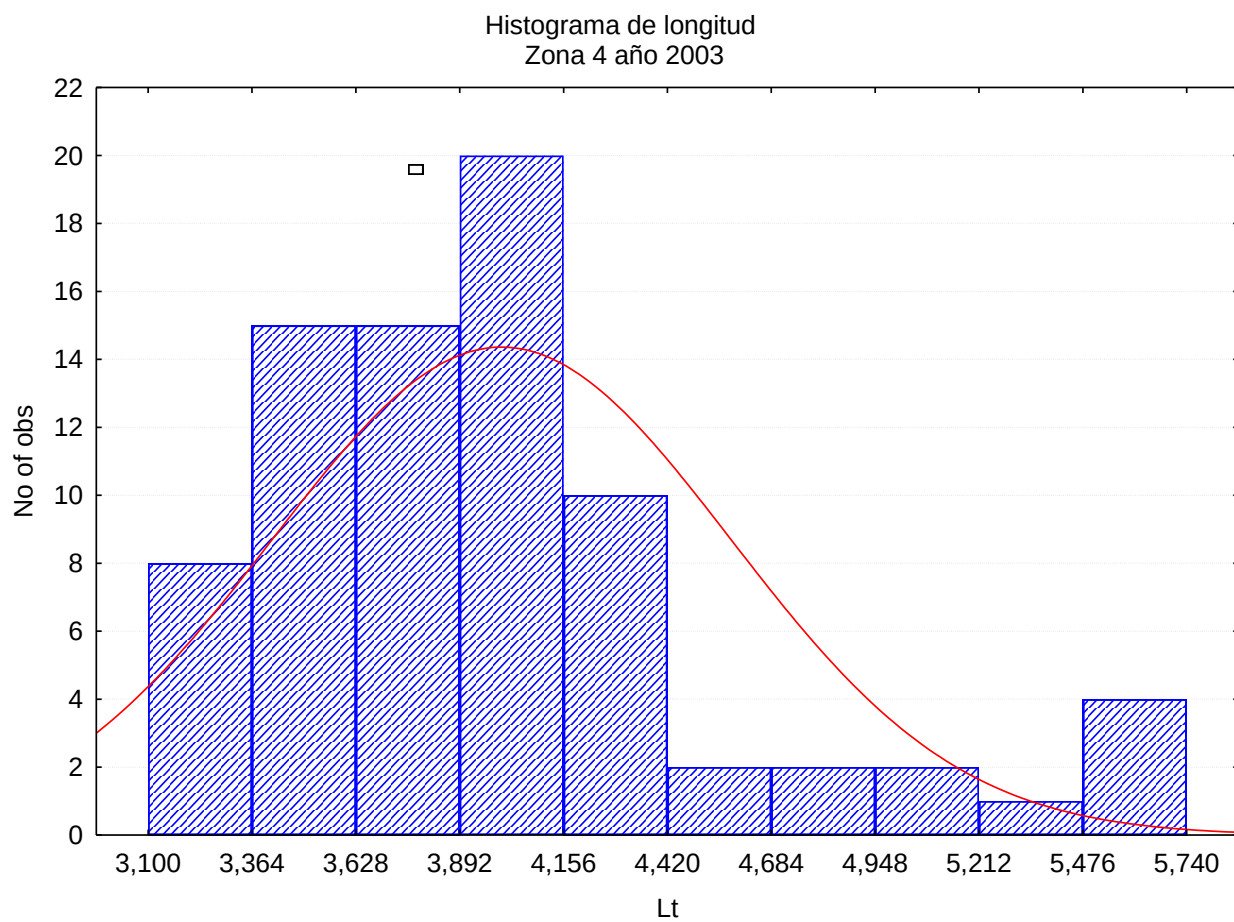
Figuras: Histograma de tallas para zonas que presentan en su temporalidad la tendencia particular de alta abundancia y baja condición corporal.





Histograma de longitud
zona 10 año 2016





Histograma de longitud
Zona 4 año 2006

