



Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile
Universidad de Concepción



Informe Final

Programa de Monitoreo de Evaluación del Estado Ecológico de la cuenca hidrográfica de Rapel, mediante uso de bioindicadores.

Concepción, Noviembre de 2014

Contenido

1. ANTECEDENTES GENERALES	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo General	2
2.2 Objetivos Específicos	2
3. METODOLOGÍA	3
3.1 Área de estudio	3
3.2 Muestreo y análisis de macroinvertebrados bentónicos	6
3.2.1 Índice ChSIGNAL	6
3.3 Índices de Estado Ecológico	9
3.3.1 Índice de Hábitat Fluvial (IHF)	9
3.3.2 Índice de Calidad de Ribera (QBR)	11
3.4 Representación cartográfica	13
3.5 Variables fisicoquímicas	14
4. RESULTADOS	15
4.1 Macroinvertebrados bentónicos	15
4.2 Estado ecológico del hábitat fluvial mediante la aplicación del índice IHF	18
4.3 Estado ecológico de las riberas mediante la aplicación del índice QBR	20
4.4 Variables físico-químicas y su relación con el Índice Biótico evaluado	20
5. CONCLUSIONES	26
6. BIBLIOGRAFÍA	28

1. ANTECEDENTES GENERALES

La contaminación de los recursos hídricos es reconocida como uno de los problemas ambientales de mayor envergadura del país, existiendo un deterioro progresivo de la calidad de las aguas principalmente a causa de las descargas de efluentes a sus respectivos cursos de aguas (Iza & Rovere 2006). Por ello se hace cada vez más necesario la protección legal de los recursos hídricos y su constante monitoreo a través del desarrollo de Normas Secundarias de Protección a la Calidad de Aguas Secundarias (NCAS), que aseguren la Sustentabilidad en términos de cantidad y calidad. Sin embargo, el desarrollo de estas normas ha sido lento y parciales, cuando se sustentan solo en el monitoreo de variables físico-químicas, sin validar el efecto de las diversas presiones sobre la comunidades acuáticas.

Los monitoreos biológicos son análisis de las especies presentes en los sistemas acuáticos tales como: fitoplancton, perifiton, macrófitas, zooplancton, macroinvertebrados y peces; sin embargo, la determinación del grupo es dependiente de su importancia en el sistema en cuestión, de la presencia de especialistas en cada uno de los grupos tróficos existentes, siendo hasta ahora los MIB los más utilizados. En Chile, el interés por el conocimiento sobre MIB de aguas continentales ha ido en aumento en esta última década, aunque su análisis y aplicación de diferentes índices bióticos utilizando MIB se ha desarrollado principalmente en ríos de la zona centro-sur (ej. Figueroa et al. 2003, 2005, 2007; Córdova et al. 2009).

Dado que los bioindicadores pueden presentar distintos patrones de respuesta ante un mismo estímulo, la implementación en Chile de cualquiera de los métodos desarrollados internacionalmente, requiere de la calibración, estandarización y validación previa de los taxa presentes en un sector específico. De esta manera, es necesario conocer los tipos de organismos que habitan una zona determinada, sus requerimientos ambientales y su distribución geográfica. La incorporación de ambos criterios, físico-químicos y biológicos, no necesariamente deben coincidir en la respuesta evaluada, pero permiten complementarse, especialmente cuando se incorporan otras variables que inciden en la presencia y/o abundancia de los organismos como la caracterización del hábitat o condiciones de caudal. Al respecto, en Chile existen pocas experiencias concretas que permitan validar su uso y un ejemplo, es la cuenca del Maipo donde existe un ejercicio de varios años que permitió validar el método como una herramienta de seguimiento. En la cuenca del Cachapoal y Tinguiririca se realizó también una aproximación en el estudio “Diagnóstico Indicadores Biológicos en la Cuenca Rapel”, 2008 proyecto nº 30073967-0 de CONAMA, VI Región, el cual sustenta y da origen a este estudio.

El presente estudio tuvo como principal propósito realizar un monitoreo biológico mediante la utilización de MIB y los índices de calidad de ribera y hábitat fluvial como indicadores del estado ecológico de las cuencas. De esta forma se pretende complementar los monitoreos que se realizan por las normas secundarias y que actualmente sólo incluyen calidad de agua mediante parámetros

físico-químicos. El objetivo final propuesto por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), que es el encargado de coordinar el diseño, evaluación y establecimiento de (NCAS) y Normas de Emisión para la protección de las aguas continentales superficiales del país, es robustecer la implementación de estos instrumentos de gestión.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Implementar un monitoreo que permita determinar el estado ecológico en las cuenca hidrográfica del río Rapel, aportado a la determinación del estado ecológico de la cuenca.

2.2 Objetivos Específicos

1. Realizar monitoreo de comunidades de macroinvertebrados bentónicos, evaluando su distribución y abundancia a lo largo de la cuenca, y calcular el índice ChSIGNAL como complemento a la evaluación del estado ecológico en estaciones seleccionadas en los ríos Cachapoal, Claro, Tinguiririca y Rapel.
2. Valorar aspectos físicos del cauce, evaluando heterogeneidad del hábitat fluvial mediante la aplicación del índice de ecología fluvial (IHF) en estaciones seleccionadas en los ríos Cachapoal, Claro, Tinguiririca y Rapel.
3. Determinar el grado de exposición de los ecosistemas acuáticos a las distintas presiones, mediante la aplicación del índice de ribera (QBR), en estaciones seleccionadas en los ríos Cachapoal, Claro, Tinguiririca y Rapel.
4. Analizar variables físico-químicas monitoreadas en la columna de agua y correlacionarlas con las variables biológicas, robusteciendo el proceso de elaboración de la norma secundaria de calidad de aguas de la cuenca Rapel.
5. Probar y validar el monitoreo biológico, como una herramienta de seguimiento ambiental en el marco de la futura norma secundaria de calidad de aguas.

3. METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

El área de estudio comprende la cuenca del río Rapel y comprende las más importantes subcuencas de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, en ellas se han seleccionado 7 estaciones de muestreo que se describen en la Tabla 1. Estos corresponden a 6 de los puntos utilizados en el monitoreo que fue realizado durante el 2008 por el Centro EULA en las mismas cuencas y que siguen siendo monitoreadas para calidad de agua por el MMA de Rancagua. Asimismo hemos incluido un monitoreo biológico y de variables in situ en la cuenca del Río Nilahue, con el fin de aportar información. La Figura 1 muestra la localización general de las estaciones de muestreo, mientras que las Figuras 2-13 muestran características generales de las mismas.

Tabla 1. Listado de puntos de muestreo seleccionados para el monitoreo (Coordenadas geográficas UTM WGS 84 – Huso 18).

Código	Límites	Coordenadas Este	Coordenadas Norte
TI-10	De: Naciente río Tinguiririca	377.128	6.127.672
	Hasta: Confluencia río Claro	327.943	6.161.105
TI-30	De: Puente La Gloria	301.935	6.165.475
	Hasta: Puente Apalta	287.211	6.165.120
CL-10	De: Naciente río Claro	352.348	6.130.155
	Hasta: Confluencia río Tinguiririca	327.943	6.161.105
CA -10	Desde: naciente río Cachapoal	397.503	6.195.927
	Hasta: confluencia río Pangal	363.527	6.210.777
CA - 30	Desde: confluencia río Coya	359.012	6.213.764
	Hasta: confluencia estero Los Leones	342.323	6.212.199
RA - 10	Desde: confluencia embalse Rapel	260.927	6.230.489
	Hasta: inicio zona estuarina del río Rapel	240.964	6.243.706
RA-20	Desde: inicio zona estuario del río Rapel	240.964	6.243.706
	Hasta: Boca río Rapel	238.145	6.244.820
NI -10	Río Nilahue en carretera	247.468	6.157.182

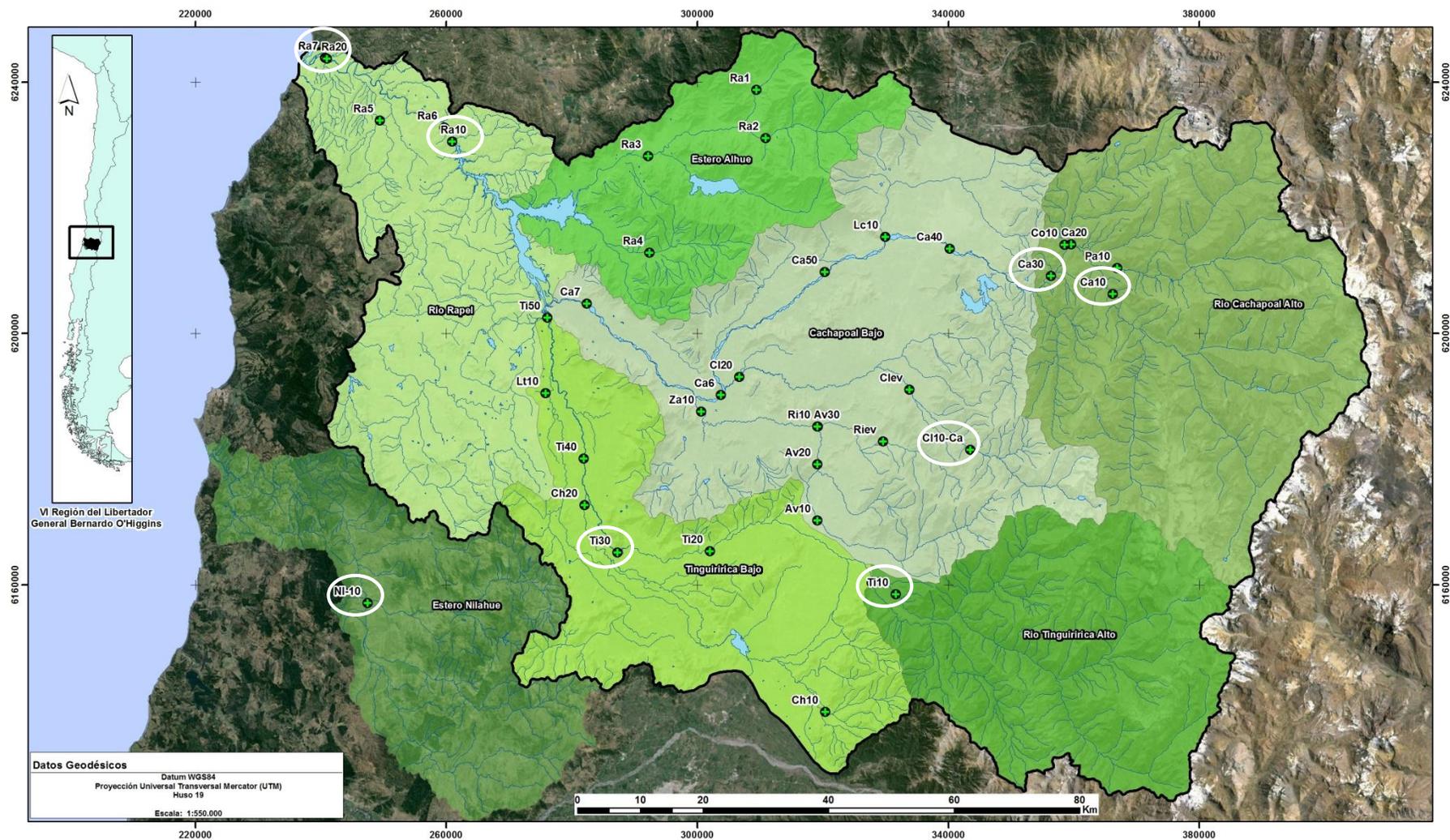


Figura 1. Localización general de las estaciones de muestreo.



Figura 1. Estación de muestreo CA-10 en el río Cachapoal antes de la confluencia con el río Pangal.



Figura 2. Actividades de muestreo con participación de la contraparte, en estación CA-10.



Figura 3. Estación de muestreo CA-30 en Puente Termas, río Cachapoal antes del estero Los Leones.



Figura 4. Vista general de la estación CA-30.



Figura 5. Estación CL-10, río Claro en las Nieves.



Figura 6. Vista general de la estación CL-10, que presenta aspecto de buena calidad y vegetación aledaña mejor conservada.



Figura 7. Vista general de la Estación TI-10, río Tinguiririca bajo puente Talcahue.



Figura 8. Vista general estación TI-30.



Figura 9. Vista general de la estación RA-10, en Rapel bajo.



Figura 10. Actividades de muestreo en estación RA-10.



Figura 11. Vista general de la Estación RA-20. Estuario del Río Rapel.



Figura 12. Estación RA-20, donde se aprecia mejor la condición estuarina que es aprovechada por los pescadores locales para fondear y la pesca de la Lisa (*Mugil cephalus*).



Figura 13. Río Nilahue en Puente carretero.



Figura 14. Río Nilahue, con desarrollo de macrófitos e islas en el medio.

3.2 Muestreo y análisis de macroinvertebrados bentónicos

Los muestreos de las comunidades de MIB bentónicos fueron realizados el 6 de octubre de 2014 y estuvieron orientados al reconocimiento de los taxa presentes (familias) y con el fin de aplicar experimentalmente IB ChSIGNAL (Figuroa *et al.*, 2007), por lo cual fueron de tipo cualitativo y siguiendo un criterio multihábitat. Este muestreo es útil, puesto permite soslayar el problema de no encontrar siempre los mismos sustratos y velocidades de corrientes, condición que si exige un muestreo de tipo cuantitativo, para hacer comparables las estaciones y que no siempre logra.

El muestreo se realizó mediante redes de mano de 250 μm de trama de malla, donde los sustratos se deben remover para capturar todo el material que es liberado. El esfuerzo de muestreo consiste en muestrear todos los hábitats disponibles y en un trayecto mínimo de 50 m longitudinal al río. Las muestras deben ser fijadas con alcohol al 98 % (puesto que las muestras ya contienen agua) y trasladadas a laboratorio para un análisis más exhaustivo. En laboratorio las muestras deben ser lavadas separando los organismos de los restos de material orgánico, mediante el uso de una lupa estereoscópica. Los organismos deben ser identificados mediante literatura especializada (ej. Fernández *et al.*, 2002, Domínguez *et al.*, 2006, 2009) construyendo una matriz con la lista de taxa (familias) presentes por estación de muestreo.

3.2.1 Índice ChSIGNAL

La aplicación de índice ChSIGNAL consiste en identificar las familias por segmento o estación de muestro, a las cuales se les debe asignar un valor de tolerancia (según Tabla 1, adaptada para Chile por Figuroa 2004, *et al.*, 2007). Las tolerancias de cada familia por estación son sumadas y se obtiene un valor total el cual debe ser dividido por el total de familias registradas, obteniendo una razón que asigna un puntaje que, de acuerdo a la Tabla 2, corresponde a 5 clases de calidad ambiental (ASPT, Average Score per Taxon, Friedich *et al.* 1996).

Tabla 2. Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos dulceacuícolas para ríos mediterráneos de Chile (ChSIGNAL).

	Familias Presentes	Puntuación
P	Austroperlidae, Diaphnoidae, Eustheniidae, Notonemouridae, Perlidae	10
E	Nesameletidae, Ameletopsidae, Coloburiscidae	
T	Anomalopsychidae, Calamoceratidae, Helicophidae, Kokriidae, Philopotamidae	
T	Sericostomatidae, Stenopsychidae,	
D	Blephariceridae	
C	Limnichidae, Psephenidae	
E	Leptophlebiidae	9
T	Glossosomatidae, Limnephilidae	
D	Athericidae, Dixidae	
E	Oniscogastridae	8
T	Phylorheytidae, Polycentropodidae, Tasiimidae	
O	Calopterygidae, Libellulidae	
Cr	Parastacidae	
P	Gripopterygiidae	7
T	Ecnomidae, Hydrobiosidae, Leptoceridae	
O	Lestidae, Gomphidae, Corduliidae, Coenagrionidae	
T	Hydroptilidae	6
D	Ceratopogonidae	
O	Petaluridae, Aeshnidae	
C	Elmidae	
Cr	Aeglidae, Hyallelidae	
MI	Ancylidae, Chilinidae, Hyriidae	
E	Baetidae	5
T	Hydropsychidae	
Mg	Corydalidae	
D	Tipulidae, Simuliidae	
C	Dryopidae, Gyrinidae	
Tu	Turbellaria *	
MI	Hydrobiidae (antes Amnicolidae)	
E	Caenidae	4
Mg	Sialidae	
D	Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae, Limoniidae, Psychodidae	
C	Haliplidae, Curculionidae, Psephenidae	
H	Belostomatidae	
A	Acarí*	
C	Hydrophilidae, Dytiscidae, Hydraenidae	3
H	Gerridae, Notonectidae, Corixidae	
MI	Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Sphaeriidae	
Cr	Janiiridae	
Hi	Hirudinea*	
D	Chironomidae, Culicidae, Ephydriidae	2
D	Syrphidae	1
Ol	Oligochaeta * (Naididae, Lumbriculiidae)	

Se han eliminado aquellas familias que no se encuentran en Chile, así como incorporado otras asignando puntajes de tolerancia de acuerdo a datos de Hilsenhoff (1988), Bode (1988), Lennat (1993), Roldán (1999), Chessman (1995, 2003), Tiller & Metzelling (2002), Mackie (2001), Prat et al. (2000) y Figueroa et al. (2003). (Tabla tomada de Figueroa et al. 2007; *: Todas las familias se consideran dentro del grupo. Las letras mayúsculas en la primera columna indican el orden y/o clase para facilitar la búsqueda).

Tabla 3. Cuadro de transformación a 5 clases de calidad, su relación con las características ambientales y el color para su representación cartográfica (Tomada de Figueroa 2004 y Figueroa *et al.*, 2007).

Clase	ChSIGNAL	Características ambientales	Color
I	>7,00	Muy Bueno, No perturbado	Azul
II	6,00-6,99	Bueno, Moderadamente perturbado	Verde
III	5,00-5,99	Regular, Perturbado	Amarillo
IV	4,00-4,99	Malo, Muy perturbado	Naranja
V	<4,00	Muy malo, Fuertemente perturbado	Rojo

3.3 Índices de Estado Ecológico

3.3.1 Índice de Hábitat Fluvial (IHF)

El IHF está compuesto por 7 bloques los cuales valoran aspectos físicos del cauce que le otorgan heterogeneidad al hábitat como frecuencia de rápidos, composición del sustrato, regímenes de velocidad y profundidad, porcentaje de sombra en el cauce, entre otros, los cuales son destacados en la tabla 4 donde se entregan las variables que se evalúan por cada bloque, y los puntajes máximos que es posible obtener en cada bloque, respectivamente.

La puntuación final del índice es la suma de cada bloque que puede fluctuar entre 0-100 y no existe una escala de valoración establecida en clases de calidad. No obstante, se sigue la escala que se utilizó en el estudio “Diagnóstico Indicadores Biológicos en la Cuenca Rapel”, con el fin que los resultados sean comparativos (Tabla 5). Además se deben seguir ciertas consideraciones las cuales se resumen en la Tabla 6.

Tabla 4. Ficha de terreno que permite obtener el Índice de Hábitat Fluvial (IHF).

Fecha de muestreo:		
1. INCLUSIÓN RÁPIDOS-SEDIMENTACIÓN POZAS		
Rápidos	Piedras, cantos y gravas no fijadas por sedimentos finos. Inclusión 0 - 30	10
	Piedras, cantos y gravas poco fijadas por sedimentos finos. Inclusión 30 - 60%.	5
	Piedras, cantos y gravas medianamente fijadas por sedimentos finos. Inclusión >60%	0
Sólo pozas	Sedimentación 0 - 30%	10
	Sedimentación 30 – 60%	5
	Sedimentación > 60%	0
Puntuación total (máximo 10)		
2. FRECUENCIA DE RÁPIDOS		
Alta frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / ancho del río		10
Escasa frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / ancho del río 7 – 15		8
Ocurrencia ocasional de rápidos. Relación distancia entre rápidos / ancho del río 15 – 25		6
Constancia de flujo laminar o rápidos someros. Relación distancia entre rápidos/ancho del río >25		4
Solo pozas		2
Puntuación total (máximo 10)		
3. COMPOSICIÓN DEL SUBSTRATO		
% Bloques y piedras	1-10%	2
	>10%	5
% Cantos y gravas	1-10%	2
	>10%	5
% Arena	1-10%	2
	>10%	5
% Limo y arcilla	1-10%	2
	>10%	5
Puntuación total (máximo 20)		
4. REGÍMENES DE VELOCIDAD / PROFUNDIDAD *(Somero: <0.5m--Lento: <0.3m/s)		
4 categorías. Lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido- somero		10
Solo 3 de las 4 categorías		8
Solo 2 de las 4		6
Solo 1 de las 4		4
Puntuación total (máximo 10)		
5. PORCENTAJE DE SOMBRA EN EL CAUCE		
Somero con ventanas		10
Totalmente en sombra		7
Grandes claros		5
Expuesto		3
Puntuación total (máximo 10)		
6. ELEMENTOS HETEROGENEIDAD		
Hojarasca	>10% o < 75%	4
	<10% o >75%	2
Presencia de troncos y ramas		2
Raíces expuestas		2
Diques naturales		2
Puntuación total (máximo 10)		
7. Cobertura de vegetación acuática		
% Plocon + briófitos	10 - 50%	10
	< 10% ó > 50%	5
% Pecton	10 - 50%	10
	< 10% ó > 50%	5
% Fanerógamas + Charales	10 - 50%	10
	< 10% ó > 50%	5
Puntuación total (máximo 30)		
PUNTUACION FINAL (Suma todas las categorías)		

Tabla 5. Clasificación del índice de valoración ecológica IHF.

Nivel de la calidad del hábitat	IHF	Color
Alta heterogeneidad, estado natural con alto potencial de colonización	>80	Azul
Buena heterogeneidad y baja intervención antrópica	60-80	Verde
Regular heterogeneidad de hábitat, con modificaciones importantes	41-60	Amarillo
Baja heterogeneidad de hábitat	21-40	Naranja
Muy baja heterogeneidad de hábitat. Altamente intervenido con pésimo potencial de colonización	<20	Rojo

Tabla 6. Consideraciones previas a contar en la aplicación del índice IHF

Pasos a Seguir	Observaciones
Seleccionar el área de observación: El tramo del río evaluado deberá tener una longitud suficiente (unos 100 m) para proporcionar al observador la información necesaria para cubrir los siete bloques de los que consta el índice.	El índice será aplicado durante períodos en los que el caudal sea bajo, de manera que el sustrato y las características del canal puedan verse con facilidad. No evaluar el hábitat inmediatamente después de una crecida.
Independencia de los bloques a analizar: Los siete bloques en los que se basa el IHF son independientes y la puntuación de cada uno de ellos no puede ser superior a la que se indica al final de la hoja de campo.	En cada bloque se valorará únicamente la presencia de cada uno de los parámetros indicados, no su ausencia.
Puntuación final: La puntuación final será el resultado de la suma de los siete bloques y por tanto nunca puede ser superior a 100.	

3.3.2 Índice de Calidad de Ribera (ICR)

La aplicación de este índice permite determinar el grado de exposición de los ecosistemas acuáticos a las distintas presiones de su cuenca. El índice ICR se divide en 4 bloques que incluyen análisis tanto de la cubierta vegetal (*ej.* grado de cubierta, estructura y calidad de la vegetación, naturalidad del canal) como de determinación del tipo geomorfológico de la zona de ribera (*ej.* tipos de desnivel de la ribera, presencia de islas en el medio del lecho del río, porcentaje de sustrato duro). En la tabla 7 se entregan las variables que se evalúan por cada bloque, y los puntajes máximos que es posible obtener en cada bloque, respectivamente. El valor del índice se clasifica en 5 rangos de calidad (Tabla 8) y deben tomarse en cuenta una serie de consideraciones descritas en la Tabla 9.

Tabla 7. Ficha de terreno que permite obtener el Índice de Calidad de Ribera (ICR).

1. GRADO DE CUBIERTA DE LA ZONA DE RIBERA				
25	> 80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera (las plantas anuales no se contabilizan)			
10	50-80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera			
5	10-50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera			
0	< 10 % de cubierta vegetal de la zona de ribera			
+10	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total			
+5	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es superior al 50%			
-5	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es entre el 25 y 50%			
+10	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es inferior al 25%			
Puntaje Total (0- 25)				
2. ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA (SE CONTABILIZA TODA LA ZONA DE RIBERA)				
25	cobertura de árboles superior al 75 %			
10	cobertura de árboles entre el 50 y 75 % o cobertura de árboles entre el 25 y 50 % y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25 %			
5	cobertura de árboles inferior al 50 % y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 %			
0	sin árboles y arbustos por debajo del 10 %			
+10	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es superior al 50 %			
+5	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre 25 y 50 %			
+5	si los árboles tienen un sotobosque arbustivo			
-5	si hay una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es > 50 %			
-5	si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad			
-10	si hay una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es < 50 %			
Puntaje Total (0-25)				
3. CALIDAD DE LA CUBIERTA (DEPENDE DEL TIPO GEOMORFOLÓGICO DE LA RIBERA (*)				
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
25	número de especies de árboles o arbustos autóctonos	> 1	> 2	> 3
10	número de especies de árboles o arbustos autóctonos	1	2	3
5	número de especies de árboles o arbustos autóctonos	-	1	1-2
0	sin árboles autóctonos			
+10	si la comunidad forma una franja longitudinal continua adyacente al canal fluvial en más del 75% de la longitud del tramo	2	> 3	> 4
+5	si la comunidad forma una franja longitudinal continua adyacente al canal fluvial entre el 50 y 75% de la longitud del tramo			
+5	si las distintas especies se disponen en bandas paralelas al río			
+5	si el número de especies de arbustos es:			
-5	si hay estructuras construidas por el hombre			
-5	si hay alguna sp. de árbol y/o arbusto alóctono** aislada			
-10	si hay sp. de árboles y/o arbustos alóctonos** formando comunidades			
-10	si hay vertidos de basuras			
TOTAL(0-25)				
4. GRADO DE NATURALIDAD DEL CANAL FLUVIAL				
25	El canal del río no ha estado modificado			
10	Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal			
5	Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río			
0	Río canalizado en la totalidad del tramo			
-10	Si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río			
-10	Si existe alguna presa <o> U otra infraestructura transversal en el lecho del río			
TOTAL (0-25)				
PUNTUACION FINAL (suma de las anteriores puntuaciones)				

Tabla 8. Rangos de calidad según el índice QBR.

NIVEL DE CALIDAD	QBR	Color
Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural.	≥ 95	Azul
Bosque ligeramente perturbado, calidad buena.	75-90	Verde
Inicio de alteración importante, calidad intermedia.	55-70	Amarillo
Alteración fuerte, calidad mala.	30-50	Naranja
Degradación extrema, calidad pésima	≤ 25	Rojo

Tabla 9. Consideraciones importantes para la selección del tramo.

Consideraciones de selección del tramo	Observaciones
Seleccionar el área de observación: Es necesario considerar la totalidad del ancho potencial del bosque de ribera para calcular el QBR. En ella diferenciaremos y delimitaremos visualmente la orilla y la ribera.	Orilla. Zona del cauce inundable en crecidas periódicas en un período aproximado de dos años. Ribera. Zona inundable en crecidas de gran magnitud (períodos de hasta 100 años). Pueden estar incluidas varias terrazas aluviales.
Cálculo bloque por bloque: En cada bloque hay que entrar por una de las cuatro opciones principales, puntuando 25, 10, 5 ó 0. Solamente se puede escoger una entrada: la que cumpla la condición exigida siempre leyendo de arriba abajo. La puntuación final de cada bloque será modificada por las condiciones expuestas en la parte inferior de cada bloque, tantas veces como se cumpla la condición (sumando o restando).	Los cuatro bloques en los que está basado el QBR son totalmente independientes. De las cuatro opciones principales, se escogerá solamente una de ellas. La puntuación final de cada bloque tendrá un 25 como máximo y un 0 como mínimo. Las condiciones se analizarán considerando ambos márgenes del río como única unidad.
Puntuación final: La puntuación final será el resultado de la suma de los cuatro bloques y, por lo tanto, variará entre 0 y 100.	
Exigencia: Los puentes y caminos utilizados para acceder a la estación de muestreo no se tendrán en cuenta para la evaluación del índice QBR. Si es posible, el QBR debería ser analizado aguas arriba y debajo de estos accesos.	Los tramos de ribera cercanos al río suelen estar perturbados y subvaloran la puntuación. Si es posible realice varios transectos (cada 100-200m) y evaluar el QBR en un tramo largo para tener una puntuación más representativa de la zona.

3.4 Representación cartográfica

Con el objetivo de que los resultados sean interpretables por los organismos fiscalizadores, además de ser comparable en otras cuencas que presenten igual tipología de río o sean biogeográficamente similares; se debe considerar para cada uno de los índices aplicados la elaboración de cartografía con los puntos georreferenciados y con la coloración de los tramos de acuerdo a la metodología descrita (Tablas 3, 5 y 8).

3.5 Variables físico-químicas

El estudio debe considerar el análisis de variables fisicoquímicas, las que deben ser correlacionadas con las variables biológicas consideradas. Esta información fue proporcionada por la SEREMI de Medio ambiente, de la región del Libertador, quienes ejecutan en conjunto con la junta de vigilancia, un programa de monitoreo de las variables físico-químicas. Por lo cual este muestro debió coincidir temporalmente, pero cuidando el asentamiento de las comunidades después de un pequeño evento de lluvia.

4. RESULTADOS

4.1 Macroinvertebrados bentónicos (MIB)

El muestreo de MIB, se realizó específicamente en época de primavera (5-6 de Octubre), según la propuesta y en acuerdo con la contraparte, coordinando por una parte los muestreos de agua que realiza la junta de vigilancia y por otra, las condiciones climáticas que deben presentar un periodo de estabilidad después de lluvias, para evitar una mala interpretación de los datos obtenidos. En la tabla 10 se entrega el total de las familias de MIB encontradas en las 8 estaciones evaluadas (2014), se incluyen los valores de tolerancia para cada una de ellas y las clases de calidad que se obtuvieron mediante la aplicación del índice Biótico ChSIGNAL. Se ha incluido una primera columna correspondiente a los resultados obtenidos el año 2008, cuando coinciden los puntos de muestreo y del muestreo realizado también por el MMA VI región, durante marzo de este año.

Al comparar estos estudios (junio 2008) y marzo y octubre de 2014, es posible observar que existe una mejora en la mayoría de la estaciones tanto para el Tinguiririca como el Cachapoal. Al respecto el TI-10 mejora desde a clase IV del 2008 a Clase III en marzo de este año, la que mantienen en octubre. TI-30 de clase V a III y posteriormente IV, por lo cual se considera que ambas estaciones se encuentran de clase regular a mala. En Cachapoal, la estación CH-10 mantiene la clase III en marzo y mejora clase II, mientras que el cambio más relevante es en la estación CA-30, que cambia de clase V a clase II y III. En relación a la sección terminal de la cuenca del Rapel, no existen datos anteriores (2008) y se aprecia una mejora de marzo a Octubre de este año de clase V a clase III. Si hay un registro cercano a RA-20 (RA-7) y que clasifica de muy mala a mala calidad. Sin embargo, esta clasificación debe considerar que el muestreo se realiza en una zona de características estuarinas.

Finalmente, también se observa una mejora en CL-10 (Cachapoal) se observa una mejora desde el 2008 a octubre (no se realizó muestreo en esta estación en marzo); mientras que NI-10 se muestreo por primera vez como aporte de una cuenca costera vecina y clasificó como clase IV, esta estación es de fondo arenoso y presenta impacto de las actividades agrícolas aledañas. Los resultados obtenidos se resumen en el mapa de calidad biológica (Figura 14), el cual fue elaborado sobre la base del mapa obtenido en el 2008 y se realizó una línea paralela que destaca la clase de calidad obtenida en este muestreo. Solo para identificar estas estaciones se destacan con un círculo blanco.

En términos generales, si bien se observa una tendencia a la mejora, estas se consideran relativas, puesto el muestreo de 2008 no se realizó en una fecha adecuada, pues fue posterior a los eventos de lluvia de invierno y probablemente puede representar una subvaloración. De hecho al comparar la riqueza de familias, siempre fue mayor en el 2014, mostrando la importancia de la colonización sobre los efectos de la dilución faunística que provoca la lluvia. En este sentido se destaca la importancia de realizar los muestreos biológicos en las condiciones adecuadas y adicionales al muestreo clásico de calidad de agua. De esta forma podemos establecer la calidad biológica media, sus variaciones naturales y su evolución si se toman medidas de mejora.

Tabla 10. Listado general de las familias recolectadas en este muestreo, se incluye comparativamente los valores de tolerancia y la clase de calidad ambiental obtenida mediante ChSIGNAL para los muestreos de Junio de 2008, marzo y octubre de 2014.

Clase u orden	Familia	Estación →			TI - 10			TI - 30			CA-10			CA-30			RA-10			(RA-7)			RA-20			CL-10			NI-10		
		2008	M/2014	O/2014	2008	M/2014	O/2014	2008	M/2014	O/2014	2008	M/2014	O/2014	2008	M/2014	O/2014	2008	M/2014	O/2014	2008	M/2014	O/2014	2008	M/2014	O/2014	2008	M/2014	O/2014	2008	M/2014	O/2014
Oligochaeta	Naididae	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	S.I.	1	1	1	1	1	0	1	S.I.	0	0	1	S.I.	0	1	
Mollusca	Ancylidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Chiliniidae	0	6	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	6	0	6	0	0	0	S.I.	0	6	0	S.I.	0	6	
	Hydrobiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	5	0	0	5	0	0	S.I.	0	5	0	S.I.	0	5	
	Lymnaeidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Physidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Sphaeriidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
Turbellaria	Dugesidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
Acari	Hydracarina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
Crustacea	Grapsidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	5	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Hyalellidae	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	6	0	0	6	0	0	S.I.	0	6	0	S.I.	0	6	
Coleoptera	Dytiscidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Elmidae	0	6	6	0	6	6	0	6	0	6	0	6	0	6	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	6	6	0	S.I.	6	6	
	Hydrophilidae	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
Diptera	Athericidae	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	9	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	9	0	0	S.I.	9	0	
	Blephariceridae	0	0	0	0	0	0	10	10	0	10	0	10	0	10	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	10	0	0	S.I.	10	0	
	Ceratopogonidae	0	6	6	0	0	6	0	6	0	6	6	6	6	6	S.I.	0	0	6	6	0	0	0	S.I.	6	6	0	S.I.	6	6	
	Chironomidae	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	S.I.	2	2	2	2	2	2	2	S.I.	2	2	2	S.I.	2	2	
	Empididae	0	4	0	0	4	0	0	0	0	4	0	4	0	4	S.I.	0	0	4	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Simuliidae	0	5	0	0	0	5	0	5	5	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	5	0	0	0	0	S.I.	5	0	0	S.I.	5	0	
	Limoniidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	4	0	0	S.I.	4	0	
	Tipulidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Tabanidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	4	0	0	S.I.	4	0	
Ephemeroptera	Ameloptosidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	10	0	0	S.I.	10	0	
	Baetidae	0	5	0	0	5	5	0	5	5	0	5	5	5	5	S.I.	0	0	5	0	0	5	5	S.I.	5	5	5	S.I.	5	5	
	Caenidae	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	4	0	0	4	4	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Coloburiscidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Leptophlebiidae	9	0	9	0	0	9	9	0	9	0	9	0	9	0	S.I.	0	9	0	0	0	9	9	S.I.	9	9	9	S.I.	9	9	
	Siphonuridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	8	8	8	S.I.	8	8	
Odonata	Aeshnidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Coenagrionidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Gomphidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
Plecoptera	Gripopterygidae	0	7	0	0	0	0	7	7	0	7	0	7	0	7	S.I.	0	0	7	0	0	7	7	S.I.	7	7	7	S.I.	7	7	
Trichoptera	Glossosomatidae	0	0	0	0	9	0	0	9	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Leptoceridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Hydrobiosidae	0	0	0	0	0	0	7	7	0	7	0	7	0	7	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Hydropsichidae	5	5	0	5	5	5	5	5	0	5	0	5	0	5	S.I.	0	5	5	0	0	5	5	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Glossosomatidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	9	9	9	S.I.	9	9	
	Hydroptilidae	0	6	0	0	6	6	0	6	6	0	6	0	6	0	S.I.	0	6	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Philopotamidae	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	10	0	S.I.	0	0	0	0	0	0	0	S.I.	0	0	0	S.I.	0	0	
	Total tolerancia	20	52	23	8	55	54	35	51	54	2	63	23	2	63	S.I.	3	40	39	15	18	26	S.I.	94	94	33	S.I.	94	33		
	Nº Familias	4	10	4	3	10	11	6	9	8	1	10	4	1	10	S.I.	2	8	9	4	4	6	S.I.	14	14	7	S.I.	14	7		
	ChSIGNAL	5	5,2	5,75	2,67	5,5	4,91	5,83	5,7	6,75	2	6,3	5,75	2	6,3	S.I.	1,5	5,0	4,33	3,8	4,5	4,33	S.I.	6,71	6,71	4,71	S.I.	6,71	4,71		
	Clase	IV	III	III	V	III	IV	III	III	II	V	II	III	V	II	S.I.	V	III	V	V	IV	IV	S.I.	II	II	IV	S.I.	II	IV		

(S.I. Sin información).

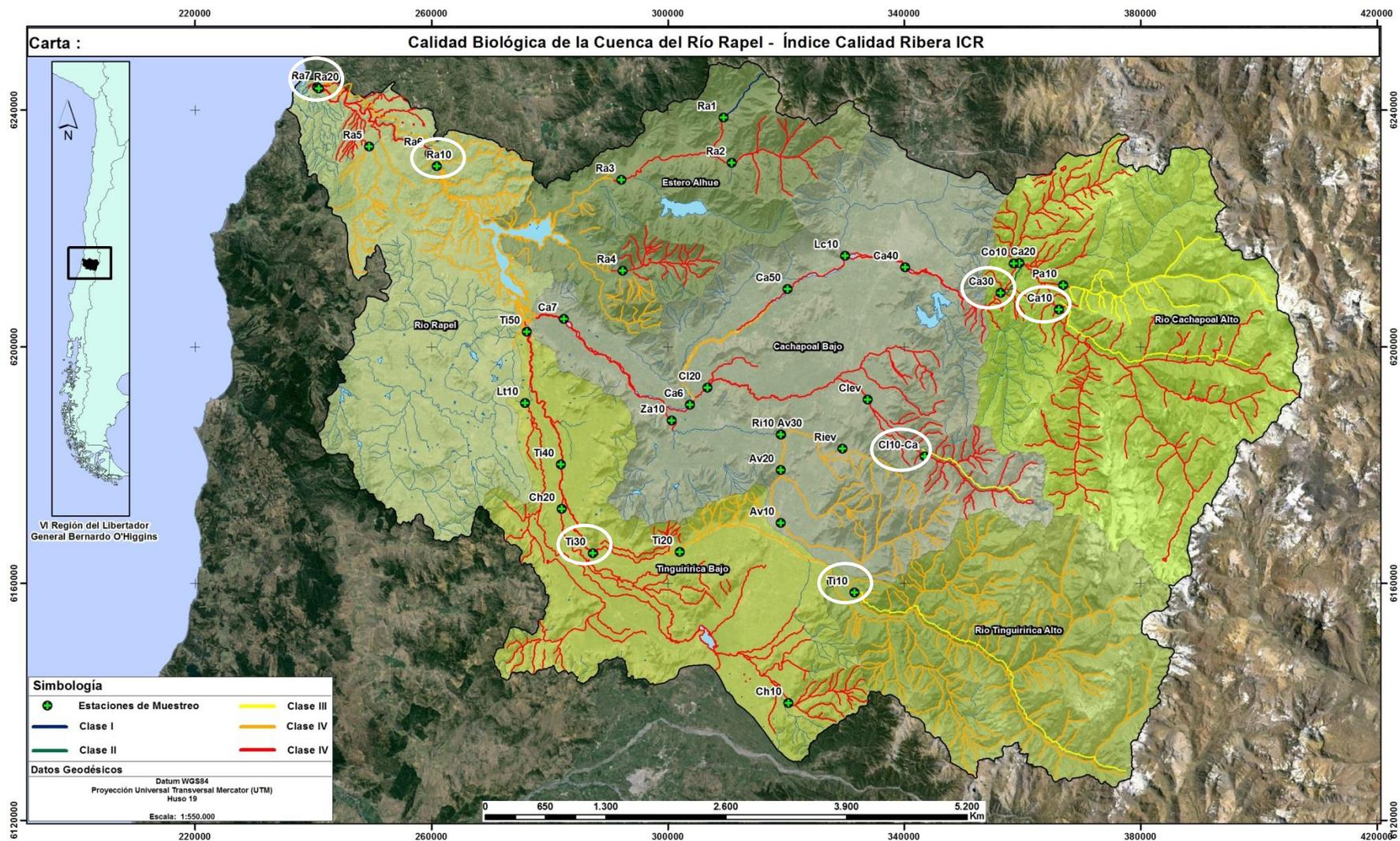


Figura 14. Mapa de la calidad biológica de la cuenca del Río Rapel, se mantienen las clases obtenidas en 2008, mientras que se ha dibujado en una línea paralela, cuando corresponde, la clase de calidad obtenida en este estudio.

4.2 Estado ecológico del hábitat fluvial mediante la aplicación del índice IHF

De acuerdo al IHF que puntúa aspectos físicos del cauce que pueden otorgar heterogeneidad al hábitat, se observa que en general, los tramos evaluados en la cuencas Tinguiririca, Cachapoal y Rapel bajo, presentan una clase de regular a mala. Los resultados se presentan en la tabla 11, donde se comparan los muestreos de junio 2008 - marzo y octubre 2014. Esta misma información se resume en la Figura 15, donde se representan las clases de calidad del hábitat fluvial, el cual fue elaborado sobre la base del mapa obtenido en el 2008 y se ha dibujado una línea paralela que destaca la clase de calidad obtenida en este estudio.

La estación estuarina (RA-7, RA-20), no coinciden exactamente en el lugar de muestreo, pero se comparan por coincidir en ser parte del estuario y por lo mismo, presenta un comportamiento típico sujeto a las mareas y su riqueza florística o faunística responde a esta condición extrema, según se aprecia en el los índices ChSignal y QBR.

Tabla 11. Valores del Índice de Hábitat Fluvial (IHF)

Fecha	Código Tramos de Vigilancia	Inclusión rápidos-sedimentación pozas	Frecuencia de rápidos	Composición del sustrato	Regímenes de velocidad/profundidad	% de sombra en el cauce	Elementos heterogeneidad	Cobertura de vegetación acuática	Total	Clase	Color
Junio 2008	TI-10	20	10	17	6	3	2	15	73	II	
Marzo 2014	TI -10	5	6	7	6	3	4	15	46	III	
Octubre 2014	TI -10	5	6	7	6	3	4	15	46	III	
Junio 2008	TI -30	5	4	14	6	3	8	15	55	III	
Marzo 2014	TI -30	0	2	17	4	3	6	20	52	III	
Octubre 2014	TI -30	0	2	17	4	3	6	20	52	III	
Junio 2008	CL -10	20	10	11	6	5	6	15	73	II	
Marzo 2014	CL -10	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Octubre 2014	CL -10	5	10	17	6	3	0	10	51	III	
Junio 2008	CA -10	20	10	11	4	5	2	15	67	II	
Marzo 2014	CA -10	15	10	17	8	3	6	0	59	III	
Octubre 2014	CA -10	15	10	17	8	3	6	0	59	III	
Junio 2008	CA -30	15	10	14	6	5	4	15	69	II	
Marzo 2014	CA -30	10	4	14	6	3	4	0	41	III	
Octubre 2014	CA -30	10	4	14	6	3	4	0	41	III	
Junio 2008	RA -10	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Marzo 2014	RA -10	10	2	14	6	3	4	0	39	IV	
Octubre 2014	RA -10	10	2	14	6	3	4	0	39	IV	
Junio 2008	RA -7	5	2	5	6	3	2	10	33	IV	
Marzo 2014	RA -20	5	4	11	6	3	2	15	46	III	
Octubre 2014	RA -20	5	4	11	6	3	2	15	46	III	
Octubre 2014	NI-10	10	2	14	4	3	0	16	48	III	

(S.I. Sin información).

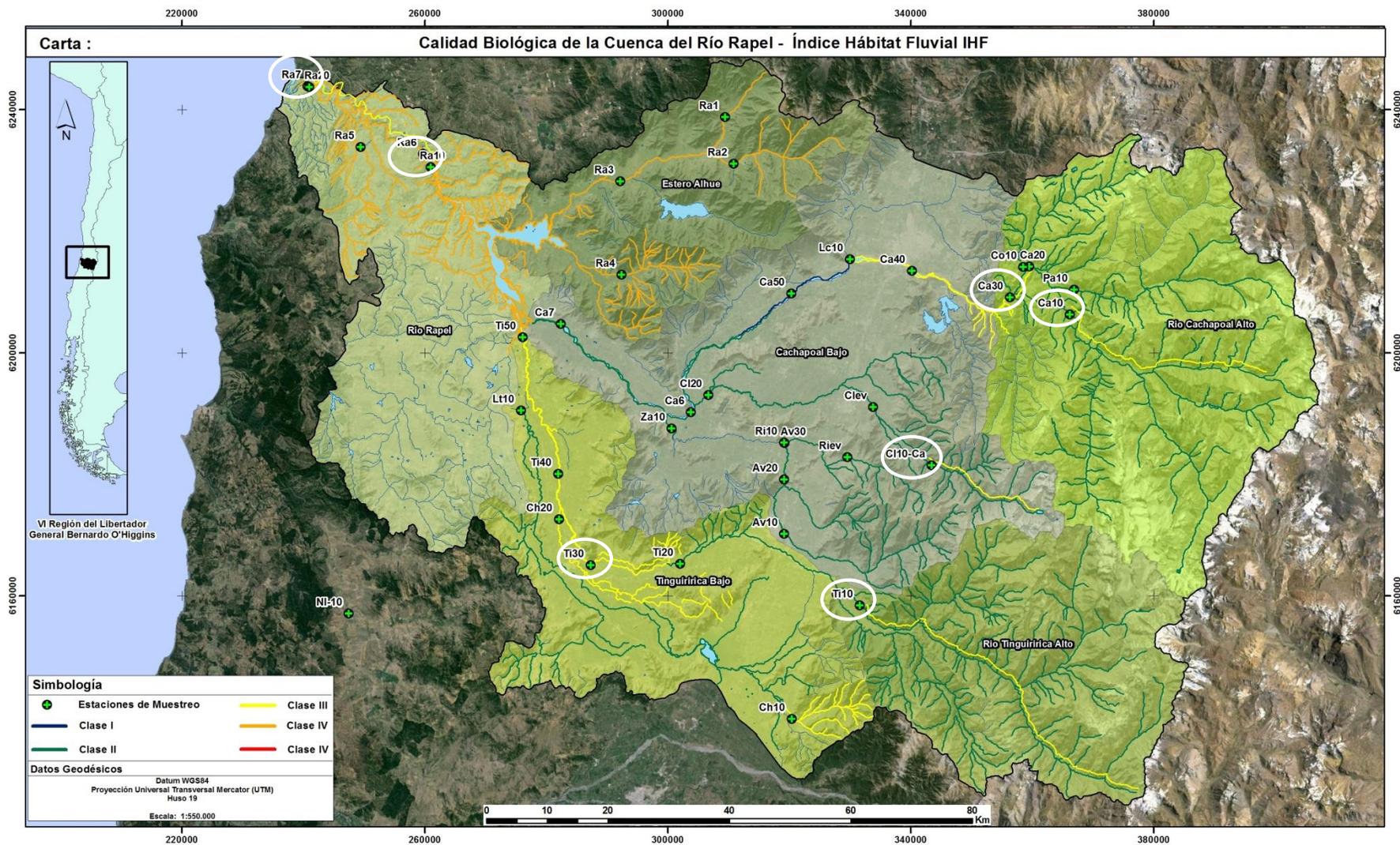


Figura 15. Mapa de la calidad del hábitat fluvial de la cuenca del Río Rapel, se mantienen las clases obtenidas en 2008, mientras que se ha dibujado en una línea paralela, cuando corresponde, la clase de calidad obtenida en este estudio.

4.3 Estado ecológico de las riberas mediante la aplicación del índice ICR

La Tabla 12 resume los resultados obtenidos mediante la aplicación del índice de calidad de ribera (ICR), donde se comparan los muestreos de junio 2008, marzo y octubre 2014. Información que también se resume en la Figura 16, la cual elaborada sobre la base del mapa obtenido en el estudio de 2008 y se ha dibujado una línea paralela que destaca la clase de calidad obtenida en este estudio.

De acuerdo a este índice, es posible indicar que todas estaciones estudiadas presentan sus riberas altamente intervenidas, y cuando existe vegetación, esta se encuentra poco conservada en naturalidad (ausencia de vegetación nativa), especialmente en la zona terminal de la cuenca. Es importante destacar que la estación RA-20 se encuentra localizada en la zona estuarina, y por lo tanto, afecta de influencia marina. La vegetación se ajusta a esta condición, la cual debe soportar el efecto del spray marino y de los suelos saturados con agua salina, especialmente cuando sube la marea, con formaciones típicas de *Sarcocornia* y *Spatina*, que soportan estas condiciones. Por otro lado, la vegetación aledaña, que forma parte de la llanura de inundación, ha sido intervenida y modificada, con arbustos y pinos.

En este sentido, se debe señalar todas las estaciones requieren de planes de rehabilitación, que incluya la reforestación con especie nativas en todas las riberas y paulatinamente la eliminación de la vegetación exótica representada de forma aislada, franjas ordenadas o manchones, que actualmente es la única que aporta material nutritivo al sistema acuático. Esto puede ser muy útil también para generar sustrato (hábitat), que permitiría también mejorar el IHF.

4.4 Variables físico-químicas y su relación con el Índice Biótico evaluado

Las variables físico-químicas fueron proporcionadas por el MMA de la VI Región (Tabla 13). Lamentablemente, no todas las variables fueron evaluadas en todas las estaciones e inclusive algunas de ellas no presentan continuidad o simplemente, donde se midieron más variables, estas no coincidieron con las estaciones biológicas de este estudio. En este sentido fue necesario realizar una selección de aquellas variables que permiten hacer una aproximación como es el caso de: conductividad, Oxígeno Disuelto, Sólidos Disueltos Totales, pH y Temperatura, que si tenían mediciones para todos los muestreos.

Estas variables monitoreadas en las columnas de agua de la cuenca del río Rapel fueron correlacionadas con las variables biológicas expresadas como el índice ChSIGNAL que utiliza las comunidades de MIB (Figura 17). Al respecto la mejor correlación observada fue con la temperatura y los sólidos suspendidos, sin embargo ninguna de ellas fue significativa.

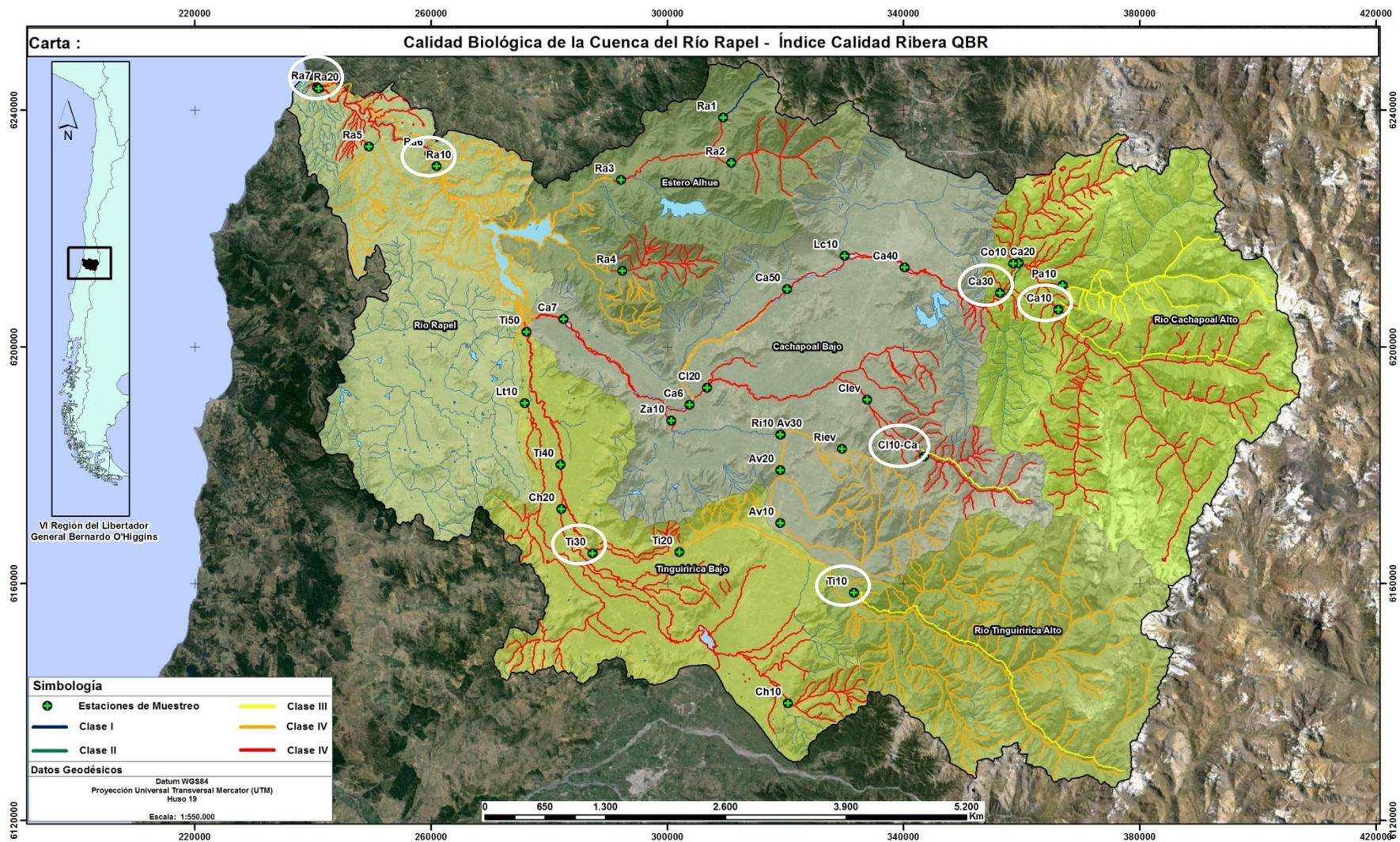


Figura 16. Mapa del estado de conservación de la ribera de la cuenca del Río Rapel, se mantienen las clases obtenidas en 2008, mientras que se ha dibujado en una línea paralelamente, cuando corresponde, la clase de calidad obtenida en este estudio.

Tabla 12. Valores del Índice de Calidad del Bosque de Ribera (ICR).

Fecha	Código Tramos de Vigilancia	Tipo Geomorfológico	Grado de cubierta de la zona de ribera	Estructura de la cubierta	Calidad de la cubierta	Grado de naturalidad del canal fluvial	Total	Clase	Color
Junio 2008	TI-10	2	0	0	15	25	40	IV	Yellow
Marzo 2014	TI-10	2	5	5	20	25	55	III	Yellow
Octubre 2014	TI-10	2	5	5	20	25	55	III	Yellow
Junio 2008	TI-30	3	0	5	0	5	10	V	Red
Marzo 2014	TI-30	3	0	10	0	0	10	V	Red
Octubre 2014	TI-30	3	0	10	0	0	10	V	Red
Junio 2008	CL -10	2	20	25	25	15	85	S.I.	S.I.
Marzo 2014	CL -10	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Octubre 2014	CL -10	2	15	20	20	25	70	III	Yellow
Junio 2008	CA-10	1	15	10	25	0	50	IV	Yellow
Marzo 2014	CA-10	2	15	15	25	10	65	III	Yellow
Octubre 2014	CA-10	2	15	15	25	10	65	III	Yellow
Junio 2008	CA-30	3	5	0	0	0	5	V	Red
Marzo 2014	CA-30	1	10	5	5	15	35	IV	Orange
Octubre 2014	CA-30	1	10	5	5	15	35	IV	Orange
Junio 2008	RA-10	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.
Marzo 2014	RA-10	1	15	15	20	0	50	IV	Yellow
Octubre 2014	RA-10	1	15	15	20	0	50	IV	Yellow
Junio 2008	RA-7	2	0	0	0	25	25	V	Red
Marzo 2014	RA-20	2	5	5	10	15	35	IV	Orange
Octubre 2014	RA-20	2	5	5	10	15	35	IV	Orange
Octubre 2014	NI-10	2	5	0	0	10	15	V	Red

S.I.: Sin información

No obstante, se reconoce también que existe mucha dispersión de los datos localizados la estación estuarina como ocurre con la conductividad que es afectada por la salinidad, por lo cual a una mayor acumulación de datos históricos, debe ser tratada por separado y en consideración a la fauna típica que sustenta como el caso del crustáceo *Hemigrapsus*, único capaz de vivir en estos ambientes extremos.

Al respecto, con los datos disponibles se realizó un análisis de Correspondencia Canónica (CCA) mediante el software R, utilizando el paquete estadístico "Vegan". Este análisis de asociación entre variables ambientales y ensambles de MIB, determinó que el modelo es de tipo unimodal (longitud de los ejes canónicos >4), el cual fue significativo ($F=1,72$; $p= 0,025$) y explicó el 46 % de la variabilidad de las familias de MIB encontradas. Esto se resume en la Figura 18, donde se aprecia que el eje 1 (19 % la varianza) es explicado principalmente por los Sólidos disueltos totales (SDT) y se asocia a Grapsidae, mientras que el eje 2 (8% de la varianza) fue explicado por las variables Oxígeno disuelto (OD) y temperatura (Temp).

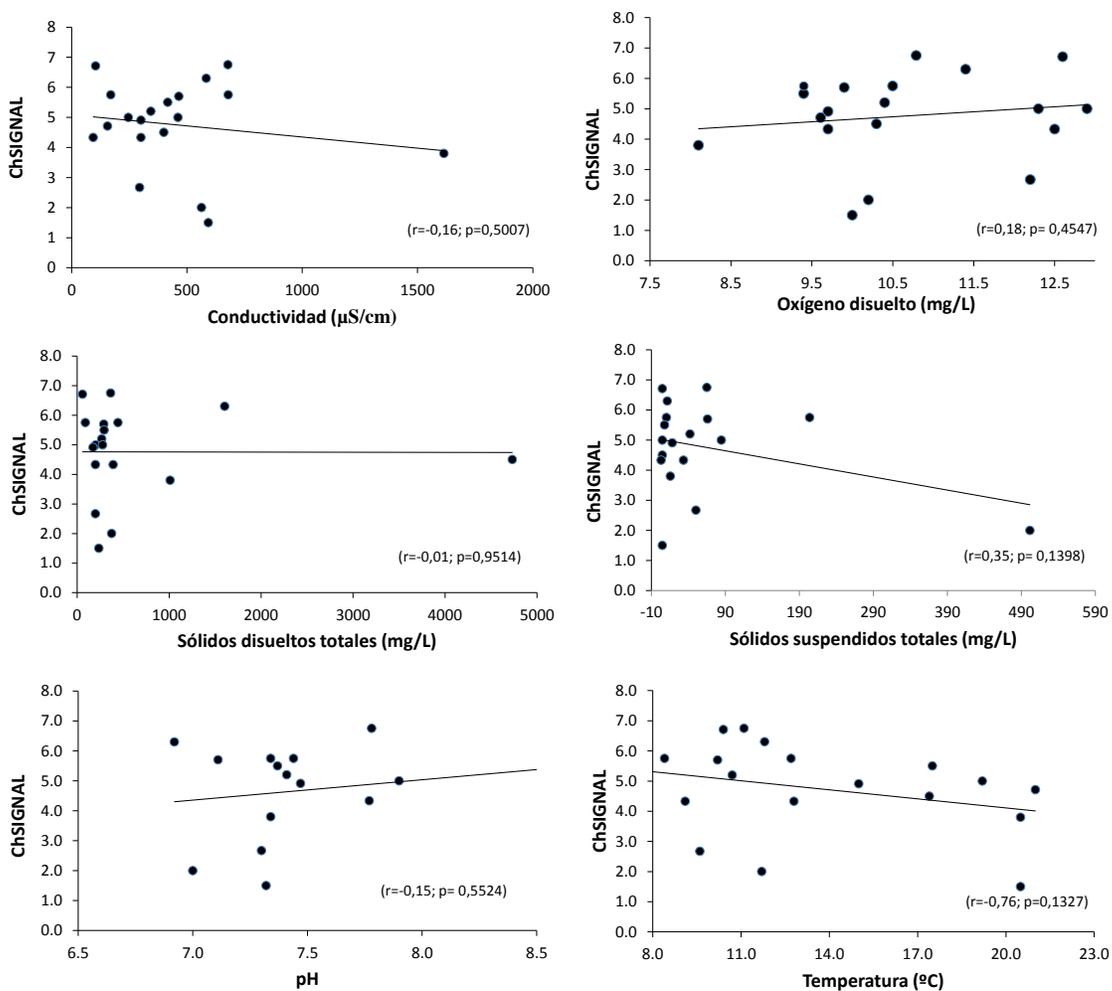


Figura 17. Gráficos que muestran el grado de asociación entre el ChSIGNAL y las variables ambientales que fueron evaluadas en todas las estaciones de este estudio.

Tabla 13. Variable físico-químicas evaluadas en las estaciones de muestreo (información proporcionada por el monitoreo que coordina el MMA para la cuenca del Rapel y datos de terreno). Se entregan los valores obtenidos el 2008 en las mismas estaciones donde se realizó muestreo biológico.

Estación → Variable ↓	CA-10			CA-30			TI-10			TI-30			RA10			RA20			CL-10		NI-10
	2008	Mar	Oct	2008	Mar	Oct	2008	Mar	Oct	2008	Mar	Oct	2008	Mar	Oct	2008	Mar	Oct	2008	Oct	Oct
Colif. Fecal (NMP)	--	--	--	--	16000	8000	--	21	--	--	500	11000	S.I.	2	<2	--	33	13000	--	--	--
Colif. Total (NMP)	--	--	--	--	16000	17000	--	21	--	--	500	28000	S.I.	2	1100	--	35	23000	--	--	--
A y G (mg/L)	<5	--	--	<5	--	--	14,7	103,7	--	<5,0	88,4	--	S.I.	--	--	<5,0	--	--	17	--	--
Al (mg/L)	<0,06	--	--	<0,06	--	--	0,06	--	--	<0,06	--	--	S.I.	<0,05	--	0,10	0,63	--	<0,06	--	--
Al Dis.(mg/L)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	S.I.	<0,05	--	<0,05	--	--	--	--	--
NH ₄ (mg/L)	0,02	--	0,11	0,06	--	--	<0,02	<0,03	0,14	0,02	<0,03	0,13	S.I.	--	0,14	0,04	--	0,16	<0,02	0,15	--
As (mg/L)	0,019	0,029	--	0,008	--	--	0,0156	--	--	0,0087	--	--	S.I.	--	--	0,0049	--	--	0,0015	--	--
As Dis. (mg/L)	--	0,018	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	S.I.	--	--	--	--	--	--	--	--
B (mg/L)	0,48	--	--	0,28	--	--	0,24	--	--	<0,20	--	--	S.I.	0,25	--	<0,20	0,33	--	<0,20	--	--
B Dis. (mg/L)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	S.I.	0,17	--	--	0,16	--	--	--	--
Cloruro (mg/L)	55,95	--	--	28,84	--	--	13,53	14,18	6,25	9,57	--	--	S.I.	--	--	12,80	--	--	1,43	--	--
Cu (mg/L)	<0,005	0,03	0,08	0,038	--	--	<0,05	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	S.I.	<0,01	<0,01	0,014	<0,01	<0,01	<0,005	<0,001	--
Cu Dis. (mg/L)	--	<0,01	<0,01	--	--	--	--	<0,01	<0,01	--	<0,01	<0,01	S.I.	<0,01	<0,01	--	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	--
Conduct. (µS/cm)	530	465	678	563	584	679	246	344	170	295	417	301	S.I.	593	461	301,0	1615	7700	94,1	104	165
Cr total (mg/L)	<0,005	--	--	<0,005	--	--	<0,005	--	--	<0,005	--	--	S.I.	<0,05	--	<0,005	--	--	<0,005	--	--
DBO ₅ (mg/L)	<1	--	--	1,4	--	--	<1	--	--	<1,0	7,8	3,1	S.I.	5,6	4,2	<1,0	5,9	5,9	<1	--	--
Fe (mg/L)	<0,003	--	--	<0,003	--	--	0,009	2,37	--	0,006	0,25	--	S.I.	0,12	--	0,061	0,89	--	0,003	--	--
Fe Dis. (mg/L)	--	--	--	--	--	--	--	0,37	--	--	0,08	--	S.I.	0,02	--	--	0,04	--	--	--	--
Mn (mg/L)	0,006	--	--	--	--	--	0,027	--	--	0,011	--	--	S.I.	<0,01	--	0,005	<0,01	--	0,004	--	--
Mn Dis. (mg/L)	0,245	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	S.I.	<0,01	--	<0,01	--	--	--	--	--
Mo (mg/L)	<0,06	--	--	<0,06	--	--	<0,06	--	--	<0,06	--	--	S.I.	0,013	--	<0,06	0,013	--	<0,06	--	--
Mo Dis (mg/L)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	S.I.	0,01	--	--	0,011	--	--	--	--
O Dis. (mg/L)	12,1	9,9	10,2	10,2	11,4	9,4	12,3	10,4	10,5	12,2	9,4	9,7	S.I.	10,0	12,9	9,7	8,1	10,3	12,5	12,6	9,6
Pb (mg/L)	<0,010	--	--	<0,010	--	--	<0,010	--	--	<0,010	--	--	S.I.	<0,01	--	<0,010	<0,01	--	<0,010	--	--
Pb Dis. (mg/L)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	S.I.	<0,01	--	--	<0,01	--	--	--	--
SDT (mg/L)	328	290	364	375	1604	444	203	267	90	169	294	173	S.I.	236	277	198,5	1011	4731	392	58	--
SST (mg/L)	24,4	66,0	65,0	501,6	11,6	204,0	84,6	42,3	10,4	50,4	7,9	18,3	S.I.	<5,0	<5,0	33,4	15,8	<5,0	3,3	<5,0	--
Sulfatos (mg/L)	88	65	--	165	--	--	<2,5	67	--	59	45	--	S.I.	--	--	48,11	--	--	3,0	--	--
Zn (mg/L)	<0,001	--	--	0,008	--	--	--	--	--	--	--	--	S.I.	<0,01	--	0,002	<0,01	--	0,004	--	--
Zn Dis. (mg/L)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	S.I.	<0,01	--	--	<0,01	--	--	--	--
Ph (mg/L)	7,3	7,11	7,78	7,0	6,92	7,34	7,9	7,41	7,44	7,3	7,37	7,47	S.I.	7,32	8,64	7,77	7,34	7,93	7,4	7,49	7,40
T°	--	10,2	11,1	--	11,8	11,8	--	10,7	8,4	--	17,5	15,0	S.I.	20,5	19,2	--	20,5	17,4	10,4	10,4	21,0
P tot. (mg/L)	0,4	--	0,1	0,5	0,3	0,6	0,11	0,2	0,2	0,10	0,1	0,1	S.I.	<0,1	0,2	0,20	0,4	0,5	0,02	<0,1	--
N tot. (mg/L)	0,20	--	--	0,65	--	--	0,15	--	--	0,41	--	--	S.I.	0,4	--	1,38	0,27	--	0,21	--	--
Nitratos (mg/L)	0,42	--	<0,015	2,53	3,03	--	0,51	0,53	<0,015	1,08	3,29	<0,015	S.I.	1,75	0,018	4,80	1,19	--	0,38	<0,015	--
Nitritos (mg/L)	<0,005	--	--	0,015	--	4,57	<0,005	--	--	0,024	--	1,69	S.I.	0,022	6,61	0,064	0,016	5,6	<0,005	--	--
N Kjeldahl (mg/L)	0,10	--	--	0,07	--	--	0,15	--	--	0,16	--	--	S.I.	<0,20	--	0,28	<0,2	--	0,18	--	--

5. CONCLUSIONES

1. Si bien se observa, en términos de la calidad biológica evaluada a través de las comunidades de MIB, una tendencia a la mejora en la mayoría de las estaciones, estas solo se consideran relativas, puesto el muestreo de 2008 no se realizó en una fecha adecuada, pues fue posterior a eventos de lluvia y representaba una subvaloración. Esto obliga a mirar con cuidado los resultados, puesto no obedece necesariamente a una mejor calidad, sino que es esperable una mayor riqueza de familias en el periodo de primavera avanzada que mejora hacia al verano. Pero esta puede disminuir al final del verano por una respuesta natural a la disminución del caudal, muchos tramos o brazos de un río se secan, disminuyendo los hábitats disponibles y por ende existe una competencia por el espacio que se expresa a nivel intra e interpecífica. De acuerdo Gasith & Resh (1999), este es un comportamiento natural de los climas mediterráneos y debe ser considerado en la lectura de los resultados, especialmente cuando estos son sometidos a presiones antrópicas que intensifican estos efectos.
2. De acuerdo al IHF, se observa que en general los tramos evaluados en las subcuencas Tinguiririca, Cachapoal y Rapel bajo, presentan en general una clase de regular a mala. Los resultados muestran que si bien los lechos de los canales presentan un sustrato que puede ser adecuado para el desarrollo de MIB, especial con abundantes bolones que dejan espacios intersticiales muy estables; éste es muy poco diverso y además, es afectado por la ausencia de elementos naturales que aporten sombra y heterogeneidad de hábitat, según se expresa en la baja valoración de estos bloques (tabla 12).
3. Esto coincide con el índice QBR, donde todas estaciones estudiadas presentan sus riberas altamente intervenidas, con escasa o nula vegetación nativa, y por el contrario, cuando existe vegetación esta siempre es exótica, de rápido crecimiento, especialmente en la parte media y baja de la cuenca. Solo una estación presenta mayor nivel de conservación (CL-10), sin embargo, presenta intervención del cauce en un sector que imposibilita el desarrollo de la vegetación. Por otro lado, hay sectores que naturalmente presentan paredes con cortes perpendiculares al río, pero no en toda su extensión, de modo que es posible mejorar esta condición.
4. El sector más terminal de la cuenca presenta características de estuario con influencia marina, por lo cual la vegetación se ajusta a esta condición con desarrollo de vegetación típica de estos ambientes, como son las formaciones de *Sarcocornia* y *Spartina*, que soportan las condiciones de salinidad y cambios en los rangos de la misma. En este sentido se sugiere que se evalúe de manera separada del resto y con un criterio de exigencia menor, es decir, no se puede esperar que clasifique en una buena calidad con un índice de río en un sistema estuarino. En este sentido los resultados son referenciales, intra-estacional y ayuda a conocer la variabilidad natural.

5. Las relaciones observadas entre las variables ambientales y el Índice Biótico ChSIGNAL no fueron potentes, porque los datos físico-químicos son muy dispersos (alta variabilidad) y por otro lado, no se posee un “n” significativo que permitan observar mayor tendencia. Lo mismo ocurre con los datos biológicos que respondieron a la variabilidad estacional del muestreo. Por otro lado, de acuerdo a los resultados obtenidos en estudios anteriores, las variables asociadas a presión antrópica como nutrientes y metales pesados, no fueron evaluadas en las estaciones estudiadas, de modo que no es posible concluir al respecto. No obstante, el bajo estado de conservación de las comunidades biológicas estudiadas muestran un fuerte deterioro y requieren de monitoreos anuales para conocer su estado de evolución y su relación con las variables ambientales, pero que se incluyan aquellas más relevantes como nutrientes, metales y de ser posible DQO y DBO₅.

6. En relación a las estaciones estudiadas, se sugiere que se incorporen al menos 3 estaciones para monitoreo biológico, CA-7, TI-50 y RA-3, puestos que son tramos que cierran las subcuencas y nos permiten validar la calidad expresada en un índice biológico, de cómo está evacuando al embalse como receptor de estas aguas. Opcionalmente se sugiere la incorporación de CL-20. Se destaca nuevamente la importancia de dar continuidad a este tipo de estudios y de ser posibles incorporados a la NCAS (como ocurre en los países desarrollados), puesto que las variables físico-químicas por sí solas no están informando de la mala calidad que se encuentra en el sistema general, de modo que no permiten una visión integral expresada en el estado de las comunidades biológicas.

7. Todos los resultados apuntan a planes de rehabilitación del ecosistema urgente, que incluya la reforestación con especies nativas en todas las riberas y paulatinamente, la eliminación de la vegetación exótica, que actualmente es la única que aporta material nutritivo al sistema acuático, pero que difiere en calidad (Boyero *et al.* 2012, Correa *et al.* 2014). Todos los resultados obtenidos apuntan a mejorar también la calidad de sustrato disponible en términos de heterogeneidad, generando hábitat de mayor calidad como trampas naturales de vegetación, pozas disponibles, intermitencias de rápidos y lentos, sombra, etc. que mejorarían las relaciones tróficas que se generan en el cuerpo de agua. De esta forma se apuesta por una mejora en el índice biótico ChSIGNAL y por ende en la calidad y disponibilidad de agua.

6. BIBLIOGRAFIA

- Bode RW, Novak NA & LE Abele (1997) Biological Stream Testing NYS Depart of Environmental Conservation, Albany, N.Y. 14 pp.
- Boyero L, Pearson R, Dudgeon D, Ferreira V, Graça M, Gessner M, Boulton A, Chauvet E, Yule C, Albariño R, Ramírez A, Helson J, Callisto M, Arunachalam M, Chará J, **Figueroa R**, Mathooko J, Gonçalves J, Moretti M, Chará-Serna A, Davies J, Encalada A, Lamothe S, Buria L, Castela J, Cornejo A, Li A, Erimba Ch, Díaz V, Zúñiga M, Swan C & Barmuta L. (2012) Global patterns of stream detritivore distribution: implications for biodiversity loss in changing climates. *Global Ecology and Biogeography*, 21(2): 134–141.
- Chessman BC (1995) Rapid assessment of rivers using macroinvertebrates: a procedure based on habitat-especific sampling, family-level identification and a biotic index. *Australian Journal Ecology* 20: 122-129.
- Chessman BC (2003) New sensitivity grades for Australian river macroinvertebrates. *Marine and Freshwater Research* 54: 95-103.
- Córdova S, Gaete H, Aránguiz F & R Figueroa (2009) Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile, central), mediante bioindicadores y bioensayos. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 37(2):199-209.
- Correa-Araneda F, Boyero L, Figueroa R, Sanchez C, Abdala R, Ruiz-García L, Graca M (2014) Joint effects of climate warming and exotic litter (*Eucalyptus globulus* Labill.) on stream detritivore fitness and litter breakdown. *Aquatic Sciences*, DOI 10.1007/s00027-014-0379-y. (F.I. 2,71).
- Domínguez E, Molineri C, Pescador M, Hubbart M & C Nieto (2006) Aquatic Biodiversity in Latin America: Ephemeroptera of South America. PENSO, Sofia, Moscow. 646 pp.
- Fernández H & E Domínguez (2002) Guía para la determinación de artrópodos bentónicos Sudamericanos. Edit. Universitaria de Tucumán. Argentina. 282 pp.
- Figueroa R, C Valdovinos, E Araya & O Parra (2003) Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua de ríos del sur de Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, Jun. 2003, vol.76, no.2, p.275-285.
- Figueroa R, Palma R, Ruiz V & X Niell (2007) Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural* 80 (2) 225-242.
- Figueroa R, Ruiz VH, Palma A, & F Encina-Montoya (2005) Simplificación en el uso de macroinvertebrados bentónicos para evaluar la calidad de sistemas fluviales. *Interciencia* 30(12): 770-774.
- Friedrich G, Chapman D, & A Beim (1996). *The Use of Biological Material in Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*, 2nd ed. Deborah Chapman (ed.). E & FN Spon, New York.
- Gasith A & VH Resh (1999) Stream in Mediterranean Climate region: Abiotic influences and Biotic Responses to predictable. *Annual Review Ecological Systematic*, 30:51-81.
- Hilsenhoff WL (1988) Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 65-68.
- Iza AO & MB Rovere (2006) Gobernanza del agua en América del Sur: dimensión ambiental. UICN Unión Mundial para la Naturaleza, Serie de Política y Derecho Ambiental N° 53, 461 pp.
- Lenat DR (1993) A biotic index for the southeastern United State: Derivation and list of tolerance values, with criteria for assigning water-quality ratings. *Journal of the North American Benthological Society* 12:279-290.
- Mackie, G.L. (2001) *Applied Aquatic Ecosystem Concepts*. Kendall/Hunt Publishing Company. ISBN: 0-7872-7490-9. XXVI, 744pp.

- Prat N, A Munné, M Rieradevall, C Solà & N Bonada (2000) ECOSTRIMED Protocol per determinar l'estat ecològic dels rius mediterranis. Diputació de Barcelona, Àrea de Medi Ambient, Barcelona, Catalunya, España. 94 pp.
- Roldán G (1988) Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Ecología, Revista de la Academia Colombiana de Ciencia (Colombia)* Vol XXIII, 88: 375-387.
- Tiller D & L Metzelling (2002) Australia-wide assessment of river health: Victorian AusRivas sampling and processing manual. *Monitoring river health. Initiative Technical Report no 15, commonwealth of Australia and VIC Environmental Protection Authority, Canberra and Melbourne. Australia.* 20 pp.