

Plataforma de Investigación en Ecohidrología y Ecohidráulica

Estudio para la identificación de
zonas riparianas relevantes en la
cuenca hidrográfica del Maipo

Informe Final

Elaborado para

Comisión Nacional del Medio
Ambiente.

Región Metropolitana

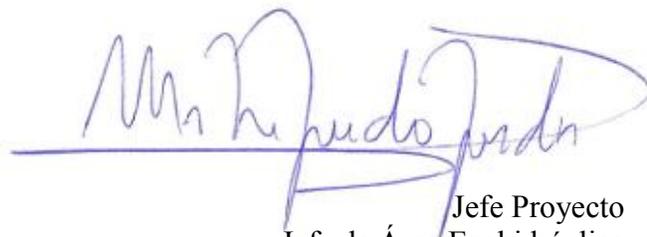
ID: 1287-19-LE10



Diciembre 2010

En conformidad,

Matías Peredo P.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Matías Peredo P.', with a horizontal line extending from the end of the signature.

Jefe Proyecto
Jefe de Área Ecohidráulica
Plataforma de Investigación EcoHyd

Santiago, 15 de Diciembre de 2010

GRUPO DE TRABAJO

El equipo de trabajo participante en este proyecto es multidisciplinar. Los integrantes se detallan a continuación.

Investigador	Títulos	Especialidad	Organización
Matías Peredo	Ing Civil Hidráulico Dr., Msc.	Ecohidráulica (Jefe de proyecto)	Plataforma de Investigación. EcoHyd
Diana Quevedo	Ing Civil Hidráulico Dr., Msc.	Ecohidrología	Plataforma de Investigación. EcoHyd
Rodrigo Pardo	Biólogo Marino PhD., Msc.	Limnología	Aquaexpert
Paula Olea	Geógrafa	Geomorfología y geomática	Plataforma de Investigación. EcoHyd
Francisco Contreras	Ing.(e) Medio Ambiente	Estructura vegetacional	ASPAM

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. OBJETIVOS.....	17
1.1.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2. ANTECEDENTES.....	18
2.1. FUNCIONES TEÓRICAS DE LA ZONA RIPARIANA	18
2.1.1. FUNCIONES FÍSICAS	18
2.1.2. FUNCIONES ECOLÓGICAS	21
2.2. UTILIZACIÓN DE ÍNDICES PARA LA EVALUACIÓN DE LAS ZONAS RIPARIANAS A NIVEL INTERNACIONAL	25
2.3. EXPERIENCIAS EN LA UTILIZACIÓN DE ÍNDICES EVALUADORES DE LAS ZONAS RIPARIANAS A NIVEL NACIONAL.....	26
2.3.1. ÍNDICE QBR	27
2.3.2. ÍNDICE IHG.....	28
2.4. ESTUDIOS REALIZADOS EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO	29
3. METODOLOGÍA.....	31
3.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	31
3.1.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	33
3.1.2. VEGETACIÓN RIPARIANA DEL RÍO MAIPO	33

3.2. DIAGNÓSTICO CUALITATIVO DE LAS FUNCIONES DE LA ZONA RIPARIANA Y SU ESTADO DE CONSERVACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO.....	36
3.2.1. DEFINICIÓN Y FUNCIONES TEÓRICAS DE LA ZONA RIPARIANA Y DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES RELEVANTES EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO	36
3.2.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS AMENAZAS.....	36
3.2.3. VALORACIÓN DE LOS NIVELES DE INTERVENCIÓN DE LOS TRAMOS NSCA.....	36
3.3. CRITERIOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y ECOLÓGICOS PARA SELECCIONAR LAS ZONAS RIPARIANAS RELEVANTES	37
3.3.1. ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS.....	37
3.3.2. SELECCIÓN DE TRAMOS DE LA NORMA SECUNDARIA.....	37
3.4. METODOLOGÍA DE MUESTREO.....	37
3.4.1. ELECCIÓN DEL SITIO	38
3.4.2. DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES QBR, IHG Y VEGETACIÓN PRESENTE.....	39
3.5. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES MÁS RELEVANTES EN EL ESTADO ECOLÓGICO DE LAS ZONAS RIPARIANAS.....	41
<u>4. RESULTADOS</u>	<u>42</u>
4.1. AMENAZAS MÁS COMUNES SOBRE LA ZONA RIPARIANA DEL RÍO MAIPO	42
4.1.1. BOCATOMAS.....	42
4.1.2. DESCARGAS DE AGUAS SERVIDAS	43
4.1.3. FAENAS MINERAS.....	43
4.1.4. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS.....	43
4.1.5. DESCARGA DE RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS (RILES)	44
4.1.6. EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS	44

4.1.7. USO DE SUELO	45
4.2. DIAGNÓSTICO CUALITATIVO DE LAS ZONAS RIPARIANAS	53
4.3. DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS ECOLÓGICOS.....	55
4.3.1. CRITERIOS USADOS INTERNACIONALMENTE	55
4.3.2. CRITERIOS UTILIZADOS EN LA CUENCA DEL MAIPO.....	56
4.3.3. VALORACIÓN DE LOS TRAMOS.....	57
4.4. SELECCIÓN DE LOS TRAMOS.....	62
4.4.1. TRAMOS NSCA SELECCIONADOS.....	62
4.4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS PUNTOS EVALUADOS EN TERENO	63
4.5. CATEGORIZACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE CONSERVACIÓN DE LAS ZONAS RIPARIANAS MUESTREADAS	78
4.5.1. ESPECIES PRESENTES	78
4.5.2. VALORACIÓN QBR.....	82
4.5.3. VALORACIÓN IHG.....	84
4.5.4. ANÁLISIS CONJUNTO	87
4.6. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES MÁS RELEVANTES EN EL ESTADO ECOLÓGICO DE LAS ZONAS RIPARIANAS.....	89
<u>5. DISCUSIÓN</u>	<u>93</u>
<u>6. CONCLUSIONES.....</u>	<u>97</u>
<u>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>98</u>

INDICE TABLAS

TABLA 1.1. ANCHO DE LA ZONA RIPARIANA SEGÚN GAYOSO <i>ET AL.</i> 2000.....	14
TABLA 3.1. CLASIFICACIÓN VEGETACIONAL DE LA CUENCA DEL RÍO MAIPO (MOP 2004)	33
TABLA 3.2 PISOS VEGETACIONALES EXISTENTES EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO (OBTENIDAS DE LEUBERT & PLISCOFF 2009)	34
TABLA 3.3 FLORA PRESENTE EN LAS RIBERAS DEL RÍO MAIPO	35
TABLA 3.4 INTERPRETACIÓN DE LAS CLASES DEL QBR SEGÚN MUNNÉ <i>ET AL.</i> (1998, 2003) Y SU EQUIVALENCIA CON LAS CLASES UTILIZADAS EN EL ESTUDIO	40
TABLA 3.5: INTERPRETACIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE IHG UTILIZADO EN EL ESTUDIO (PROPUESTA POR OLLERO <i>ET AL.</i> 2008).....	40
TABLA 4.1: CLASIFICACIÓN DE LOS TRAMOS NSCA SEGÚN CRITERIOS HIDROMORFOLÓGICOS.....	57
TABLA 4.2: CLASIFICACIÓN DE LOS TRAMOS NSCA SEGÚN CRITERIOS FISCOQUÍMICOS	57
TABLA 4.3: CLASIFICACIÓN DE LOS TRAMOS NSCA SEGÚN CRITERIOS DE USOS DEL SUELO.....	58
TABLA 4.4: VALORACIÓN CONJUNTA DEL NIVEL DE INTERVENCIÓN DE LOS TRAMOS NSCA SEGÚN LOS CRITERIOS HIDROMORFOLÓGICOS (Nº DE BOCATOMAS: BCT; Nº DE EXTRACCIONES DE ÁRIDOS: EXTAR), FISCOQUÍMICOS (Nº DE DESACARGAS DE AGUAS SERVIDAS: DAS; Nº DE FAENAS MINERAS: FMI; Nº DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS: PTAS) Y USOS DEL SUELO (AGRICULTURA: AGRIC; ÁREAS URBANAS E INDUSTRIALES: AUI; SUELOS CON VEGETACIÓN SILVESTRE: VEG). LA INTERPRETACIÓN DE LOS NIVELES DE INTERVENCIÓN POR CADA AMENAZA REMITIRSE A LAS TABLAS CORRESPONDIENTES (TABLA 4.1 A TABLA 4.3).....	59
TABLA 4.5: TRAMOS NSCA SELECCIONADOS PARA EVALUAR EL ESTADO ECOLÓGICO EN TERRENO. PARA LA INTERPRETACIÓN DE LAS CLASES REMITIRSE A LA TABLA 4.3	62
TABLA 4.6: TIPOS DE ESTRATA PRESENTES EN EL PUNTO AR-10, ESPECIE DOMINANTE ASOCIADO A CADA ESTRATA, SU ORIGEN Y COBERTURA	65
TABLA 4.7: TIPOS DE ESTRATA PRESENTES EN EL PUNTO EC-10, ESPECIE DOMINANTE ASOCIADO A CADA ESTRATA, SU ORIGEN Y COBERTURA	66
TABLA 4.8: TIPOS DE ESTRATA PRESENTES EN EL PUNTO LA-10, ESPECIE DOMINANTE ASOCIADO A CADA ESTRATA, SU ORIGEN Y COBERTURA	67
TABLA 4.10: TIPOS DE ESTRATA PRESENTES EN EL PUNTO LA-10, ESPECIE DOMINANTE ASOCIADO A CADA ESTRATA, SU ORIGEN Y COBERTURA	69
TABLA 4.11: TIPOS DE ESTRATA PRESENTES EN EL PUNTO YE-10, ESPECIE DOMINANTE ASOCIADO A CADA ESTRATA, SU ORIGEN Y COBERTURA	70
TABLA 4.12: TIPOS DE ESTRATA PRESENTES EN EL PUNTO MA-20, ESPECIE DOMINANTE ASOCIADO A CADA ESTRATA, SU ORIGEN Y COBERTURA	71

TABLA 4.13: TIPOS DE ESTRATA PRESENTES EN EL PUNTO MA-30, ESPECIE DOMINANTE ASOCIADO A CADA ESTRATA, SU ORIGEN Y COBERTURA	72
TABLA 4.14: TIPOS DE ESTRATA PRESENTES EN EL PUNTO MA-60, ESPECIE DOMINANTE ASOCIADO A CADA ESTRATA, SU ORIGEN Y COBERTURA	73
TABLA 4.15: TIPOS DE ESTRATA PRESENTES EN EL PUNTO PU-10, ESPECIE DOMINANTE ASOCIADO A CADA ESTRATA, SU ORIGEN Y COBERTURA	74
TABLA 4.16: TIPOS DE ESTRATA PRESENTES EN EL PUNTO PU-10, ESPECIE DOMINANTE ASOCIADO A CADA ESTRATA, SU ORIGEN Y COBERTURA	75
TABLA 4.17. NÚMERO Y PORCENTAJE DE ESPECIES NATIVAS Y EXÓTICAS TOTAL.....	79
TABLA 4.18. PRESENCIA Y ORIGEN DE ESPECIES VEGETALES SEGÚN HÁBITO (PRES=NÚMERO DE PUNTOS EN LOS CUALES ESTA PRESENTE; ORIG= ORIGEN: NATIVA (N) Y EXÓTICA (E))	81
TABLA 4.19 RESULTADOS DEL ÍNDICE QBR Y SUS SUBÍNDICES (QBR1, QBR2, QBR3 Y QBR4) PARA TODOS LOS PUNTOS EVALUADOS.....	83
TABLA 4.20 RESULTADOS DEL ÍNDICE IHG Y SUS SUBÍNDICES (IHG1, IHG2 Y IHG3) PARA TODOS LOS PUNTOS EVALUADOS.....	86

INDICE FIGURAS

FIGURA 1.1: ATRIBUTOS FÍSICO-ESTRUCTURALES DE LA ZONA RIPARIANA.	15
FIGURA 2.1 EROSIÓN EN LAS LADERAS PRODUCTO DE LA AUSENCIA DE VEGETACIÓN RIPARIANA.	18
FIGURA 2.2: REORIENTACIÓN DEL FLUJO DEBIDO A LA PRESENCIA DE TRONCOS EN EL CAUCE	19
FIGURA 2.3: LA VEGETACIÓN RIPARIANA APORTA REFUGIO PARA ANIMALES ACUÁTICOS.	19
FIGURA 2.4: EFECTO DEL SOMBREADO SOBRE EL CAUCE DEBIDO A LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN RIPARIANA.	20
FIGURA 2.5 FUNCIONAMIENTO DE LA ZONA RIPARIANA COMO CORREDOR ECOLÓGICO.....	21
FIGURA 2.6 PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJA EN EL SISTEMA FLUVIAL.	22
FIGURA 2.7 EFECTO DE FILTRO DE LOS NUTRIENTES PROVENIENTES DE LAS LADERAS. TOMADA DE LA PÁGINA WEB USGS.	22
FIGURA 3.1: DIAGRAMA DE FLUJO EN DONDE SE REPRESENTA LA METODOLOGÍA UTILIZADA	31
FIGURA 3.2: MAPA ÁREA DE ESTUDIO	32
FIGURA 3.3. ÁREA (EN PORCENTAJE) DE LOS PISOS VEGETACIONALES DEFINIDOS EN LUEBERT & PLISCOFF (2009) PARA LA CUENCA DEL RÍO MAIPO. LOS VALORES DE LOS PORCENTAJES PUEDEN VERSE EN LA TABLA 3.2. ELABORACIÓN PROPIA	35
FIGURA 3.4. DISMINUCIÓN DE LA ESCALA ESPACIAL A NIVEL DE TRAMO NSCA (FIG. A) A NIVEL DE SUBTRAMO (FIG. B) Y A NIVEL DE PUNTO SELECCIONADO PARA REALIZAR LA EVALUACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LAS ZONAS RIPARIANAS (FIG. C).....	39
FIGURA 4.1: BOCATOMAS EVENTUALES Y PERMANENTES LOCALIZADAS EN LOS TRAMOS DE RÍO DE NSCA RÍO MAIPO.	46
FIGURA 4.2 PUNTOS DE DESCARGAS DE AGUAS SERVIDAS CON Y SIN TRATAMIENTO LOCALIZADAS EN LOS TRAMOS DE RÍO DE NSCA RÍO MAIPO.....	47
FIGURA 4.3 CATASTRO DE FAENAS MINERAS LOCALIZADAS EN LOS TRAMOS DE RÍO DE NSCA RÍO MAIPO	48
FIGURA 4.4 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y AGUAS SERVIDAS LOCALIZADAS EN LOS TRAMOS DE RÍO DE NSCA RÍO MAIPO.....	49
FIGURA 4.5 PUNTOS DE DESCARGA DE RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS LOCALIZADAS EN LOS TRAMOS DE RÍO DE NSCA RÍO MAIPO.....	50
FIGURA 4.6. ZONAS DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS UBICADAS SOBRE LOS TRAMOS DE RÍO DE LA NSCA RÍO MAIPO.	51
FIGURA 4.7. USOS DEL SUELO ASOCIADOS A LA CUENCA DEL RÍO MAIPO	52
FIGURA 4.8. ILUSTRACIÓN CONCEPTUAL DE LA RIQUEZA DE LA VEGETACIÓN <i>VERSUS</i> SU POSICIÓN EN UN RÍO NATURAL (LÍNEA SÓLIDA Y SEGMENTADA) Y REGULADO (LÍNEA PUNTEADA).....	54
FIGURA 4.9: DIAGNÓSTICO CUALITATIVO DEL NIVEL DE INTERVENCIÓN DE LOS TRAMOS NSCA. LA LEYENDA PUEDE VERSE EN LA TABLA 4.4.	61

FIGURA 4.10: DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS TRAMOS NSCA SELECCIONADOS. PARA LEYENDA VER	
TABLA 4.5.	63
FIGURA 4.11: PUNTOS DE MUESTREO.	76
FIGURA 4.19: PORCENTAJE DE ESPECIES LEÑOSAS NATIVAS POR UBICACIÓN DEL TRAMO DENTRO DE LA CUENCA. (CB= CABECERA; TA=TRAMO ALTO; TM=TRAMO MEDIO; TB=TRAMO BAJO).	80
FIGURA 4.13: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS QBR EN LA CUENCA.	84
FIGURA 4.14: VALORES DEL IHG Y SU LOCALIZACIÓN EN LA CUENCA.	87
FIGURA 4.15: DISTRIBUCIÓN EN LA CUENCA DE LOS ÍNDICES QBR (FIGURA A) E IHG (FIGURA B) (CB= CABECERA; TA=TRAMO ALTO; TM= TRAMO MEDIO; TB= TRAMO BAJO). ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE INFORMACIÓN OBTENIDA EN TERRENO.	88
FIGURA 4.16: RELACIÓN ENTRE LOS VALORES QBR CON LOS VALORES IHG.	89
FIGURA 4.17: ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS CANÓNICAS ENTRE LOS SUBÍNDICES DEL QBR (QBR1, QBR2, QBR3 Y QBR4) Y LAS VARIABLES DAS_TR, FMI_TR, AUI_PORC, BN_PORC Y AGRI_PORC. EXPLICACIONES SOBRE LAS VARIABLES Y SUBÍNDICES REMITIRSE AL TEXTO.	90
FIGURA 4.18 : ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS CANÓNICAS ENTRE LOS SUBÍNDICES DEL IHG (IHG1, IHG2 E IHG3) Y LAS VARIABLES BCT_TR, BCT_AC, FMI_TR, ARI_TR AUI_PORC Y AGRI_PORC. EXPLICACIONES SOBRE LAS VARIABLES Y SUBÍNDICES REMITIRSE AL TEXTO.	92

INDICE ANEXOS

ANEXO A: ANEXO FOTOGRÁFICO

ANEXO B: FICHA DE TERRENO DE ÍNDICES QBR E IHG

ANEXO C: DESCRIPCIÓN DE COBERTURAS CARTOGRÁFICAS

ANEXO D: SEMINARIO DE DIFUSIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del Maipo congrega la mayor cantidad de habitantes del país con todas las demandas ambientales que esto conlleva. Por ello, esta cuenca es una de las más intervenidas del país y una de las más degradadas en términos ambientales y ecológicos. Este mantenido deterioro ambiental tiene su origen en al menos 3 barreras sostenidas: demanda de agua, la pérdida o fragmentación de hábitat y la contaminación de las aguas (Quantitativa 2004).

Si bien estas barreras están estrechamente relacionadas unas con otras, es posible destacar algunas causas que podrían ser responsables de este deterioro. La escasez de agua, aunque debería considerarse como alteración del régimen hidrológico, tiene relación con extracciones para riego, consumo humano, industrial, minero e hidroeléctrico. La pérdida de hábitat acuático, tiene relación con el deterioro del cauce y con la pérdida y/o ausencia de la zona ripariana. Esto se debe principalmente como consecuencia de la modificación del trazado del cauce, su embancamiento, inadecuada y excesiva extracción de áridos, vertederos ilegales de residuos sólidos en las orillas de los ríos, así como el aumento de la zona agrícola en desmedro de las zonas riparianas.

La situación de la cuenca del Maipo es preocupante ya que los resultados de los estudios desarrollados por el EULA para CONAMA RM (CONAMA RM 2007, 2008, 2009) de biodiversidad acuática dan cuenta de un ecosistema muy perturbado, con calidades de agua muy malas para la protección o conservación de las comunidades acuáticas.

La evaluación del estado ecológico de un río no solo debe abordarse desde el punto de vista de la calidad de las aguas, biodiversidad acuática o alteración del régimen hídrico, también debe incluirse aspectos sobre las zonas riparianas, ya que éstas constituyen uno de los ecosistemas más diversos, dinámicos y complejos (Brubrink *et al.* 1998).

La palabra ripariana procede del anglicismo *riparian*, el cual a su vez proviene del Latín *riparius* que significa “de o perteneciente a la ribera del río”. La relevancia del término va más allá de comprender comunidades bióticas que habitan tanto en la playa como en la ribera de los ríos o lagos, sino que se establece como una zona de transición entre el río y la ladera, zona en la cual se presentan diversidad de morfologías del río, de comunidades bióticas y de ambientes, los cuales ayudan a entender la organización, diversidad y

dinámica de las comunidades asociadas con los ecosistemas fluviales (Naiman y Décamps, 1997; Gregory *et al.* 1991).

De acuerdo al Comité on Riparian Zone Functioning and Strategies for Management (NRC 2002), la zona ripariana es un área de transición entre la zona terrestre y el ecosistema acuático que se distingue por un gradiente de condiciones biofísicas, procesos ecológicos y la biota. Son áreas a través de las cuales las aguas superficiales y subsuperficiales se conectan con territorios adyacentes. Es en estas zonas donde se produce y controla significativamente el intercambio de energía y materia de un ecosistema terrestre con uno acuático.

La zona ripariana es adyacente a cursos de agua, lagos, estuarios perennes, intermitentes y transitorios. Éstas pueden ser entendidas mediante la analogía con una membrana semipermeable que regula el flujo de energía y material entre las zonas adyacentes (Naiman y Décamps 1990 citado por Naiman y Décamps 1997).

Las dimensiones de las zonas riparianas y su área de influencia dependen de características geomorfológicas, tanto del cauce como del valle, tipo de suelo, régimen hidrológico, entre otras (González del Tánago y García de Jalón 2006, Naiman 2005, Gayoso *et al.* 2000).

El ancho de la zona ripariana está relacionado con el tamaño del río, la ubicación de éste en la cuenca en la red de drenaje, el régimen hidrológico y la geomorfología local (Naiman y Décamps 1997). Se espera que en ríos pequeños la zona ripariana sea angosta y esté incorporada al bosque; en ríos de tamaño medio la zona ripariana será mayor siendo representada por distintas bandas de vegetación (grupos funcionales); y en ríos grandes la zona ripariana está caracterizada por llanuras de inundación bien desarrolladas y de complejos procesos físicos (Naiman y Décamps 1997). Esta misma estructura puede observarse a lo largo de un río producto del gradiente longitudinal reflejado en el concepto de River Continuum (Vannote *et al.* 1980) en donde los anchos y complejidades de las zonas riparianas aumentan a medida que la posición del río en la red de drenaje se desplace hacia aguas abajo (González del Tánago y García de Jalón 2006).

Gayoso *et al.* (2000) define el ancho de la zona ripariana según el tipo de cauce, los cuales son clasificados mediante la combinación de tres elementos: tamaño de la cuenca, presencia/ausencia de peces y características del flujo (permanente o temporal).

Los cauces CLASE 1 se caracterizan por pertenecer a cuencas de más de 2000 ha, poseer peces y transportar agua durante todo el año. Los cauces CLASE 2 pertenecen a cuencas con un área de drenaje entre 200-2000 ha, presencia de fauna íctica y el flujo de agua en condiciones medias se mantiene por lo menos durante 6 meses. La CLASE 3 abarca cauces con un área de drenaje entre 20-2000 ha o menor que 20 ha, puede existir o no fauna íctica y el caudal medio puede mantenerse o no durante al menos 6 meses. Finalmente, la CLASE 4, representa los cauces asociados a cuencas pequeñas (menores de 20 ha) sin presencia de fauna íctica y generalmente son ríos efímeros que transportan agua después de un evento de lluvia significativo. De acuerdo a estas cuatro categorías, propone un ancho mínimo de la zona ripariana asociado a cada cauce (Gayoso *et al.* 2000).

Tabla 1.1. Ancho de la zona ripariana según Gayoso *et al.* 2000.

Tipo de cauce	Ancho mínimo de la zona ripariana (m)
Clase 1	60
Clase 2	45
Clase 3	30
Clase 4	15

La zona ripariana posee dos grandes grupos de atributos: estructurales y funcionales. Dentro de los atributos estructurales se encuentran la continuidad longitudinal y el ancho (González del Tánago y García de Jalón 2006), los cuales se muestran en la Figura 1.1.

La continuidad longitudinal hace referencia a la existencia de franjas de vegetación que garantizan el movimiento de agua, nutrientes, sedimentos y especies (Forman y Gordon 1986). El ancho está determinado por el ancho del cauce y de la llanura de inundación en donde ocurren los procesos y funciones ecológicas e hidrológicas que le dan heterogeneidad a la zona ripariana.

La composición y estructura de la vegetación ripariana refleja la calidad ecológica de este importante elemento dentro de la zona ripariana, cuya condición debe ser evaluada a partir de un punto de referencia determinado para cada río.

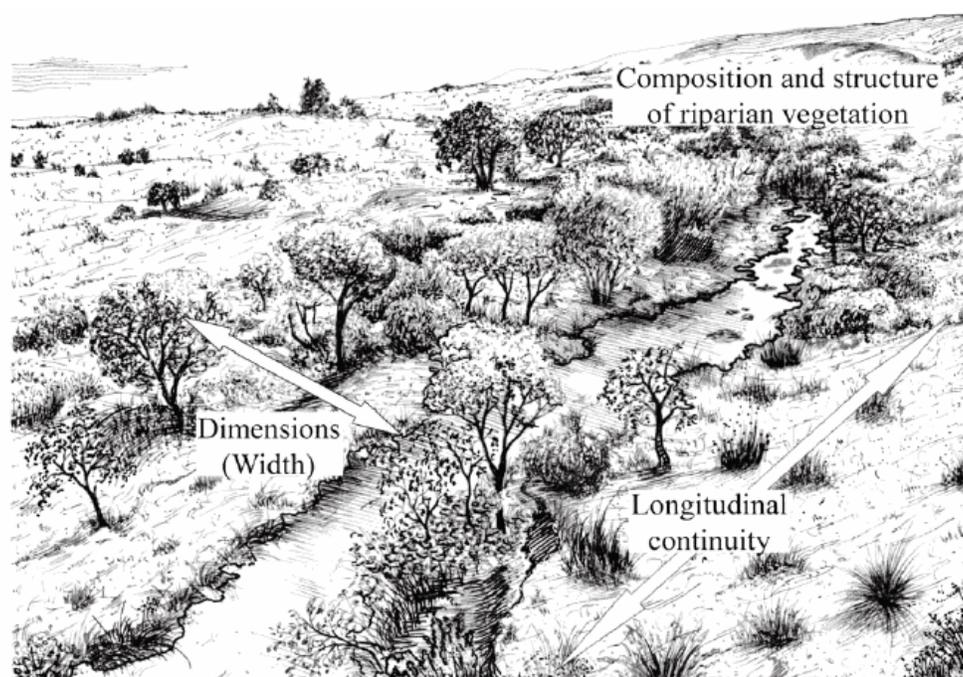


Figura 1.1: Atributos físico-estructurales de la zona ripariana.
Fuente: González del Tánago y García de Jalón (2006)

Dentro de las funciones que cumplen las zonas riparianas en una cuenca se puede destacar la mantención del balance hídrico, la dinámica de sedimentos, el balance biogeoquímico, el ciclo de nutrientes, el control de la temperatura del río, generación de hábitat, la mantención de complejas redes tróficas y la generación de corredores ecológicos que permiten la conectividad a lo largo de la red de drenaje (Naiman y Décamps 1997).

Las zonas riparianas cumplen un rol importante en el medio ambiente acuático y terrestre prestando varios servicios medioambientales, entre los que destacan, estabilización de orillas, generación de hábitat acuáticos y terrestres, filtro de nutrientes, ingreso de fuentes de alimento al cauce, efecto de laminación de crecidas, generación de un microclima, etc. (Montreuil *et al.* 2010, Ghermandi *et al.* 2009, Allan y Castillo 2007, González del Tánago y García de jalón 2006, Naiman 2005, Cummins 2002, Naiman y Decamps 1997). Las zonas riparianas no están ajenas a la presión antrópica que sufren los ríos disminuyendo las funciones y servicios ambientales que éstas prestan, de ahí la importancia de preservarlas y restaurarlas en caso de presentar un estado ecológico insuficiente.

Existen muchos índices para evaluar la calidad e integridad de las zonas riparianas, algunos índice tienen una orientación morfológica, como el índice Hidrogeomorfológico de Sistemas Fluviales IHG (Ollero *et al.* 2008) o el Índice de Hábitat Fluvial IHF (Pardo *et al.* 2002). Existen otros índice se basan en la vegetación de ribera, como por ejemplo el

índice de Calidad del Bosque de Ribera QBR (Munné *et al.* 1998, 2003) o estimaciones mediante las funciones ecológicas de la vegetación de ribera (González del Tánago y García de Jalón 2006) entre otros.

Estos índices buscan evaluar el estado de la zona ripariana de una forma simple, sencilla y rápida (Pardo *et al.* 2002, Munné *et al.* 2003, Ollero *et al.* 2008) e incluso se han realizado estudios que incorporan la percepción remota y teledetección para evaluar índices de calidad de la zona ripariana (Johansen *et al.* 2007).

Debido a las numerosas funcionalidades que posee la zona ripariana y a que ésta puede ser considerada como un indicador de alerta temprana de cambios medioambientales (Naiman y Décamps 1997) CONAMA RM ha mostrado interés en identificar zonas riparianas relevantes respecto de su función biogeoquímica en la cuenca hidrográfica del Maipo, cuya restauración o mantención en un futuro cercano se traduzca en una mejora integral de sus ecosistemas acuáticos y por ende de la calidad de sus aguas.

Para ello se requiere estudiar cuáles son las principales amenazas a las cuales están sometidas las zonas riparianas en la cuenca del río Maipo y el estado ecológico actual de éstas, para, en un futuro, ser incluidas en la gestión integrada de cuencas hidrográficas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar y proponer zonas riparianas relevantes respecto de su función ecológica en la cuenca hidrográfica del Maipo, para ser mantenidas o restauradas en un futuro cercano.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar un diagnóstico cualitativo de las funciones de la zona ripariana y su estado de conservación en la cuenca alta, media y baja en el sistema Maipo.
- b) Establecer criterios físicos, químicos y ecológicos para seleccionar las zonas riparianas relevantes, presentes o pasadas, en los cursos de agua superficial establecidos en el proyecto definitivo NSCA-Maipo, marzo 2010, de acuerdo a la clasificación de cuenca alta, media y baja.

2. ANTECEDENTES

A continuación se comentan en detalle las funciones medioambientales más relevantes para este estudio que cumplen las zonas riparianas.

2.1. FUNCIONES TEÓRICAS DE LA ZONA RIPARIANA

2.1.1. FUNCIONES FÍSICAS

2.1.1.1 *Movimiento de masa y morfología del cauce*

El material suministrado al río proviene tanto de la erosión de las riberas aguas arriba (proceso influenciado por la resistencia y resiliencia de las raíces) como de la ladera. Las riberas que carecen de vegetación ripariana son a menudo inestables y están sujetas a la pérdida de masa, transformándose en cauces amplios (Figura 2.1).



Figura 2.1 Erosión en las laderas producto de la ausencia de vegetación ripariana.

<http://www.northeastiowarcd.org/uirw/>

La vegetación ripariana también influye sobre el transporte de sedimento, ya sea, reteniendo el material susceptible a ser arrastrado o por la disminución de las velocidades del flujo. Dicha disminución se logra por medio de las raíces y/o grandes detritos vegetales (en caudales bajos) o por medio de los tallos (en caudales altos) los cuales

umentan la rugosidad del lecho. De esta forma, al disminuir el esfuerzo de corte disminuye también la capacidad de arrastre del flujo conteniendo la erosión local.

2.1.1.2 *Detritos leñosos en el cauce y la Zona Ripariana*

Los detritos leñosos juegan un papel importante en la zona ripariana ya que ejercen una fuerte influencia sobre la hidráulica de los ríos, el transporte de sedimentos, la morfología de los cauces y la ecología de éstos (Andreoli *et al.* 2007, Gurnell *et al.* 2002, Naiman y Decamps 1997). Por ejemplo, en bosques riparianos, estos detritos se acumulan durante las crecidas. Cada acumulación de detritos usualmente incluye al menos una pieza larga de madera la cual puede resistir el flujo y capturar físicamente piezas más pequeñas de madera, haciendo crecer la acumulación de detritos. Estas acumulaciones de detritos leñosos actúan como disipadores de energía, trampas de materiales en movimiento y formadores de hábitats (Petit y Naiman 2005). Dependiendo del tamaño, posición en el cauce y la geometría, estas acumulaciones pueden resistir y redireccionar el flujo de agua, haciendo que el poder erosivo del agua sea espacialmente heterogéneo, creando un mosaico de zonas erosionadas y agradadas en el corredor ripariano (Figura 2.2).



Figura 2.2: Reorientación del flujo debido a la presencia de troncos en el cauce
Fuente: <http://www.stillaguamish.nsn.us>

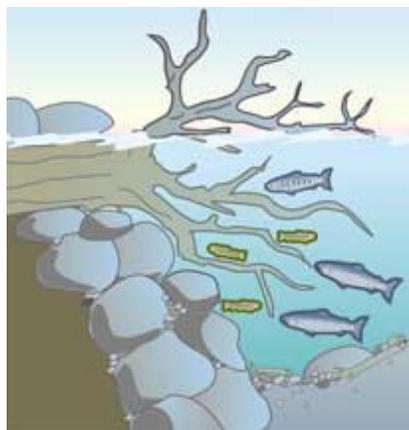


Figura 2.3: La vegetación ripariana aporta refugio para animales acuáticos.
Fuente: <http://www.kingcounty.gov/>

Los detritos leñosos proporcionan hábitat para peces y macroinvertebrados (Milner y Gloyne-Phillips 2005) (Figura 2.3). Los detritos leñosos pueden retener los propágulos y protegerlos de la erosión, abrasión e incluso de los periodos de sequía o de ser devorados por los herbívoros (Naiman y Decamps 1997).

2.1.1.3 *Microclima*

La vegetación ripariana ejerce un fuerte control sobre el microclima del río modulando la cantidad y calidad de la radiación solar que incide sobre el río en función de la altura y densidad de la vegetación (Ghermandi *et al.* 2009, Naiman y Decamps 1997). La radiación solar y la temperatura son importantes en el hábitat acuático ya que influyen la producción primaria, el comportamiento de los organismos que habitan en el río y reacciones químicas. Por ejemplo, en verano la temperatura del cauce puede ser más alta (con un menor contenido de oxígeno en el agua) y más baja en invierno, lo cual puede afectar el metabolismo, fenología y actividad de muchas especies de peces y organismos acuáticos, controlando incluso los niveles de eutrofización (Ghermandi *et al.* 2009).

Este proceso de regulación de la temperatura en el río por parte de la vegetación ripariana se produce vía evapotranspiración y el efecto sombra sobre el cauce (Figura 2.4).



Figura 2.4: Efecto del sombreado sobre el cauce debido a la presencia de vegetación ripariana.
Fuente: Elaboración propia. Estero Yerba Loca

2.1.1.4 *Zona Ripariana como corredor ecológico*

Las zonas riparianas se constituyen como una red distribuida sobre grandes áreas, manteniendo la conexión biológica a lo largo de la red de drenajes (Naiman y Decamps 1997). Quizás, la mejor evidencia de esta conectividad se refleje en las especies invasoras, las cuales se mueven a través de estos corredores buscando un lugar adecuado a sus requerimientos (Richardson *et al.* 2007) (Figura 2.5).

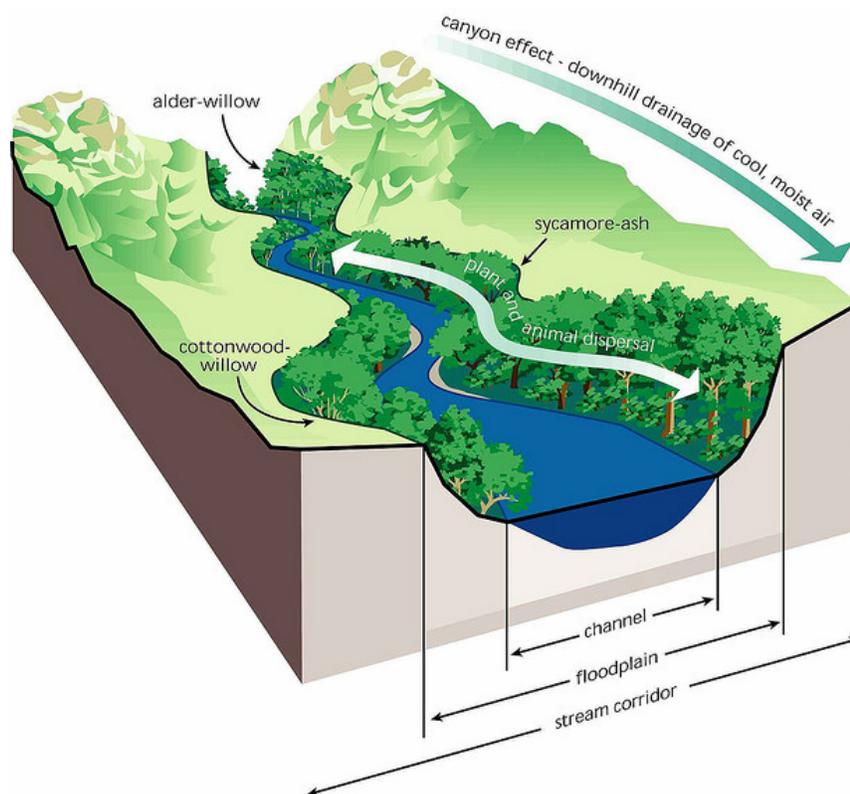


Figura 2.5 Funcionamiento de la zona ripariana como corredor ecológico.
Fuente: Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. 1998.
Federal Interagency Stream Restoration Working Group

2.1.2. FUNCIONES ECOLÓGICAS

2.1.2.1 Fuentes de alimentación

La materia orgánica proveniente de la vegetación ripariana es una gran fuente de alimentación para los organismos acuáticos. Dicha materia orgánica se halla presente en la hojarasca que llega al río, ya sea directamente sobre este o transportada lateralmente hasta el cauce (Figura 2.6); jugando un papel fundamental en dicho transporte la estructura de la zona ripariana (Cummins 2002). Dicho transporte lateral se ve favorecido por el efecto acumulativo de diversas crecidas que mueven la hojarasca hacia los costados del cauce (Allan y Castillo 2007).

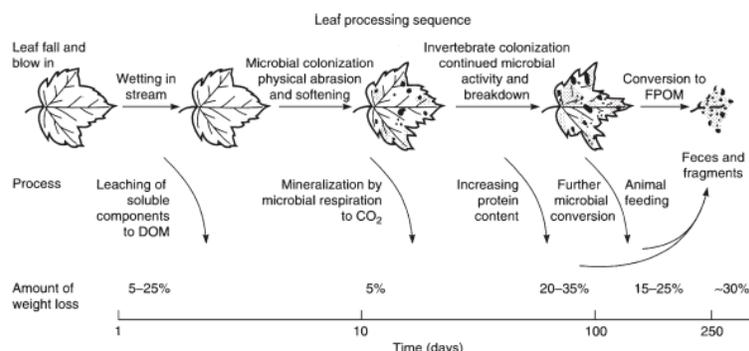


Figura 2.6 Proceso de descomposición de la hoja en el sistema fluvial.

Fuente: Allan y Castillo (2007)

La vegetación ripariana viva es también una fuente de alimentación para los animales (desde insectos hasta mamíferos), los cuales pueden modificar considerablemente la función de la Zona Ripariana con su actividad alimentaria.

2.1.2.2 Filtro de nutrientes

Se ha demostrado que la zona ripariana reduce el movimiento de nutrientes desde las laderas hacia el río, lo que permite entender el rol que juega en el control de fuentes de polución por sedimentos y nutrientes en cuencas dedicadas a la agricultura (Montreuil *et al.* 2010; Dhondt *et al.* 2006, Anbumozhi *et al.* 2005) (Figura 2.7).

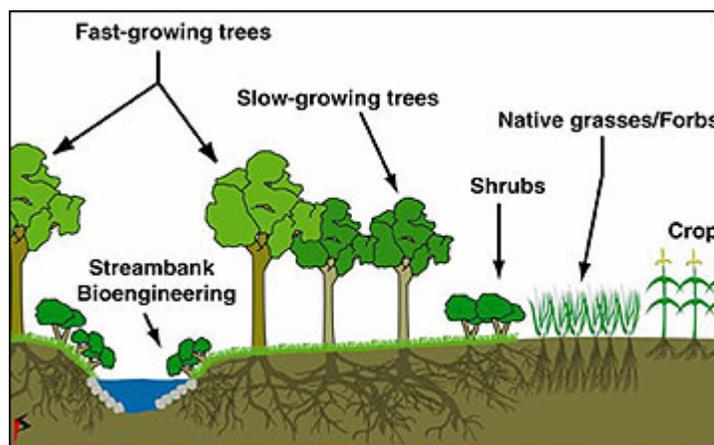


Figura 2.7 Efecto de filtro de los nutrientes provenientes de las laderas. Tomada de la página web USGS.

Fuente: North American Agroforestry (2009)

Los procesos biogeológicos que afectan tanto las riberas del río como los sistemas acuáticos ocurren dentro de la zona ripariana, el cual influencia por un lado la hidrología

de la cuenca y por otro lado la hidráulica del cauce. Así la transferencia subsuperficial de agua y materiales es principalmente unidireccional a lo largo del cauce a través del borde terrestre. Mientras que en el borde acuático, esta transferencia es bidireccional, donde se mezclan los flujos de agua de la zona hiporréica con los provenientes de los intersticios de la zona ripariana. Ambos bordes son los principales lugares donde se regula y disminuye la transferencia de nitrógeno inorgánico y fósforo desde el agua subsuperficial hacia el río (Naiman 2005).

Zona de transición física

Los sedimentos y los contaminantes adheridos a estos que son transportados por la escorrentía superficial, son depositados en los bosques riparianos así como también en las herbáceas que habitan en las riberas del río. El entrapamiento de sedimentos es debido a los flujos laminares que permiten la depositación de las partículas de sedimento y previenen la erosión de las riberas de los cauces por agradación (Naiman y Decamps 1997). La depositación de sedimentos se hace evidente en el largo plazo, siendo los más grueso depositados a pocos metros del límite del bosque ripariano, y alojando los sedimentos finos dentro de los gruesos y en las riberas del cauce.

Los sedimentos finos traen consigo grandes cantidades de nutrientes y contaminantes adheridos, cuya remoción ocurre como una interacción entre los procesos de depositación y erosión, infiltración, dilución y las reacción de adsorción/desorción con el suelo del bosque y los desechos de este. En cuencas forestales con baja concentración de nutrientes, la Zona Ripariana puede convertirse en fuente o sumidero de esto, dependiendo de las condiciones de oxidación/reducción (Naiman 2005).

Zona de transición biológica

Las zonas riparianas son de especial interés en tanto que acumulan nutrientes debido a que las tasas de transpiración son muy altas, lo que incrementa el flujo de nutrientes disueltos hacia el sistema radicular y dado que las adaptaciones morfológicas y fisiológicas de la vegetación ripariana facilitan la absorción de nutrientes bajo condiciones anóxicas.

La importancia de la vegetación ripariana como filtro de nutrientes puede verse afectada por la dificultad de acceso al agua, por la fenología y liberación de nutrientes y por la saturación de estos en un bosque maduro. Respecto a la accesibilidad al agua, esta es

posible cuando el nivel freático es alto o si la demanda de transpiración moviliza el agua y nutrientes hacia la zona radicular.

Respectos a los microorganismos, estos al igual que las plantas capturan nutrientes. En un principio, los nutrientes disueltos son inmovilizados seguidos del crecimiento celular, muerte, descomposición y liberación de nutrientes (Naiman 2005). Entre todos los nutrientes el nitrógeno tiene mayor relevancia en la vegetación ripariana: el proceso de desnitrificación, depende de la presencia de nitrato (NO_3^-), un sustrato de carbono adecuado y ausencia de oxígeno. La temperatura del suelo, la humedad y el tipo de carbono presente influyen la tasa de reacción. Así mismo, el pH del suelo influye en la producción de óxido nitroso (N_2O) o nitrógeno gaseoso (N_2).

Diversidad de patrones vegetacionales y perturbaciones naturales

La vegetación ripariana ayuda a entender cómo varía la diversidad de vegetación a escala regional respecto perturbaciones naturales, por ejemplo, en los tramos medios de un río donde la duración e intensidad de las crecidas es intermedia, la diversidad de especies vegetales no siempre es la más alta (Richardson *et al.* 2007).

Las crecidas confieren heterogeneidad dentro de la zona ripariana y por consiguiente crean diferentes nichos de regeneración que facilita la coexistencia de especies del mismo género. Así mismo, a escala local las crecidas afectan la diversidad de especies herbáceas en tanto que modifican su entorno físico mediante la erosión y la depositación de desechos y limos (Naiman 2005).

Las comunidades con mayor biodiversidad también poseen una fracción de especies exóticas, tanto a lo largo del río como dentro de sitios específicos. Esto sugiere que dichas comunidades en los corredores riparianos son las más vulnerables dada la heterogeneidad ambiental creada por las crecidas moderadas.

Los procesos que parecen controlar la invasión de especies exóticas en la zona ripariana son diversos e interactivos, y en gran parte son acelerados por las actividades antropogénicas, consistiendo en tres etapas, establecimiento, estabilización y expansión (Richardson *et al.* 2007).

Diversidad regional de refugios y habitat

Los parches de la zona ripariana actúan como sitios seguros para la flora regional durante los períodos de sequía. Además, la zona ripariana genera refugio y hábitat para especies acuáticas como peces y macroinvertebrados (Cummins 2002).

La mayoría de las zonas riparianas están cubiertas por gran variedad de vegetación leñosa que va desde arbustos que sirven de refugio para pequeños mamíferos, hasta árboles que ofrecen nido y sitios de percha para aves. El incremento en la comunidad herbívora aparece como resultado de una mayor productividad y mejor calidad del alimento, y los detritos leñosos proveen de estabilidad tanto a las comunidades de invertebrados terrestres como las acuáticas (Naiman 2005, Naiman y Decamps 1997). Así, la vegetación ripariana actúa como refugio en áreas adyacentes y en algunos casos como corredores para la migración y dispersión.

2.2. UTILIZACIÓN DE ÍNDICES PARA LA EVALUACIÓN DE LAS ZONAS RIPARIANAS A NIVEL INTERNACIONAL

La experiencia en estudios de zonas riparianas a nivel mundial es amplia, basada principalmente en la gran cantidad de índices existentes para estimar la calidad de estas zonas. Esta gran cantidad de índices es producto que cada autor o equipo de trabajo crea su propio índice al no estar en completo acuerdo con los existentes (Ollero *et al.* 2008).

Algunos de los índices más utilizados son: River Habitat Survey (RHS) el cual fue desarrollado en el Reino Unido. Éste es un método para monitorear atributos del hábitat fluvial relacionado con el sustrato del cauce, morfología, vegetación acuática, modificaciones en cauces y laderas, entre otros aspectos (Raven *et al.* 1998), aplicándose también en Italia (Buffagni & Kemp 2002). El índice de Condición del Río (Index Stream Condition, Ladson *et al.* 1996) ha sido desarrollado en Australia, el cual es integrando en el AUSRIVAS (Australian River Assessment System, Parson *et al.* 2002). Este índice provee una medida integrada de la salud del río y la condición ecológica de sus ecosistemas (Ladson *et al.* 1999). Considera 5 grupos de indicadores: Hidrología, geomorfología, zona ripariana, calidad de agua y vida acuática (Ollero *et al.* 2008, White y Ladson 1999)

España es uno de los países que más índices fluviales ha desarrollado. Entre los más comunes se encuentra el QBR (Qualitat del Bosc de Ribera, Munné *et al.* 1998, 2003), el cual se basa en cuatro áreas: Cobertura de la vegetación ripariana, estructura de la cobertura,

calidad de la cobertura y alteraciones del cauce (Munné *et al.* 2003). Una aparente limitación del índice QBR es que éste pareciera representar una “fotografía” de la zona ripariana y no considera otros aspectos como la identificación taxonómica, dinámica de sucesión de la vegetación ripariana, etc. (González del Tánago y García de Jalón 2006).

Otro es el Índice de Hábitat Fluvial (IHF, Pardo *et al.* 2002) el cual evalúa las relaciones entre la heterogeneidad del hábitat (mesohábitat rápidos y lentos) y las variables físicas del cauce. Sin embargo, no evalúa adecuadamente las propiedades hidromorfológicas por sí mismas, sino por su calidad para las poblaciones de seres vivos (Ollero *et al.* 2008).

El índice de Calidad Ripariana (RQI, González del Tánago *et al.* 2006) considera la estructura y dinámica de la zona riparianas en un contexto hidrológico y geomorfológico, considerando aspectos como la interconexión río-acuífero.

El Índice Hidrogeomorfológico (IHG, Ollero *et al.* 2008) en el cual su principal objetivo es la evaluación de la dinámica de los procesos hidrogeomorfológicos. Considera tres parámetros funcionales: Valoración de la calidad funcional del sistema fluvial, valoración de la calidad del cauce y por último valoración de la calidad de sus riberas.

2.3. EXPERIENCIAS EN LA UTILIZACIÓN DE ÍNDICES EVALUADORES DE LAS ZONAS RIPARIANAS A NIVEL NACIONAL

En Chile se ha utilizado el índice QBR en las cuencas de los ríos Maullín (Fernández *et al.* 2009) y Nonguén (Palma *et al.* 2009). Además en este último río se ha utilizado el índice IHF (Palma *et al.* 2009). Si bien la aplicación de estos índices ha sido satisfactoria en ambos casos, ya que permite su rápida implementación. Fernández *et al.* (2009) señala que éste debiera modificarse de acuerdo a la altitud (m.s.n.m.) a la cual se realiza la evaluación. Palma *et al.* (2009) menciona que sería conveniente una modificación a las condiciones locales del río, pero que en este caso (Río Nonguén) no sería necesario porque este río presenta características climáticas mediterráneas, las cuales son similares a aquellas en donde el QBR fue implementado.

La aplicación de los índices QBR e IHG a la cuenca del río Maipo es factible de realizar, considerando que este río también presenta condiciones climáticas mediterráneas, y que la implementación es rápida, sencilla y no requeriría personal altamente cualificado

(Fernández *et al.* 2009). Sin embargo, se debería tener en cuenta las diferencias naturales entre la cuenca del río Maipo con las cuencas españolas en donde estos índice fueron implementados.

2.3.1. ÍNDICE QBR

Este índice fue desarrollado por Munné *et al.* (1998, 2003) y está orientado a determinar la calidad de las riberas. La longitud del tramo de río para realizar la valoración de índice debe estar entre 50 y 100 m. En caso que se evalúe en tramos mayores, este debe ser dividido en tramos de 100 m. El valor del QBR, está basado en cuatro aspectos de la calidad de las riberas, los cuales se detallan a continuación:

Cobertura total de la vegetación: En este componente se considera cualquier tipo de árbol, arbusto o helófito, excluyendo las herbáceas porque son plantas anuales y su cobertura puede variar dependiendo de la condición del año en la cual se evalúa el índice. Según el autor, hay que tener especial cuidado al momento de valorar este componente en caso que la presencia de escasa vegetación sea producto de condiciones naturales (como por ejemplo después de crecidas) y no por alteraciones a la dinámica fluvial. El puntaje máximo para este componente es de 25 puntos.

Estructura de la vegetación: Esta componente va orientada a valorar la complejidad de la estructura del habitat ripariano el cual debiera aumentar la biodiversidad, tanto para animales como para aves. El puntaje máximo para este componente es de 25 puntos.

Calidad de la cobertura: La valoración de este componente va orientada a determinar la cantidad de árboles nativos presentes en la zona ripariana. Esta valoración depende de la configuración morfológica de las riberas y el valle. Una vez que el tipo de hábitat ripariano ha sido establecido usando las consideraciones morfológicas propuestas por Munné *et al.* (2003), el puntaje de la calidad de la cobertura viene dado por la cantidad de árboles nativos presentes. El máximo puntaje para este componente es de 25 puntos.

Alteraciones sobre el cauce: En este componente se incluyen las modificaciones antrópicas realizadas sobre el cauce, ya sean estructuras rígidas o no. Las consideradas como rígidas tienen una puntuación negativa mayor ya que su efecto es permanente. El puntaje máximo de este componente es de 25 puntos.

El puntaje total del QBR se logra sumando los puntajes resultantes en cada uno de los componentes, lo cual le confiere un máximo puntaje igual a 100 puntos.

2.3.2. ÍNDICE IHG

El índice Hidrogeomorfológico de los sistemas fluviales (IHG) fue desarrollado por Ollero *et al.* (2008). La longitud del tramo para evaluar este índice debe ser inferior a un kilómetro, pudiendo aplicarse a sectores más largos (Ollero *et al.* 2008). Es un índice basado en las presiones e impactos antrópicos sobre los elementos, procesos y funciones hidrogeomorfológicas del sistema fluvial (Ollero *et al.* 2008). Los esquemas de valoración propuestos en este índice pretenden facilitar la valoración del tramo para que ésta sea rápida y directa (Ollero *et al.* 2008). Sin embargo, este índice no es posible su directa determinación *in situ*, debe existir un conocimiento previo del sistema fluvial, siendo imprescindible fotografías aéreas actuales e históricas, documentación hidrológica, cartografía, etc. La valoración de este índice se basa en 3 componentes:

Funcionalidad del sistema: Este componente considera acciones antrópicas ubicadas aguas arriba del tramo (como presas, azudes o embalses) a evaluar que modifique o altere la naturalidad del régimen hidrológico, la disponibilidad y movilidad del sedimento y la funcionalidad de la llanura de inundación. El máximo puntaje en este componente es de 30 puntos.

Calidad del cauce: Este componente considera acciones antrópicas locales (como presas, canalizaciones, puentes, acequias, etc.) que alteren o degraden la naturalidad del trazado y de la morfología en planta, la continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales y la naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral. El máximo puntaje de este componente son 30 puntos

Calidad de las riberas: Aquí se consideran obras antrópicas locales (como caminos, acequias, urbanizaciones, etc.) que alteren o limiten la continuidad longitudinal, anchura, estructura, naturalidad de las riberas y la interconectividad transversal entre los hábitat o ambientes dentro del corredor ripariano. El puntaje máximo de este componente es de 30 puntos.

El puntaje total del IHG se logra sumando los puntajes resultantes en cada uno de los componentes, lo cual le confiere un máximo puntaje igual a 90 puntos.

2.4. ESTUDIOS REALIZADOS EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO

En la cuenca del río Maipo se han realizado estudios orientados principalmente a determinar las características de la calidad del agua. Entre estos estudios encontramos el estudio “Diagnóstico y Clasificación de los cuerpos de agua según objetivo de calidad de las aguas” desarrollado por CADE-IDEPE (2004) para la Dirección General de Aguas (DGA). Este estudio se desarrolla a nivel nacional abordando 34 cuencas del país, entre ellas el río Maipo. En este estudio se aborda la identificación de los factores que inciden o puedan incidir en el futuro en la calidad de las aguas, establecer la calidad natural de los cursos de cuerpos de agua, caracterizar la calidad actual y su variabilidad espacial y temporal, caracterizar usos actuales y futuros *in situ* y extractivos y establecer un índice de cumplimiento de calidad objetivo.

Dentro de este estudio (DGA 2004), los resultados para la cuenca del río Maipo señalan que esta cuenca presenta bajas calidades de las aguas en donde los principales factores que influyen sobre la calidad de las aguas son la lixiviación de los terrenos, ya sea en forma natural o producto de compañías mineras existentes, presentando una alta cantidad de sulfatos y de metales pesados. Además, el río Maipo es el río con una mayor cantidad de sólidos suspendidos en el país. A nivel puntual el río Maipo presenta aparición de pesticidas por fuentes difusas aguas abajo de Angostura. El río Mapocho presenta altas cantidad de coliformes fecales aguas abajo de Santiago.

El estudio “Metodologías para la determinación de la calidad de las aguas mediante comunidades biológicas” desarrollado por el Centro de Ecología Aplicada (CEA 2004) para la Comisión Nacional de Riego, es el primer intento en esta cuenca para encontrar las relaciones existentes entre comunidades de macroinvertebrados y la calidad de las aguas. Aquí se realiza una revisión bibliográfica de los IB (índice Biótico) aplicándolo en el curso principal del río Maipo, llegando a la conclusión que la temperatura y la conductividad eléctrica son los factores ambientales que mayormente condicionan la distribución de los macroinvertebrados en esta cuenca. Utilizan el método Beck-Tsuda para encontrar estas relaciones, en particular con la DBO₅. Según CONAMA RM (2008) este método restringe el uso del índice a un solo tipo de contaminación y pierde la objetividad que define los IBs, como son el poder responder a diferentes tipos de perturbaciones, incluyendo las modificaciones del hábitat.

Los estudios “Estandarización de especies bioindicadoras de calidad del agua en la cuenca del Río Maipo” (CONAMA RM 2007), “Aplicación del índice Biótico ChSignal en comunidades de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del río Maipo (CONAMA RM 2008) y “Validación y complementación de la aplicación del Índice Biótico ChSignal en la cuenca del Maipo” (CONAMA RM 2009). Todos estudios han sido desarrollados por el EULA.

Estos tres estudios llevan a cabo un análisis más a fondo sobre la utilización de índices bióticos para determinar la calidad de las aguas en la cuenca del río Maipo. A diferencia del estudio de la CNR (2004), en estos estudios se aborda la totalidad de la cuenca del río Maipo y además se aplica la versión modificada para Chile del índice SIGNAL (ChSignal, Figueroa *et al.* 2007), donde sucesivamente se van incorporando estaciones de muestreo, ya sea para abordar nuevos tramos o bien para incorporar estaciones del año en los análisis. En el primer estudio (CONAMA RM 2007), la cantidad total de estaciones es igual a 32 estaciones de muestreo. En el estudio CONAMA RM (2008) se complementaron 11 estaciones de muestreo de las cuales 4 de ellas son nuevas, finalmente en el estudio CONAMA RM (2009) se realizan 14 estaciones de muestreos ya definidas en los estudios anteriores, pero esta vez se incluye una campaña en la temporada de invierno.

En los dos últimos estudios (CONAMA RM 2008, 2009) se incorpora experimentalmente una evaluación de la calidad de las riberas y de la cantidad de hábitat para ser colonizado en cada uno de los puntos muestreados, a través de los índices QBR e IHF. Sin embargo no existe un análisis sobre la consistencia de la utilización de estos índices en la cuenca del Maipo y/o una correlación con los IB evaluados.

Existen estudios que pueden ser utilizados como complementarios, ya que abordan temas de interés para la determinación de zonas riparianas relevantes en la cuenca del río Maipo. Entre éstos destaca el estudio “Antecedentes respecto a la biodiversidad acuática en la cuenca del río Maipo” realizado por Cuatrecasas (2004). En dicho informe se realiza una primera aproximación sobre la biodiversidad acuática en el río Maipo, donde se realiza una recopilación bibliográfica de la distribución de macroinvertebrados y de especies ícticas, logrando determinar las zonas de distribución de las especies ícticas existentes en la cuenca. Lamentablemente estas zonas de distribución no están claramente definidas y por lo tanto, solo es posible considerarlas como una aproximación.

3. METODOLOGÍA

Para poder llevar a cabo los objetivos anteriormente señalados se siguió el diagrama de flujo (Figura 3.1) en donde se resumen los pasos y sus secuencias. Más detalles de estos se explican a continuación.

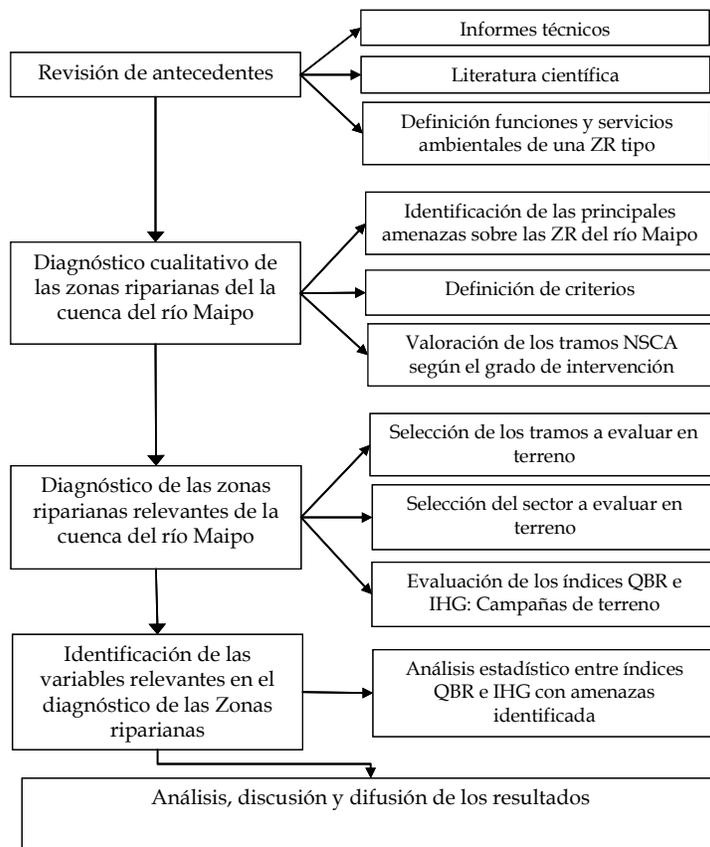


Figura 3.1: Diagrama de flujo en donde se representa la metodología utilizada

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto se desarrolló en la cuenca hidrográfica del río Maipo, en el territorio comprendido entre las regiones Metropolitana, de Valparaíso y del Libertador Bernardo O'Higgins. La cobertura geográfica está definida por los cursos de agua superficial

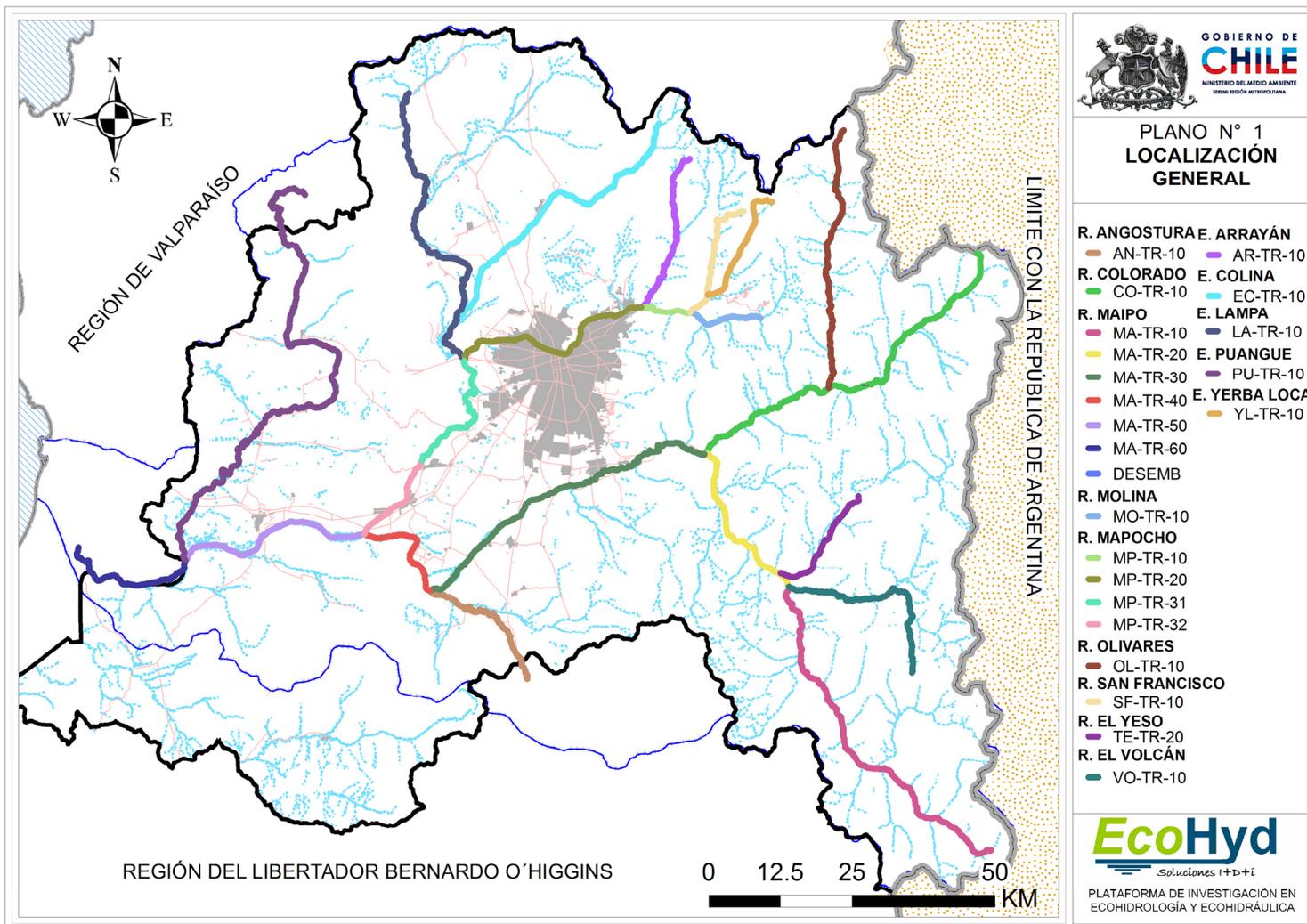


Figura 3.2: Mapa área de estudio

descritos en el proyecto definitivo de la Norma Secundaria de Calidad del Agua de la cuenca del río Maipo (NSCA-Maipo, 2010) como se aprecia en la Figura 3.2

3.1.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Prácticamente en toda la cuenca del Maipo, se manifiesta el clima templado mediterráneo con estación seca prolongada, que se caracteriza por precipitaciones concentradas en los meses de invierno y una estación seca de 8 a 7 meses (Fuenzalida 1971). En invierno se dan temperaturas extremas, llegando a los cero grados; mientras que la temperatura media anual es de 14,5° C; pero los contrastes térmicos son fuertes. En verano las máximas alcanzan valores superiores a 30° C durante el día (MOP 2004); teniendo en promedio, entre una máxima de enero de 28,2 °C y una mínima de julio de 4,4 °C (Santibáñez 1994) Los montos de precipitación media anual registrados alcanzan valores aproximados de 366,8 mm/año (MOP 2004).

3.1.2. VEGETACIÓN RIPARIANA DEL RÍO MAIPO

Existe poca información relativa a la vegetación de ribera en la cuenca del Maipo. Ésta se basa principalmente en clasificaciones vegetacionales desarrolladas a nivel nacional (Luebert & Pliscoff 2009, Gajardo 1994) o a las especificadas en Declaraciones de Impacto Ambiental de proyectos de extracción de áridos o afines desarrollados en el río Maipo.

De acuerdo a la clasificación realizada por Gajardo (1994) en la cuenca del Río Maipo se describen 9 formaciones vegetacionales con sus respectivas comunidades (Tabla 3.1). Estas formaciones pertenecen a 3 regiones vegetacionales del país: Región de la Estepa Altoandina, Región del matorral y el bosque esclerófilo y Región del Bosque caducifolio (MOP 2004).

Tabla 3.1. Clasificación vegetacional de la Cuenca del Río Maipo (MOP 2004)

Región	Subregión	Formación
Región de la estepa altoandina	Subregión de los andes mediterráneos	Matorral esclerófilo andino Estepa altoandina de la cordillera de Santiago
Región del matorral y el bosque esclerófilo	Subregión del matorral y del bosque espinoso	Matorral espinoso de las serranías Bosque espinoso abierto Matorral espinoso de la cordillera de la costa

Tabla 3.1. Clasificación vegetacional de la Cuenca del Río Maipo (MOP 2004)

Región	Subregión	Formación
		Matorral espinoso del secoano costero
		Bosque esclerófilo costero
	Subregión del bosque esclerófilo	Bosque esclerófilo de la precordillera andina
Región del bosque caducifolio	Subregión del bosque caducifolio montano	Bosque caducifolio de Santiago

La clasificación realizada por Luebert & Pliscoff (2009, 2006), señala la presencia de 14 pisos vegetacionales (Tabla 3.2). De los cuales predominan el bosque esclerófilo costero (*Cryptocarya alba* y *Peumus boldus*) y el bosque espinoso mediterráneo interior (*Acacia caven* y *Prosopis chilensis*) con superficies cercanas al 12% de la cuenca (Figura 3.3).

Tabla 3.2 Pisos vegetacionales existentes en la cuenca del río Maipo (obtenidas de Leubert & Pliscoff 2009)

Piso Vegetacional	Área (Há)	Área (%)	Ley
Sin Definir	45034	0.3	
Bos. caducifolio medit. costero de <i>Nothofagus macrocarpa</i> y <i>Ribes punctatum</i>	658304	4.1	
Bos. esclerofilo medit. andino de <i>Kageneckia angustifolia</i> y <i>Guindilia trinervis</i>	1393982	8.7	
Bos. esclerofilo medit. andino de <i>Quillaja saponaria</i> y <i>Lithrea caustica</i>	1563969	9.8	
Bos. esclerofilo medit. costero de <i>Cryptocarya alba</i> y <i>Peumus boldus</i>	1987522	12.4	
Bos. esclerofilo medit. costero de <i>Lithrea caustica</i> y <i>Cryptocarya alba</i>	1453592	9.1	
Bos. espinoso de medit. andino <i>Acacia caven</i> y <i>Baccharis paniculata</i>	1031733	6.5	
Bos. espinoso medit. costero de <i>Acacia caven</i> y <i>Maytenus boaria</i>	1020649	6.4	
Bos. espinoso medit. interior de <i>Acacia caven</i> y <i>Prosopis chilensis</i>	1792311	11.2	
Herbazal medit. de <i>Nastanthus spathulatus</i> y <i>Menonvillea spathulata</i>	1722041	10.8	
Mat. arborescente esclerofilo medit. <i>Quillaja saponaria</i> y <i>Porlieria chilensis</i>	543203	3.4	
Mat. bajo medit. andino de <i>Chuquiraga oppositifolia</i> y <i>Nardophyllum lanatum</i>	1132635	7.1	
Mat. bajo medit. andino de <i>Laretia acaulis</i> y <i>Berberis empetrifolia</i>	1559847	9.8	
Mat. bajo medit. costero <i>Chuquiraga oppositifolia</i> y <i>Mulinum spinosum</i>	54553	0.3	
Mat. espinoso medit. interior <i>Trevoa quinquinervia</i> y <i>Colliguaja odorifera</i>	28438	0.2	

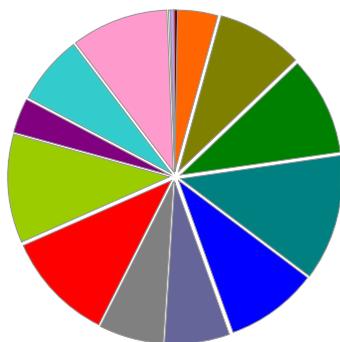


Figura 3.3. Área (en porcentaje) de los pisos vegetacionales definidos en Luebert & Pliscoff (2009) para la cuenca del río Maipo. Los valores de los porcentajes pueden verse en la Tabla 3.2. Elaboración propia

La información recogida de las Declaraciones de Impacto Ambiental sobre proyectos de extracción de áridos o bien de otro tipos de proyectos en torno a cauces de la cuenca del río Maipo, da cuenta que la vegetación existente en las riberas del río Maipo es principalmente Espino (*Acacia caven*), Vautro (*Baccharis concava*), Alamo (*Populus nigra*), Zarzamora (*Rubus ulmifolius*), Sauce (*Salix babylonica*), entre otras (Ver Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Flora presente en las riberas del río Maipo

Nombre científico	Nombre común	Origen
<i>Acacia caven</i>	Espino	Nativa
<i>Astragalus sp.</i>	Hierba loca	Exótica
<i>Baccharis concava</i>	Vautro	Nativa
<i>Brassica campestris</i>	Yuyo	Exótica
<i>Californian poppy</i>	Dedal de oro	Exótica
<i>Conium maculatum</i>	Cicuta	Exótica
<i>Cortaderia sp.</i>	Cola de zorro	Nativa
<i>Medicago sativa</i>	Alfalfa	Exótica
<i>Populus alba</i>	Alamo blanco	Exótica
<i>Populus nigra</i>	Álamo negro	Exótica
<i>Proustia pungens</i>	Huañil	Nativa
<i>Rapistrum rugosum</i>	Falso yuyo	Exótica
<i>Rubus ulmifolius</i>	Zarzamora	Exótica
<i>Salix babylonica</i>	Sauce	Exótica
<i>Sophora macrocarpa</i>	Mayo	Nativa
<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león	Exótica
<i>Tessaria absinthioides</i>	Brea	Nativa

3.2. *DIAGNÓSTICO CUALITATIVO DE LAS FUNCIONES DE LA ZONA RIPARIANA Y SU ESTADO DE CONSERVACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO*

Los pasos que se presentan a continuación son parte de la metodología que busca determinar, de una forma cualitativa y adecuada a la escala espacial de trabajo, cuál es el estado ecológico de las zonas riparianas de los tramos NSCA de la cuenca del río Maipo.

3.2.1. DEFINICIÓN Y FUNCIONES TEÓRICAS DE LA ZONA RIPARIANA Y DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES RELEVANTES EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO

Se revisó bibliografía, tanto internacional como nacional, con el fin de determinar las funciones de una zona ripariana tipo que sean aplicables a los ríos de la cuenca del Maipo. De acuerdo a estas funciones, se identificaron, describieron y analizaron las funciones de las zonas riparianas del río Maipo.

3.2.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS AMENAZAS

Posteriormente, y basados en la cartografía temática disponible, se definió el área de influencia de las zonas riparianas sujetas a análisis. En ellas se describen y analizan las actividades que se realizan en estas áreas las que puedan ser consideradas como amenazas actuales o potenciales para el buen estado de calidad de las zonas riparianas. Para seleccionar las amenazas más relevantes en el estado ecológico de las zonas riparianas se tuvo en cuenta el grado y tipo de alteración que las amenazas podrían ocasionar, presencia de una escala espacial de actuación de la amenaza adecuada a la escala espacial del estudio, y la magnitud de la amenaza en la cuenca del río Maipo.

3.2.3. VALORACIÓN DE LOS NIVELES DE INTERVENCIÓN DE LOS TRAMOS NSCA

Combinando la acción de las amenazas se realizó un diagnóstico cualitativo del estado de conservación de estas zonas riparianas. Para ello se realizó, en primer lugar, un diagnóstico del estado de intervención del tramo para cada una de las amenazas seleccionadas, los cuales fueron clasificados según el nivel de intervención.

Posteriormente, se realizó una valoración cualitativa conjunta combinando los niveles de intervención de todas las amenazas que ejercen presión sobre el tramo.

3.3. CRITERIOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y ECOLÓGICOS PARA SELECCIONAR LAS ZONAS RIPARIANAS RELEVANTES

3.3.1. ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS

Del proceso conjunto de la revisión bibliográfica, estudios anteriores realizados sobre la zona de estudio y de la cartografía proporcionada por la contraparte, se estableció un conjunto de criterios físicos, químicos, ecológicos y sociales que apoyaron en la definición de las zonas riparianas más relevantes.

Estos criterios se seleccionaron teniendo en cuenta la escala espacial de la influencia de la intervención sobre las zonas riparianas de acuerdo con la escala espacial definida en el marco de gestión (tramos NSCA).

3.3.2. SELECCIÓN DE TRAMOS DE LA NORMA SECUNDARIA

Se seleccionaron 11 tramos de la NSCA en los cuales se evaluó el estado ecológico de las zonas riparianas mediante los índices QBR e IHG. La selección de estos tramos se realizó considerando los criterios ya definidos en el apartado anterior y que además representaran la totalidad de clases resultantes de la valoración cualitativa conjunta, así como su distribución en la cuenca.

3.4. METODOLOGÍA DE MUESTREO

Se realizó una campaña de muestreo comprendida entre los días 02 a 12 de noviembre de 2010.

3.4.1. ELECCIÓN DEL SITIO

Para evaluar en terreno el estado ecológico actual de los tramos NSCA seleccionados fue necesario reducir la longitud del tramo donde se trabajó en terreno, ya que los índices de evaluación son determinados en tramos de corta longitud. Para el QBR, la longitud del tramo de río necesaria para determinar este índice es entre 50 y 100 m (Munné *et al.* 2003), mientras que para el IHG la distancia adecuada es menor a un kilómetro (Ollero *et al.* 2008).

Para ello se aplicó una técnica de disminución de la escala espacial. Ésta consiste en ir disminuyendo la longitud del tramo a estudiar mediante la elección de un subtramo de menor longitud que el anterior y que mantenga las características que son objeto de estudio.

Dada la diferencia de longitudes de los tramos NSCA seleccionados (del orden de 40 km en promedio) y la longitud necesaria para determinar los índices, la disminución de la escala espacial se realizó en dos etapas.

La primera de ellas se consistió en reducir la longitud del tramo NSCA a un subtramo con un longitud entre 4 a 2 km. Esta reducción se realizó mediante fotointerpretación utilizando imágenes satelitales Landsat y a través de la herramienta Google Earth. Su determinación se realizó teniendo en cuenta que este subtramo debe ser representativo del tramo NSCA seleccionado de acuerdo a las características de zonas riparianas y que éste debiera ser accesible (Figura 3.4). En caso que no se pudiera determinar un subtramo representativo, debido a la alta variabilidad interna, se optó por considerar aquel subtramo que representara mejor la información predominante en el tramo NSCA.

Una vez determinados los subtramos y sus accesos se procedió a la segunda etapa en la técnica de reducción de la escala espacial, la cual consiste en determinar el sector (punto) en cual se realizará la evaluación en cada tramo NSCA. Esta etapa se realizó mediante la técnica conocida como River Mapping (mapeo del río), la cual consiste en hacer un recorrido por el interior del cauce donde se van anotando las características de las zonas riparianas. De acuerdo a esto se elige un punto (sector del subtramo) que mantenga la representatividad del subtramo referente a la información sobre las zonas riparianas. Se realizó el mapeo del río en una extensión de 500 m, (aprox.) por cada punto de acceso definido en el subtramo. Como producto final se determinó un punto de evaluación del estado ecológico de las zonas riparianas.

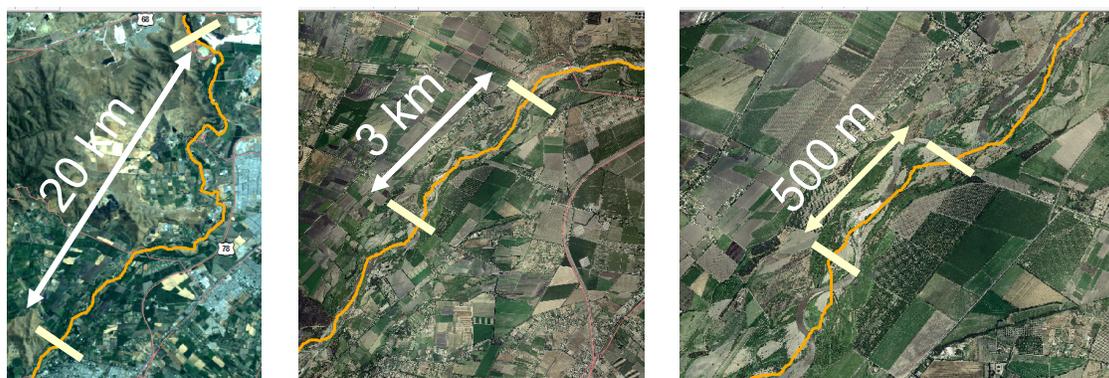


Figura a

Figura b

Figura c

Figura 3.4. Disminución de la escala espacial a nivel de tramo NSCA (Fig. a) a nivel de subtramo (Fig. b) y a nivel de punto seleccionado para realizar la evaluación del estado ecológico de las zonas riparianas (Fig. c)
Fuente: Elaboración propia (imagen capturada de Google Earth)

3.4.2. DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES QBR, IHG Y VEGETACIÓN PRESENTE

En cada punto de muestreo se definieron 3 perfiles transversales, los cuales fueron nombrados como A, B y C según sentido de escurrimiento del flujo. En cada perfil se midieron las siguientes variables: Ancho mojado del río, ancho de las zona ripariana, tanto en margen izquierdo y derecho. En cada perfil transversal se determinaron parcelas en ambas márgenes del río.

A lo largo de los perfiles definidos se determinaron los grupos funcionales, en los cuales se midió el ancho y las especies dominantes, estimándose, además, la cobertura en la parcelas definidas en cada perfil. Por otra parte, se realizó una clasificación de la estructura vegetacional a nivel de estratas. La identificación de la flora se realizó en terreno, aquella que no fue posible identificarla, se recogió una muestra para su identificación mediante literatura.

Una vez determinadas la flora en los perfiles, se procedió a evaluar los índices QBR e IHG. Es importante señalar que la determinación de estos índices se realizó una vez completado la recopilación de información florística, lo cual permitió al equipo tener una visión más completa del sector. El índice QBR es posible determinarlo *in situ*, sin embargo, para el IHG es necesario obtener información adicional a la obtenida en terreno. Esta información hace relación a obras ubicadas aguas arriba, como bocatomas, presas, embalses, etc. que puedan alterar el régimen hidrológico natural y/o modificar el gasto sólido.

La interpretación de las clases se realizó de acuerdo a lo expresado en Munné *et al.* (1998, 2003). Esta interpretación se traspasó a una única escala utilizada en este estudio (Tabla 3.4), la cual varía desde “Muy Mala” a “Muy Buena” para poder complementar esta información con aquella entregada por el otro índice (IHG) utilizada en este estudio.

Tabla 3.4 Interpretación de las clases del QBR según Munné *et al.* (1998, 2003) y su equivalencia con las clases utilizadas en el estudio

Valor índice	Interpretación	Clase
> 95	Hábitat ripariano en condiciones naturales	Muy Buena
90-75	Algunas perturbaciones, buena calidad	Buena
70-55	Perturbaciones importantes, calidad aceptable	Aceptable
50-30	Grandes alteraciones, calidad pobre	Mala
< 25	Degradación extrema, mala calidad	Muy Mala

Para poder realizar un análisis estadístico más a fondo, se definieron 4 variables asociadas al QBR (QBR1, QBR2, QBR3 y QBR4), las cuales representan cada uno de los componentes de este índice. De esta forma QBR1 representa la cobertura vegetal; QBR2 representa la estructura vegetacional; QBR3 la calidad de la cobertura y finalmente QBR4 representa la alteración del cauce.

La interpretación del IHG este índice se utilizó aquella propuesta en Ollero *et al.* (2008), la cual se muestra en la Tabla 3.5

Tabla 3.5: Interpretación de los valores del índice IHG utilizado en el estudio (propuesta por Ollero *et al.* 2008)

Valor índice	Clase
90-75	Muy Buena
74-60	Buena
59-42	Aceptable
41-21	Mala
20-0	Muy Mala

En forma análoga al QBR, en el IHG también se definieron 3 subíndices (IHG1, IHG2 e IHG3) asociados a cada uno de los componentes de este índice. Por lo tanto, IHG1 representa la funcionalidad del sistema, IHG2 representa la calidad del cauce e IHG3 representa la calidad de las riberas.

3.5. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES MÁS RELEVANTES EN EL ESTADO ECOLÓGICO DE LAS ZONAS RIPARIANAS

Una vez determinados los índices QBR e IHG, así como la flora presente en cada punto, se realizó un análisis de los valores resultantes. Además se realizaron dos Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA). Se implementó este tipo de análisis porque se pretende determinar cuáles son las variables ambientales y/o presiones sobre los tramos NSCA que mayormente afectan, condicionan o explican los valores de los índices QBR e IHG, y por ende el estado ecológico de las zonas riparianas. Este análisis (CCA) es una variante del Análisis de Correspondencia en el cual se obtienen las dimensiones del subespacio por regresión a partir de variables externas (Greenacre 2008), es decir, se busca el subespacio que maximice la inercia explicada a partir de una combinación lineal de las variables externas o explicatorias.

Para ello se implementaron dos CCA, el primero de ellos se realizó entre los subíndices del QBR (QBR1, QBR2, QBR3 y QBR4), y aquellas presiones que están más relacionadas con la presencia de especies vegetales. Un segundo CCA se realizó entre los subíndices IHG1, IHG2 e IHG3 con las presiones más relacionadas con la dinámica hidromorfológica de las riberas del cauce y de las zonas riparianas.

En ambos CCA, los subíndices fueron considerados como las “especies” y las presiones y/o variables ambientales como las “variables explicativas”. Estos análisis fueron realizados en el lenguaje estadístico R versión 2.8.1 (R Development Core Team 2008).

4. RESULTADOS

4.1. AMENAZAS MÁS COMUNES SOBRE LA ZONA RIPARIANA DEL RÍO MAIPO

De acuerdo a la cartografía y antecedentes revisados, las amenazas más comunes detectadas en la cuenca del Río Maipo, de acuerdo a la cartografía analizada corresponden a bocatomas, descargas de aguas servidas, faenas mineras, plantas de tratamiento de aguas, descargas de residuos industriales líquidos y extracción de áridos. Las que son analizadas a continuación:

4.1.1. BOCATOMAS

El tipo de amenaza Bocatomas, hace referencia a cualquier extracción de agua superficial, independientes de su uso final; según el Art. 12 del Código de Aguas, estas extracciones pueden clasificarse entre otras, en permanentes o eventuales.

La Bocatomas Permanentes según el Art. 16 del Código de Aguas, se refiere a aquellos derechos "...que se otorguen con dicha calidad en fuentes de abastecimiento no agotadas..." facultados para usar "el agua en la dotación que corresponda, salvo que la fuente de abastecimiento no contenga la cantidad suficiente para satisfacerlos en su integridad, en cuyo caso el caudal se distribuirá en partes alícuotas" (Art. 17 Código de Aguas).

Según los tramos analizados en la NSCA del Río Maipo Figura 4.1, los tramos más afectados por las bocatomas permanentes corresponden a los ubicados en la parte alta de la cuenca, es decir sobre los AR-TR-10 con 3 bocatomas y el tramo MA-TR-30 con 5. El resto de tramos presentan de 2 a 0 bocatomas con derechos de aguas permanente.

Con respecto a las bocatomas eventuales, el Art. 18 del Código de Aguas señala sobre los derechos eventuales "... sólo facultan para usar el agua en las épocas en que el caudal matriz tenga un sobrante después de abastecidos los derechos de ejercicio permanente" estando las aguas lacustres o embalsadas exentas de esta función. Según los tramos de

NSCA, aquellos más afectados por extracciones de agua eventuales son MP-TR-32 (11 bocatomas), PU-TR-10 (13), SF-TR-10 (14), EC-TR-10 (18) y LA-TR-10 (29).

Respecto al efecto acumulado de las bocatomas sobre los tramos, los más afectados son EC-TR-10 (26), LA-TR-10 (33), PU-TR-10 (36) y AN-TR-10(48).

Este tipo de actuación, aunque se encuentra dentro del marco legal establecido por el Código de Aguas, altera no solamente el régimen hidrológico sino también la cantidad de caudal disponible para la zona ripariana aguas debajo del punto de extracción.

4.1.2. DESCARGAS DE AGUAS SERVIDAS

La cartografía analizada proporcionó información sobre las descargas de aguas servidas , con un total de 64 puntos, produciendo un 78% en la subcuenca del río Mapocho (Figura 4.2). Este tipo de actuación, presenta una amenaza para la zona ripariana y las comunidades bióticas en tanto que afecta la calidad del agua aguas abajo del punto de descarga.

Aguas Andinas S.A., a través del proyecto Mapocho Urbano Limpio (<http://www.sea.gob.cl>), ha saneado la totalidad de las descargas de aguas servidas que pertenecen a Aguas Andinas y que descargaban al río Mapocho en el tramo comprendido entre la rotonda Pérez Zujovic y la descarga al río Mapocho de la PTAS La Farfana. En consecuencia, será necesario actualizar esta información para estudios futuros que contemple el estudio de los ecosistemas acuáticos y en particular al río Mapocho.

4.1.3. FAENAS MINERAS

El catastro actual de faenas mineras (Figura 4.3), muestra que el tramo más afectado de la cuenca es el LA-TR-10, con un total de 45 puntos de trabajos mineros, correspondiendo en su mayoría a extracciones de cobre y oro. De este total de extracciones, actualmente sólo 20 se encuentran activas, las otras han sido abandonadas o están paralizadas.

4.1.4. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Las plantas de tratamiento de aguas corresponden a agua potable o aguas servidas (con o sin programación) sumando un total de 22, de las cuales 13 son de agua potable, 7 de

aguas servidas y el resto de aguas servidas programadas. Según se observa en la Figura 4.4 los tramos más afectados son MA-TR-30 (4, 3 agua potable y 1 aguas servidas), MA-TR-50 y MP-TR-31 (2 aguas servidas cada tramo) y MP-TR-20 (1 agua potable y 1 aguas servidas).

Estas plantas de tratamiento representan dos tipos de amenazas: las plantas de agua de tratamiento al realizar extracciones de agua tanto superficial como subterránea, alteran el régimen hidrológico aguas abajo del punto de extracción. Respecto a las plantas de aguas servidas, es necesario tener en cuenta dos aspectos, uno que retornan agua al río alterando el régimen hidrológico y dos que la calidad del agua que entregan es probable que no sea la misma de la que circula, significando una perturbación en los hábitats de las comunidades bióticas.

4.1.5. DESCARGA DE RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS (RILES)

Los residuos industriales líquidos, más comúnmente conocidos como Riles, son todos los desechos industriales que se vierten en forma líquida, casi siempre al río. En el caso particular del Río Maipo, todos estos vertidos se hacen a los cauces sin cumplimiento de la Normativa Sanitaria. En la Figura 4.5 se muestra el catastro de estos vertidos industriales sobre los tramos de la NSCA de la cuenca del río Maipo.

Al igual que las descargas de aguas servidas, los Riles afectan la calidad del agua, introduciendo grandes cantidades de contaminantes afectando tanto la flora como la fauna del río y su entorno.

4.1.6. EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS

Como se mencionó anteriormente, una importante función de la zona ripariana es proporcionar estabilidad a las riberas del río, evitando los procesos de erosión y abrasión, entre otros. En la cuenca del Río Maipo existen tramos del río que están seriamente degradados debido a la fuerte presión antrópica por la extracción de áridos. En la Figura 4.6, se puede observar que los tramos MA-TR-30 (32 puntos de extracción), MP-TR-31 (6) y LA-TR-10 (5).

4.1.7. USO DE SUELO

La cuenca del río Maipo presenta una fuerte diferenciación de los usos del suelo marcados por la altitud. En este sentido en la parte alta de la cuenca se presentan grandes áreas sin vegetación, mientras que en la parte media y baja predominan los matorrales y praderas, típicos de ambientes semiáridos. Cabe anotar la presencia significativa del uso del suelo “terrenos agrícolas” a lo largo de casi todos los cursos de agua de la cuenca, tanto en su parte media como baja. Así mismo, se puede observar el establecimiento de núcleos urbanos aledaños a dichos cursos, siendo el núcleo de mayor relevancia la ciudad de Santiago que se encuentra en la parte media de la cuenca (Figura 4.7).

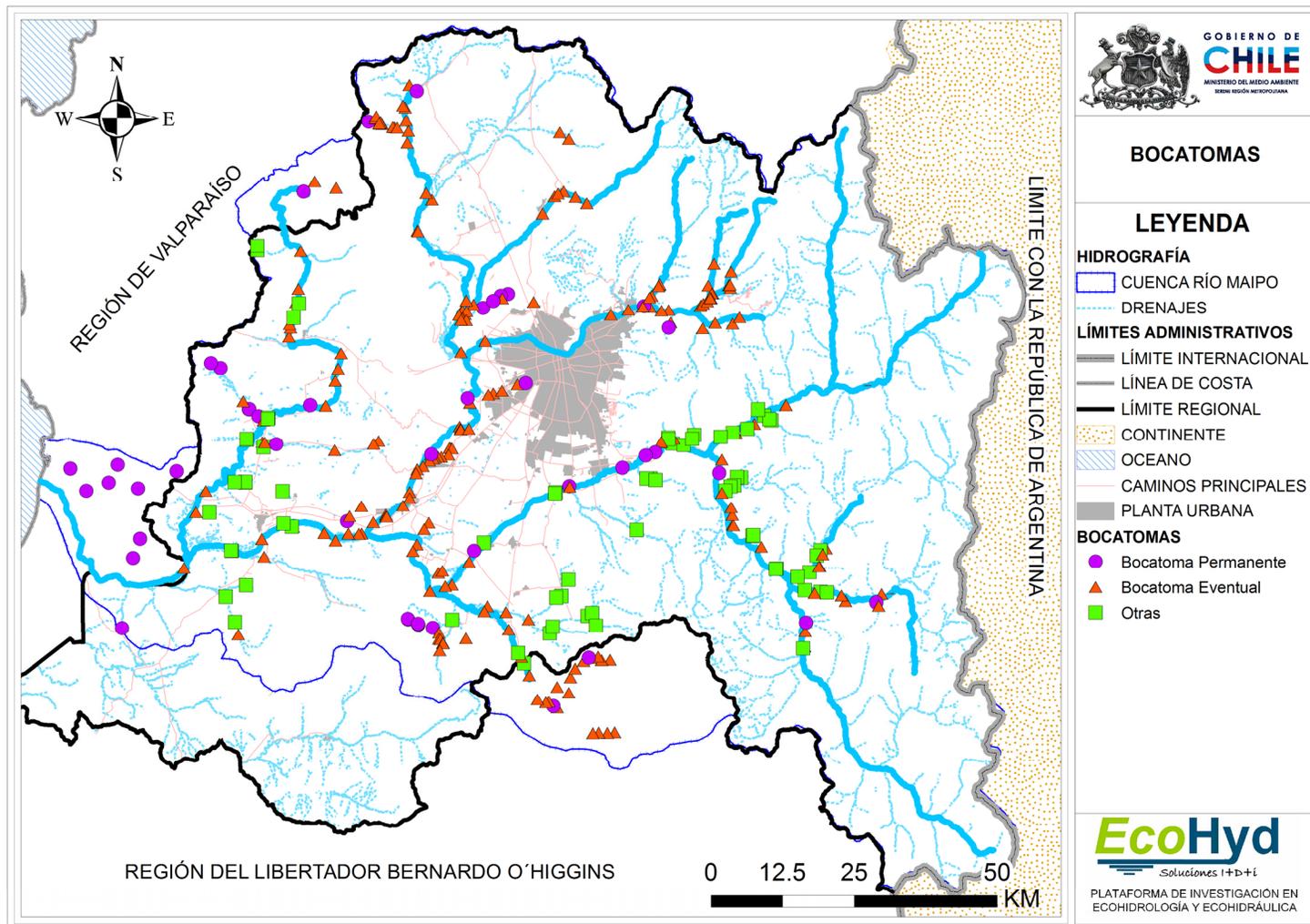


Figura 4.1: Bocatomas eventuales y permanentes localizadas en los tramos de río de NSCA Río Maipo.
Fuente: Comisión Nacional de Riego 2004.

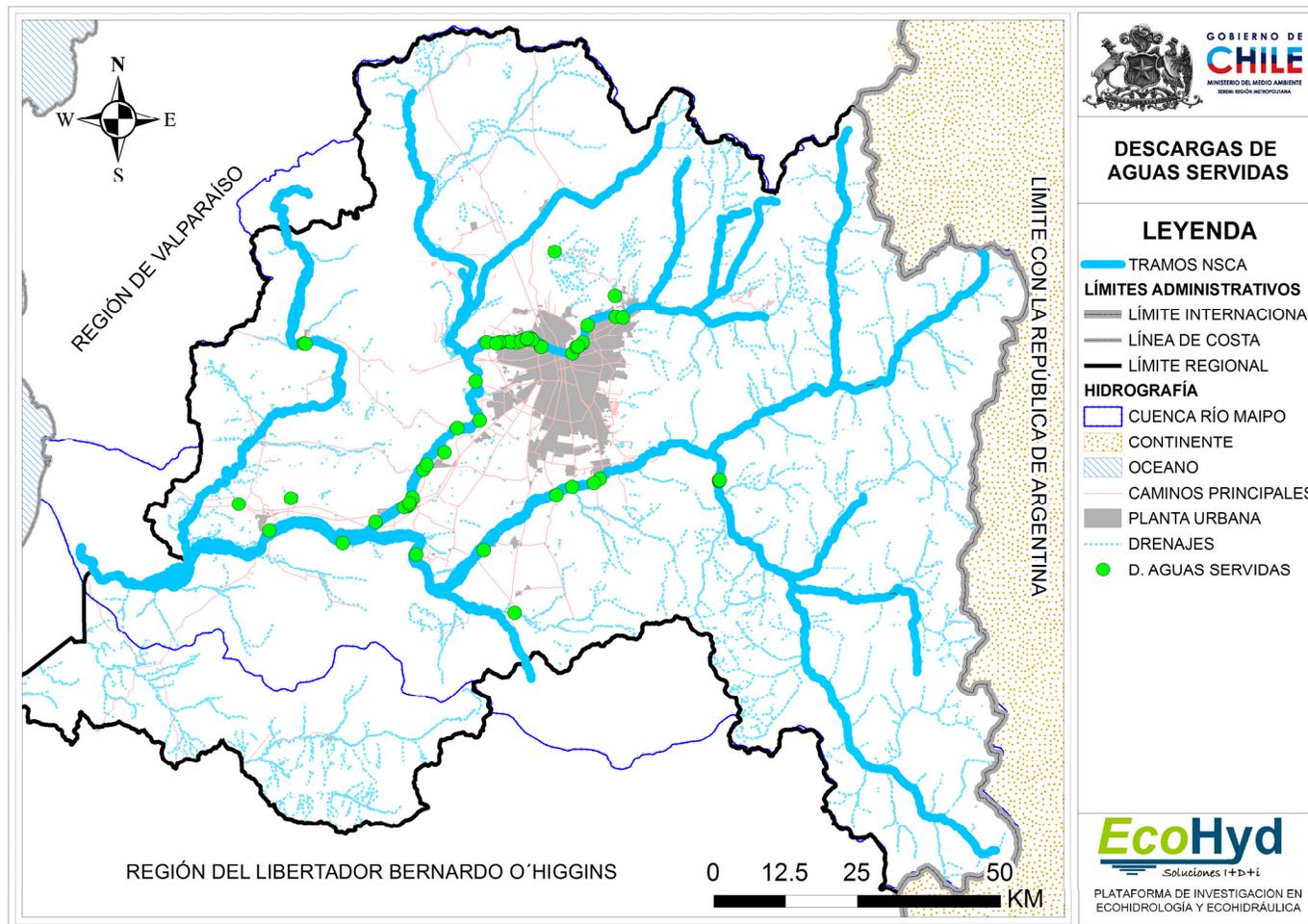


Figura 4.2 Puntos de descargas de aguas servidas con y sin tratamiento localizadas en los tramos de río de NSCA Río Maipo.

Fuente: GORE RMS, Proyecto OTAS, en base a información aportada por SISS, año 2009 y Aguas Andinas S.A.

Nota: Aguas Andinas, a través del proyecto Mapocho Urbano Limpio (<http://www.sea.gob.cl>), ha saneado todas las descargas al río Mapocho en el tramo ubicado entre la rotonda Pérez Zujovic y la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana.

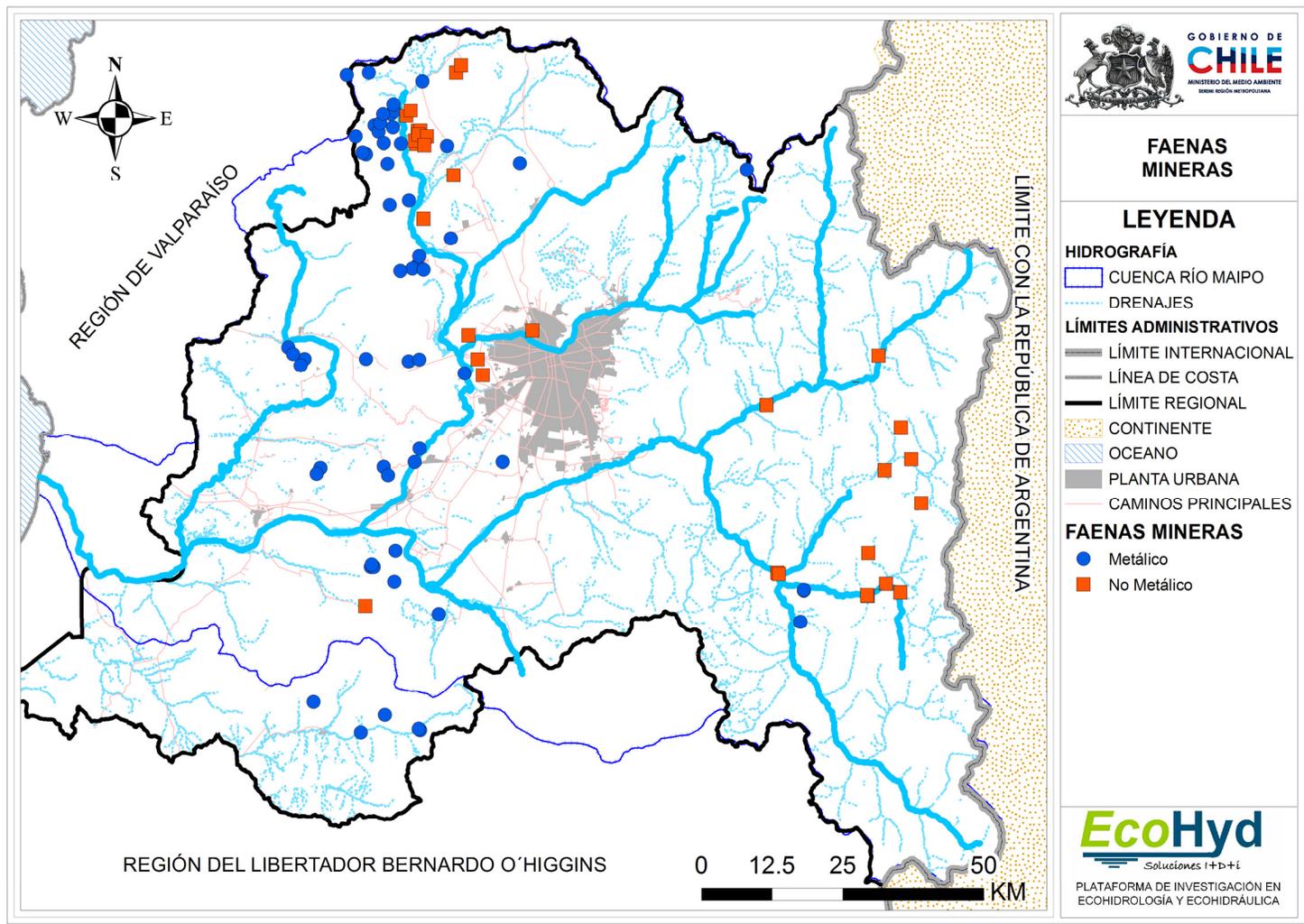


Figura 4.3 Catastro de faenas mineras localizadas en los tramos de río de NSCA Río Maipo
Fuente: SERNAGEOMIN, Atlas de Faenas Mineras (Minas y Plantas), año 2002

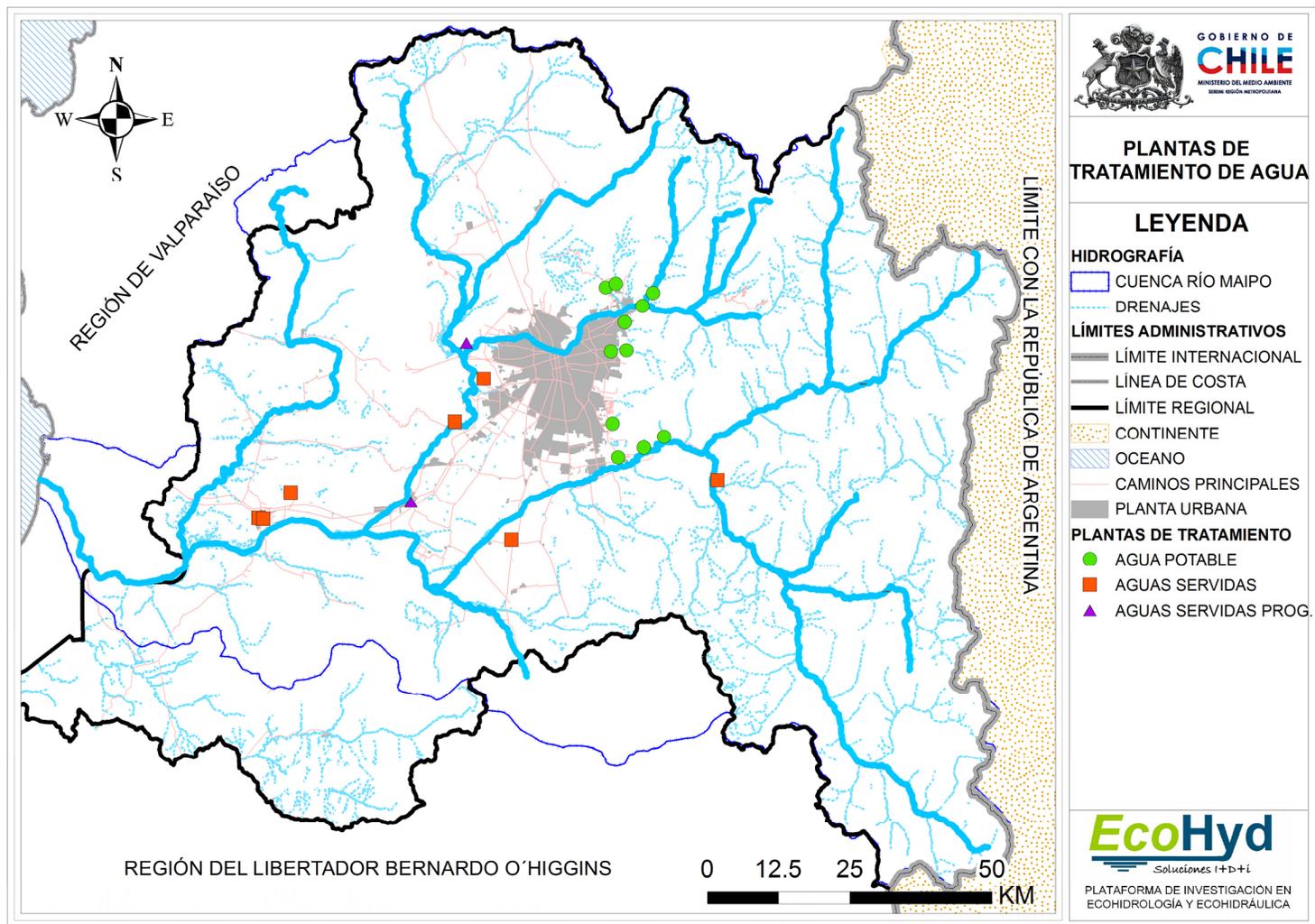


Figura 4.4 Plantas de tratamiento de agua potable y aguas servidas localizadas en los tramos de río de NSCA Río Maipo
Fuente: GORE RMS, Proyecto OTAS, en base a información aportada por SISS, año 2009 y Aguas Andinas S.A.

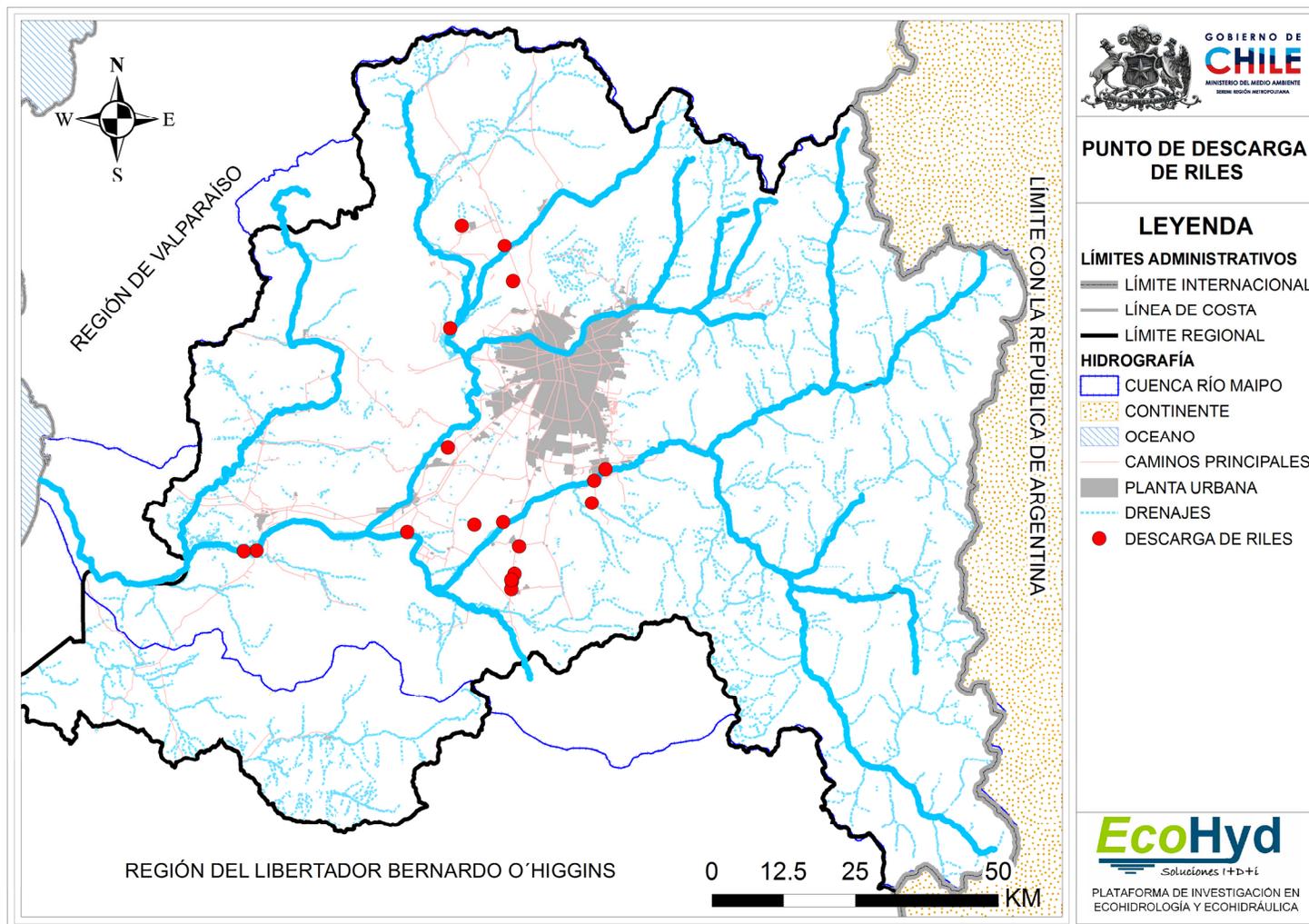


Figura 4.5 Puntos de descarga de Residuos Industriales Líquidos localizadas en los tramos de río de NSCA Río Maipo
Fuente: GORE RMS, Proyecto OTAS, en base a información aportada por SISS, año 2009 y Aguas Andinas S.A.

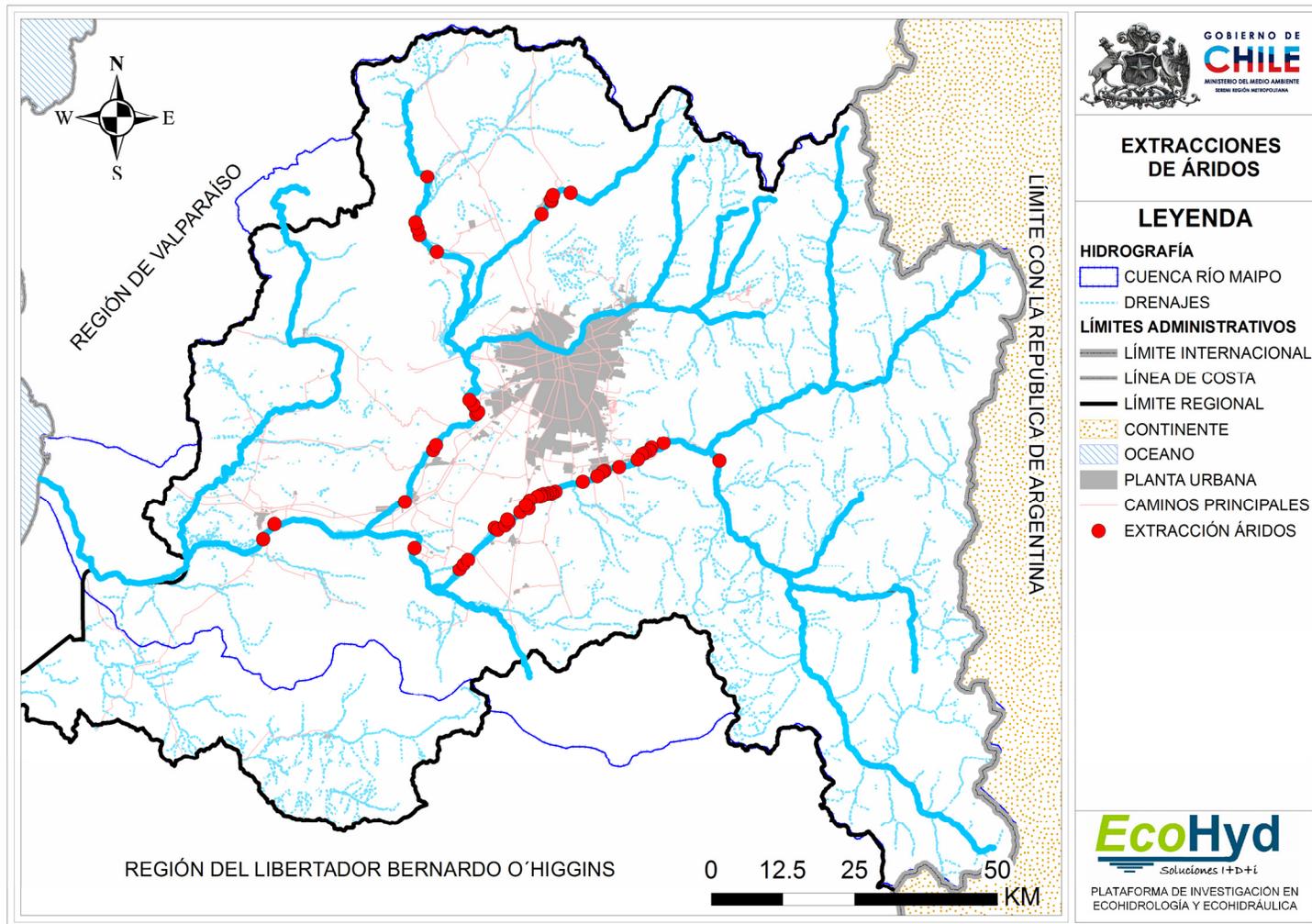


Figura 4.6. Zonas de extracción de áridos ubicadas sobre los tramos de río de la NSCA Río Maipo.
Fuente: Elaboración propia en base a herramienta Google Earth e información SEIA (2010)

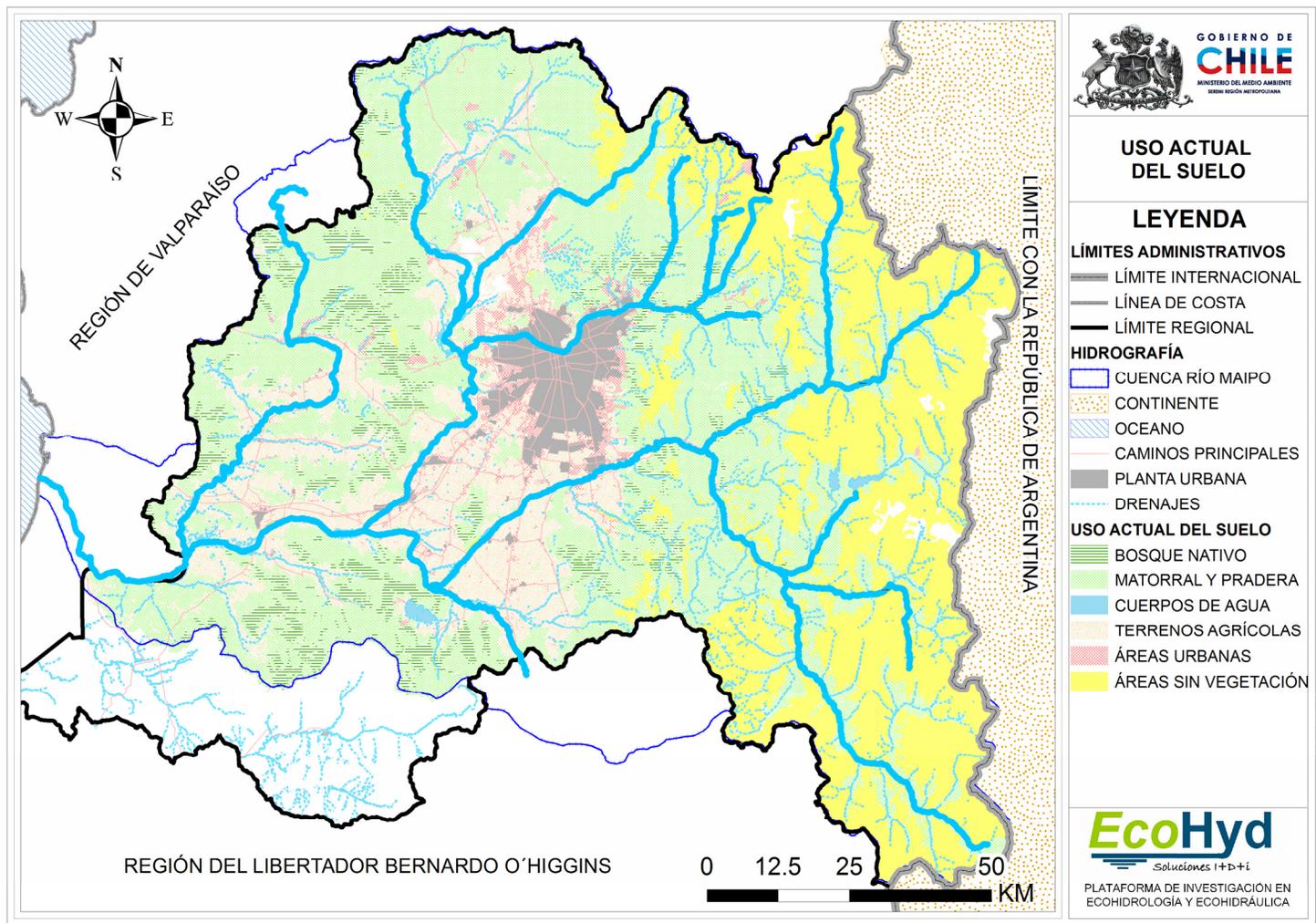


Figura 4.7. Usos del suelo asociados a la cuenca del Río Maipo
Fuente: GORE RMS, Proyecto OTAS, Carta Uso del Suelo Actual (2004)

4.2. **DIAGNÓSTICO CUALITATIVO DE LAS ZONAS RIPARIANAS**

Teniendo en cuenta los antecedentes bibliográficos y la cartografía proporcionada, puede decirse *a priori* que el río Maipo, en general, no está cumpliendo con las funciones que se esperaría que un río de estas características proveyera.

Según Naiman *et al.* (2005) en la zona alta de la cuenca la zona ripariana es estrecha y casi siempre embebida en la vegetación de cabecera por lo que su distinción es compleja. Por su parte, Renöfält y Nilsson (2008) sostienen que la variabilidad de riqueza de especies es mayor en el tramo medio del río que en la cabecera o la desembocadura.

Esta variabilidad a lo largo de la cuenca se muestra en la Figura 4.8. En ella, la línea sólida representa el río bajo régimen natural, es decir, considerando las crecidas generadas en forma natural ; la línea segmentada, indica que el río está en régimen natural pero bajo condiciones medias de caudal, mientras que la línea punteada representa un río regulado.

En la cabecera, para los tres tipos de regímenes, la riqueza de especies es alta pero no presenta gran dependencia con el nivel de alteración del régimen. En el tramo medio, la situación es mucho más compleja. En un régimen natural bajo condiciones de grandes crecidas el río presenta un nivel de riqueza de especies elevado, y su comportamiento es inversamente proporcional al de un río regulado. Para condiciones medias de caudal (línea segmentada) la riqueza presenta una tendencia lineal decreciente, mucho mayor que para un río regulado, pero sin el efecto de las crecidas, es decir, dispersión de semillas, remoción de sedimentos y contaminantes, creación de hábitat, etc.

En la desembocadura, el comportamiento es similar que en la cabecera pero con una riqueza mucho menor, lo que se puede interpretar como pérdida de especies.

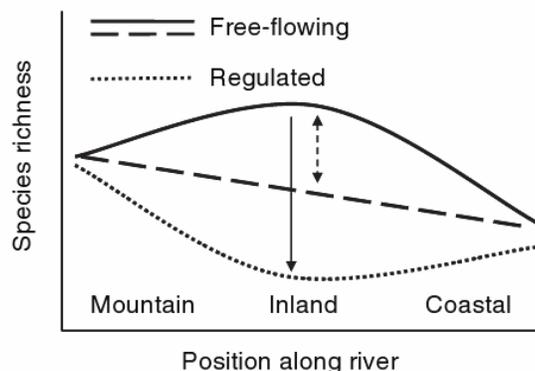


Figura 4.8. Ilustración conceptual de la riqueza de la vegetación *versus* su posición en un río natural (línea sólida y segmentada) y regulado (línea punteada).
Fuente: Renöfält y Nilsson (2008)

Realizando una primera inspección en la cuenca del río Maipo, se aprecia que las cabeceras presentan escasas zonas riparianas marcadas principalmente por la pendiente y el sustrato de las riberas y laderas, los cuales son una limitante para el desarrollo de una vegetación ripariana. A esto se suman las presiones a la cual se ven sometidas las zonas riparianas de cabecera en esta cuenca, como por ejemplo, turismo, asentamientos urbanos, bocatomas para generación hidroeléctrica, o agricultura menor, impidiendo que se desarrolle plenamente la zona ripariana de cabecera esperada para la cuenca del río Maipo.

Un ejemplo de tramos donde la vegetación es casi nula, debido a las características geomorfológicas de sus laderas son los tramos MA-TR-10, VO-TR-10, TE-TR-20, OL-TR-10, AR-TR-10. Existen otros tramos donde la vegetación es escasa y su extensión se ve limitada por presiones ejercidas por asentamientos humanos y por mediana y pequeña agricultura. En general éstos tramos son intermedios entre zona de cabecera y zona media de la cuenca. Ejemplos de estos tramos son: MA-TR-20, EC-TR-10.

En la zona media de la cuenca, la zona ripariana ha sido reemplazada casi totalmente por zonas de cultivo, presentando solo algunos parches de vegetación de ribera no superior a 2km de longitud y 30 m. de extensión. En general se aprecia una pérdida de la conexión longitudinal. Entre estos tramos destacan los tramos MA-TR-50, MA-TR-40 y MA-TR-30. Este último tramo está altamente afectado por una gran cantidad de extracción de áridos.

Un caso especial de pérdida de conectividad longitudinal, viene dado por el tramo MA-TR-20, el cual atraviesa Santiago. Este tramo presenta una pérdida casi total de la zona

ripariana, presentando elementos (como canalizaciones, encauzamiento, pérdida de zonas riparianas por obras civiles, etc.) en el cauce que alteran altamente las funciones de una zona ripariana.

En contraposición a estos tramos aguas abajo de Santiago se encuentran tramos (MA-TR-31 y MA-TR-32) con una zona ripariana más desarrollada con una longitud promedio de 3,5 km y una extensión transversal de 100m.

Los tramos LA-TR-10 y PU-TR-10, no presentan un diagnóstico definido al tipo de tramo (cabecera, media o desembocadura), sino por el contrario presentan un claro gradiente de las presiones a la cual son sometidas con mayor frecuencia las zonas riparianas en la cuenca del río Maipo, es decir, presentan sectores que se comportan como tramo de cabecera, tramos de transición (debido al escaso desarrollo de vegetación ribereña). Al final del tramo existe una marcada presión por parte de terrenos agrícolas.

En la zona de desembocadura, presenta una mejor conexión longitudinal de la vegetación de ribera.

En general, se aprecia un alto grado de alteración de las zonas riparianas afectados principalmente por extracción de áridos, extracción de bocatomas y pérdida de terreno para agricultura. Esto conlleva a que la zona ripariana esté poco desarrollada y no presente una conectividad longitudinal.

4.3. DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS ECOLÓGICOS

Existen variados criterios para definir la importancia de una zona ripariana o para su evaluación. Estos criterios van orientados de acuerdo a las funciones relevantes de las zonas en el lugar de estudio.

4.3.1. CRITERIOS USADOS INTERNACIONALMENTE

Entre los criterios a considerar para la selección de las zonas relevantes se consideraron (Hruby 2009; NRC 2002):

- Criterios físicos: grado de conexión entre la llanura de inundación y el cauce del río, alternancia de rápidos y pozas, barras de arena, etc.

- Criterios Químicos: calidad del agua, suelos ricos en materia orgánica.
- Criterios Ecológicos: Comunidad biótica balanceada, biodiversidad, presencia de vegetación de ribera adaptada a las crecidas y sequías, presencia de zonas en sombría, distribución de especies endémicas (vegetación, macroinvertebrados, peces, anfibios, etc.)
- Criterios sociales: Turismo, cercanía a asentamientos urbanos, usos del suelo, actividades económicas cercanas, descarga de residuos industriales líquidos, etc.

Estos criterios no son posibles de utilizar en su totalidad debido a la escala espacial a la cual se pretende realizar este estudio, sumado además a la falta de información disponible de algunos de ellos, como por ejemplo la distribución en el río Maipo y sus afluentes de las especies acuáticas endémicas, alternancia de mesohábitats rápidos y lentos, etc.

Sin embargo, se mantuvo el objetivo de los criterios utilizados internacionalmente adaptados a la escala espacial del estudio y a los alcances de información existentes en la cuenca.

4.3.2. CRITERIOS UTILIZADOS EN LA CUENCA DEL MAIPO

Los criterios utilizados correspondieron a las presiones que presentan una mayor influencia en el estado ecológico de las zonas riparianas y que actúen a una escala espacial adecuada a la escala del estudio (tramos NSCA), por este motivo, se determinó que los criterios utilizados son:

- Hidromorfológicos: N° de bocatomas por tramo y número de bocatomas acumuladas en el tramo, Número de extracciones por tramo.
- Fisicoquímicas: Número de descargas de aguas servidas por tramo, número de plantas de tratamiento por tramo, número de extracciones mineras por tramo.
- Uso de suelo: Se consideraron otros tipos de presiones, que no son puntuales sino difusas. Este tipo de presión esta relacionada con el uso de suelo: Agricultura, Zonas urbanas y Áreas silvestres

Existen otras presiones que son de importancia en la valoración del estado ecológico de las zonas riparianas, como por ejemplo modificaciones o alteraciones locales en el cauce (canalizaciones, defensas fluviales, etc.). Sin embargo, éstas no fueron consideradas como criterios ya que son intervención de efecto local y por lo tanto, no se adecuan a la escala

espacial del estudio. Por otra parte, este tipo de intervenciones locales se contabiliza en el la determinación de los Índices IHG y QBR.

4.3.3. VALORACIÓN DE LOS TRAMOS

La valoración de los tramos se realizó mediante los criterios definidos anteriormente. Para ello se clasificaron los tramos NSCA de acuerdo a niveles de intervención para cada criterio, los cuales se muestran de la Tabla 4.1 a la Tabla 4.3.

Tabla 4.1: Clasificación de los tramos NSCA según criterios hidromorfológicos

Criterio	Rango	Valoración
Número de Bocatomas	0	Nula
	1-4	Poca
	5-14	Moderada
	15-25	Alta
	> 25	Excesiva
Número de extracciones de áridos	0	Nula
	1-4	Poca
	5-10	Moderada
	11-20	Alta
	>20	Excesiva

Tabla 4.2: Clasificación de los tramos NSCA según criterios fisicoquímicos

Criterio	Rango	Valoración
Número de Plantas de tratamiento	0	Nula
	1-2	Poca
	3-5	Moderada
	>5	Alta
Número de Descargas de aguas servidas	0-4	Poca
	5-9	Moderada
	10-20	Alta
	>20	Excesiva
Número de faenas mineras	0-4	Poca
	5-14	Moderada
	>15	Alta

Tabla 4.3: Clasificación de los tramos NSCA según criterios de usos del suelo

Criterio	Rango	Valoración
Presencia de zonas agrícolas en la subcuenca	SI NO	Negativo Positivo
Presencia de zonas urbanas en la subcuenca	SI NO	Negativo Positivo
Presencia de zonas de vegetación silvestre en la subcuenca	SI NO	Positivo Negativo

Considerando estos criterios fue posible determinar una valoración cualitativa conjunta del estado ecológico de las zonas riparianas de acuerdo al nivel de intervención de cada uno de los tramos NSCA.

Tabla 4.4: Valoración conjunta del nivel de intervención de los tramos NSCA según los criterios Hidromorfológicos (N° de Bocatomas: BCT; N° de extracciones de áridos: ExtAR), Fisicoquímicas (N° de Descargas de aguas servidas: DAS; N° de Faenas Mineras: FMI; N° de Plantas de tratamiento de aguas Servidas: PTAS) y usos del Suelo (Agricultura:Agri; Áreas urbanas e industriales:AUI; Suelos con vegetación silvestre: Veg). La interpretación de los niveles de intervención por cada amenaza remitirse a las tablas correspondientes (Tabla 4.1 a Tabla 4.3)

Tramo	Hidromorfológicas		Fisicoquímicas			Uso de suelo			Clase	Valoración conjunta Interpretación	Ley.
	BCT	ExtAr	DAS	FMI	PTAS	Agri	AUI	Veg			
AN-TR-10	Poca	Nula	Nula	Nula	Nula	SI	SI	SI	3	Intervenido	
AR-TR-10	Moderada	Nula	Nula	Nula	Poca	NO	SI	SI	2	Poco intervenido	
CO-TR-10	Poca	Nula	Nula	Poca	Nula	NO	SI	SI	1	Muy poco intervenido	
EC-TR-10	Alta	Moderada	Nula	Poca	Nula	SI	SI	SI	4	Muy Intervenido	
LA-TR-10	Excesiva	Moderada	Nula	Alta	Nula	SI	SI	SI	5	Altamente intervenido	
MA-TR-10	Poca	Nula	Nula	Poca	Nula	NO	NO	SI	1	Muy poco intervenido	
MA-TR-20	Moderada	Poca	Poca	Poca	Poca	SI	SI	SI	3	Intervenido	
MA-TR-30	Moderada	Excesiva	Moderada	Nula	Poca	SI	SI	SI	5	Altamente intervenido	
MA-TR-40	Moderada	Poca	Poca	Nula	Nula	SI	NO	SI	4	Muy Intervenido	
MA-TR-50	Moderada	Poca	Poca	Nula	Poca	SI	NO	NO	4	Muy Intervenido	
MA-TR-60	Poca	Nula	Nula	Nula	Nula	S/I	S/I	S/I	2	Poco intervenido	
MO-TR-10	Poca	Nula	Nula	Nula	Nula	NO	NO	SI	1	Muy poco intervenido	
MP-TR-10	Poca	Nula	Nula	Nula	Nula	NO	SI	SI	1	Muy poco intervenido	
MP-TR-20	Moderada	Nula	Excesiva	Nula	Poca	SI	SI	SI	5	Altamente intervenido	
MP-TR-31	Moderada	Moderada	Moderada	Poca	Poca	SI	SI	SI	4	Muy Intervenido	
MP-TR-32	Moderada	Poca	Alta	Poca	Poca	SI	SI	NO	4	Muy Intervenido	
OL-TR-10	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	NO	NO	SI	1	Muy poco intervenido	
PU-TR-10	Alta	Nula	Poca	Nula	Nula	SI	SI	SI	3	Intervenido	
SF-TR-10	Moderada	Nula	Nula	Nula	Nula	NO	NO	SI	2	Poco intervenido	
TE-TR-20	Poca	Nula	Nula	Poca	Nula	SI	SI	SI	1	Muy poco intervenido	

Tabla 4.4: Valoración conjunta del nivel de intervención de los tramos NSCA según los criterios Hidromorfológicos (Nº de Bocatomas: BCT; Nº de extracciones de áridos: ExtAR), Fisicoquímicos (Nº de Descargas de aguas servidas: DAS; Nº de Faenas Mineras: FMI; Nº de Plantas de tratamiento de aguas Servidas: PTAS) y usos del Suelo (Agricultura: Agric; Áreas urbanas e industriales: AUI; Suelos con vegetación silvestre: Veg). La interpretación de los niveles de intervención por cada amenaza remitirse a las tablas correspondientes (Tabla 4.1 a Tabla 4.3)

Tramo	Hidromorfológicas		Fisicoquímicas			Uso de suelo				Valoración conjunta		Ley.
	BCT	ExtAr	DAS	FMI	PTAS	Agric	AUI	Veg	Clase	Interpretación		
VO-TR-10	Moderada	Nula	Nula	Moderada	Nula	SI	SI	SI	2	Poco intervenido		
YL-TR-10	Moderada	Nula	Nula	Nula	Nula	NO	NO	SI	1	Muy poco intervenido		
Desemb.	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	S/I	S/I	S/I	2	Poco intervenido		

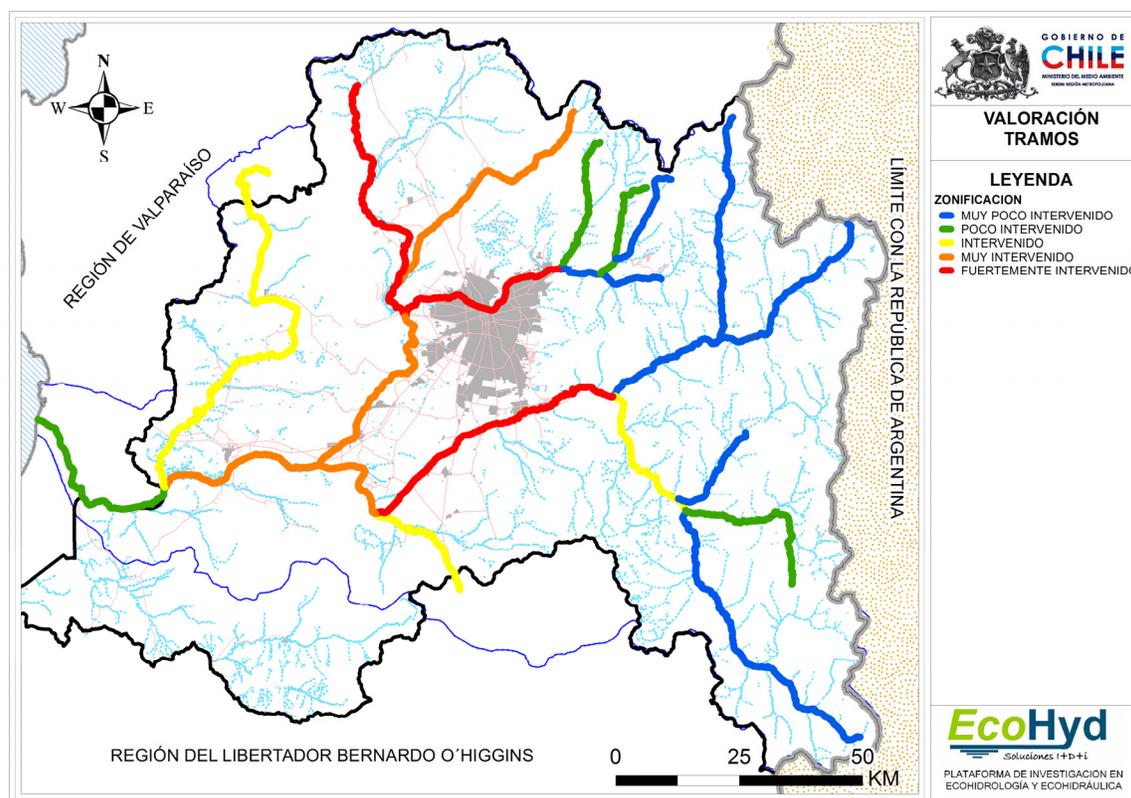


Figura 4.9: Diagnóstico cualitativo del nivel de intervención de los tramos NSCA. La leyenda puede verse en la Tabla 4.4.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.9 se observa que los tramos pertenecientes a las zonas de cabeceras son aquellos que presentan un menor nivel de intervención, de los cuales 3 pertenecen a la cuenca del río Mapocho (YL-TR-10, MO-TR-10, MP-TR-10) y 4 pertenecen a la cuenca del río Maipo. (CO-TR-10, OL-TR-10, YE-TR-10 y MA-TR-10).

Los mayores niveles de intervención ocurren en la zona media de la cuenca, entre éstos destacan el Estero Lampa (LA-TR-10), Estero Colina (EC-TR-10), Río Mapocho desde Santiago hasta la confluencia con el río Maipo (MP-TR-30, MP-TR-31 y MP-TR-32) y el río Maipo desde la confluencia con el río Colorado hasta la confluencia con el Estero Puangue (MA-TR-30, MA-TR-40, MA-TR-50)

4.4. SELECCIÓN DE LOS TRAMOS

4.4.1. TRAMOS NSCA SELECCIONADOS

Los criterios utilizados para seleccionar los tramos en los cuales se evaluó en terreno el estado ecológico de las zonas riparianas fueron: 1) Abarcar la totalidad de categorías de valoración conjunta y 2) que los tramos se distribuyan a lo largo de toda la cuenca (zonas de cabeceras, tramos altos, medios y bajos). De acuerdo a esto, los tramos seleccionados son:

- Cuenca del río Maipo: Estero Arrayán (AR-TR-10), Estero Yerba Loca (YL-TR-10), Estero Colina (EC-TR-10), Estero Lampa (LA-TR-10), Mapocho aguas abajo de Santiago (MP-TR-31).
- Cuenca del río Maipo: Río el Yeso (YE-TR-10), Río Maipo (MA-TR-20), Río Maipo MA-TR-30), Río Maipo MA-TR-60), Estero Angostura (AN-TR-10) y Estero Puangue (PU-TR-10).

En la Figura 4.10 se muestran la distribución geográfica de los Tramos NSCA seleccionados. Para leyenda ver Tabla 4.5 se muestran la distribución espacial de los tramos seleccionados y en la Tabla 4.5 se muestran su valoración y su ubicación en la red de drenaje.

Tabla 4.5: Tramos NSCA seleccionados para evaluar el estado ecológico en terreno. Para la interpretación de las clases remitirse a la Tabla 4.3

Tramo	Posición	Notación	Clase	Ley.
AN-TR-10	Cabecera	CB	3	
AR-TR-10	Tramo Alto	TA	2	
EC-TR-10	Tramo Alto	TA	4	
LA-TR-10	Tramo Alto	TA	5	
MA-TR-20	Tramo Alto	TA	3	
MA-TR-30	Tramo Medio	TM	5	
MA-TR-60	Tramo Bajo	TB	2	
MP-TR-31	Tramo Medio	TM	4	
PU-TR-10	Variada	CB/TA/TM	3	
YL-TR-10	Cabecera	CB	1	
YE-TR-10	Cabecera	CB	1	

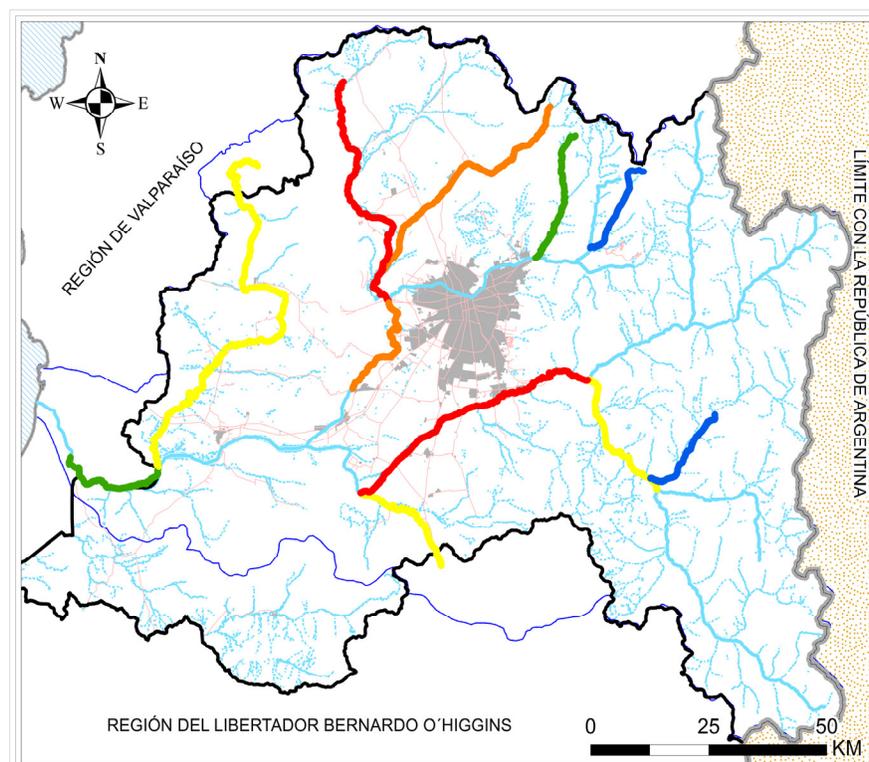


Figura 4.10: Distribución geográfica de los Tramos NSCA seleccionados. Para leyenda ver Tabla 4.5.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS PUNTOS EVALUADOS EN TERENO

Una vez seleccionados los tramos NSCA, se procedió a determinar los puntos en los cuales se evaluará en terreno el estado ecológico de las zonas riparianas. Para la selección del punto se aplicaron las técnicas de disminución de la escala espacial explicadas anteriormente.

A continuación se presenta una pequeña caracterización de los puntos seleccionados para su evaluación.

4.4.2.1 *Punto YL-10*

Este punto cuenta con una pendiente alta, con un brazo principal de 5 a 6 metros de ancho. El sustrato dominante corresponde principalmente a grandes bolos de hasta 60 cm, en segundo lugar se encuentran arenas, arcilla y limo. En este sector se apreció el afloramiento de la napa freática en sectores cercanos al río (Figura 4.11).

Se encuentran diversos indicios de crecidas, como ramas secas en la parte baja de los árboles de las riberas, óxido de cobre en la parte expuesta al aire de las rocas y grandes troncos en ciertos sectores.

La acción antrópica en este sector es baja, presentándose principalmente en la ribera izquierda, en donde se aprecian huellas de ganado, senderos y álamos en las zonas cercanas a la ribera.

En el área ripariana de estudio se observan 4 estratas: la primera, compuesta por individuos aislados de altura mayor a 10 m y con cobertura inferior al 5%. La segunda, compuesta por árboles con alturas en un rango de 4-7 m, con cobertura entorno al 50% y la cual está distribuida a lo largo de la zona litoral. Acompañando las estratas anteriores se observa una estrata leñosa baja, compuesta por árboles y arbustos de alturas entre 1 a 2 m y una cobertura entre 15% a 25%, las hierbas se localizan en los claros y poseen una cobertura entre el 50 a 75%.

La flora de la formación vegetacional presente está compuesta principalmente por: Álamo (*Populus sp.*) en la estrata superior; *Escalonia sp.* y Maitén (*Maytenus boaria*) en la segunda estrata; Litre (*Lithrea caustica*), Colliguaya (*Colliguaja integerrima*), *Ephedra sp.* y Quilo (*Muehlenbeckia hastulata*) en la estrata leñosa baja, y Galega (*Galega officinalis*), Cicuta (*Conium maculatum*) y Dedal de oro (*Eschscholzia californica*) en las hierbas.

4.4.2.2 *Punto AR-10*

El punto evaluado se presenta con un brazo principal, el que se enmarca dentro de un valle encajonado, presentando una baja presión antrópica, la que se da principalmente por el uso turístico del sector, pero no se han encontrado basura ni evidenciado actividad de pastoreo ganadero. El sustrato se encuentra compuesto principalmente por arenas, gravas y bolos de gran tamaño (Figura 4.11).

Respecto a la formación vegetal presente en el área, esta se encuentra caracterizada por la presencia de una estrata arbustiva compuesta por individuos aislados de alturas mayores a los 15 m que en total no superan el 5% de cobertura en el área. También se distingue una segunda estrata arbustiva con alturas que fluctúan entre los 5 a 15 m y una cobertura entre 5-10%. La estrata leñosa baja se caracteriza por ser la estrata con mayor cobertura (50%) y agrupar tanto a especies arbóreas como arbustivas con alturas desde 1 a 4 m. Las hierbas cubren un rango entre 15 a 25% de la superficie del tramo.

La flora del estrato 1 la componen individuos de Álamo (*Populus sp.*) y Quillay (*Quillaja saponaria*), este último también es la especie dominante de la estrata 2. La estrata leñosa baja está dominada por las especies: Arrayán (*Luma apiculata*), Palqui (*Cestrum parqui*), Litre (*Lithrea caustica*), Zarzamora (*Rubus sp.*) y Guayacán (*Porlieria chilensis*), esta última ubicada en sectores alejados del curso de agua. En las herbáceas domina la Cola de Zorro (*Cortaderia sp.*) y especies de la familia Gramineae.

Tabla 4.6: Tipos de estrata presentes en el punto AR-10, especie dominante asociado a cada estrata, su origen y cobertura

Estrata	Especies Dominantes	Nombre Común	Origen	Cobertura (%)
1	<i>Populus sp.</i>	Álamo	Exótica	1-5
	<i>Quillaja saponaria</i>	Quillay	Nativa	
2	<i>Quillaja saponaria</i>	Quillay	Nativa	5-10
	<i>Luma apiculata</i>	Arrayán	Nativa	
	<i>Cestrum parqui</i>	Palqui	Nativa	
3	<i>Lithrea caustica</i>	Litre	Nativa	50
	<i>Rubus sp.</i>	Zarzamora	Exótica	
	<i>Porlieria chilensis</i>	Guayacán	Nativa	
4	<i>Cortaderia sp.</i>	Cola de zorro	Nativa	15-25
	Gramineae	-	-	

4.4.2.3 Punto EC-10

El Estero Colina en este sector se manifiesta con un brazo principal, con baja pendiente y con un ancho medio de 5 a 6 m. La ribera derecha presenta altas pendientes, la que termina en una meseta sobre la cual se emplazan campos de cultivos. La ribera izquierda, por otra parte, presenta una pendiente más suave (Figura 4.11). El sustrato está compuesto principalmente por arcillas y limos, que forman una capa lodosa en el fondo del cauce.

La presión antrópica se encuentra dada principalmente por la utilización del estero como zona de baño durante la época estival. Además, se encuentra una serie de senderos, los que son utilizados para revisar bocatomas existentes aguas abajo y para acceso en verano.

Se encontraron evidencias de grandes inundaciones, principalmente en los grandes árboles (sauces), sin embargo, el tipo de vegetación existente denota la falta de crecidas continuas que renueven la vegetación de la zona ribereña.

Se encontró basura presente en dos de los perfiles transversales realizados, ésta corresponde a desechos provenientes del arrastre del estero y por el uso turístico del mismo.

La formación vegetacional del tramo se caracteriza por poseer dos estratas: una arbustiva compuesta por ejemplares aislados de Sauce (*Salix babylonica*), con cobertura de 5 a 10% y una estrata herbácea con cobertura de 75 a 90% compuesta principalmente por Galega (*Galega officinalis*), Totora (*Scirpus californicus*), Falso yuyo (*R. rugosum*), Cardo (*Cynara cardunculos*), Brea (*Tessaria absinthioides*), Suspiro rosado (*Calystegia cepium*) y especies de la familia Gramineae.

Tabla 4.7: Tipos de estrata presentes en el punto EC-10, especie dominante asociado a cada estrata, su origen y cobertura

Estrata	Especies Dominantes	Nombre Común	Origen	Cobertura (%)
1	<i>Salix babylonica</i>	Sauce llorón	Nativa	5-10
	<i>Galega officinalis</i>	Galega	Exótica	
	<i>Scirpus californicus</i>	Totora	Exótica	
	<i>Rapistrum rugosum</i>	Falso yuyo	Exótica	75-90
	<i>Cynara cardunculos</i>	Cardo	Exótica	
	<i>Tessaria absinthioides</i>	Brea	Nativa	
	<i>Calystegia cepium</i>	Suspiro rosado	Exótica	
2	Gramineae	-	-	

4.4.2.4 Punto LA-10

El punto evaluado tiene una longitud de 300 m. Este cuenta con un brazo principal y una llanura de inundación de cerca de 100 m. El ancho promedio del río es de 17 m, salvo en el perfil A en donde tenía un ancho de 6,8 m. El lecho del río se encuentra compuesto por arenas y gravas de hasta 7 cm. de diámetro (Figura 4.11).

Este tramo se encontraba seco, a pesar de esto se encontraron evidencias de inundaciones, con alturas de hasta 2,5 m desde el thalweg. Las principales evidencias de inundaciones corresponden a ramas y troncos adosados a los árboles de la zona ripariana, además de restos de sedimentos y terrenos erosionados en la llanura de inundación.

En el perfil B se encontraron neumáticos y maderos que son utilizados como puentes por los habitantes del sector. Lo que demuestra que el estero presenta un caudal bajo durante parte del año.

En la zona ripariana se encontraron tres estratas de vegetación, la primera de ellas se encuentra compuesta principalmente por Eucaliptos (*Eucalyptus globulus*) con coberturas entre 25-50%, ubicándose en la zona más cercana al cauce. También se observa una segunda estrata arbustiva de Culén (*Psoralea glandulosa*), Romerillo (*Baccharis linearis*) y Espino (*Acacia Caven*) con una cobertura entre 1 y 5%, los que se encuentran como individuos aislados. La tercera corresponde a una estrata herbácea compuesta principalmente por Dedal de oro (*Eschscholzia californica*) con cobertura entre 15 a 25%, la cual se encuentra fuera de la ribera, principalmente sobre los depósitos de las grandes crecidas del estero que ocupan la llanura de inundación. Las características de las especies dominantes por estrata se detallan en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Tipos de estrata presentes en el punto LA-10, especie dominante asociado a cada estrata, su origen y cobertura

Estrata	Especies Dominantes	Nombre Común	Origen	Cobertura (%)
1	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	Exótica	25-50
	<i>Psoralea glandulosa</i>	Culén	Nativa	
	<i>Baccharis linearis</i>	Romerillo	Nativa	1-5
2	<i>Acacia caven</i>	Espino	Nativa	
3	<i>Eschscholzia californica</i>	Dedal de oro	Exótica	15-25

4.4.2.5 Punto MP-31

Este punto corresponde al río Mapocho aguas abajo de la ciudad de Santiago, se enmarca dentro de una comunidad semi-rural, destacando además la presencia de plantas de tratamiento de agua servida de la ciudad (Figura 4.11).

En este punto el río se presenta bastante sinuoso, con presencia de bazos menores y canales que extraen agua al cauce principal. El ancho medio del cauce es de 40 m, con presencia de zonas inundadas en ambas riberas, las que son producto tanto de la acumulación de aguas lluvias como de la permeabilidad de la napa y la inundación en épocas de mayor caudal.

En el sector evaluado se encontró la presencia de sedimentos finos, arcillas y limos, junto con la presencia de sustrato entre 3 y 30 cm. En las zonas inundadas, señaladas anteriormente, se encuentra gran cantidad de sedimentos anóxicos de color negro y de mal olor.

Las riberas se encuentran en condiciones semi naturales, presentándose sectores sin mayor intervención (presencia de cercos), sin embargo en el transecto A se encontró una bocatoma la que cuenta con una infraestructura de captura de agua que ingresa de manera diagonal al cauce, superando el 50% del perímetro mojado de este, además se encontraba sin vegetación y con presencia de ganadería bovina.

En este sector no se observó la presencia de indicios de grandes crecidas, salvo la presencia de bolos de más de 50 cm. de diámetro que denotan la existencia de inundaciones de carácter histórico.

En los tres perfiles realizados se encontró la presencia de basuras, correspondientes principalmente a desechos productos del arrastre desde aguas arriba por el río y del uso del sector como balneario en la temporada estival.

La formación vegetacional presente en el área se caracteriza por una estrata arbórea dominante de 5 m de altura en promedio y cobertura de un 5-15% la cual forma parches en ciertos sectores de la ribera. Esta formación está acompañada por dos estratas leñosas bajas: una de altura entre los 2 a 4 m y una cobertura entre 25 a 50%, y otra de 1 a 2 m de altura con la misma cobertura. La estrata herbácea tiene una cobertura entre 1 a 5% presumiblemente por la presión ejercida por el pastoreo.

La flora de la estrata dominante está constituida por Sauce (*Salix babylonica*), mientras que en las estratas intermedias destaca el Radín (*Baccharis marginalis*), Sauce (*Salix humboldtiana*) y Zarzamora (*Rubus sp.*). En la estrata herbácea domina el Falso yuyo (*Rapistrum rugosum*) y el Dedal de oro (*Eschscholzia californica*). Las características de las especies dominantes por estrata se detalla en la Tabla 4.9

Tabla 4.9: Tipos de estrata presentes en el punto LA-10, especie dominante asociado a cada estrata, su origen y cobertura

Estrata	Especies Dominantes	Nombre		Cobertura (%)
		Común	Origen	
1	<i>Salix babylonica</i>	Sauce llorón	Exótica	5-15
2	<i>Baccharis marginalis</i>	Radín	Nativa	25-50
	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce	Nativa	
3	<i>Baccharis marginalis</i>	Radín	Nativa	25-50
	<i>Rubus sp.</i>	Zarzamora	Exótica	
4	<i>Rapistrum rugosum</i>	Falso yuyo	Exótica	1-5
	<i>Eschscholzia californica</i>	Dedal de oro	Exótica	

4.4.2.6 Tramo YE-10

El río El Yeso se presenta con un brazo principal con un ancho que varía entre 5 y 12 m, a este brazo confluyen pequeñas quebradas. En el perfil A y B se encontraron un pequeño brazo de 2 m de ancho, en donde los parches de vegetación presentaban una extensión cercana a los 15 m (Figura 4.11).

Este tramo se enmarca dentro de un valle con forma de artesa o U, propio de la acción glacial, dentro del cual se presenta un pequeño valle con forma de V creado por la influencia del río, el cual tiene una altura de 30 m.

El sustrato presente en este tramo corresponde a bolos de gran tamaño, alcanzando hasta los 80 cm. Además, el sector cuenta con una alta pendiente, lo que impide una depositación de sedimentos de pequeño tamaño en el sector.

Las riberas se encuentran en condiciones naturales, no se encontraron evidencias de acción antrópica sobre el tramo evaluado. En las riberas se encontraron pequeñas zonas desprovistas de vegetación y con presencia de bolos redondeados, los que la movilidad de sedimento es de importancia.

La vegetación es típica de las formaciones vegetacionales de altitudes similares y está dominada por una estrata arbórea de altura máxima de 4 m con cobertura escasa (5%-10%), que se presenta en los sectores altos de la zona ripariana, y una estrata intermedia muy clara (15%-25%), dominante en el área literal de la zona. La estrata herbácea del sector posee una cobertura de alrededor de 15%.

En términos de flora, la estrata dominante está compuesta por individuos aislados de Huigán (*Schinus polygamus*) y Escalonia sp., mientras que la estrata intermedia domina el Radín (*Baccharis marginalis*), Caulia (*Tetraglochin alatum*) y Ephedra sp. En la hierbas domina la Cola de Zorro (*Cortaderia* sp.) y especies de la familia Oxalidaceae y Graminaceae. Las características de las especies dominantes por estrata se detallan en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10: Tipos de estrata presentes en el punto YE-10, especie dominante asociado a cada estrata, su origen y cobertura

Estrata	Especies Dominantes	Nombre Común	Origen
1	<i>Schinus polygamus</i>	Huigán	Nativa
	<i>Escalonia sp</i>	-	Nativa
	<i>Baccharis marginalis</i>	Radín	Nativa
2	<i>Tetraglochin alatum</i>	Caulia	Nativa
	<i>Ephedra sp.</i>	-	Nativa
	<i>Cortaderia sp.</i>	Cola de zorro	Nativa
3	<i>Erodium cicutarium</i>	-	-
	<i>Graminaceae</i>	-	-

4.4.2.7 Punto MA-20

El valle presenta laderas con altas pendientes, salvo en algunos sectores en donde se presentan terrazas con pendientes medias a bajas. Estas terrazas son utilizadas como asentamientos humanos o zonas de cultivos (Figura 4.11).

El ancho del cauce es de entre 15 y 20 m, con pendiente media y gran caudal. Ambas riberas presentan una alta pendiente y con una alta presencia de grandes bolos, con tamaños en promedio de 60 cm, llegando en algunos casos a superar los 100 cm de diámetro. En la ribera derecha los bolos que impiden la presencia de vegetación superan el 50% de la superficie de la ribera, mientras que en la ribera izquierda se encuentran hasta 2 m desde la orilla del río. En esta ribera, se observó la presencia de suelo, en conjunto con una gran cantidad de hojarasca proveniente de la vegetación presente. Cabe señalar que en el perfil C se encontró una pequeña playa arenosa de 20 m de extensión.

Si bien la influencia antrópica sobre el sector no es de gran importancia, se observó la utilización del sector como vertedero ilegal (ver anexo A).

La vegetación está dominada por una estrata arbórea con características de bosque de 4,5 m de altura y 15% de cobertura y que está acompañada de una intermedia de 1,5 m de altura con una cobertura de 25 a 50%, mientras que la estrata herbácea tiene alrededor de 25% de cobertura.

La flora está dominada por el Quillay (*Quillaja saponaria*), el Litre (*Lithrea caustica*) y Maitén (*Maytenus boaria*) en la estrata arbórea, el Romerillo (*Baccharis linearis*), Huingán (*Schinus polygamus*), Quisco (*Echinopsis* sp.), e individuos aislados de Espino (*Acacia caven*) y Culén (*Psoralea glandulosa*) son las especies dominantes en la estrata intermedia, mientras que el Falso yuyo (*Rapistrum rugosum*), Esparto (*Solanum maritimum*) y la Cola de Zorro (*Cortaderia* sp.) dominan la estrata herbácea. Las características de las especies dominantes por estrata se detallan en la Tabla 4.11

Tabla 4.11: Tipos de estrata presentes en el punto MA-20, especie dominante asociado a cada estrata, su origen y cobertura

Estrata	Especies Dominantes	Nombre Común	Origen	Cobertura (%)
1	<i>Quillaja saponaria</i>	Quillay	Nativa	15
	<i>Lithrea caustica</i>	Litre	Nativa	
	<i>Maytenus boaria</i>	Maitén	Nativa	
2	<i>Baccharis linearis</i>	Romerillo	Nativa	25-50
	<i>Schinus polygamus</i>	huigán	Nativa	
	<i>Echinopsis</i> sp.	Quisco	Nativa	
3	<i>Rapistrum rugosum</i>	Falso yuyo	Exótica	25
	<i>Solanum maritimum</i>	Solanum	Nativa	
	<i>Cortaderia</i> sp.	Cola de zorro	Exótica	

4.4.2.8 Punto MA-30

La formación vegetacional de este tramo está fuertemente alterada debido a actividades antrópicas como el pastoreo y la extracción de áridos (Figura 4.11). La formación está dominada por una estrata leñosa de no más de 3 m de altura compuesta principalmente por individuos aislados de Radín (*Baccharis marginalis*), Huingán (*Schinus polygamus*) y Espino (*Acacia caven*). La estrata herbácea tiene una cobertura entre 5 a 15% y está compuesta por Falso yuyo (*Rapistrum rugosum*), Brea (*Tessaria absinthioides*) y especies de la familia Gramineae. Las características de las especies dominantes por estrata se detallan en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12: Tipos de estrata presentes en el punto MA-30, especie dominante asociado a cada estrata, su origen y cobertura

Estrata	Especies Dominantes	Nombre Común	Origen	Cobertura (%)
1	<i>Baccharis marginalis</i>	Radín	Nativa	1-5
	<i>Schinus polygamus</i>	Huingán	Nativa	
	<i>Acacia caven</i>	Espino	Nativa	
	<i>Rapistrum rugosum</i>	Falso yuyo	Exótica	
2	<i>Tessaria absinthioides</i>	Brea	Nativa	5-15
	<i>Gramineae</i>	-	-	

4.4.2.9 Punto MA-60

En este tramo el río Maipo se presenta como un río trenzado, con un ancho de 280 m en promedio, en este sector se encuentran dos brazos principales y una isla de ancho promedio de 160 m aproximadamente (Figura 4.11).

Por otra parte, el lecho del río se encuentra compuesto principalmente por arenas y gravas de menos de 5 cm de diámetro. La ribera izquierda presenta una alta pendiente, mientras que la ribera derecha presenta una baja pendiente. En ambas riberas se encuentran caminos de tierra que las constriñen; además, se presentan indicios de inundaciones pequeñas como pequeñas playas sin vegetación en las riberas y en la isla. Además se encontraron restos de basura en pequeñas cantidades en la ribera izquierda. A pesar de esto y de la presencia de los caminos, las riberas mantienen su extensión por sobre un 75%.

En la ribera izquierda se distinguen una estrata arbórea dominante con cobertura entre 25 a 50% y de altura entre los 4 a 6 m. Esta estrata está acompañada por una formación leñosa baja, con altura de 2 m, y una estrata herbácea, ambas con coberturas entorno al 25%. La estrata arbórea está constituida principalmente por Molle (*Schinus latifolius*), Maitén (*Maytenus boaria*) e individuos aislados de Sauce (*Salix babylonica*). Las especies dominantes de la estrata leñosa baja son: Molle (*S. latifolius*), Palqui (*Cestrum parqui*) Tevo (*Trevoa Trinervis*), Espino (*Acacia caven*), Zarzamora (*Rubus* sp.). La estrata herbácea está dominada por Falso yuyo (*Rapistrum rugosum*) y especies de la familia Gramineae,

La ribera derecha presenta 4 estratas vegetacionales, la primera compuesta por árboles adultos con alturas de hasta 15 m y cobertura de 25-50%, la segunda por árboles juveniles de hasta 4 m de altura y cobertura de 15 a 25%, la tercera está compuesta principalmente

por arbustos con alturas que promedian 1,5 m de altura y cobertura entre 5-15%. En los claros de las formaciones anteriores se presenta una estrata herbácea con una cobertura entre 5 a 15%.

En cuanto a la Flora de esta ribera, destaca el Eucaliptus (*E. globulus*) y Sauce (*Salix humboldtiana*) en la estrata dominante, Molle (*S. latifolius*), Maitén (*M. boaria*), Palqui (*Cestrum parqui*) y Zarzamora (*Rubus sp.*), en las estratas intermedias, y especies de la familia Gramineae en la estrata herbácea. Las características de las especies dominantes por estrata se detallan en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13: Tipos de estrata presentes en el punto MA-60, especie dominante asociado a cada estrata, su origen y cobertura

Estrata	Especies Dominantes	Nombre Común	Origen	Cobertura (%)
1	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	Exótica	25-50
	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce	Nativa	
2	<i>Schinus latifolius</i>	Molle	Nativa	25
	<i>Maytenus boaria</i>	Maitén	Nativa	
	<i>Schinus latifolius</i>	Molle	Nativa	
	<i>Cestrum parqui</i>	Palqui	Nativa	
3	<i>Trevoa Trinerois</i>	Tevo	Nativa	15
	<i>Acacia caven</i>	Espino	Nativa	
	<i>Rubus sp.</i>	Zarzamora	Exótica	
4	<i>Rapistrum rugosum</i>	Falso yuyo	Exótica	15
	<i>Gramineae</i>	-	-	

4.4.2.10 Punto PU-10

En el sector de estudio, la formación vegetacional está dominada por una estrata leñosa alta con una altura de 8 m en promedio, alturas máximas de 12 m y una cobertura entre 15% a 25%, destacando parches de formaciones esclerófilas en los sectores más altos de la ribera derecha. La estrata leñosa baja tiene una altura de 2,5 m en promedio y su composición y cobertura depende de la humedad disponible, teniendo coberturas de 50% a 75% en los sectores litorales y 25 a 50% en los sectores más alejados del curso de agua. La estrata herbácea tiene una cobertura de 15 a 25% y, al igual que la estrata intermedia, varía en su composición en función de la distancia al estero (Figura 4.11).

En términos de la composición florística de la formación, la estrata leñosa alta está dominada por individuos de Sauce Lorrón (*Salix babylonica*), en la zona litoral y Maitén (*Maytenus boaria*) y Quillay (*Quillaja saponaria*) en los parches esclerófilos. La estrata intermedia está dominada por la Zarzamora (*Rubus* sp.) en la zona litoral y el Espino (*Acacia caven*), Maitén (*M. boaria*), Palqui (*Cestrum parqui*) en el áreas más lejana al estero. Galega (*Galega officinalis*), Suspiro rosado (*Calystegia cepium*) y Cicuta (*Conium maculatum*) son las especies dominantes de la estrata herbácea en la zona baja de la ribera, mientras que en la zona alta dominan las gramíneas. Las características de las especies dominantes por estrata se detallan en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14: Tipos de estrata presentes en el punto PU-10, especie dominante asociado a cada estrata, su origen y cobertura

Estrata	Especies Dominantes	Nombre Común	Origen	Cobertura (%)
1	<i>Salix babylonica</i>	Sauce Lorrón	Nativa	15-25
	<i>Maytenus boaria</i>	Maitén	Nativa	
	<i>Quillaja saponaria</i>	Quillay	Nativa	
	<i>Rubus</i> sp.	Zarzamora	Alóctono	
2	<i>Acacia caven</i>	Espino	Nativa	50
	<i>Maytenus boaria</i>	Maitén	Nativa	
	<i>Cestrum parqui</i>	Palqui	Nativa	
	<i>Galega officinalis</i>	Galega	Exótica	
3	<i>Calystegia cepium</i>	Suspiro rosado	Exótica	15-25
	<i>Conium maculatum</i>	Cicuta		
	<i>Gramineae</i>	-	-	

4.4.2.11 Punto AN-10

El punto evaluado en el Estero Angostura corresponde a 300 m de extensión, en donde se aprecia la presencia de un cauce principal con un ancho entre 17 y 90 m en los perfiles producto de la presencia de una isla de más de 300 m de largo (Figura 4.11).

El tipo de sustrato encontrado corresponde a limos y arcillas principalmente. Presentándose gran cantidad de macrófitas en ambas riberas, así como en la isla.

No se encontraron mayores intervenciones dentro del sector, salvo unas huellas de caballos y camionetas en la isla. Además, se encontraron pequeñas obras de control de

crecidas construidas por los vecinos para aumentar sus terrenos o evitar que las crecidas los socavarán.

En el sector sólo se encontraron evidencias de inundaciones dentro de la isla, tales como restos de materiales arrastrados en árboles en la parte central de dicha isla. Estos materiales se encontraban a una altura máxima de 40 cm.

La vegetación está dominada por una estrata arbórea de hasta 14 m de altura y con coberturas que están en el rango entre 50% a 75%. Se identifica una segunda estrata compuesta por árboles juveniles y arbustos de hasta 4 m de altura y una cobertura entre 50-75%. Cabe destacar que esta segunda estrata es la dominante en la ribera derecha del río. En las dos riberas se observa una estrata herbácea con una cobertura entre 15-25%.

En cuanto a la Flora, la estrata arbustiva está dominada y por especies exóticas como el Aromo (*Acacia dealbata*), Álamo (*Populus* sp.) y secundariamente por el Sauce (*Salix baylonica*) e individuos aislados de Eucaliptus (*E. globulus*). La estrata intermedia está dominada por las especies: Álamo (*Populus* sp.), Aromo (*A. dealbata*), Sauce (*Salix humboldtiana*), Zarzamora (*Rubus* sp.) y Radín (*Baccharis marginalis*). La hierbas dominantes en todo el tramo son la Galega (*Galega officinalis*) y Suspiro rosado (*Calystegia cepium*), además de encontrarse sectores con presencia de Falso yuyo (*R. rugosum*), Cardo (*C. cardunculos*) y Mitrún (*Verbascum virgatum*). Las características de las especies dominantes por estrata se detallan en la Tabla 4.15

Tabla 4.15: Tipos de estrata presentes en el punto PU-10, especie dominante asociado a cada estrata, su origen y cobertura

Estrata	Especies Dominantes	Nombre Común	Origen	Cobertura (%)
1	<i>Acacia dealbata</i>	Aromo	Exótica	25-50
	<i>Populus sp</i>	Álamo	Exótica	
	<i>Salix baylonica</i>	Sauce Llorón	Nativa	
2	<i>Acacia dealbata</i>	Aromo	Exótica	25-50
	<i>Populus sp</i>	Alomo	Exótica	
	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce	Nativa	
	<i>Rubus sp.</i>	Zarzamora	Exótica	
3	<i>Baccharis marginalis</i>	Radín	Nativa	15-25
	<i>Galega officinalis</i>	Galega	Exótica	
	<i>Calystegia cepium</i>	Suspiro rosado	Exótica	



Punto YL-10



Punto AR-10



Punto EC-10



Punto LA-10



Punto MP-31



Punto YE-10

Figura 4.11: Puntos de muestreo.



Punto MA-20



Punto MA-30



Punto MA-60



Punto PU-10



Punto AN-10



Muestreo en el sector

Figura 4.11: Puntos de muestreo.

4.5. CATEGORIZACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE CONSERVACIÓN DE LAS ZONAS RIPARIANAS MUESTREADAS

4.5.1. ESPECIES PRESENTES

A continuación se realizó una descripción cualitativa de las especies presentes en los distintos puntos evaluados durante la presente consultoría. Para esto se realizó una identificación de las especies que se encontraban presentes en cada punto, su frecuencia y posteriormente una comparación con la información recopilada en gabinete.

Para esto se ha disgregado la vegetación de acuerdo a la información necesaria para la valoración del QBR, separando la vegetación leñosa (arbustiva y arbórea) de la vegetación herbácea.

En cuanto al tipo de flora existente, se puede señalar que de los 11 puntos evaluados sólo 4 poseían más del 80% de flora nativa (ver Tabla 4.16). Dentro de los que destaca el punto correspondiente al río El Yeso (YE-10) con un 100% de especies nativas, tanto leñosas como herbáceas. Por otra parte, los puntos MA-60, MP-31 y MA-30 cuentan con un 80% de especies nativas totales, con un porcentaje de endemismo de flora leñosa sobre un 89%, sin embargo estos tramos presentan una calidad muy mala, mala o aceptable en la valoración conjunta y en el QBR (excepto en MA-60, donde la valoración conjunta se clasificó como poco intervenido), producto de la baja cobertura que presentan la vegetación.

En el otro extremo se encuentran EC-10 y AN-10, que presentan sobre un 70% de especies exóticas totales. En EC-10 sólo se encontraba el sauce llorón por lo que el 100% de las especies leñosas son exóticas, en LA-10 el 63% de las especies leñosas encontradas son exóticas.

En cuanto a número de especies, en el punto MA-60 se encontraron 8 especies nativas y 7 en el punto MA-20. Al considerar sólo las especies leñosas se consideró como criterio el QBR, en donde sobre 3 especies arbóreas se evalúan con la máxima puntuación, para la presente comparación, sin embargo, se han considerado tanto especies arbóreas como arbustivas debido al tipo de vegetación existente en la cuenca, en donde las alturas de los árboles se encuentran condicionadas por diversos factores geográficos obteniendo estratas

arbóreas achaparradas o presencia de estratas dominantes de arbustos. Con esto se encuentran sobre este umbral de especies leñosas MA-60 (8), YL-10 (6), AR-10 (6), EY-10 (5), PU-10 (6) y MA-20 (6); de estas, PU-10 se encuentra en la parte media de la cuenca y con un grado de antropización alto, MA-60 se encuentra en la parte baja de la cuenca y las restantes en la parte alta de la cuenca.

Tabla 4.16. Número y porcentaje de especies nativas y exóticas total

Punto	Número de Especies Total		Porcentaje Total		Número de Especies Leñosas		Porcentaje leñosas	
	Nativas	Exóticas	Nativas	Exóticas	Nativas	Exóticas	Nativas	Exóticas
EC-10	1	6	14%	86%	0	1	0%	100%
LA-10	3	2	60%	40%	3	1	75%	25%
MA-60	8	2	80%	20%	8	1	89%	11%
MP-31	4	1	80%	20%	3	0	100%	0%
YL-10	6	4	60%	40%	6	1	86%	14%
AR-10	7	2	78%	22%	6	2	75%	25%
YE-10	6	0	100%	0%	5	0	100%	0%
PU-10	6	3	67%	33%	6	1	86%	14%
MA-20	7	2	78%	22%	6	0	100%	0%
AN-10	3	7	30%	70%	3	5	38%	63%
MA-30	4	1	80%	20%	3	0	100%	0%

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en terreno

A continuación se presenta una descripción del porcentaje de especies leñosas nativas por ubicación del punto dentro de la cuenca. Se puede apreciar que en toda la cuenca se encuentran puntos de muestreo con 100% de especies leñosas nativas y a medida que se va descendiendo desde la cabecera se aprecia una disminución del predominio de las especies nativas, llegando hasta a tener sólo especies introducidas en un punto evaluado (EC-10) en la zona media de la cuenca. Respecto al tramo bajo, por falta de información no se puede realizar alguna aseveración, pero el punto evaluado posee un 89% de especies leñosas nativas.

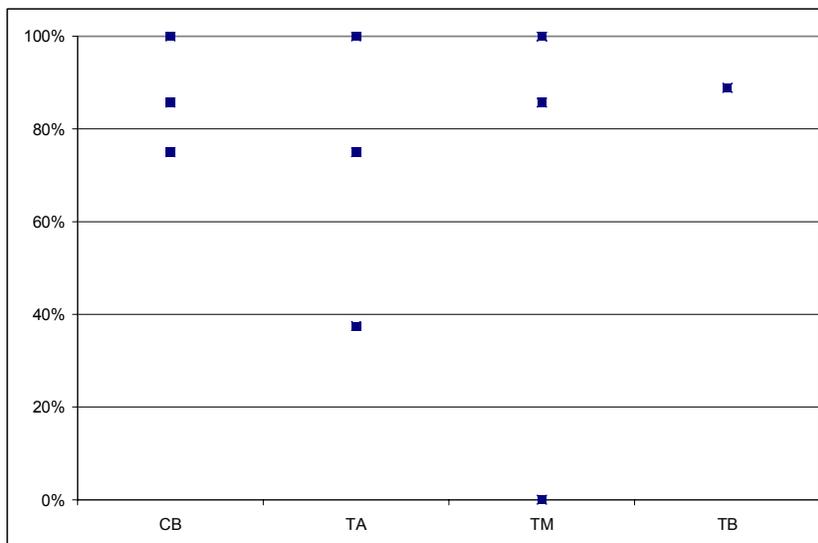


Figura 4.12: Porcentaje de especies leñosas nativas por ubicación del tramo dentro de la cuenca. (CB= Cabecera; TA=Tramo Alto; TM=Tramo Medio; TB=Tramo Bajo).

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en terreno.

En la Tabla 4.17 se pueden apreciar las especies que se poseen una mayor presencia dentro de los puntos evaluados. Se han distinguido por hábito para poder incorporar dentro del análisis el peso respectivo a cada una de las especies.

Dentro de las herbáceas que se encontraron con mayor frecuencia se encuentran el *Rapistrum rugosum* y la *Galega officinalis*, la primera asociada principalmente a terrenos antropizados y bordes de caminos, mientras que la *Galega officinalis* es frecuente de terrenos húmedos y potreros (Hoffmann 1998), ambas son especies exóticas. Cabe señalar que esta última pertenece a la familia de las fabaceae, las que son reconocidas por su capacidad de fijación de nitrógeno. Dentro de las herbáceas se encontraron numerosos individuos que se encontraron en menor cantidad y cobertura por lo que no se realizó la identificación de ellos.

Por otra parte, dentro de las especies arbustivas más frecuentes dentro de los puntos evaluados se encuentran *Baccharis marginalis* y *Rubus sp.* La primera según Hoffmann (1998) se encuentra principalmente en orillas de ríos y esteros de la zona central, dentro de los puntos de muestreo se encontraron en la parte media-interna de la zona ripariana, mientras que otras especies de *Baccharis* se encontraron en la parte externa de ella. Por otra parte, se encontró *Rubus sp.* la que se encuentra asociada principalmente a deslindes de propiedades, producto del tipo de crecimiento.

En cuanto a la vegetación arbórea se encuentran cuatro especies, dos de ellas nativas y dos exóticas. De ellas, *Maytenus boaria*, *Salix babilónica* y *Populus sp.* se encuentran asociadas a cursos de aguas, mientras que *Quillaja saponaria* se encuentra principalmente asociada a laderas asoleadas. Cabe señalar la presencia de *Acacia caven*, *Lithrea caustica* y *Porlieria chilensis* son especies nativas de sectores asoleados. Mientras que *Salix humboldtiana* que corresponde al sauce nativo sólo se encontró en 3 de los sectores evaluados.

Tabla 4.17. Presencia y Origen de especies vegetales según Hábito (Pres=número de puntos en los cuales esta presente; Orig= Origen: Nativa (N) y Exótica (E))

Herbáceas	Pres	Orig	Arbustivas	Pres	Orig	Arbóreas	Pres	Orig
<i>Rapistrum rugosum</i>	5	E	<i>Baccharis marginalis</i>	4	N	<i>Maytenus boaria</i>	5	N
Gramineae	5	-	<i>Rubus sp.</i>	4	E	<i>Salix babylonica</i>	4	E
<i>Galega officinalis</i>	4	E	<i>Cestrum parqui</i>	3	N	<i>Quillaja saponaria</i>	4	N
<i>Eschscholzia californica</i>	3	E	<i>Schinus polygamus*</i>	3	N	<i>Populus sp.</i>	4	E
<i>Cortaderia sp.</i>	3	N	<i>Baccharis linearis</i>	2	N	<i>Acacia caven</i>	3	N
<i>Calystegia cepium</i>	3	E	<i>Colliguaja integerrima</i>	1	N	<i>Salix humboldtiana</i>	3	N
<i>Tessaria absinthioides</i>	2	N	<i>Echinopsis sp.</i>	1	N	<i>Lithrea caustica</i>	3	N
<i>Conium maculatum</i>	2		<i>Muehlenbeckia hastulata</i>	1	N	<i>Acacia dealbata</i>	2	E
<i>Solanum maritimum</i>	1	N	<i>Tetraglochin alatum</i>	1	N	<i>Porlieria chilensis</i>	1	N
<i>Erodium cicutarium</i>	1	N	<i>Luma apiculata</i>	1	N			

* Esta especie se presentó como arbusto y como árbol.

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en terreno.

En cuanto a los pisos vegetacionales (Leubert & Pliscoff 2009) descritos en el acápite 3.1.2. se puede señalar que se encontraron algunas especies de las especies dominantes de los pisos vegetacionales. Sin embargo, producto de la diferencia de escala entre estos y el presente estudio, no se pueden comparar las especies dominantes existentes en las zonas riparianas.

Además, las especies asociadas a cursos de agua no presentan una dominancia en los pisos vegetacionales de la zona central de Chile, ya que estos corresponden principalmente a asociaciones de tipo esclerófilo, espinoso o caducifolio, los que se encuentran

condicionados principalmente por una época de sequía estival, dichas especies cuentan con adaptaciones foliares para evitar la pérdida de humedad (espinas, hojas coriáceas, hojas deciduas), por lo que no se encuentran asociadas a zonas húmedas cercanas a los cuerpos de agua.

Por otra parte, en cuanto a la vegetación descrita por las Declaraciones de Impacto Ambiental de proyectos que se emplazan sobre el río Maipo, señaladas en el punto 3.1.2. se puede apreciar que existe una coherencia cercana al 60% entre ellas y las especies encontradas en terreno. Sin embargo, al considerar sólo las leñosas esta coherencia aumenta, ya que como se ha señalado anteriormente la estrata herbácea es la que es más sensible a las intervenciones antrópicas y variaciones estacionales.

4.5.2. VALORACIÓN QBR

En cada punto seleccionado, se determinó el índice Qualitat del Bosc de Ribera (QBR, Munné *et al.* 1998, 2003). La determinación se realizó una vez realizada la definición de los 3 perfiles transversales (A, B y C, definidos en la metodología) y la identificación de las especies a lo largo de estos perfiles. Al realizar primero estos dos pasos, permite dar una idea global de todo el punto, lo que permitiría realizar una mejor determinación del índice QBR, eliminando posibles sesgos locales.

La determinación del QBR se realizó a través de una discusión de todo el equipo de trabajo en terreno. La interpretación de las clases (Tabla 4.18) se realizó de acuerdo a lo expresado en Munné *et al.* (1998, 2003).

En la Tabla 4.18 se muestran los valores del índice QBR y sus subíndices. En ella se aprecia que no existen puntos que presenten una calidad considerada como “Muy Buena”. Existen 4 puntos con calidad “Buena”, 3 puntos con calidad “Aceptable”, 2 con calidad “Mala” y 2 puntos con calidad “Muy Mala”.

Se aprecia que el subíndice QBR1 (asociado a cobertura vegetal) no alcanza en ninguno de los puntos el valor máximo posible (25 puntos), por lo cual se deduce que no existe ningún punto que contenga un 100% de cobertura vegetal en sus riberas. Similar situación ocurre en el subíndice QBR2 (asociado a la estructura de la vegetación), lo cual permite deducir que ningún punto presenta una vegetación con una estructura vegetacional desarrollada. Con respecto al subíndice QBR3 (asociado a la presencia de vegetación nativa condicionada por la morfología de la ribera), se aprecia que el comportamiento de este

subíndice es extremo, evidenciando la presencia o ausencia de la vegetación nativa en el punto. Por último, el subíndice QBR4 (asociado a las alteraciones sobre el cauce), muestra que existen cauces que no han sufrido variaciones de importancia (puntaje igual a 25), a diferencia de otros tramos en donde la alteración del cauce ha sido de importancia (puntaje igual a cero).

Analizando los valores medios de los subíndices, no es posible deducir cuáles son las características más comunes de las zonas riparianas en el maipo, ya que estos valores medios son similares entre sí. Solo se podría decir que la mayor falencia de éstas es su falta de estructura funcional, ya que el subíndice QBR2 es aquél que presenta un menor valor medio, pero como ya se mencionó las diferencias entre los valores medios de los subíndices no son significativos, por lo tanto, no es posible mencionar con certeza cuál es la mayor falencia o las características más comunes de las zonas riparianas del río Maipo.

Tabla 4.18 Resultados del índice QBR y sus subíndices (QBR1, QBR2, QBR3 y QBR4) para todos los puntos evaluados.

Punto	QBR1	QBR2	QBR3	QBR4	QBR	Clases	Ley.
LA-10	15	0	10	25	50	Mala	
YE-10	15	20	25	25	85	Buena	
MP-31	15	15	0	5	35	Mala	
PU-10	25	15	25	0	65	Aceptable	
AN-10	25	20	0	10	55	Aceptable	
MA-20	25	15	25	25	90	Buena	
MA-30	0	0	0	5	5	Muy mala	
MA-60	5	15	25	25	70	Aceptable	
AR-10	20	20	25	25	90	Buena	
YL-10	15	15	25	25	80	Buena	
EC-10	0	0	0	10	10	Muy mala	
Promedio	15	12	15	16	58	Aceptable	

En la Figura 4.13 se muestran los valores del índice QBR sobre la cuenca del río Maipo. En ella se aprecia que los puntos que presentan valores de QBR más altos, y por tanto, una mejor calidad del bosque de ribera son los puntos ubicados en la zona de cabecera de la cuenca. Por otra parte, los puntos con una mayor degradación en la calidad del bosque de ribera son los tramos ubicados en la zona media de la cuenca

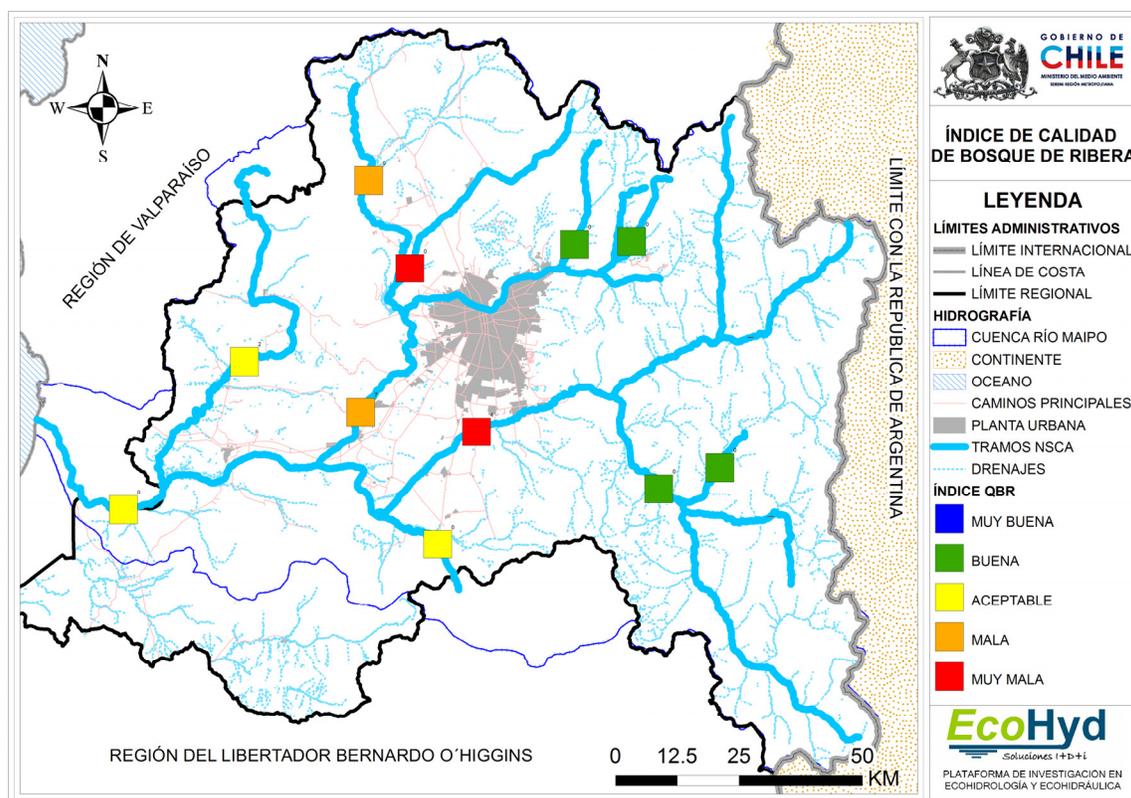


Figura 4.13: Distribución espacial de los QBR en la cuenca.
Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en terreno.

4.5.3. VALORACIÓN IHG

En cada punto seleccionado se determinó el índice Hidrogeomorfológico de sistemas fluviales (IHG; Ollero *et al.* 2008). La determinación del índice consistió en dos etapas. La primera de ellas corresponde a la obtención de la información *in situ* y la segunda en la recopilación hidrológica y morfológica desarrollada en escritorio.

La obtención de la información *in situ* se realizó una vez estimado el índice QBR. Esta información consistió principalmente a aquella relacionada con los subíndices IHG2 e IHG3, los cuales consideran estructuras o actuaciones que rompan la conectividad longitudinal y transversal, tanto del cauce como de las riberas. (Mayores detalles sobre el índice IHG y sus subíndices ver apartado 2.3.2).

La información que fue necesario recopilar en escritorio correspondió a aquella destinada a estimar el grado de alteración de los hidrogramas correspondientes al punto, la cantidad de presas aguas arriba, y la alteración que haya sufrido el cauce. Para determinar la

alteración morfológica histórica sufrida por el cauce se determinó mediante fotointerpretación a través de imágenes satelitales Landsat e imágenes históricas de la aplicación Google Earth. Para una correcta determinación de estas alteraciones morfológicas es conveniente disponer de imágenes aéreas históricas (Ollero *et al.* 2008).

En la Tabla 4.19 se muestran los valores del IHG y sus subíndices (IHG1, IHG2 e IHG3) en ella se aprecia que existen 3 puntos (YE-10, AR-10 y YL-10) con una calidad hidrogeomorfológica considerada como “Muy Buena”, los que corresponden a puntos ubicados en la zona de cabecera de la cuenca. Existen 4 puntos (LA-10, AN-10, MA-20 y MA-60) que presentan una calidad “Buena”; estos puntos están ubicados en las zonas bajas de la cuenca o en zonas altas. Existen 3 puntos (MP-31, PU-10 y EC-10) con calidad hidrogeomorfológicas “Aceptable” los que se ubican principalmente en la zona media de la cuenca. Existe solo un tramo (MA-30) con una calidad hidrogeomorfológica “Mala”. Por último es interesante hacer notar que no existe ningún punto con una calidad hidrogeomorfológica clasificada como “Muy Mala”

Considerando los valores del subíndice IHG1 (asociado con la funcionalidad del sistema), solo el punto ubicado en el Estero Arrayán (AR-10) presenta una funcionalidad total y los puntos del Estero Puangue (PU-10) y del río Maipo entre el río Colorado y Angostura (MA-30) son los tramos que presentan una funcionalidad altamente alterada. Con respecto al subíndice IHG2 (asociada a la calidad del cauce), los mayores valores los alcanza los puntos ubicados en la cabecera de la cuenca (YE-10, AR-10 y YL-10), mientras que el tramo con una peor calidad del cauce es aquel ubicado en el río Maipo entre los ríos Colorado y Angostura (MA-30). El subíndice IHG3 (asociado a la calidad de las riberas) presenta valores altos en los puntos de cabecera con un valor máximo en el tramo del río El Yeso (YE-10). Las peores calidades de las riberas la presentan los tramos Mapocho entre el Estero Lampa y Peñaflor (MP-31) y el río Maipo entre los ríos Colorado y Angostura (MA-30).

Los valores medios de los subíndices muestran que la menor alteración hidrogeomorfológica se produce en el cauce, mientras que las alteraciones (o calidades) son similares entre la funcionalidad del sistema y la calidad de las riberas.

Tabla 4.19 Resultados del índice IHG y sus subíndices (IHG1, IHG2 y IHG3) para todos los puntos evaluados

Punto	IHG1	IHG2	IHG3	IHG	Clase	Ley.
LA-10	17	24	22	63	Buena	
YE-10	26	27	30	83	Muy Buena	
MP-31	17	20	8	45	Aceptable	
PU-10	11	21	17	49	Aceptable	
AN-10	20	27	22	69	Buena	
MA-20	23	22	19	64	Buena	
MA-30	12	13	7	32	Mala	
MA-60	19	26	21	66	Buena	
AR-10	30	28	23	81	Muy Buena	
YL-10	26	28	26	80	Muy Buena	
EC-10	15	20	20	55	Aceptable	
Promedio	20	23	20	62	Buena	

En la Figura 4.14 se muestran los resultados de la determinación del índice IHG y su ubicación en la cuenca. Se observa que los tramos ubicados en la zona de cabecera presentan calidad hidrogeomorfológica “Muy Buena”. Los tramos con peor calidad hidrogeomorfológica se ubican en la zona media de la cuenca.

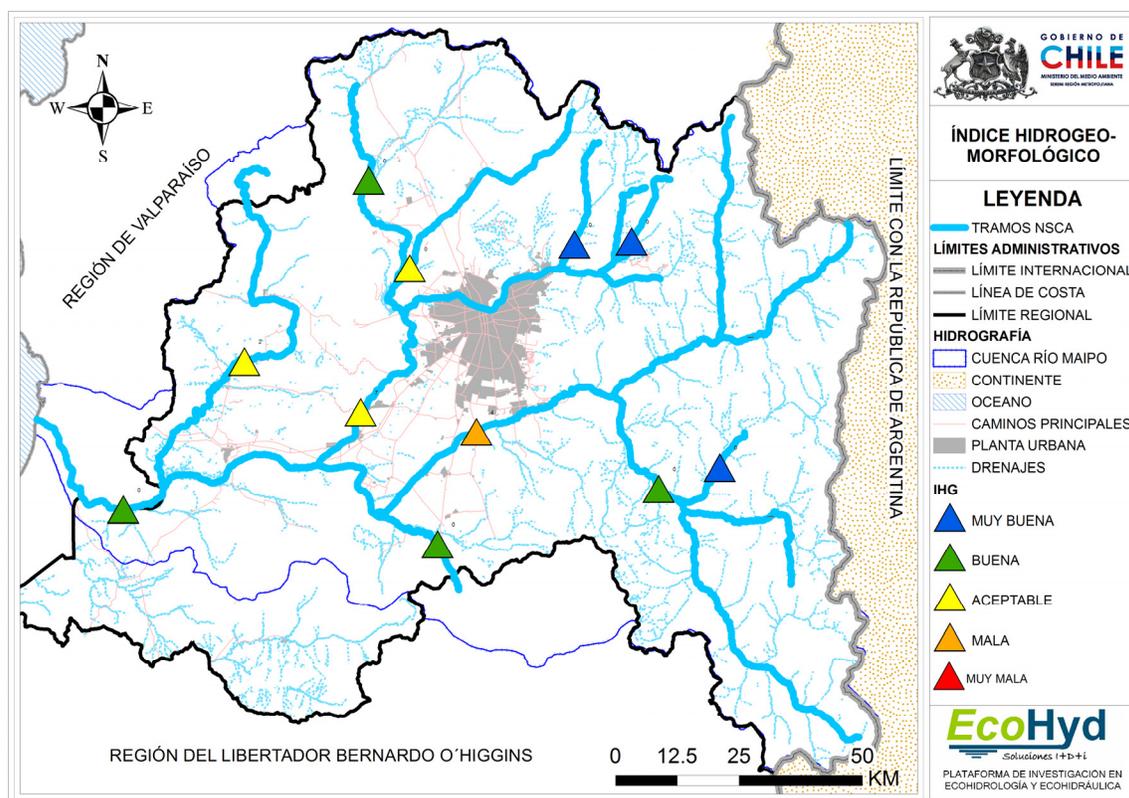


Figura 4.14: Valores del IHG y su localización en la cuenca.

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en terreno.

4.5.4. ANÁLISIS CONJUNTO

Al graficar los valores del QBR de acuerdo a la ubicación en la cuenca del punto en el cual se evaluó este índice (Figura 4.15a) se aprecia que existe una tendencia a disminuir el valor del índice a medida que se avanza en la cuenca a través de la red de drenaje, así como su variabilidad aumenta. Esta tendencia es revertida en el punto considerado como tramo bajo en el cual el valor del QBR aumenta. Similar situación ocurre con el IHG (Figura 4.15b), donde el valor disminuye hacia aguas abajo de la cuenca y aumenta en el tramo ubicado en la zona baja. De igual forma la variabilidad aumenta hacia zonas más bajas de la cuenca, pero presenta una variabilidad menor que el QBR.

Este comportamiento de ambos índices es similar al descrito por Renöfält & Nilsson (2008) (ver Figura 4.8) para ríos regulados en donde la riqueza de las especies disminuye desde las zonas de cabeceras a zonas medias de la cuenca para posteriormente aumentar la riqueza de especies hacia zonas de desembocadura.

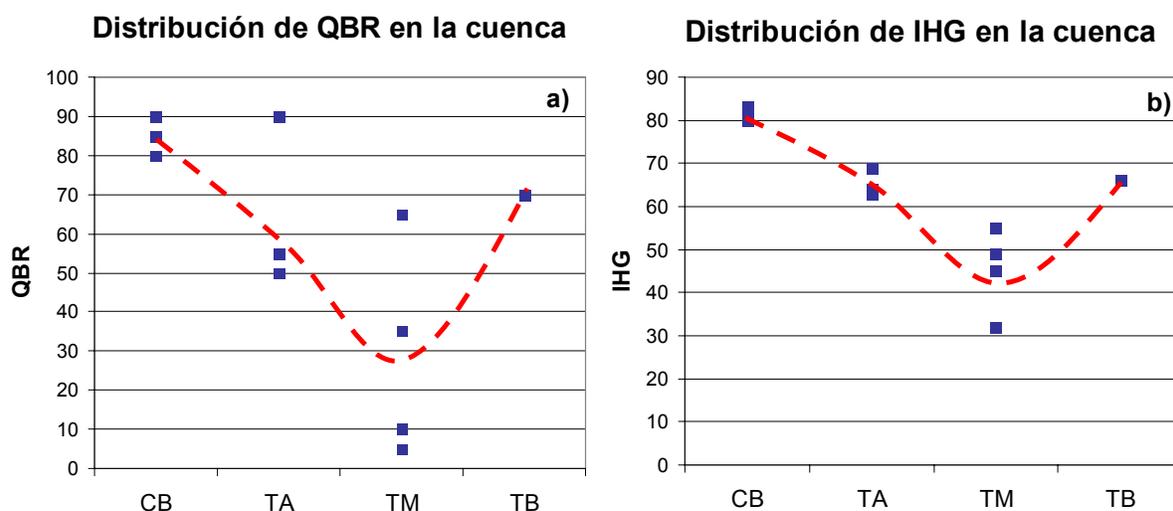


Figura 4.15: Distribución en la cuenca de los índices QBR (figura a) e IHG (Figura b) (CB= Cabecera; TA=Tramo Alto; TM= Tramo Medio; TB= Tramo Bajo). Elaboración propia a partir de información obtenida en terreno.

Al graficar los valores de QBR v/s IHG (Figura 4.16) se aprecia que ambos índices presentan una cierta tendencia positiva, es decir, cuando aumenta el valor de QBR, aumenta el valor de IHG, lo cual demuestra que ambos índices son coherentes en la medición del estado ecológico de la zona ripariana.

El rango de variación del IHG es menor que el del QBR, lo que podría dar indicios que la calidad hidromorfológica de la cuenca del río Maipo no es mala a pesar de los niveles de intervención hidromorfológica que presentan algunos tramos de río o bien este índice no es sensible a las alteraciones a las cuales están sometidos los tramos en la cuenca del río Maipo.

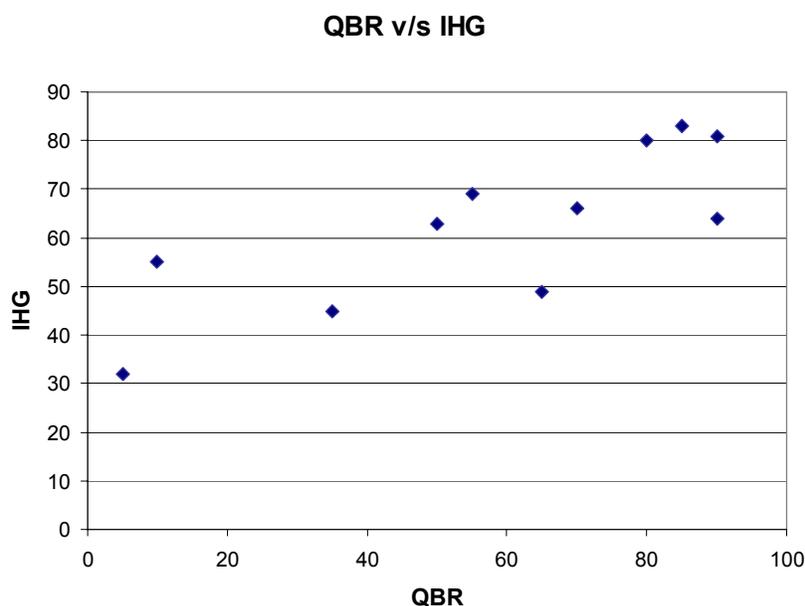


Figura 4.16: Relación entre los valores QBR con los valores IHG.
Fuente: Elaboración propia.

4.6. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES MÁS RELEVANTES EN EL ESTADO ECOLÓGICO DE LAS ZONAS RIPARIANAS

Para determinar cuales son las variables o presiones más relevantes en el estado ecológico actual de las zonas riparianas en los puntos evaluados, se determinaron dos Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA).

El primero de ellos se realizó entre los subíndices del QBR (QBR1, QBR2, QBR3 y QBR4) y las variables FMI_TR (número de faenas Mineras en el tramo); DAS_TR (número de Descargas de Aguas Servidas en el tramo; AUI (Porcentaje del área de subcuenca como Áreas Urbanas e Industriales); BN_PORC (Porcentaje de área de la subcuenca como Bosque Nativo y AGRI_PORC (porcentaje de área como Agricultura). Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 4.17:

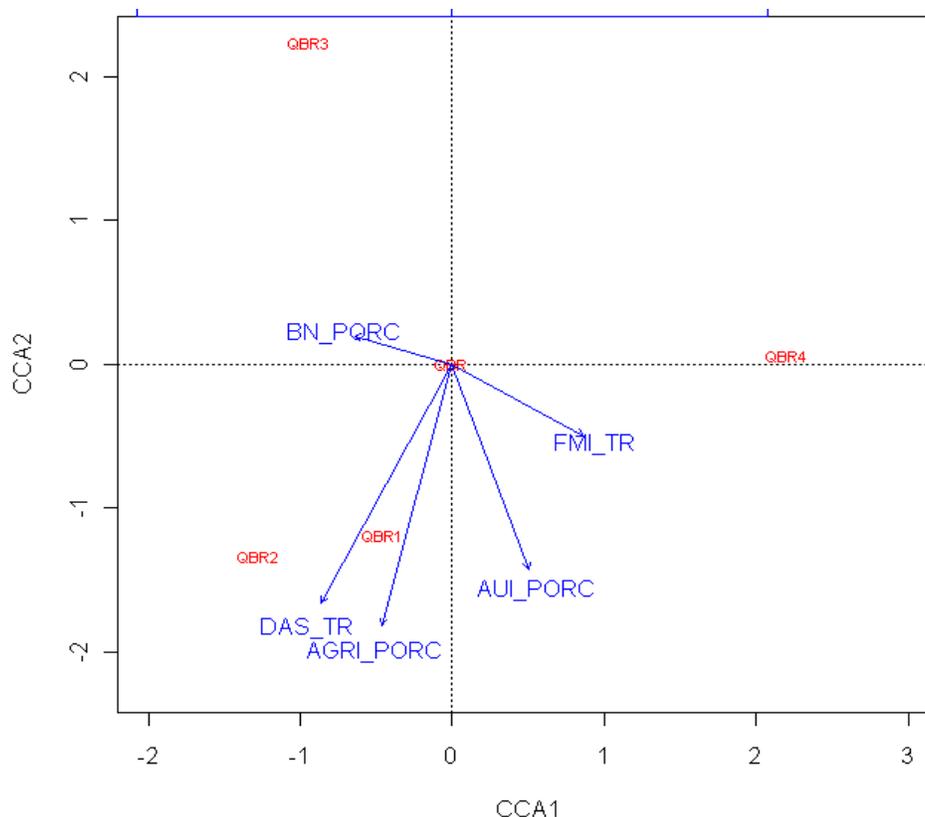


Figura 4.17: Análisis de Correspondencias Canónicas entre los subíndices del QBR (QBR1, QBR2, QBR3 y QBR4) y las variables DAS_TR, FMI_TR, AUI_PORC, BN_PORC y AGRI_PORC. Explicaciones sobre las variables y subíndices remitirse al texto.

Los resultados de este análisis tienen una varianza acumulada igual a un 91%. De esta figura es posible apreciar que existe correspondencias entre los subíndices QBR1 y QBR2 (asociados a cobertura y estructura vegetal respectivamente) y las variables asociadas a presencia de agricultura (AGRI_PORC) y descargas de aguas servidas (DAS_TR), lo que señalan que las presiones que aportan nutrientes al sistema fluvial se reflejan en una gran cantidad de vegetación ripariana, pero ésta estaría compuesta principalmente por vegetación exótica, ya que el subíndice QBR3 (asociada a la calidad de la vegetación) está “lejos” y en dirección opuesta a estas variables explicativas. Este mismo subíndice (QBR3) presenta mayor correspondencia con la presencia de Bosque Nativo (BN_PORC) lo que mostraría que la naturalidad de la ribera está altamente asociada con la naturalidad de la subcuenca. Por último, el subíndice QBR4 (asociado a las alteraciones del cauce) presenta una mayor correspondencia con la presencia de faenas mineras (FMI_TR) lo que indicaría que este tipo de actividad tiene mayor influencia en la alteración del cauce, más que en la vegetación ripariana.

Un segundo CCA se llevó a cabo entre los subíndices IHG1, IHG2 e IHG3 con las variables BCT_TR (Número de Bocatomas por tramo); BCT_AC (Número de Bocatomas acumuladas hasta el tramo); FMI_TR (Número de Faenas Mineras en el tramo); ARI_TR (Número de extracciones de áridos en el tramo); AUI (Porcentaje del área de subcuenca como Áreas Urbanas e Industriales) y AGRI_PORC (porcentaje de área como Agricultura) (Figura 4.18).

Los resultados de este análisis presentan una varianza explicada igual a 88%. En la Figura 4.18 se aprecia que existen una correspondencia negativa entre las variables BCT_TR, BCT_AC y el subíndice IHG1, el cual está asociado a la funcionalidad del sistema y en particular a la naturalidad del régimen hidrológico y la movilidad del sedimento. De esto se deduce que las bocatomas presentes en el tramo (BCT_TR) y las acumuladas (BCT_AC) influyen negativamente en la valoración del índice IHG. Similar situación ocurre con el subíndice IHG3 (asociado con la calidad de las riberas), vemos las variables extracción de áridos (ARI_TR), la cercanía con áreas urbanas e industriales (AUI_PORC) y la presencia de agricultura (AGRI_PORC) son las variables que más negativamente influyen sobre la calidad de las riberas.

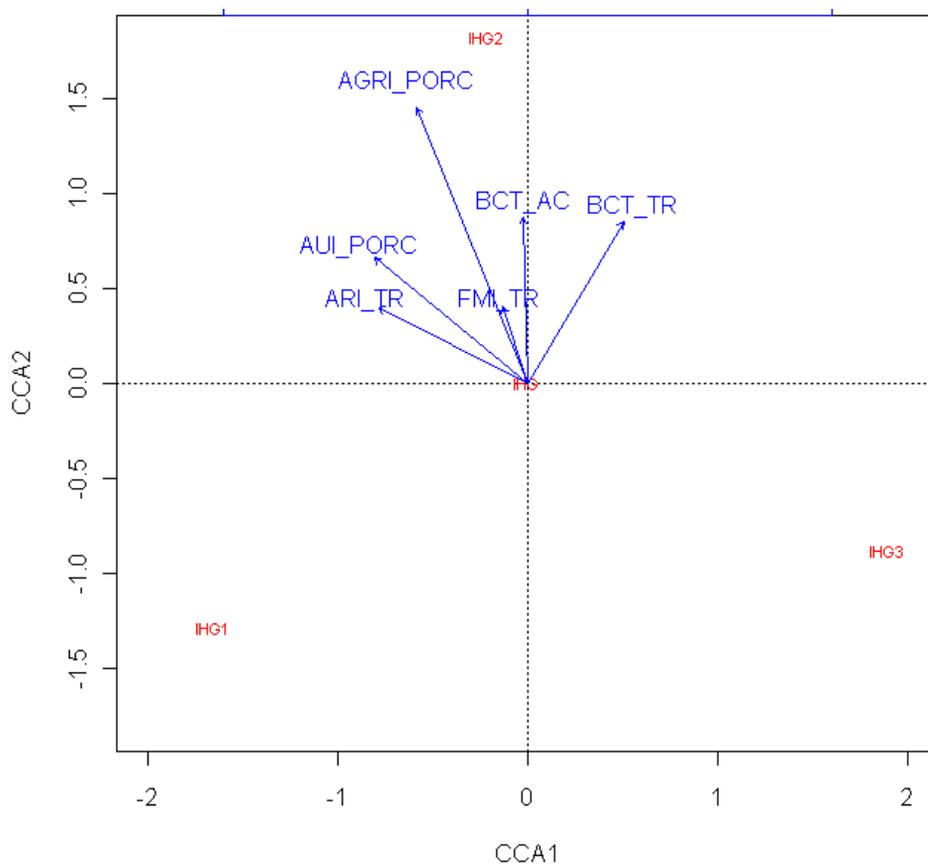


Figura 4.18 : Análisis de Correspondencias Canónicas entre los subíndices del IHG (IHG1, IHG2 e IHG3) y las variables BCT_TR, BCT_AC, FMI_TR, ARI_TR AUI_PORC y AGRI_PORC. Explicaciones sobre las variables y subíndices remitirse al texto.

5. DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio muestran que el nivel de intervención antrópica en la cuenca del río Maipo es elevada, siendo las extracciones por bocatomas, extracciones de áridos, descargas de aguas servidas y la agricultura las intervenciones más significativas.

En general los tramos NSCA considerados como de cabecera son los que presentan mejor estado ecológico, mientras que los tramos de zonas medias presentan los mayores niveles de intervención y por lo tanto un estado ecológico de baja calidad como se muestra en la Figura 4.9.

Las principales amenazas sobre el río Maipo son las extracciones de áridos, presentando 32 extracciones en el tramo MA-TR- 30. En la subcuenca del río Mapocho las presiones están orientadas a las actividades propias de una ciudad, es por esto que la principal presión o amenaza sobre las zonas riparianas son las descargas de aguas servidas, contabilizando un total de 10 puntos de descargas en el tramo MP-TR-31. La agricultura es una presión que se ejerce en ambas cuencas.

La agricultura es una presión que está presente en ambas cuencas, siendo de gran relevancia en el estado de las zonas riparianas dentro de la cuenca del río Maipo. Por una parte, la agricultura ejerce una presión sobre las zonas riparianas disminuyendo su ancho y la interconectividad transversal entre el ecosistema terrestre y el acuático, pudiendo llegar incluso a una pérdida total. Pero por otra parte una zona riparianas en buenas condiciones presta servicios ambientales de importancia al ecosistema acuático ya que ésta actúa como un filtro de retención de los nutrientes sedimentos y pesticidas provenientes desde la agricultura.

La cantidad de puntos evaluados y la realización de una única campaña de terreno impiden obtener resultados estadísticamente significativos en la valoración de los índices QBR e IHG, sin embargo, es posible dar tendencias en el comportamiento de estos índices y rangos de valores y por lo tanto, es válido presentar una noción del estado ecológico de las zonas riparianas.

La aplicación del QBR resultó ser sencilla y rápida, permitiendo su total valoración *in situ* (a excepción de aquellos tramos en donde fue necesario tomar muestras de la flora para su posterior identificación con la literatura). Este índice no considera las herbáceas al momento de valorar la calidad de las zonas riparianas, para evitar la estacionalidad al momento de su valoración en terreno (Munné *et al.* 2003). Sería conveniente realizar una modificación a este índice para valorar de una manera más acertada la calidad de la vegetación riparianas, por ejemplo, se propone realizar un ajuste por altitud ya que la cantidad de vegetación ripariana leñosa en altitudes elevadas es reducida, pero no por eso de una bajo estado ecológico. La presencia de herbáceas en las zonas riparianas estudiadas es elevada y existe una clara diferencia entre el número de especies nativas considerando las herbáceas o no (Tabla 4.16), con lo cual el incluir herbáceas en el QBR puede traer cambios que sería conveniente analizar más a fondo.

El índice IHG es un índice que requiere gran cantidad de información del sistema fluvial, por lo tanto, su implementación directa *in situ* no es posible. Se requiere contar con imágenes aéreas actuales e históricas, registros hidrológicos, etc. La experiencia que nos ha dado el aplicar este índice en la cuenca del río Maipo, pareciera que las presiones o actividades que alteran la calidad del sistema fluvial no coincide plenamente con las presiones más comunes existentes en esta cuenca, como se muestran en el anexo fotográfico (Anexo A) en donde los residuos sólidos (basura) eran comunes, la extracción de áridos es elevada, etc. por lo tanto, sería necesario reajustar la escala de puntuación de acuerdo a las presiones típicas realizadas en esta cuenca.

Un aspecto importante y de interés del IHG es que los tres componentes actúan a escala espacial distinta, a diferencia del QBR que los 4 componentes actúan a similar escalar espacial. En el IHG, la componente de la funcionalidad del sistema actúa a una escala espacial mayor que las otras dos componentes. Sin embargo, esta diferencia de escala, y por tanto de escala de influencia en la alteración del sistema fluvial no se ve, o no parece estar reflejado en el sistema de valoración, ya que cada uno de los componentes es valorado en forma individual y el puntaje máximo es el mismo para cada uno. Sería interesante avanzar en una modificación del sistema de puntuación de este índice donde se vea reflejado en las escalas menores, lo que sucede a escalas mayores.

Al realizar un análisis en conjunto de los resultados de la valoración conjunta, de la valoración del QBR y de la valoración del IHG (Ver plano 1) se aprecia que los tres resultados muestran concordancia en la valoración, variando levemente entre uno u otro. Un caso importante a señalar es el Estero Lampa (LA-10), donde el QBR está valorado

como “Malo”, el IHG como “Bueno” y la valoración cualitativa conjunta indica que el nivel de intervención del estero es “Muy intervenido”. Recordando que la mayor intervención antrópica en el Estero Lampa es debido a la cantidad de Faenas Mineras (Figura 4.3), se puede deducir que ambos índices no son capaces de valorar la acción de este tipo de intervención en el estado ecológico de las riberas.

Dado los resultados y los esfuerzos necesarios en disminuir la escala espacial para poder aplicar los índices, teniendo en cuenta que el hábitat ripariano y su calidad es producto de la superposición jerárquica de variables ambientales que actúan a diferente escala espacial, se hace necesario disminuir la escala espacial de gestión de las zonas riparianas, así como en futuros estudios incluir otras variables ambientales que expliquen o que estén fuertemente relacionadas con una buena calidad de las zonas riparianas, por ejemplo, incluir aspectos de hidrogramas asociados a los puntos de evaluación, calidad de las aguas y de la napa subterránea, tipo de cultivos, variables biológicas, tanto terrestres como acuáticas.

Sin lugar a dudas este estudio muestra como un primer apronte la importancia de las zonas riparianas en el ecosistema acuático, y también en el terrestre, y el deteriorado estado ecológico en el cual se encuentran en la cuenca del río Maipo. Se hace necesario entonces, incorporar elementos de la zona ripariana en los sistemas de gestión y conservación de los ecosistemas acuáticos. Entre los mecanismos a utilizar para conservar las zonas riparianas se encuentra el mejorar las condiciones de evaluación de impactos sobre la zona ripariana en las Declaraciones de Impacto Ambiental, así como el incorporar las zonas riparianas como una “especie objetivo” al momento de determinar los regímenes de caudales ecológicos exigidos en una EIA. Este argumento apunta a la necesidad de considerar la generación de caudales de crecida que permitan que la zona ripariana pueda cumplir las funciones ambientales descritas al principio de este documento. Esto persigue que el régimen de caudales ecológicos sea lo más natural posible, tanto en forma como magnitud, respetando los periodos de estiaje y de crecidas según lo expresado por Poff *et al.* (1997) en su publicación conocida como el paradigma del régimen natural de caudales.

Por otra parte, la ley del Bosque Nativo (Ley 20.283) señala textualmente en el artículo 8° “...Prohíbese la intervención de árboles y arbustos nativos en los terrenos aledaños a manantiales, cuerpos y cursos de naturales de aguas en las distancias que se señalan a continuación, medidas en proyección horizontal con el plano:

- c) Cauces permanentes en cualquier zona del país de caudal medio anual mayor a 0,14 m³/s: 25 metros.

d) Cauces no permanentes en zonas áridas o semiáridas de caudal medio anual mayor a $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$: 15 metros...”

Si bien esta ley deja muchas cosas sin establecer, como por ejemplo: ¿El ancho de la zona ripariana debe ser considerado desde el thalweg, desde el Bankfull?. O bien, no señala diferencias de la anchura entre zonas de cabeceras, altas, medias o bajas de la cuenca, etc. Puede considerarse como un mecanismo importante para utilizar como base para la gestión y conservación de las zonas riparianas.

6. CONCLUSIONES

Se realizó un estudio básico donde se buscaba evaluar el estado ecológico de las zonas riparianas e identificar cuales eran las principales amenazas a las cuales se ven sometidas en la cuenca del río Maipo. Para ello se identificaron las actividades antrópicas en esta cuenca que pueden ser consideradas como presiones que afectan la funcionalidad de una zona ripariana. De acuerdo a esto se cuantificó los niveles de intervención antrópica de los tramos NSCA considerando las principales presiones identificadas evaluándose el estado ecológico mediante los índices de Calidad del Bosque de Ribera (QBR) e Hidrogeomorfológico de sistemas fluviales (IHG) en 11 tramos.

Las zonas riparianas de la cuenca del río Maipo están sometidas a una gran cantidad de presiones, lo que se traduce en un elevado estado de deterioro, resultando las zonas medias de la cuenca las más vulnerables. Entre las mayores amenazas destacan la cantidad de bocatomas y de extracción de áridos en los tramos del río Maipo y las descargas de aguas servidas en el río Mapocho.

La agricultura es una acción antrópica que se encuentra prácticamente distribuida a lo largo de toda la cuenca y es donde la zona ripariana puede jugar un rol importante en mejorar la calidad de las aguas de los tramos NSCA, así como su hábitat acuático.

El estado ecológico de las zonas riparianas de la cuenca del río Maipo muestra un marcado gradiente. En las zonas altas y de cabecera de la cuenca, los índices QBR e IHG muestran un estado ecológico considerado como “Bueno” y “Muy bueno” respectivamente, lo que concuerda con la presencia mayorita de especies nativas en estas zonas. En las zonas medias de la cuenca, el estado ecológico presenta un alto nivel de degradación según la clasificación de “muy mala” y “mala” de las evaluaciones de los índices ya mencionados. Es en esta misma zona de la cuenca, en donde la flora presenta mayor cantidad de especies exóticas y a la vez disminuye el número de especies nativas.

Este informe pretende ser el punto de partida para estudiar las zonas riparianas en la cuenca del río Maipo y por lo tanto, los avances en el estudio de éstas son necesarios.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreoli, A., G. Carlig, F. Comiti & A. Iroumé. 2007. Residuos leñosos de gran tamaño en un torrente de la Cordillera de Los Andes, Chile: su funcionalidad e importancia. *Bosque*, 28(2): 83-96.

Comisión Nacional del Medio Ambiente RM. 2010. Proyecto definitivo de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Maipo.

Comisión Nacional del Medio Ambiente RM. 2007. Estandarización de especies bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del Maipo.

Comisión Nacional del Medio Ambiente RM. 2008. Aplicación del índice biótico ChSignal en comunidades de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del Maipo. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Gobierno de Chile.

Comisión Nacional del Medio Ambiente RM. 2009. Validación y complementación de la aplicación del Índice Biótico ChSignal en la cuenca del Maipo. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Gobierno de Chile.

Comisión Nacional de Riego. 2004. Metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas en la cuenca del río Maipo. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Gobierno de Chile.

Dirección General de Aguas-CONIC BF. 2006. Bases para la formulación de un Plan director para la gestión de los recursos hídricos de la cuenca del Maipo.

Comisión Nacional del Medio Ambiente- Cuantitativa. 2004. Antecedentes respecto de la biodiversidad acuática en la cuenca del Maipo.

Cummins, K. 2002. Riparian-stream linkage paradigm. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 28: 49-58.

DFL No 1.122. Código de Aguas. 1981. República de Chile.

- Dhondt, K., P.Boeck, N.Verhost, G.Hofman & O. Van Cleemput. 2006. Assessment of temporal and spatial variation of nitrate removal in riparian zones. *Environmental Monitoring and assessment*, 166: 197-215.
- Fernández L., J. Rau & A. Arriagada. 2009. Calidad de la vegetación ribereña del río Maullín (41°28'S; 72°59'W) utilizando el índice QBR. *Gayana Botánica*, 2: 269-278.
- Forman, R. T. T. & M. Godron, 1986. *Landscape ecology*. John Wiley & Sons, New York. 619 pp.
- Fuenzalida, H. 1971. *Climatología de Chile*. Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. Santiago. 73 pp.
- Gajardo, R. 1994. *La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica*. Editorial Universitaria, Santiago. 165 pp.
- Gayoso, J., B. Schlegel & M. Acuña. 2000. *Guía para la conservación del agua*. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 56 pp.
- Ghermandi A., V. Vanderberghe, L. Bendetti, W. Bauwens & P. A. Vanrolleghem. 2009. Model-based assessment of shading effect by riparian vegetation on river water quality. *Ecological Engineering*, 35:92-104.
- González del Tánago, M. & D. García de Jalón. 2006. Attributes for assessing the environmental quality of riparian zones. *Limnética*, 25(1-2): 389-402.
- González del Tánago, M., D. García de Jalón, F. Lara & R. Garilleti. 2006. Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua. *Ingeniería Civil*, 143: 97-108.
- Greenacre M. 2008. *La practica del Análisis de Correspondencia*. (Eds: Fundación BBVA). ISBN: 978-84-96515-71-0. <http://www.fbbva.com>.
- Gregory, S. V., F. Swanson, W. A. McKee & K. Cummins. 1991. An ecosystem perspective of riparian zone. *Bioscience*, 41(8): 540-551.
- Gurnell, A. M., H. Piegay, F. J. Swanson & S. V. Gregory. 2002. Large wood and fluvial processes. *Freshwater Biology* 47(4): 601-619.

- Hofmann A. (1998). Flora Silvestre de Chile. Zona Central. (eds: Fundación Claudio Gay) 4ta edición, Santiago, Chile. 254pp.
- Hruby T. 2009. Developing rapid methods for analyzing upland riparian functions and values. *Environmental management*, 43: 1219-1243.
- Johansen K., S. Phinn, I. Dixon, M. Douglas & J. Lowry. 2007. Comparison of image and rapid field assessments of riparian zone condition in Australian tropical savannas. *Forest Ecology and Management*, 240: 42-60.
- Milner, A. M. & I. T. Gloyne-Phillips. 2005. The role of riparian vegetation and Woody debris in the development of macroinvertebrate assemblages in streams. *River Research and Applications*, 21: 403-420.
- Ministerio de Obras Públicas. 2004. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Maipo.
- Montreuil, O., P. Merot & P. Marmoniere. 2010. Estimation of nitrate removal by riparian wetlands and streams in agricultural catchments: effect of discharge and stream order. *Freshwater Biology*, 55:2305-2318.
- Munné A., C. Sola & N. Prat. 1998. QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua*, 175: 20-37.
- Munné A., N.Prat, C.Solá, N.Bonada & M. Rieradevall. 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and freshwater ecosystems*, 13: 147-163.
- Naiman, R. & H. Décamps. 1997. The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28 (1): 621-658.
- Naiman, R., H. Décamps & M. E. Mclain. 2005. *Riparia: Ecology, conservation, and management of streamside communities*. Elsevier Academic Press. San Diego, California. 446 pp.
- National Research Council. 2002. *Riparian areas: Functions and strategies for management*. Committee on Riparian zone Functioning and Strategies for Management. Water Science and Technology Board. National Academic Press. Washington, D. C.

North American Agroforestry. 2009. An integrated Science and Practice. 2nd Edition. HE Garret Editor. America Society of agronomy Inc. Madison, USA.

Ollero A., D. Ballarín, E. Díaz, D. Mora, M. Sánchez, V. Acín, M. Echeverría, D. Granado, A. Ibisate, L. Sánchez & N. Sánchez. IHG: Un índice para la valoración hidrogeomorfológica de sistemas fluviales. *Limnética* 27(1): 171-188.

Palma A., R. Figueroa & V. H. Ruiz. 2009. Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF. *Gayana*, 73(1):57-63.

Pardo I., M. Alvarez, J. Casas, J. Moreno, S. Vicas, A. Bonada, J. Alba-Tercedor, P. Jaimez-Cuellar, G. Moya, N. Prat, S. Robles, M. Suárez, M. Toro & M. Vidal-Abarca. 2002. El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de habitat. *Limnética* 21: 115-132.

Petit N. E. & R. J. Naiman. 2005. Flood-deposited wood debris and its contribution to heterogeneity and regeneration in a semi-arid riparian landscape. *Oecología* 145: 434-444.

Poff N. L., Allan D., Bain M., Karr J., Prestegard K., Richter B., Sparks R. & J. Stromberg 1997. The Natural Flow Regime. *Bioscience* 74(11): 769-784.

R Development Core Team. 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

Renöfält, B. M. & C. Nilsson. 2008. Landscape scale effects of disturbance on riparian vegetation. *Freshwater Biology*, 53; 2244-2255.

Richardson D., P. Holmes, K. Esler, S. Galatowitsch, J. Stromberg, S. Kirkman, P. Pysek & R. J. Hobbs. 2007. Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. *Diversity and distributions*, 13: 126-139.

Santibañez, F. 1994. Atlas Agroclimático de Chile, 134 p.

Vannote R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell & C. E. Cushing. 1980. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1): 130-137.