



Informe Final

Monitoreo Ecosistémico del Río Mapocho

Centro de Ecología Aplicada Ltda. · Julio 2019



CONTROL DEL DOCUMENTO			
Versión	Fecha	Elaborado por	Aprobado por
0	22/05/2019	Viviana Vásquez Elizabeth Araya Ítalo Serey	Manuel Contreras
1	19/06/2019	Anaysa Elgueta Viviana Vásquez Elizabeth Araya	Manuel Contreras
2	17/07/2019	Viviana Vásquez	Viviana Vásquez

1 RESUMEN EJECUTIVO

El río Mapocho, correspondiente al principal curso de agua de la ciudad de Santiago, se encuentra en un estado modificado, después de siglos de uso de su curso de agua y áreas vecinas, asociadas fuertemente al desarrollo de Santiago. Nace en el Cerro El Plomo de la cordillera de los Andes, de allí sigue fluyendo su cauce atravesando diferentes comunas de Santiago hasta llegar al río Maipo, como su principal tributario. El río Mapocho es de régimen nivo-pluvial, en que predomina la influencia de las nieves, sobre todo en el sector de nacimiento, pero también las lluvias aportan a su caudal. Los mayores caudales se observan entre noviembre y enero, mientras que los menores ocurren entre marzo y mayo, en un cauce de una longitud de 110 kms. Este río forma parte estructural de la ciudad, y su uso para evacuar las aguas residuales domésticas y riles industriales fue indispensable para Santiago, abordando el tratamiento de aguas servidas mediante la construcción y operación de cuatro plantas de tratamiento secundario: Santiago Poniente, El Trebal, La Farfana y Mapocho.

El objetivo de Aguas Andinas y que da origen al presente estudio, fue recabar la información hidrológica y sanitaria existente del río Mapocho y poder integrar y relacionarla con los cambios que han estado ocurriendo en los ecosistemas acuáticos que se desarrollan a lo largo del eje longitudinal del río en el proceso de saneamiento de la cuenca. Además, en los últimos años se han realizado estudios de los componentes bióticos asociados a los ecosistemas del río Mapocho, adquiriendo de esta forma, información para comenzar a trabajar en estudios con una mirada ecosistémica, foco principal de este trabajo. Conjuntamente, esto resulta en la valoración de la información acumulada puesta al servicio del entendimiento del funcionamiento del río.

Para llevar a cabo este objetivo, la estrategia consistió en obtener información biótica y abiótica durante una campaña de terreno en primavera del 2018 (microalgas bentónicas, macroinvertebrados, peces, plantas, aves acuáticas, mamíferos, análisis de metales en sedimento y tejido vegetal, análisis de perturbaciones ribereñas del río) y paralelamente, recabar y actualizar información histórica del río Mapocho con datos físicos, químicos, microbiológicos, además de información hidrológica y climática como caudales, precipitaciones, más toda la información necesaria existente para una mejor comprensión de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas que conforman el río. Para la ejecución de los muestreos durante octubre del 2018, se utilizaron técnicas de muestreo biológico estandarizados a nivel nacional e internacional; así como las metodologías utilizadas para la toma y análisis de metales en sedimento y tejido vegetal. Paralelamente se elaboró una base de datos con toda la información física, química, biológica, hidrológica, y climática para poder ordenar y centralizar los datos existentes.

Temporalmente, la mayor parte de la información física, química, hidrológica y biológica generada en el río Mapocho se ha obtenido desde el año 2003 a la fecha, en el caso del monitoreo de Aguas Andinas; mientras que la información recopilada desde las bases de datos de la Dirección General de Aguas (DGA) se incluyó información desde 1988. Espacialmente, en la dimensión longitudinal del río, la información analizada comprende desde la estación fluviométrica de Los Almendros hasta la confluencia con el río Maipo. Globalmente, se ha generado una importante información espacio-temporal del río, pero ésta ha sido principalmente física, química y bacteriológica, mientras que la información biótica comparable en tiempo y espacio, aún debe seguir siendo generada.

- La metodología para abordar este estudio ecosistémico consideró las siguientes etapas i) metodología para la ejecución del muestreo en los ecosistemas en una campaña de terreno en octubre 2018; ii) revisión de estudios orientado a obtener información de interés ecosistémico; iii) recopilación los datos existentes apropiados para los análisis de los ecosistemas formando una base de datos; iv) elaboración una síntesis de antecedentes existentes para su análisis integrado; vi) selección de una base conceptual para un análisis interdisciplinario integrando datos e información preexistente obtenida con fines diversos, y aquella obtenida por estudios con un enfoque ecológico y ecosistémico del río Mapocho.
- Por otro lado, realizó una exhaustiva revisión bibliográfica de estudios con un enfoque ecosistémico y seleccionar una aproximación. Finalmente, se eligió una base conceptual, interdisciplinaria basada en la geomorfología, hidrología y ecología, asociadas a la Teoría de Jerarquías usando jerarquías paralelas con una aproximación interdisciplinaria y holística que permitió obtener una mejor comprensión del río Mapocho desde el punto de vista ecológico y que consideró la complejidad de relaciones que el río tiene con su cuenca, con la ciudad de Santiago, y en especial, la relevancia que tiene el tratamiento de aguas servidas domiciliarias, como una medida de recuperación de los ecosistemas del río Mapocho.
- La geomorfología, constituye un conocimiento básico para comprender los ecosistemas fluviales, siendo la base física para los procesos ecosistémicos y provee el espacio físico, en el cual las especies han evolucionado. Además, la geomorfología es la base de la red hidrológica, que está en constante interacción con el régimen de caudal en los cursos de agua, modificando los cauces de los ríos, por un lado, y limitando la extensión física de éste, por el otro. En este sentido, la jerarquía hidrológica, es reconocida como una propiedad fundamental para los ecosistemas lóticos, ya que integra aspectos de la cuenca, la red hidrológica, la magnitud o volumen del agua, con las propiedades físicas y químicas. Por último, el nivel jerárquico ecológico, permite integrar los aspectos físicos y químicos de la naturaleza con la comunidad de organismos, y permite comprender, tanto la naturaleza de las interacciones entre lo biótico y lo abiótico, como también el área específica donde ocurren las interacciones ecológicas.

A continuación, se presentan los resultados y conclusiones más importantes del estudio:

1. El río Mapocho tiene una larga historia de modificaciones que datan del siglo XIX asociadas al desarrollo de Santiago y que han modificado la geomorfología del curso principal, la red hidrológica de la cuenca, del caudal, y como resultado de esto, sus propiedades físicas y químicas. Los ecosistemas que se desarrollaron en el río Mapocho posteriormente (durante el siglo XX) responden a esas características y de los cuales no disponemos de una información científica documentada.
2. A la fecha, gran parte de la información generada se ha focalizado en muestreos físicos, químicos y bacteriológicos, como una manera de realizar un seguimiento a la calidad de sus aguas y como éstas son afectadas. Sin embargo, desde una visión ecosistémica, la información es escasa, pero se ha utilizado la existente para analizarla desde dicha perspectiva. En este sentido, sólo dos estudios han abordado esta temática, el primero en el año 2003, el cual considera solamente un tramo del río, para el estudio del “Impacto de la Planta de Tratamiento La Farfana en la restauración del río Mapocho: caracterización ecosistémica”, y en el año 2017 “Diagnóstico y análisis del Plan de saneamiento y la condición ecológica del río Mapocho”, el cual considera una primera aproximación

en la comprensión de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas del río Mapocho en toda su extensión longitudinal.

3. Para el análisis de la información recopilada, el río se dividió en tramos a lo largo del eje longitudinal, cuya identificación se basó primariamente en las modificaciones realizadas por el hombre, las cuales, modifican las propiedades geomorfológicas del lecho y borde del río, por razones de uso urbano. Simultáneamente, se incluyó la existencia de afluentes de origen antrópico significativos, como el Canal San Carlos, hecho hidrológico importante para el caudal del río. Además, se consideró la existencia de una serie de canales de extracción, entre los que destacan el canal El Carmen y Las Mercedes en distintos puntos del río Mapocho. El nivel de tramo permitió integrar información de distintas fuentes, que reflejan características diferentes de los sectores estudiados, y que morfológicamente pueden ser reconocidos. Los tramos definidos fueron: Tramo 1) Los Almendros; Tramo 2) Puente San Enrique/Canal San Carlos; Tramo 3) Canal San Carlos/Parque Fluvial La Familia; Tramo 4) Parque Fluvial La Familia/Puente Esperanza, Tramo 5: Puente Esperanza/Confluencia río Maipo. La identificación de tramos permitió un análisis más preciso de los componentes bióticos de los ecosistemas, caracterizado por modelos de ecosistemas específicos en que se incrementa el número de componentes identificados y con diferenciación en las propiedades físicas y químicas del componente caudal.
4. Durante el año 2018 se realizó el monitoreo ecosistémico a lo largo del eje longitudinal del río Mapocho, actualizando la base de datos existente en cuanto a información principalmente biológica, además de metales en sedimento y biomasa vegetal. Durante la campaña realizada en octubre 2018 no fueron detectados anfibios, y las especies de mamíferos y reptiles identificadas fue baja. Esto puede guardar relación con el número de muestreos realizados (una sola campaña), la falta de muestreo con otras técnicas como trampeo, y/o a las perturbaciones de las riberas y su vegetación, las cuales provocan una disminución de los hábitats para estos grupos biológicos, que podrían encontrar en estas zonas lugares donde vivir, refugiarse y alimentarse.
5. Fueron identificados microalgas bentónicas (72 taxa) en todos los tramos evaluados, con dominancia de las especies *Pseudostaurosira brevistriata*, *Achnanthydium minutissimum*, *Staurosira venter*, *Nitzschia spp.* El componente de zoobentos o macroinvertebrados bentónicos estuvo representado por 12 taxa en todos los tramos evaluados, con dominancia de los grupos de oligoquetos, dípteros, efemerópteros. Las mayores abundancias de estos grupos bentónicos se registraron en los tramos 2, 3 y 4, siendo el pick en el tramo 4. La comunidad de peces estuvo compuesta de tres especies, una especie nativa (*Trichomycterus aerolatus*) y dos introducidas (*Cyprinus carpio* y *Jenynsia multidentata*), solo fueron observados en los tramos 4 y 5; y solo el tramo 5 presentó fauna íctica nativa. La comunidad de avifauna estuvo compuesta de 32 taxa. La riqueza de taxa varió entre 7 y 21 taxa, registrados en los tramos 2 y 5, mientras que la abundancia osciló entre 21 y 116 individuos, registrados en los tramos 1 y 5. La riqueza y abundancia de taxa, presentan un incremento a medida que se desciende longitudinalmente en el río (T1>T2>T3>T4>T5). Las especies *Zenaida auriculata* presentó abundancias relativas superiores al 10% en 4 de los 5 tramos (T1, T2, T3 y T4). En tanto *Curaeus curaesus* y *Columba livia*, presentaron abundancias superiores al 10% solo en los tramos 1 y 2, respectivamente. La comunidad de mamíferos estuvo compuesta de 2 taxa, *Canis Lupus* y *Equus ferus*. No fueron identificados especies en los tramos 3 y 4. La comunidad de reptiles estuvo compuesta por 2 taxa, *Liolaemus tenuis*

- (lagartija esbelta) y una culebra de la familia Colubridae. Solo los tramos 3 y 4 presentan registros de taxa.
6. En la campaña de terreno se tomaron muestras de biomasa vegetal en el sector bajo de la cuenca del río Mapocho, específicamente en el punto AGA-9, en el sector de El Monte. De acuerdo con los resultados obtenidos, en todas las especies analizadas, el metal más abundante corresponde al zinc, mientras que el que se presentó en menores concentraciones fue el plomo. En general, las mayores concentraciones de metales traza se encontraron en las muestras de *Potamogeton pusillus*, una herbácea ribereña. Por otro lado, las menores concentraciones se observaron en la especie *Cotula coronopifolia*, la cual crece en el agua o se encuentra con sus raíces dentro de un curso de agua permanente.
 7. El análisis de los datos se realizó en forma integrada y en distintos niveles jerárquicos que permiten responder preguntas a distintas escalas espaciales y temporales, y valoriza los datos físicos y químicos existentes sobre el caudal del río. Así, el estudio ecosistémico va más allá de la acumulación de datos en el tiempo, ya que el objetivo principal es avanzar en la comprensión del río desde el punto de vista ecológico y en especial ecosistémico, y como tal, mejorar nuestro entendimiento de las interacciones de sus componentes bióticos y abióticos, para responder y/o realizar adecuadamente preguntas y/o estudios específicos en el río Mapocho.
 8. A nivel geomorfológico, los datos disponibles permitieron realizar los análisis a nivel jerárquico de subcuenca y tramos, estos últimos definidos operacionalmente, incluyendo aspectos de la red hidrológica a lo largo de la dimensión longitudinal del río. El nivel jerárquico de subcuencas permitió analizar información existente sobre la magnitud del caudal y de un grupo de sus propiedades físicas y químicas, que desde el punto de vista ecosistémico corresponden al componente abiótico caudal. Los tramos definidos permitieron integrar otro conjunto de datos físicos y químicos del caudal con datos ecológicos que se han obtenido en estudios recientes, pero específicos en algunas estaciones del año. Se establecieron diferencias en los componentes biológicos que pueden reconocerse y en su riqueza y composición de especies. El más evidente es que la subcuenca alta presentó solamente los componentes vegetación ripariana, macrófitas, fitobentos, macroinvertebrados y microorganismos, mientras que, en la subcuenca baja, se encontraron los componentes peces, aves acuáticas y riparianas.
 9. El conjunto de cursos de agua que confluyen en el curso principal del río Mapocho, la red de canales de extracción de agua, y el aporte del canal San Carlos y el conjunto de descargas de las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) constituyen una red hidrográfica compleja, que necesariamente afecta la localización y estructura de los ecosistemas en la dimensión longitudinal del río actual. Los cursos de agua que aportan caudal, así como los canales que extraen agua desde el curso principal, son determinantes del caudal que fluye entre distintos puntos de la red y en especial en las estaciones de verano y otoño, cuando los caudales disminuyen significativamente.
 10. Se identificaron diferencias en la estructuración de los ecosistemas en la dimensión longitudinal del río Mapocho, que sugieren en algunos casos cambios marcados en el número y características de los componentes, especialmente a nivel de tramos. Sin embargo, también ocurren cambios más graduales en la dimensión longitudinal a nivel de un mismo tramo. Es decir, se reconocieron

cambios en los ecosistemas, que pueden ser entendidos desde la perspectiva de un continuo o bien en sectores o parches. Para futuros estudios y dependiendo de las preguntas a responder, se puede mejorar la comprensión de los ecosistemas del río en sus dimensiones vertical y lateral, ya que el foco hasta ahora se ha realizado en los ecosistemas presentes en el eje longitudinal del río.

11. La selección del enfoque interdisciplinario con jerarquías paralelas, en conjunto permitió alcanzar una mejor comprensión de la distribución en la localización espacial, principalmente en su dimensión longitudinal de los ecosistemas y de grupos de organismos. El enfoque también ha facilitado la integración de datos obtenidos con diferentes fines, tiempo y frecuencia, alcanzando una interpretación más razonada del río y sus ecosistemas, acordes con el conocimiento teórico moderno.
12. Los análisis de las variables físicas, químicas, bacteriológicas y biológicas han evidenciado mejoras en el estado ecológico del río Mapocho, en su subcuenca baja, donde se tienen datos para realizar la comparación en función de escalas de tiempo más amplias, como por ejemplo los cambios en las variables oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno, y coliformes coliformes totales y/o fecales.
13. Desde el punto de vista de los indicadores biológicos, los estudios realizados los años 2003, 2017 y 2018 han mostrado una mejora en la condición ecológica del río (subcuenca baja, tramos 4 y 5), donde el estudio realizado el año 2003 mostraba especies indicadoras de una importante carga orgánica como gusanos nemátodos, estados larvales de insectos acuáticos (sífidos, efídridos), mientras que en los estudios realizados en los últimos años estos grupos no han vuelto a ser registrados. Por otro lado, tanto en 2017 como 2018 se observaron peces en los tramos 4 y 5 del río, así como una importante diversidad de aves acuáticas a lo largo del eje longitudinal del río.
14. Las perturbaciones recientes consideradas en este estudio muestran que, en la actualidad, los desechos sólidos, la basura y la extracción de áridos son los que dominan las superficies de las riberas del río Mapocho. En la parte abovedada, incluida en el tramo 3 del estudio, el fenómeno de disposición ilegal de residuos tiene menor relevancia dado la ausencia de riberas con pendiente hacia el río. Los efectos de estas perturbaciones, especialmente la basura, en el caso de residuos orgánicos, es que se descomponen y pueden contaminar el río como materia orgánica. Otros residuos pueden liberar compuestos tóxicos en el curso de agua, mientras que materiales más inertes químicamente, como los plásticos derivan hacia la desembocadura en el río Maipo y posteriormente al mar. La extracción de áridos, que es una perturbación geomorfológica, puede tener efectos importantes en la estructura de los ecosistemas, particularmente en los componentes de vegetación ripariana y de macrófitas, que en ausencia de estas perturbaciones podría alcanzar una mayor cobertura y desarrollo en biomasa.

Ecológicamente, el río Mapocho no puede volver a su condición natural, debido a las transformaciones de los aspectos físicos del río y a la existencia de una fuerte relación con la ciudad de Santiago, y el uso del territorio de la cuenca. No obstante, se recomienda tomar acciones para mantener el régimen del caudal y en especial su magnitud, ya que afecta variables como la temperatura, turbiedad y concentraciones de materiales potencialmente contaminantes que podrían alcanzar niveles críticos, y por otra parte es clave para alcanzar cambios en la estructura y funcionamiento del río. El control de las descargas de aguas

tratadas y de descargas sin tratar son fundamentales para mejorar las características químicas del caudal, especialmente en el período estival, hasta antes de las primeras lluvias del otoño.

En el futuro, los ecosistemas en el río Mapocho pueden continuar desarrollándose, aumentando su complejidad, si los planes de saneamiento de las aguas del río Mapocho, el control de la disposición de residuos, tanto líquidos como sólidos se ejecutan de una manera más rigurosa por parte de las autoridades pertinentes. Se ha observado, especialmente en la subcuenca baja del río una tendencia al desarrollo de ecosistemas más complejos, con más componentes biológicos y a su vez más sensibles a las condiciones ambientales, especialmente a condiciones físicas y químicas del caudal y en especial el desarrollo de recursos de hábitat para esos organismos.

Finalmente, para detectar y cuantificar cambios en los ecosistemas del río Mapocho, es importante la ejecución de monitoreos. El seguimiento en la actualidad se debe planificar en concordancia con la existencia de ciclos climáticos y de cambio climático que actualmente se considera a nivel local y global respectivamente. Para desarrollar un monitoreo ecosistémico, es conveniente tener un estado o condición de referencia. En el caso de los componentes abióticos, como el caudal y sus características físicas y químicas disponemos de una masa de datos importantes para cumplir dicha función. El componente abiótico caudal, es el que se puede seguir con mayor frecuencia, dado que existen un conjunto de propiedades físicas y químicas como la magnitud (m^3/s), temperatura, turbiedad, oxígeno disuelto, pH, que se pueden medir directamente (in situ) en el curso de agua y proveen de información relevante del estado funcional del río. Las variables indicadoras DBO y DQO deben seguir siendo medidas regularmente en los tramos descritos en el estudio, así como clorofila a, nitrógeno y fósforo total, los cuales son indicadores de la trofia de los ríos como ecosistemas.

En relación con los componentes bióticos, se tienen pocos datos acumulados, pero la composición y abundancia de especies, desde el momento que se registran sirven de referencia a los cambios de los ecosistemas futuros. Son más difíciles de seguir por la naturaleza del muestreo, pero revelan mejor los cambios de mediano y largo plazo de los ecosistemas. La composición y abundancia de algunos componentes bióticos como el zoobentos, son reconocidos indicadores del estado de los ecosistemas. Los tipos de componentes bióticos que se presentan, su composición de especies y abundancias pueden ser seguidos estacional o anualmente.

ÍNDICE

1	RESUMEN EJECUTIVO	2
2	INTRODUCCIÓN	17
3	OBJETIVOS	19
3.1	Objetivo General.....	19
3.2	Objetivos Específicos	19
4	ÁREA DE ESTUDIO	21
4.1	Información física, química, hidrológica y biológica histórica.....	21
4	METODOLOGÍA.....	25
4.1	Información histórica 2003-2018.....	25
4.2	Muestreo del río Mapocho en 2018	25
4.2.1	Área de Estudio.....	25
4.2.2	Metodologías de muestreo.....	28
4.3	Revisión de Estudios del río Mapocho	31
4.4	Base de datos.....	32
4.4.1	Precipitaciones (1980-2018).....	32
4.4.2	Caudal en la red hidrológica	33
4.4.3	Propiedades Físicoquímicas y Bacteriológicas del Caudal, período 2003- 2018.	35
4.4.4	Tipo de Sustrato y Características de Sedimentos	38
4.4.5	Datos Ecológicos	38
5	BASE CONCEPTUAL DEL TRABAJO.....	40
5.1	Escalas Espacio-Temporales	40
5.2	Selección de la Base Conceptual.....	42
5.2.1	Jerarquías.....	42
5.2.2	Marco teórico para la comprensión interdisciplinaria de los ríos como ecosistemas.....	43
5.2.3	Enfoque Eco-hidro-geomorfológico.....	44
6	RESULTADOS.....	55
6.1	Resultados de Muestreo 2018.....	55
6.1.1	Componentes Abióticos.....	55
6.1.2	Componentes Bióticos	58
6.1.3	Perturbaciones en las áreas ribereñas o ripariana del río Mapocho.....	73



6.2	Base de datos.....	81
6.2.1	Escalas y Jerarquías.....	81
6.2.2	Geomorfológica e Hidrológica	83
6.3	Análisis Jerárquico Eco hidro geomorfológico	99
6.3.1	Componentes de los ecosistemas.....	100
6.3.2	Análisis Jerárquico de los Componentes Abióticos	101
6.3.3	Análisis Jerárquico de los Componentes Bióticos	123
6.4	Análisis funcional de los ecosistemas	124
6.4.1	Relación Magnitud del caudal con sus propiedades físicas y químicas a nivel de las subcuencas	124
6.4.2	Interacciones Ecosistémicas	137
7	DISCUSIÓN	149
7.1	Estado del Río Mapocho	149
7.2	Río Mapocho y la idea de ecosistema.....	150
7.3	Enfoque Eco-hidro-geomorfológico.....	150
7.3.1	Subcuencas y tramos	151
7.3.2	Red hidrológica, caudal y ecosistemas.....	151
7.3.3	Ecosistemas	153
7.4	Perturbaciones.....	156
7.5	Estado futuro de los ecosistemas	157
7.6	Seguimiento ecosistémico	158
8	CONCLUSIONES.....	159
8.1	Estado del río Mapocho.....	159
8.2	Río Mapocho y la idea de Ecosistema.....	159
8.3	Enfoque eco-hidro-geomorfológico.....	159
8.3.1	Subcuencas y tramos	159
8.3.2	Red hidrológica, caudal y ecosistemas.....	160
8.3.3	Ecosistemas	160
8.4	Efectos de perturbaciones.....	160
8.5	Estado futuro de los ecosistemas	161
8.6	Seguimiento Ecosistémico	161

9	RECOMENDACIONES PARA TOMADORES DE DECISIONES.....	162
10	BIBLIOGRAFÍA	164
11	ANEXO I: RESULTADOS CAMPAÑA OCTUBRE 2018.....	166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1	Localidades donde se ha levantado información geomorfológica, hidrológica y ecológica entre los años 2003 y 2018.....	21
Tabla 4.1	Coordenadas de puntos de muestreo	26
Tabla 4.2	Parámetros in-situ y su respectivo método de análisis en aguas.	28
Tabla 4.3	Nombre y ubicación geográfica (UTM) de estaciones Meteorológicas (Fuente, DGA) con registro de precipitación media mensual (mm).	32
Tabla 4.4	Nombre y ubicación geográfica (UTM) de estaciones Fluviométricas, con monitoreo de caudal medio mensual (m ³ /s) a lo largo del río Mapocho.....	34
Tabla 4.5	Nombre y ubicación geográfica (UTM) de las estaciones de monitoreo de calidad del agua superficial por período muestreado a lo largo del río Mapocho.	36
Tabla 4.6	Nombre y ubicación geográfica (UTM) de las estaciones de Calidad Química del agua del río Mapocho, monitoreadas por la DGA.	37
Tabla 4.7	Parámetros Físicoquímicos y Bacteriológicos del río Mapocho por período muestreado. Los parámetros boro, cadmio, mercurio, níquel y plomo fueron muestreados sólo en el año 2003, bajo el marco del estudio realizado por Aguas Andinas.	37
Tabla 4.8	Antecedentes sobre componentes abióticos y bióticos para los ecosistemas obtenidos entre los años 2003 y 2018 en el río Mapocho.....	39
Tabla 6.1	Parámetros físicoquímicos medidos en terreno (octubre 2018).....	57
Tabla 6.2	Resultados de metales en sedimentos en río Mapocho.....	58
Tabla 6.3	Riqueza total en cada punto de muestreo realizado en octubre 2018.	65
Tabla 6.4	Resumen de los componentes bióticos observados en el río Mapocho en los estudios de 2003, 2017 y 2018.	69
Tabla 6.5	Resultados de metales en biomasa vegetal en río Mapocho.	73
Tabla 6.6	Frecuencia de las perturbaciones de origen antrópico en los bordes del río, por tramos, en el río Mapocho.....	75
Tabla 6.7	Jerarquías y aspectos considerados en el estudio en diferentes niveles.....	82

Tabla 6.8 Registro de confluencias de cursos de agua superficiales (ingreso de aguas) y extracción de agua desde el curso principal (desvío de aguas) en el área de estudio.	86
Tabla 6.9 Valores de Precipitaciones medias anuales de las estaciones Los Almendros y Fundo Marruecos (DGA, 2018).	99
Tabla 6.10 Componentes bióticos de los ecosistemas evaluados en las distintas temporadas de seguimiento (evaluado no significa que se encontraron en los muestreos).....	100
Tabla 6.11 Valores de Precipitaciones medias anuales de las estaciones Los Almendros y Fundo Marruecos (DGA, 2018).	103
Tabla 6.12 Riqueza de Especies de componentes bióticos de los ecosistemas en las Subcuencas Alta y Baja del Río Mapocho.	124
Tabla 6.13 Matriz de interacciones para los ecosistemas del río Mapocho.....	138
Tabla 11.1. Listado de vegetación ripariana en el río Mapocho encontradas durante el muestreo de 2018.	166
Tabla 11.2. Composición de fitobentos en el río Mapocho durante el muestreo de 2018.....	168
Tabla 11.3. Composición de zoobentos en el río Mapocho durante el muestreo de 2018	171
Tabla 11.4. Composición de peces en el río Mapocho durante el muestreo de 2018.....	171
Tabla 11.5 Composición de aves acuáticas y riparianas en el río Mapocho durante el muestreo de 2018	172
Tabla 11.6 Composición de mamíferos en el río Mapocho durante el muestreo de 2018.	174
Tabla 11.7 Composición de reptiles en el río Mapocho durante el muestreo de 2018.	174

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Cartografía del área de estudio, río Mapocho, que ilustra los sectores donde se ha obtenido información de diferentes disciplinas en el eje longitudinal del río, entre los años 2003-2018.	22
Figura 4.2 Río Mapocho en sus diferentes secciones a lo largo de su eje longitudinal.....	23
Figura 4.3. Fotografías de cada punto de muestreo, correspondiente a la campaña de 2018.....	24
Figura 4.1 Puntos de Muestreo Monitoreo Ecosistémico río Mapocho 2018, para componentes bióticos y abióticos.	27
Figura 4.2 Ubicación de las estaciones Meteorológicas con registro de precipitación media mensual (mm).	33
Figura 4.3 Ubicación de las estaciones Fluviométricas con registro de caudal medio mensual (m ³ /s).....	35
Figura 4.4 Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de agua proporcionado por Aguas Andinas y estaciones vigentes de la DGA.	38

Figura 5.1 Representación de la naturaleza tetradimensional de los ecosistemas lóticos (basado en Ward 1989).....	40
Figura 5.2 Ejes que deben ser considerados en los estudios de ecología (Modificado de Bissonette and Storch 2007). Los estudios Y y Z definen sus propios niveles de resolución, como ocurre tácitamente cuando se responde a una pregunta.	41
Figura 5.3 Organización jerárquica del enfoque interdisciplinario del análisis, donde el nivel focal N es explicado por los procesos en el nivel N-1 y controlado por los procesos ocurriendo en el nivel N+1. (Modificado de Bissonet & Storch, 2007).	43
Figura 5.4 Descripción Jerárquica de los niveles de organización que caracterizan los subsistemas geomorfológico, hidrológico y ecológico de un río. En amarillo los niveles seleccionados para el análisis de los datos existentes para el río Mapocho. Fuente: Modificado de Dollar <i>et al</i> 2007.....	44
Figura 5.5 Heterogeneidad en la red producida por la confluencia de los cursos de agua. Fuente: modificado de Benda et al. 2004.	46
Figura 5.6 Componentes del régimen del caudal considerados ecológicamente importantes. Fuente: modificado de Walker <i>et al.</i> , 1995 y McGregor <i>et al.</i> , 2011.	48
Figura 5.7 Modelo Conceptual de un Ecosistema. Se indican los componentes abióticos y bióticos, las flechas indican interacciones ecosistémicas.	50
Figura 5.8 Modelo de focalización jerárquica de los ecosistemas para el río Mapocho.	51
Figura 5.9 Modelo de efectos del caudal en aspectos relacionados a la integridad de ecológica en sistemas lóticos (modificado de Poff, 1997). Se destacan la magnitud o volumen y la calidad del agua (propiedades fisicoquímicas).	52
Figura 6.1 Patrones comunitarios y abundancia relativa de taxa por tramos muestreados durante el año 2018.....	59
Figura 6.2. Patrones comunitarios y abundancia relativa de taxa por tramos muestreados durante el año 2018.....	60
Figura 6.3. Patrones comunitarios y abundancia relativa de taxa por tramos muestreados durante el año 2018.....	61
Figura 6.4. Patrones comunitarios y abundancia relativa de taxa por tramos muestreados durante el año 2018.....	62
Figura 6.5. Patrones comunitarios y abundancia relativa de taxa por tramos muestreados durante el año 2018.....	63
Figura 6.6. Patrones comunitarios y abundancia relativa de taxa por tramos muestreados durante el año 2018.....	64
Figura 6.7 Componentes y riqueza de especies por componentes en el tramo 1, río Mapocho.	65
Figura 6.8 Componentes y riqueza de especies por componentes en el tramo 2, río Mapocho.	66
Figura 6.9 Componentes y riqueza de especies por componentes en el tramo 3, río Mapocho.....	67

Figura 6.10 Componentes y riqueza de especies por componentes en el tramo 4, río Mapocho.....	67
Figura 6.11 Componentes y riqueza de especies por componentes en el tramo 5, río Mapocho.....	68
Figura 6.12 Grupos dominantes en cada uno de los componentes biológicos registrados entre 2017-2018 (a) aves, b) mamíferos y c) reptiles).....	70
Figura 6.13 Grupos dominantes en cada uno de los componentes biológicos registrados entre 2017-2018 (d) fitobentos, e) zoobentos, f) fauna íctica).....	71
Figura 6.14 Componentes biológicos reconocidos en los muestreos del río Mapocho 2017-2018. 1: <i>Liolaemus tenuis</i> (Reptil), 2: <i>Myocastor coypus</i> , 3 y 8: Diatomeas (Fitobentos), 4 y 7: <i>Smicridea</i> (Zoobentos), 5: <i>Andesiops sp</i> (Zoobentos), 6: <i>Physa sp.</i> (Zoodentos), 9: <i>Cyprinus carpio</i> (Pez introducido), 10 y 15: <i>Trichomycterus areolatus</i> (Pez nativo), 11: <i>Jenynsia multidentata</i> (Pez introducido), 12: <i>Hyalella</i> (Zoobentos), 13: Garza (Aves), 14: <i>Equus ferus</i> (Mamífero).....	72
Figura 6.15 Distribución de las perturbaciones por tramos de origen antrópico, en los bordes del río Mapocho.....	76
Figura 6.16 Gaviones escalonados con mallas metálicas contruidos en la ribera del tramo 2.....	77
Figura 6.17 Área con desechos sólidos, basura con restos de materiales orgánicos como restos de materiales destinados a la construcción.....	77
Figura 6.18 Neumáticos y otros desechos sólidos en el curso de agua del río Mapocho.	78
Figura 6.19 Extracción de áridos en sector de Plaza San Enrique (Fuente: CEA, 2018 - Drone).	78
Figura 6.20 Basura en vereda sur en sector de Costanera Sur en puente Carrascal.....	79
Figura 6.21 Relave minero La Africana, aguas debajo de Ruta 68.	79
Figura 6.22 Basura en sector de Camino a Rinconada (puente).	80
Figura 6.23 Áridos en ribera del río Mapocho, sector paralelo a Camino a Rinconada.	80
Figura 6.24 Diagrama que muestra los puntos de muestreo asociados a la jerarquía geomorfológica-hidrológica usada en el trabajo.....	82
Figura 6.25 Subcuencas del río Mapocho.....	84
Figura 6.26 Red Hidrológica que corresponde a la extensión estudiada del curso principal río Mapocho..	85
Figura 6.27 Modelo de la Red Hidrológica del río Mapocho antes de las obras del siglo XIX de acuerdo con la nomenclatura de secciones de la DGA. (Flechas azules: aportes de agua al río Mapocho).	88
Figura 6.28 Modelo de la Red Hidrológica del río Mapocho con la construcción de canales hasta fines del siglo XX, de acuerdo con la nomenclatura secciones de la DGA. (Flechas azules: aportes de agua al río Mapocho, Flechas verdes: extracción de agua).....	89
Figura 6.29 Modelo de la Red Hidrológica del río Mapocho a comienzos del siglo XXI y las plantas de tratamiento de aguas servidas, de acuerdo con la nomenclatura de secciones de la DGA. (Flechas azules: aportes de agua al río Mapocho, Flechas verdes: extracción de agua, Flechas rojas: aportes de agua por PTAS).....	90
Figura 6.30 Puntos descarga de aguas servidas en la red hidrológica pasada, subcuencas Alta y Baja.	91



Figura 6.31 Localización de las descargas de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de la Región Metropolitana, que descargan en el Río Mapocho.....	92
Figura 6.32 Modelo de la red hidrológica actual del Rio Mapocho, con sus principales afluentes o descargas al curso principal.....	93
Figura 6.33 Localización de los tramos 1 al 5 en el eje longitudinal del río Mapocho.	94
Figura 6.34 Patrones estacionales e interanuales de las precipitaciones medias anuales en la estación Los Almendros de la subcuenca alta y en la estación Fundo Marruecos de la subcuenca baja, del río Mapocho.	98
Figura 6.35 Patrones estacionales e interanuales de los caudales en la estación Los Almendros de la subcuenca alta y en la estación Rinconada de Maipú de la subcuenca baja, del río Mapocho.	103
Figura 6.36 Distribución temporal de los valores de temperatura en la columna de agua de las Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.	106
Figura 6.37 Distribución temporal de los valores de pH en la columna de agua de las Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.	107
Figura 6.38 Distribución temporal de los valores de oxígeno disuelto en la columna de agua de la Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.	109
Figura 6.39 Distribución temporal de los valores de conductividad eléctrica en la columna de agua de la Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.....	111
Figura 6.40 Distribución temporal de los valores de DBO en la columna de agua de la Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.	112
Figura 6.41 Distribución temporal de los valores de DQO en la columna de agua de la Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.	114
Figura 6.42 Distribución temporal de los valores de Nitrato en el caudal de la Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.....	115
Figura 6.43 Distribución temporal de los valores de fósforo en la columna de agua de la Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.	116
Figura 6.44 Distribución temporal de los valores de temperatura en la columna de agua de los tramos 1 a 5 identificados en el río Mapocho.	118
Figura 6.45 Distribución temporal de los valores de pH en la columna de agua de los tramos 1 a 5 identificados en el río Mapocho.	119
Figura 6.46 Distribución temporal de los valores de oxígeno disuelto en la columna de agua de los tramos 1 a 5 identificados en el río Mapocho.....	120
Figura 6.47 Distribución temporal de los valores de conductividad eléctrica en la columna de agua de los tramos 1 a 5 identificados en el río Mapocho.	122

Figura 6.48 Valores de la temperatura del agua en función del caudal en las estaciones Los Almendros de la subcuenca alta y Rinconada de la subcuenca baja, del río Mapocho.	126
Figura 6.49 Valores de pH del agua en función del caudal en las estaciones Los Almendros de la subcuenca alta y Rinconada de Maipú de la subcuenca baja, del río Mapocho.	127
Figura 6.50 Valores de Oxígeno Disuelto del agua en función del caudal en las estaciones Los Almendros de la subcuenca alta y Rinconada de la subcuenca baja, del río Mapocho.....	128
Figura 6.51 Valores de conductividad eléctrica del agua en función del caudal en las estaciones. Los Almendros de la subcuenca alta y Rinconada de la subcuenca baja, del río Mapocho.	129
Figura 6.52 Distribución de los valores de turbiedad en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.	130
Figura 6.53 Valores de DBO del agua en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.	131
Figura 6.54 Valores de DQO del agua en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.	132
Figura 6.55 Distribución de los valores de nitrato en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.....	133
Figura 6.56 Distribución de los valores de fosfatos en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.	134
Figura 6.57 Distribución de los valores de sulfato en función del caudal y de las subcuencas alta y baja del río Mapocho.	135
Figura 6.58 Distribución de los valores de cloruros en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.	136
Figura 6.59 Distribución de valores de cobre en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.....	137
Figura 6.60 Modelo General Propuesto para el análisis ecosistémico del Río Mapocho en el año 2003. La figura solamente destaca los flujos más importantes relacionados a la materia orgánica.	139
Figura 6.61 Modelo de ecosistema para el Tramo 1, subcuenca alta del río Mapocho en función origen del carbono.....	140
Figura 6.62 Modelo de ecosistema para el Tramo 2, subcuenca alta del río Mapocho en función origen del carbono.....	141
Figura 6.63 Modelo de ecosistema Tramo 3, de la subcuenca Baja del río Mapocho en función del origen del Carbono.	142
Figura 6.64 Modelo de Ecosistema Tramo 4 de la subcuenca baja del río Mapocho en función del origen del carbono.....	143
Figura 6.65 Modelo de Ecosistema Tramo 5 de la subcuenca baja del río Mapocho en función del origen del carbono.....	144



Figura 6.66 Modelo de origen del Carbono y respiración en los ecosistemas lóticos del río Mapocho. ... 145

Figura 6.67 Relación niveles de oxígeno disuelto y los indicadores demanda biológica y química de oxígeno en el caudal del río Mapocho en Rinconada..... 147

Figura 6.68 Procesos de fotosíntesis y respiración y su relación con los niveles de OD Flujos y componentes de los ecosistemas del río Mapocho. Se muestran los flujos más relevantes de materia orgánica (en verde) y los flujos de oxígeno (en azul)..... 148

2 INTRODUCCIÓN

Los ríos a través del mundo han sufrido una larga historia de degradación por influencia humana directa e indirecta. La modificación de los cursos de agua ha sido una práctica muy amplia e intensiva, en la medida que los ríos han sido alineados por conveniencias para la agricultura, ayudar a la navegación, para lograr objetivos de ingeniería, disminución de inundaciones y drenaje, así como para objetivos agrícolas o trazado de caminos y vías férreas (Maddock, 1999), entre otros servicios que entregan.

El río Mapocho, correspondiente al principal curso de agua de la ciudad de Santiago (Chile), se encuentra en un estado modificado, después de siglos de uso de su curso de agua y áreas vecinas, asociadas fuertemente al desarrollo de Santiago. Este río forma parte estructural de la ciudad, y su uso para evacuar las aguas residuales domésticas y riles industriales, fue indispensable para Santiago. Sólo recientemente, se abordó el tratamiento de aguas servidas mediante la construcción y operación de plantas de tratamiento secundario.

La empresa Aguas Andinas S.A, heredera de la Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias (EMOS) ha desarrollado este sistema de tratamiento, con la construcción y operación de tres unidades (El Trebal, La Farfana, Planta Mapocho). En una secuencia temporal las plantas de tratamiento que han entrado en operación son las siguientes: i) Planta El Trebal (1999-2001); ii) Planta La Farfana (2001-2003); iii) Planta Mapocho (2009-2011). La principal estrategia llevada a cabo en el Mapocho ha sido de su saneamiento ambiental y el plan se llamó Mapocho Urbano Limpio (MUL).

El problema planteado por Aguas Andinas y que da origen al presente estudio, es incorporar la información existente desde hace varias décadas (datos) del río Mapocho, para el seguimiento de sus propiedades hidrológicas y sanitarias, y cuál sería la relación con los cambios que ocurren en los ecosistemas que se desarrollan en su eje longitudinal en el proceso de saneamiento de la cuenca, por un lado, valorando la información acumulada, y por otro, poniéndola al servicio del entendimiento del funcionamiento del río.

Según el párrafo anterior, los objetivos planteados en este estudio se enfocan en los ecosistemas del río Mapocho, sin embargo, no hay antecedentes bibliográficos sobre estudios ecosistémicos, ni comprensión del río Mapocho en esta disciplina.

Por esta razón, el presente estudio pretende responder y entender los cambios ecosistémicos que ha tenido el río, debido a los diferentes usos proporcionados, pero antes que todo, este estudio entrega una comprensión de los sistemas lóticos (ríos) mediante una aproximación multidisciplinaria y holística, que confiere una base conceptual para el análisis de numerosos problemas en ecología de ríos. El enfoque seleccionado facilitará la formulación de preguntas ecológicas sobre el río en distintas escalas espaciales y temporales.

Dicha aproximación propone la integración de jerarquías paralelas basadas en tres disciplinas: geomorfología, hidrología y ecología (y los ecosistemas se encuentran dentro de la jerarquía ecológica). La geomorfología, constituye una entidad básica para los ecosistemas fluviales, es la base física para los procesos ecosistémicos y provee el espacio físico, en la cual, las especies han evolucionado. Además, la geomorfología está en constante interacción con el régimen de caudal de los ríos. El caudal modifica los cauces de los ríos y a su vez la geomorfología limita la extensión física de éste. En este sentido, la jerarquía



hidrológica, es reconocida como una propiedad fundamental para los ecosistemas lóticos ya que, integra aspectos de la cuenca, la red hidrológica, la magnitud o volumen de agua. El nivel jerárquico ecológico, permite integrar los aspectos físicos y químicos de la naturaleza con la comunidad de organismos. Permite comprender, tanto la naturaleza de las interacciones entre lo biótico y lo abiótico, como también el área específica donde ocurren las interacciones ecológicas.

Es por esto, que este estudio se basa en la búsqueda de una aproximación interdisciplinaria que permita obtener una comprensión del río Mapocho desde el punto de vista ecológico y que considere la complejidad de relaciones que el río tiene con su cuenca, con la ciudad de Santiago, y en especial, la relevancia que tiene el tratamiento de aguas servidas domiciliarias como una medida de recuperación de los ecosistemas del río Mapocho.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Levantamiento de información relevante de los distintos componentes bióticos y no bióticos, que permitan caracterizar el ecosistema del río Mapocho, y luego de varias campañas, poder establecer los patrones de cambio del ecosistema estudiado. El aspecto fundamental es saber si la agregación de este conjunto de datos permite vislumbrar algún patrón que sirva de base al seguimiento de carácter ecosistémico.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis a escala local de aquellas perturbaciones con efecto a nivel geomorfológico a escala local, tal como, disposición de desechos sólidos, actividades extractivas o uso del fuego en ribera que puedan impactar a los ecosistemas del río Mapocho detectados en las últimas campañas.
- Realizar un muestreo y análisis del sedimento en la cuenca baja del río Mapocho.
- Realizar el monitoreo de los componentes bióticos en toda el área de estudio, considerando diferentes puntos de muestreo (microalgas e invertebrados bentónicos, peces y vegetación acuática) en diferentes puntos de muestreo del área de estudio (microalgas e invertebrados bentónicos, peces y vegetación acuática).
- Realizar el muestreo y análisis de los metales pesados bioacumulados en la biomasa vegetal en la cuenca baja del Río Mapocho.
- Realizar el levantamiento de información y análisis del régimen de caudal, sólidos en columna de agua de la Dirección General de Aguas (DGA) y régimen climático.
- Detectar cambios en los ecosistemas del río Mapocho asociados a la entrada en operación de las plantas de tratamiento de aguas servidas.
- Realizar el análisis de los resultados históricos generados en el monitoreo del caudal, de variables fisicoquímicas, y componentes biológico-ecológicos de aguas superficiales del Río Mapocho.
- Realizar un análisis integrado de los datos obtenidos de los distintos componentes de los ecosistemas, que permitan construir una base de datos para identificar y caracterizar los patrones de cambio (variables) de los “Ecosistemas del Río Mapocho”, que sirva de base para un seguimiento de carácter ecosistémico.

Si bien este informe tiene como objetivo principal seguir actualizando los componentes bióticos y abióticos compilados a nivel histórico, del ecosistema del río Mapocho con la información 2018; también pretende entregar una visión holística e interdisciplinaria del ecosistema, ya que la comprensión de la estructura y funcionamiento de éste requiere ciertamente la integración de jerarquías paralelas basadas en tres disciplinas principales de los sistemas fluviales, como la geomorfología, hidrología y ecología. La geomorfología, constituye una entidad básica para los ecosistemas fluviales, es la base física para los procesos ecosistémicos y provee el espacio físico, en la cual, las especies han evolucionado. Además, la geomorfología está en constante interacción con el régimen de caudal de los ríos. El caudal modifica los cauces de los ríos y a su vez la geomorfología limita la extensión física de éste. En este sentido, la jerarquía hidrológica, es reconocida como una propiedad fundamental para los ecosistemas lóticos ya que, integra aspectos de la cuenca, la red hidrológica, la magnitud o volumen de agua. Por último, el nivel jerárquico ecológico, permite integrar los aspectos físicos y químicos de la naturaleza con la comunidad de organismos.



Permite comprender, tanto la naturaleza de las interacciones entre lo biótico y lo abiótico, como también el área específica donde ocurren las interacciones ecológicas.

Sólo con la comprensión de esta información en estas tres jerarquías y disciplinas, se podrá en un futuro cercano reconocer aquellas variables que reflejen e indiquen cambios en los ecosistemas del río Mapocho. Lo importante es comprender que la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, está relacionado con la geomorfología e hidrología del lugar.

4 ÁREA DE ESTUDIO

El río Mapocho nace en el Cerro El Plomo de la cordillera de los Andes, de allí sigue fluyendo su cauce atravesando dieciséis comunas (Lo Barnechea, Vitacura, Las Condes, Providencia, Recoleta, Independencia, Santiago, Renca, Quinta Normal, Cerro Navia, Pudahuel, Maipú, Padre Hurtado, Peñaflor, Talagante y El Monte) hasta llegar al río Maipo, como su principal tributario. Es de régimen nivo-pluvial, en que predomina la influencia nival predomina principalmente la influencia de las nieves, sobre todo en el sector de correspondiente al nacimiento del río, pero también las lluvias aportan a su caudal. Los mayores caudales se observan entre noviembre y enero, mientras que los menores ocurren entre marzo y mayo. Su cauce tiene una longitud de 110 kilómetros (Km), pero abarca una extensión de 628 Km de ancho y una cuenca de 4230 kilómetros cuadrados.

4.1 Información física, química, hidrológica y biológica histórica

La información física, química, hidrológica y biológica generada en el río Mapocho comprende desde la estación fluviométrica Los Almendros hasta la confluencia con el río Maipo (Figura 4.1). Sin embargo, en los estudios desarrollados en los diferentes años, se han definidos sectores, en el eje longitudinal de río, diferentes en concordancia con las preguntas planteadas en cada caso. La Tabla 4.1 y Figura 4.1 presenta los diferentes sectores en el eje longitudinal del río donde se ha obtenida información geomorfología, hidrológica y/o ecológica entre los años 2003-2018.

Tabla 4.1 Localidades donde se ha levantado información geomorfológica, hidrológica y ecológica entre los años 2003 y 2018.

Localidad	Coordenadas UTM		Archivo / Período				
	E	S	2003	2004-2008	2009-2017	2013-2018	2018
Puente La Dehesa	359209	6307052					X
Puente Lo Curro	353792	6305599		X	X		X
Puente Suecia	350326	6301153		X	X		X
Desembocadura Canal San Carlos	-	-			X		
Puente Bulnes	344611	6300158		X	X		X
Puente Vespucio	334306	6301428			X		X
Estero Lampa	330087	6298696		X	X		X
Puente Mapocho	330666	6298708		X	X	X	X
Puente aguas debajo de PTAS La Farfana	331699	6293973	X	X	X	X	X
Puente Rinconada	330938	6291909		X	X	X	X
Puente Esperanza	328450	6286370	X	X	X		X
Puente Pelvin A	322866	6279868		X	X	X	X
Puente Pelvin B	322817	6279946		X	X	X	X
Puente Ferroviario A	320500	6273836		X			X
Mapocho Ferroviario Talagante	316950	6270952			X	X	
Puente Ferroviario B	316820	6271367		X	X	X	
Puente El Monte A	316358	6270652		X	X		
Puente El Monte A	316146	6271026				X	X
Puente El Monte B	316269	6270816		X	X	X	X
Zanjón en Pte. Pajaritos	-	-			X		
Puente Ruta 78	313311	6268764				X	X

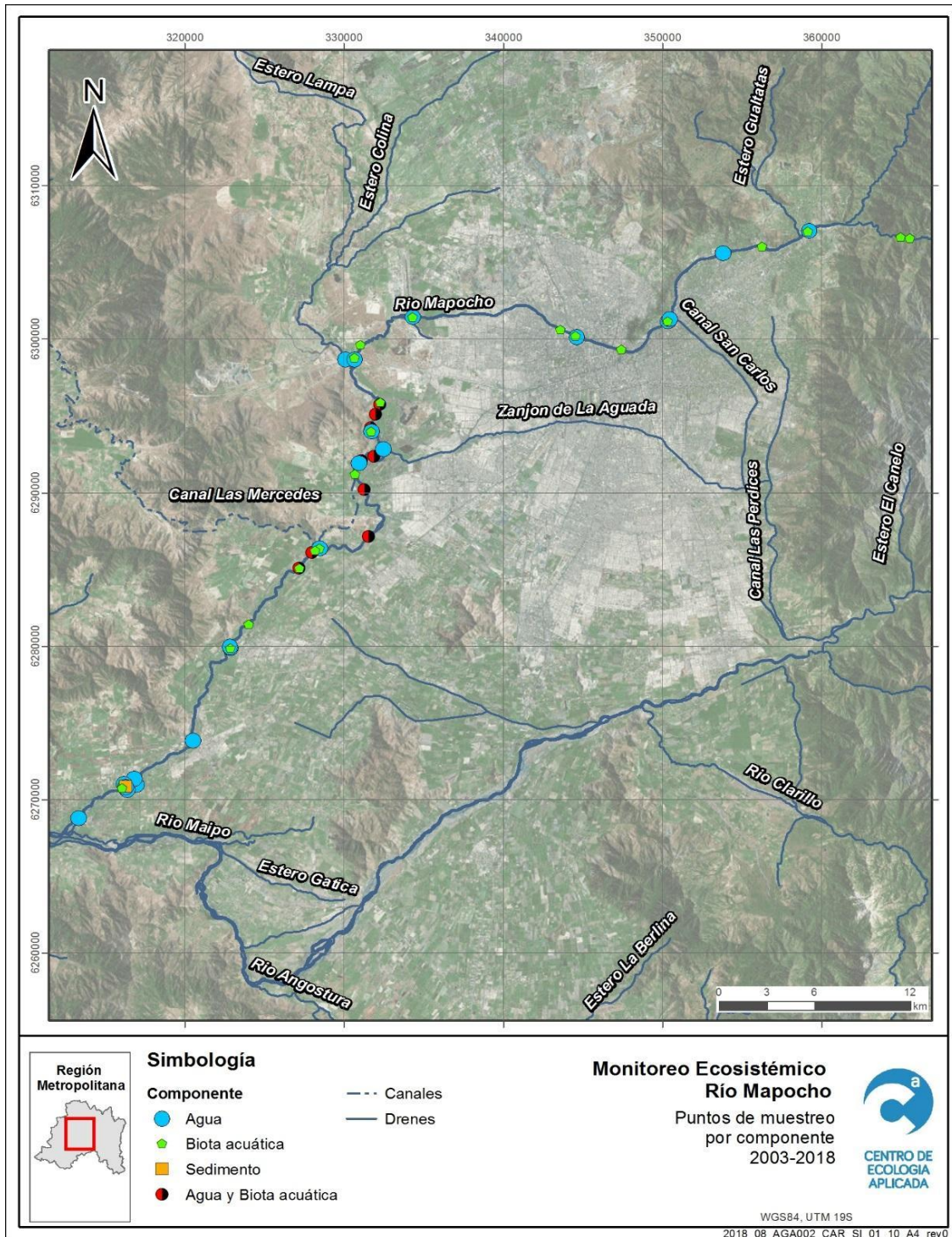


Figura 4.1 Cartografía del área de estudio, río Mapocho, que ilustra los sectores donde se ha obtenido información de diferentes disciplinas en el eje longitudinal del río, entre los años 2003-2018.



Figura 4.2 Río Mapocho en sus diferentes secciones a lo largo de su eje longitudinal.



Figura 4.3. Fotografías de cada punto de muestreo, correspondiente a la campaña de 2018

4 METODOLOGÍA

La metodología del presente estudio considera la: i) metodología para la ejecución del muestreo en los ecosistemas 2018; ii) revisión de estudios orientado a obtener información de interés ecosistémico; iii) ordenar los datos existentes apropiados para los análisis de los ecosistemas formando una base de datos; iv) elaborar una síntesis de antecedentes existentes para su análisis integrado; vi) seleccionar una base conceptual para un análisis interdisciplinario integrando datos e información preexistente obtenida con fines diversos, y aquella obtenida por estudios con un enfoque ecológico y ecosistémico del río Mapocho.

Los diseños de muestreo para la obtención de datos hidrológicos y de calidad de aguas en distintos estudios, se realizaron basados en la extensión geográfica del eje longitudinal del río y en una escala de tiempo mensual. Estas escalas espacio-temporales, supone que hay variaciones que están representadas por la muestra realizada en un día representativo del mes. Los datos hidrológicos en cambio se obtienen a partir de valores medidos diariamente. Mientras que las observaciones ecológicas, corresponden a una estación del ciclo anual y solamente en algunos puntos. La metodología busca ordenar los datos en la forma que fueron medidos, en sus escalas espacio-temporales de forma de poder analizarlos de acuerdo a modelos conceptuales de distintas naturaleza. De ahí, la importancia de la selección de una base conceptual, que permita valorizar los datos existentes y los futuros datos que se puedan obtener por los servicios públicos por Aguas Andinas en relación con el río y que sirve para los análisis ecológicos.

4.1 Información histórica 2003-2018

La información histórica existente correspondió principalmente a parámetros físicos y químicos (proporcionado por Aguas Andinas años 2003 - 2018), datos de caudales (1980-2018), precipitaciones (1980-2018). La información biológica ha sido generada solo en los años 2003, 2017 y 2018.

4.2 Muestreo del río Mapocho en 2018

El muestreo diseñado se realizó desde una perspectiva ecosistémica, considerando la presencia de grupos de organismos, y también la ocurrencia de perturbaciones de origen antrópico que permitan entregar una perspectiva ambiental. Las técnicas de muestreo de los grupos de organismos y las mediciones de variables de la magnitud del caudal, variables físicas y químicas son las mismas que se emplean en los estudios de calidad de agua y mediciones in situ.

El levantamiento de la información de los componentes bióticos y abióticos de los puntos de muestreos propuestos se efectuaron entre el 15 y 18 de octubre de 2018. Los parámetros evaluados fueron variables fisicoquímicas (pH, oxígeno disuelto, conductividad, salinidad, saturación de oxígeno, temperatura), sedimentos, perifiton, flora ribereña, macrozoobentos, peces, anfibios, reptiles y aves.

4.2.1 Área de Estudio

El monitoreo ecosistémico se realizó en la cuenca del Río Mapocho localizado en la Región Metropolitana. Se consideraron 9 puntos de muestreo ubicados desde el sector Los Almendros hasta el puente El Monte. Estos puntos se encuentran asociados a tres grandes áreas del río Mapocho que describen el ecosistema río Mapocho: la primera zona desde su nacimiento hasta la descarga del canal San Carlos; la segunda es la

“zona urbana” del río; y la tercera que corresponde a la zona donde el río abandona la ciudad y se desarrolla hasta la confluencia con el río Maipo.

Se consideraron 9 puntos de muestreo en el área de estudio, los cuales se muestran en la Tabla 4.1 y en la Figura 4.1. Además, en la tabla se muestran las componentes muestreadas en cada punto de muestreo.

Tabla 4.1 Coordenadas de puntos de muestreo

Punto	UTM - WGS 84 - Zona 19H		Descripción	In-situ	Biota acuática	Fauna íctica	Sedimentos	Biomasa vegetal
	Este	Norte						
AGA-1	364.987	6.306.667	Los Almendros	X	X	X		
AGA-2	359.158	6.307.028	Puente La Dehesa	X	X	X		
AGA-3	344.544	6.300.212	Parque fluvial Renato Poblete	X	X	X		
AGA-4	334.306	6.301.428	Puente Av. Vespucio Norte	X	X	X		
AGA-5	330.653	6.298.791	Puente río Mapocho	X	X	X		
AGA-6	331.699	6.293.973	Puente aguas abajo Planta La Farfana	X	X	X		
AGA-7	328.464	6.286.359	Puente Esperanza	X	X	X		
AGA-8	322.866	6.279.868	Puente Pelvin	X	X	X		
AGA-9	316.249	6.270.835	Puente El Monte	x	X	X	X	X

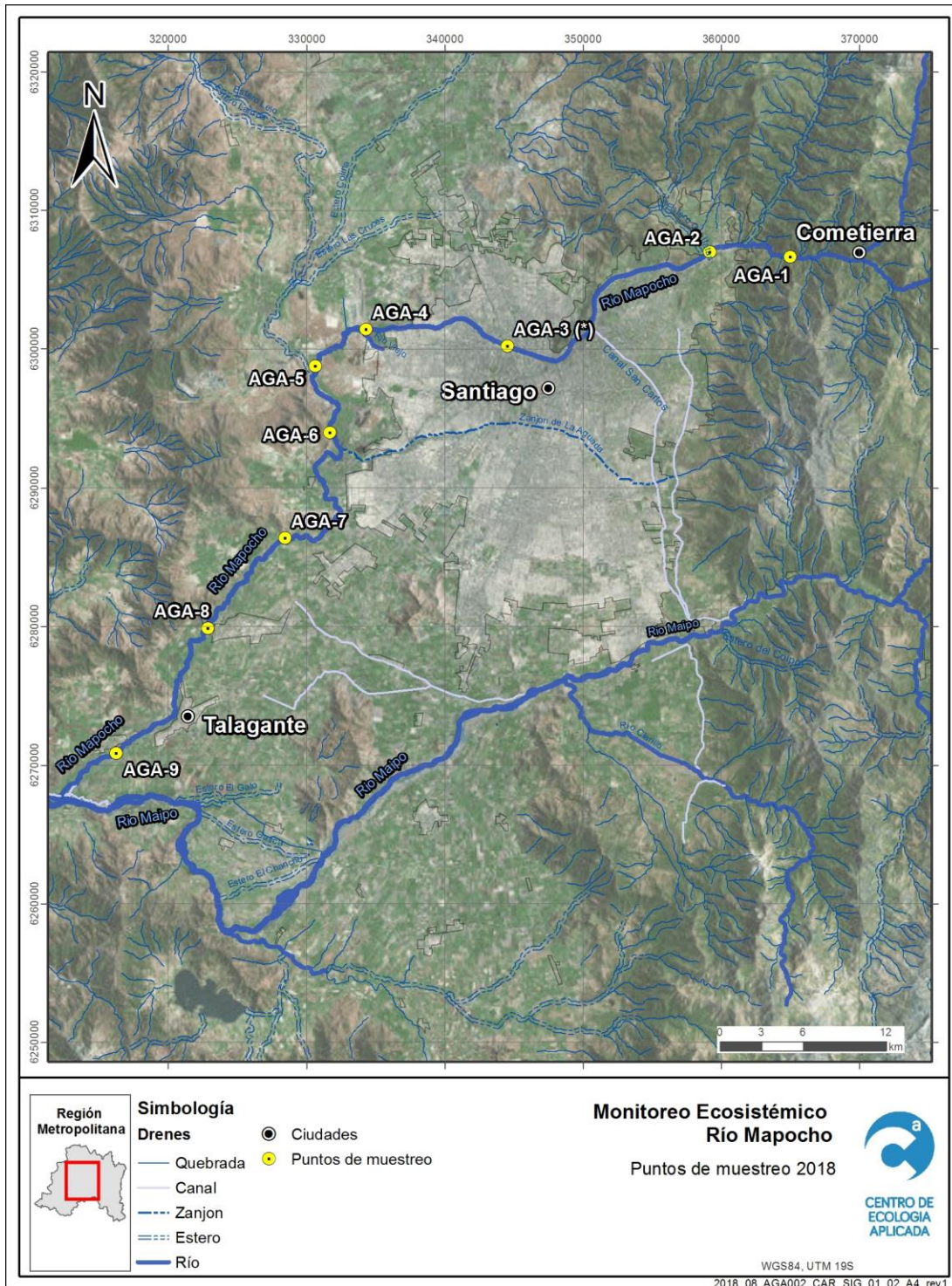


Figura 4.1 Puntos de Muestreo Monitoreo Ecosistémico río Mapocho 2018, para componentes bióticos y abióticos.

4.2.2 Metodologías de muestreo

4.2.2.1 Variables in-situ y características de los puntos de muestreo

Se realizó una caracterización general del hábitat de cada una de las estaciones de muestreo, para lo cual se utilizó el modelo de ficha descriptiva y se midieron parámetros in-situ de calidad de agua con una maleta multiparamétrica. El hábitat incorpora todos los constituyentes tanto físicos como químicos, los que son reflejados finalmente en la comunidad biológica. Descripciones generales de cada uno de los sitios, caracterizaciones físicas, evaluaciones de la calidad del agua y evaluación visual del cuerpo de agua y mediciones cuantitativas proveen una descripción integrada de varios de los factores que están influenciando la condición biológica del sistema. Los grupos de variables definidas en la ficha de hábitat corresponden a las siguientes:

- Condiciones climáticas
- Características de la cuenca
- Uso de suelo
- Posibles fuentes de contaminación
- Erosión local
- Vegetación
- Características del sistema acuático

Adicionalmente, se realizaron mediciones de los componentes de mayor relevancia, tales como: tipo de sustrato, velocidad de corriente, profundidad y ancho del cauce, entre otras.

Además del hábitat físico, se considera una caracterización de la calidad de agua en los distintos sitios evaluados. La Tabla 4.2 presenta los parámetros a evaluar y la metodología analítica.

Tabla 4.2 Parámetros in-situ y su respectivo método de análisis en aguas.

Parámetros in situ	Metodología
CE y Salinidad	PTL-24, procedimiento de determinación de CE-salinidad basado en el manual del equipo multiparamétrico P4 y Multi 340i y según Standard Methods, Ed 21 (2005). Método 2510 B.
pH	PTL-22, procedimiento de determinación de pH basado en el manual del equipo multiparamétrico P4 y Multi 340i y según Standard Methods, Ed 21 (2005). Método 4500-H+ B.
Oxígeno disuelto y saturación de oxígeno	PTL-23, procedimiento de determinación de oxígeno disuelto basado en el manual del equipo multiparamétrico P4 y Multi 340i y según Standard Methods, Ed 21 (2005). Método 4500-O G.
Temperatura	PTL-26, procedimiento de determinación de temperatura basado en el manual del equipo multiparamétrico P4 y Multi 340i y según Standard Methods, Ed 21 (2005). Método 2520 B.

4.2.2.2 *Composición y Abundancia Organismos de Componentes Bióticos*

Los ecosistemas lóticos por su alto dinamismo, dado por la velocidad del caudal y los cambios de este en el tiempo, son difíciles de describir en términos de abundancia de los organismos. En este estudio, la caracterización de los componentes bióticos se realizó en función de la composición y riqueza de especies tanto espacialmente como temporalmente en los momentos en que se realiza el muestreo en terreno.

Estas propiedades se muestrearon para los siguientes componentes bióticos de los ecosistemas: vegetación ripariana, macrófitas, fitobentos, macroinvertebrados, peces, aves acuáticas y riparianas, y otros grupos de organismos que pueden ser observados en los lugares de muestreo (anfibios y mamíferos). Los microorganismos no son descritos, ya que en el modelo corresponden a coliformes fecales y otros bacterias.

4.2.2.2.1 Flora ribereña

En cada punto de muestreo se determinó la abundancia (% cobertura) y la riqueza de macrófitas, utilizando como criterio de identificación la propuesta de Hauenstein (2006) y Vila *et al.* (2006). De esto modo, se consideró como: Hidrófilas, aquellas que dependen directamente del agua; y Helófitas, aquellas que mantienen las raíces dentro del agua, pero con la mayor parte del cuerpo vegetativo fuera del agua. La cobertura de las plantas acuáticas se calculó mediante transectos de 5 m distribuidos perpendicularmente a la ribera. Se registró la presencia de especies, proyectando cada 25 cm una línea perpendicular al transecto de manera similar a lo establecido por la metodología Point quadrat. Cuando el ancho del curso de agua fue inferior a 5 m se realizó un segundo transecto, a 50 centímetros del primer transecto (Müeller-Dombois y Ellenberg, 1974).

4.2.2.2.2 Perifiton

Las muestras de fitobentos se recolectaron en duplicado desde superficies sumergidas en el agua constantemente, mediante raspado de una superficie de 2 cm². Las muestras fueron fijadas con lugol al 10% y trasladadas al laboratorio en contenedores aislados a temperatura controlada para su posterior análisis. Las muestras serán analizadas mediante microscopía y de acuerdo con el método de recuentos de células o colonias en Cámara Sedgwick-Rafter. La estimación de la composición y abundancia de la flora bentónica fue realizada mediante análisis cualitativos y cuantitativos de las diatomeas, componente principal en comunidades bentónicas. Los resultados se entregaron en células por centímetro cuadrado (cél·cm⁻²) a partir del volumen total colectado y el área de muestreo.

4.2.2.2.3 Macrozoobentos

De cada punto de muestreo se obtuvieron dos muestras mediante red surber de 0,09 m² con malla de apertura de 250 µm. La estimación de la composición y abundancia de la fauna bentónica se realizó mediante el recuento directo por grupo de organismos. El método de análisis consistió en examinar cualitativa y cuantitativamente las muestras bajo una lupa, separando la totalidad de los organismos, clasificándolos y contándolos. Los resultados de abundancia se expresaron en ind·m⁻².

4.2.2.2.4 Peces

Conocer la comunidad íctica presente en un sistema acuático implica, necesariamente, realizar un muestreo que permita caracterizar los diferentes tipos de mesohábitats (rápido, tabla y pozón) y microhábitats (sustrato inorgánico, troncos, macrófitas, etc.) presentes en un punto o tramo determinado, asegurando de esta manera la representatividad del muestreo. Así, en cada punto de muestreo se realizaron actividades de pesca con el objeto de reconocer la composición, estructura y distribución de la ictiofauna allí presente. En este caso, las colectas de peces se efectuaron mediante el arte de Pesca Eléctrica, el cual contempla el uso de un equipo portátil Samus, modelo 725G y dos chinguillos, con el cual se capturó todos los ejemplares presentes en un área de 100 m² barrido en una de las riberas de los sistemas evaluados, por un periodo de 20 minutos de esfuerzo de pesca.

4.2.2.2.5 Anfibios y reptiles

El monitoreo de anfibios y reptiles se realizó mediante transectos pedestres de 200 m de largo y 6 m de ancho (1.200 m² de superficie), registrando individuos presentes a 3 m, a ambos lados de la línea de proyección (CONAMA 1996). La identificación de anfibios y reptiles se realizó principalmente mediante la observación directa de los individuos en cada punto de muestreo, y por un período de tiempo de al menos 30 minutos, se recorrieron los ambientes asociados al cuerpo de agua dentro del transecto, removiendo plantas acuáticas y piedras, guardando precaución de que la búsqueda no generará una perturbación en el hábitat muestreado. Para el caso de los anfibios se registró la presencia de larvas (renacuajos), juveniles y adultos. En caso de captura de los ejemplares, se siguen las recomendaciones del “Protocolo para el control de enfermedades infecciosas en Anfibios durante estudios de campo” (Lobos *et al.*, 2011).

4.2.2.2.6 Aves

Se identificaron y cuantificaron las aves acuáticas y terrestres. En cada punto de muestreo, se realizó un conteo de las especies observadas en un transecto de 200 metros de longitud, en los cuales se registraron los individuos presentes a 25 metros de la ribera del río Mapocho (dentro de lo posible y dependiendo de la accesibilidad), mediante el uso de binoculares 12x50. Complementariamente, se identificó mediante el canto de los ejemplares, las aves que se encontraban en el campo visual del transecto. De forma paralela, en cada punto de muestreo se buscó cualquier evidencia indirecta de presencia de ejemplares de este grupo, tales como plumas, fecas, huellas, perchas, egagrópilas y nidos. En caso de no poder recorrer la ribera, se accedió a un punto alto y se barrió visualmente un radio de 100 metros. Se entregará información de los ambientes detectados y las especies que lo constituyen.

4.2.2.2.7 Mamíferos

El monitoreo de mamífero se realizó mediante transectos pedestres de 200 m de largo y 6 m de ancho (1.200 m² de superficie), registrando individuos presentes a 3 m, a ambos lados de la línea de proyección (CONAMA 1996).

4.2.2.3 Nivel de metales en biomasa vegetal

En el sector Puente El Monte (2018) se colectaron muestras de biomasa vegetal (vegetación ribereña y macrófitas) para analizar la concentración de ciertos metales (plomo, cobre, cromo y zinc). Las muestras de vegetación fueron divididas en parte aérea y raíz, para evaluar el comportamiento de ambas secciones en cuanto a la acumulación de metales.

4.2.2.4 Nivel de metales en sedimento

Para conocer el contenido de metales en los sedimentos de la parte baja del río, se realizó el muestreo de sedimento en el punto del Puente El Monte. La toma de muestras y preservación se efectuó de acuerdo con lo establecido por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA-AWWA-WEF, 2005).

4.2.2.5 Perturbaciones en las riberas del río Mapocho

Esta información se refiere solamente a aquellas perturbaciones recientes que se pueden observar directamente mediante imágenes satelitales o de mayor resolución como las obtenidas por vuelos especiales de un dron. Para recopilar información y catastrar las intervenciones directas e indirectas al ecosistema del río Mapocho, se realizó un recorrido terrestre por toda la ribera del río Mapocho, identificando aquellas intervenciones directas o indirectas en el río (CEA,2018). También se realizaron encuestas a lugareños que se encontraron en las inmediaciones del río mientras se realizaban cada uno de los muestreos químicos o biológicos. Las preguntas fueron generales, solicitando solo información si conocen algún tipo de descarga o intervención sobre el río. La información levantada en terreno fue sistematizada en tablas registrando su ubicación geográfica (WGS84), altitud, fuente de origen, tipo de descarga, si la intervención es permanente o temporal. Se incluyen fotografías, en lo posible, de todas las intervenciones detectadas en el sistema.

Por otra parte, a lo largo del eje longitudinal se realizó un muestreo utilizando tecnologías de alta resolución espacial, para evaluar la existencia de perturbaciones recientes, especialmente la disposición de residuos sólidos, proceso ejecutado en general por particulares en forma ilegal. También con el objeto de establecer la existencia de áreas de extracción de árido para la construcción y que es autorizada por los Municipios ribereños y la Dirección de Obras Hidráulicas.

4.3 Revisión de Estudios del río Mapocho

Se buscó información en diferentes textos digitales que pueda ser integrada con los datos que se han obtenido en los estudios ecosistémicos del río Mapocho. En detalle se revisaron los siguientes estudios:

- “Impacto de la Planta de Tratamiento La Farfana en la Restauración del río Mapocho: caracterización ecosistémica (2003)”, (Universidad de Chile, 2003);
- Tres visiones sobre el río Mapocho (Katz et al., 2009);
- Prospección de elementos trazas en recursos agrícolas de Chile. II Aguas Superficiales de los valles Maipo y Mapocho (González, 1991).
- Río Mapocho, características hidrológicas v/s proyectos Mapocho navegable (Acuña, 2000-08).
- El corredor fluvial del Mapocho como recurso multifacético: avances y retrocesos en las concepciones y acciones de un siglo (Pávez, 2008).

- Diagnóstico y análisis del efecto de la planta de tratamiento de La Farfana y otras obras en la condición ecológica del río Mapocho (CEA, 2018).

4.4 Base de datos

Se realizó una ordenación de datos e información existente sobre el río Mapocho, que se relaciona con la comprensión de este como sistema ecológico, incorporando los principales tipos de datos. Se incluye información obtenida por estudios específicos o seguimientos de instituciones del estado como la DGA. La información de seguimientos relacionados a las obras de infraestructura sanitaria y los seguimientos de parámetros incluidos en resoluciones de calificación ambiental o acuerdos voluntarios fue proporcionada por Aguas Andinas. Estos datos fueron organizados asignando coordenadas geográficas a cada punto de monitoreo (ID Punto), incluyendo las fechas de muestreo y el valor de los parámetros medidos desde enero de 2004 a junio 2018. Se elaboró una base de datos para toda la información recabada, incluyendo: calidad fisicoquímica de las aguas, valores de caudal medio mensual y precipitaciones medio mensuales.

4.4.1 Precipitaciones (1980-2018)

Los datos de precipitación media mensual (mm) también se obtuvieron de la base de datos de la DGA, considerando 17 estaciones meteorológicas situadas en la cuenca del río Mapocho o comunas aledañas. Al igual que el registro de caudal, los valores de precipitación media mensual se consideran desde el año 1980 a 2018 (Tabla 4.3, Figura 4.2). Los datos considerados para el tratamiento de datos corresponden a las estaciones meteorológicas de las estaciones Río Mapocho en Los Almendros y Fundo Marruecos, los cuales serían representativos de la subcuenca alta y baja, respectivamente. Los datos seleccionados corresponden al periodo 1988 a 2018.

Tabla 4.3 Nombre y ubicación geográfica (UTM) de estaciones Meteorológicas (Fuente, DGA) con registro de precipitación media mensual (mm).

N°	Nombre estación Meteorológica DGA (mm)	Código BNA	Coordenada N	Coordenada E
1	Río San Francisco antes junta estero Yerba Loca	05721016-8	6313676	373641
2	Esteros Yerba Loca antes junta San Francisco	05721001-K	6309689	373072
3	Río Molina antes junta San Francisco	05720001-4	6306419	370094
4	Esteros Arrayán en la Montosa	05722001-5	6311298	364171
5	Río Mapocho en los Almendros	05722002-3	6306679	365020
6	Cerro Calán	05730012-4	6303869	357078
7	Quebrada Ramón en recinto EMOS	05730008-6	6299663	359226
8	Terraza oficinas centrales DGA	05730016-7	6297768	347173
9	Antupiren	05730013-2	6292612	359149
10	Quebrada de Macul	05730039-6	6292012	359320
11	Fundo Marruecos	05737008-4	6285653	330811
12	Mallarauco	05745001-0	6283364	304935
13	El Vergel	05717008-5	6269904	321707
14	Melipilla	05740005-6	6271128	296069

N°	Nombre estación Meteorológica DGA (mm)	Código BNA	Coordenada N	Coordenada E
15	Carmen de las Rosas	05740004-8	6262366	300173
16	Estero Puangue en ruta 78	05746001-6	6272931	283302
17	Los Guindos	05747001-1	6247706	293453

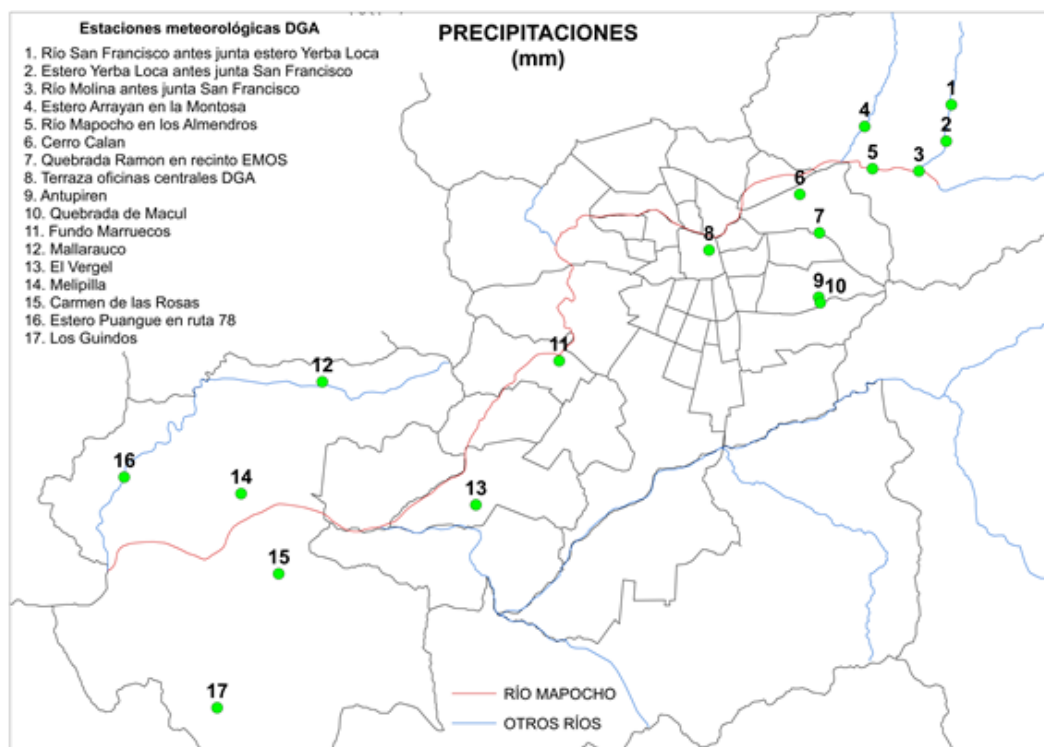


Figura 4.2 Ubicación de las estaciones Meteorológicas con registro de precipitación media mensual (mm).

4.4.2 Caudal en la red hidrológica

El caudal es una de las variables más importantes en los estudios ecológicos de los ríos y la información de su dinámica es muy relevante. La información sobre el caudal medio mensual (m^3/s) del río Mapocho y sus tributarios, se obtuvo desde la base de datos de la DGA considerando 13 estaciones fluviométricas (Tabla 4.4, Figura 4.3). El registro de caudal medio mensual considera los valores reportados desde el año 1980 a 2018, aunque el análisis de los resultados se realizó para el periodo 1988 a 2018.

La estación los Almendros, que corresponde a la subcuenca Alta del Mapocho y la estación Rinconada de Maipú, que corresponde a la subcuenca Baja. Los tiempos de registro son diferentes, en el caso de Los Almendros el registro tiene aproximadamente 30 años, en cambio en el caso de Rinconada superan los 50 años. Se ha determinado usar los datos de caudal medio mensual como base de los análisis para integrar de interpretación de los datos (más escasos) de los componentes bióticos. Los datos de estos componentes

cuando se analizan en un contexto jerarquizado permiten explorar la existencia de patrones de variación espacio temporales.

Desde la perspectiva del estudio, en acuerdo a la extensión del eje longitudinal del río definida en la propuesta, hay solamente dos estaciones fluviométricas, Los Almendros en la subcuenca alta y Rinconada de Maipú en la subcuenca baja. Ambas se asumen como representativas de cada una de las subcuencas. Estas estaciones tienen una serie de variables medidas en forma más sistemáticas y que facilitan la visualización de patrones temporales en los datos.

Tabla 4.4 Nombre y ubicación geográfica (UTM) de estaciones Fluviométricas, con monitoreo de caudal medio mensual (m^3/s) a lo largo del río Mapocho.

	Nombre estación Fluviométrica (DGA)	Código BNA	Coordenada S	Coordenada E
1	Río San Francisco antes junta estero Yerba Loca	05721016-8	6313676	373641
2	Esteros Yerba Loca antes junta San Francisco	05721001-K	6309689	373072
3	Río Molina antes junta San Francisco	05720001-4	6306419	370094
4	Esteros Arrayán en la Montosa	05722001-5	6311298	364171
5	Río Mapocho en los Almendros	05722002-3	6306679	365020
6	Río Colorado antes junta Río Olivares	05705001-2	6293457	394337
7	Río Olivares antes junta Río Colorado	05706001-8	6293240	394343
8	Río Maipo en el Manzano	05710001-K	6281633	372019
9	Río Volcán en Queltehues	05702001-6	6258289	387971
10	Quebrada Ramón en recinto Aguas Andinas	05730008-6	6299663	359226
11	Canal San Carlos en desembocadura Río Mapocho	05730003-5	6301401	350598
12	Río Mapocho Rinconada de Maipú	05737002-5	6291804	331049
13	Esteros Puangue en ruta 78	05746001-6	6272931	283302

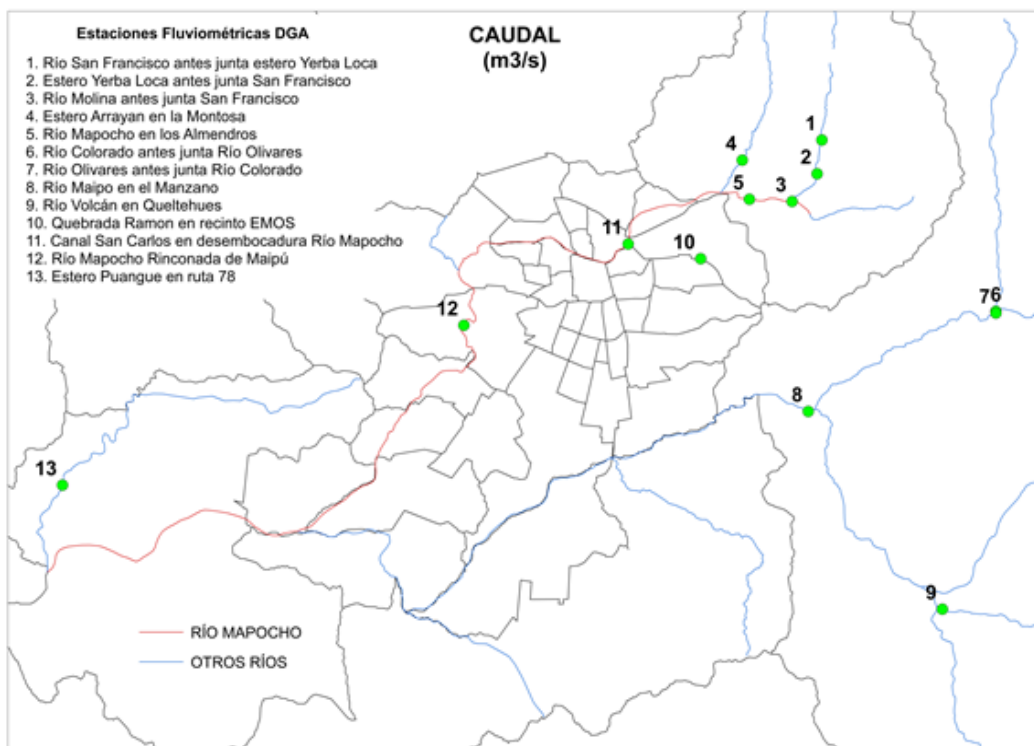


Figura 4.3 Ubicación de las estaciones Fluviométricas con registro de caudal medio mensual (m³/s).

4.4.3 Propiedades Físicoquímicas y Bacteriológicas del Caudal, período 2003- 2018.

Las variables con más información espacial y temporal son las correspondientes a variables físicas, químicas y bacteriológicas con mediciones obtenidas del caudal de agua. Se revisaron estos datos correspondientes a 21 estaciones de monitoreo de calidad del agua superficial del río Mapocho, desde el año 2003 a 2018 (Tabla 4.5). La información fue proporcionada por Aguas Andinas. Para complementar esta información, se revisaron los parámetros fisicoquímicos disponibles en la Dirección General de Aguas (DGA) en sectores comparables a la data histórica (Tabla 4.6). En la que se indica el nombre y la ubicación geográfica de las estaciones monitoreadas por Aguas Andinas y en las estaciones monitoreadas por la DGA. El monitoreo se ha realizado en diferentes puntos a lo largo del eje longitudinal del río, en diferentes periodos y parámetros. En la Tabla 4.7 se muestran los 31 parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos considerados para la sistematización de todos los datos. Para finalizar, se elaboró un mapa base con la ubicación de todas las estaciones de monitoreo de calidad de agua disponibles para la sistematización de datos fisicoquímicos y bacteriológicos del período estudiado (2003-2018) (Figura 4.4). La subcuenca baja del Mapocho tiene muchos más puntos de muestreo definidos en distintos estudios.

Tabla 4.5 Nombre y ubicación geográfica (UTM) de las estaciones de monitoreo de calidad del agua superficial por período muestreado a lo largo del río Mapocho.

Archivo / Período			Coordenadas UTM		ID Punto
2004-2008	2009-2018	Octubre 2018 (CEA)	E	S	
		Los Almendros	364987	6306667	AGA-1
-	-	Puente La Dehesa	359209	6307052	MAA-1 / AGA-2
Puente Lo Curro	Mapocho en Pte. Lo Curro		353792	6305599	MAA-2
Puente Suecia	Mapocho en Pte. Suecia		350326	6301153	MAA-3
-	Desem. Canal San Carlos	-	-	-	MAA-4
Puente Panamericana	Mapocho en Pte. Panamericana		344611	6300158	MAA-5
		Parque Fluvial Renato Poblete	344544	6300212	AGA-3
	Mapocho en Pte. A.Vespucio (Aeropuerto)	Puente Vespucio	334306	6301428	MAA-6 / AGA-4
Puente Pudahuel	Estero Lampa antes desem. al Río Mapocho		330087	6298696	MAA-7
Puente Mapocho Ruta 68	Mapocho en Ruta 68	Puente Mapocho	330666	6298708	MAA-8 / AGA-5
Farfana	Mapocho Aguas Abajo Planta Farfana	Puente aguas abajo Planta La Farfana	331699	6293973	MAA-9 / AGA-6
Rinconada de Maipú	Mapocho en Rinconada de Maipu		330938	6291909	MAA-10
Puente Esperanza B	Mapocho en Pte. Esperanza (Mezcla 2 brazos del Río)	Puente Esperanza	328450	6286370	MAA-11 / AGA-7
Puente Pelvin A	Mapocho en Pte. Pelvin A	Puente Pelvin A	322866	6279868	MAA-12 / AGA-8
Puente Pelvin B	Mapocho en Pte. Pelvin B		322817	6279946	MAA-13
Puente Ferroviario A	-		320500	6273836	MAA-14
-	Mapocho en Pte. Ferroviario Talagante A		316950	6270952	MAA-15
Puente Ferroviario B	Mapocho en Pte. Ferroviario Talagante B		316820	6271367	MAA-16
Puente El Monte A	Puente El Monte A		316358	6270652	MAA-17
-	-	Puente El Monte A	316146	6271026	MAA-18
Puente El Monte B	Puente El Monte B	Puente El Monte	316269	6270816	MAA-19 / AGA-9
-	Zanjón en Pte. Pajaritos	-	-	-	MAA-20
-	-	Puente Ruta 78	313311	6268764	MAA-21

Tabla 4.6 Nombre y ubicación geográfica (UTM) de las estaciones de Calidad Química del agua del río Mapocho, monitoreadas por la DGA.

Nombre de estación de Calidad Química (DGA)	Código BNA	Coordenada N	Coordenada E
Río Mapocho en los Almendros	05722002-3	6306679	365020
Río Mapocho en Pte. Pudahuel	05730011-6	6298767	330928
Río Mapocho Rinconada de Maipú	05737002-5	6291804	331049
Río Mapocho en el Monte	05737005-K	6271394	316955

Tabla 4.7 Parámetros Físicoquímicos y Bacteriológicos del río Mapocho por período muestreado. Los parámetros boro, cadmio, mercurio, níquel y plomo fueron muestreados sólo en el año 2003, bajo el marco del estudio realizado por Aguas Andinas.

Parámetro	Período muestreado
Aluminio	2009-2018
Arsénico	2003-2013-2018
Alcalinidad	2009-2018
Bicarbonatos	2009-2011
Calcio	2009-2018
Cobre	2003-2009-2018
Coliformes Fecales	2004-2018
Coliformes Totales	2009-2018
Conductividad eléctrica	2009-2018
Cloruros	2009-2018
DBO	2004-2018
DQO	2009-2018
Fósforo Total	2003-2009-2018
Fluoruros	2013-2018
Grasas y Aceites	2004-2018
Hierro	2018
Magnesio	2009-2018
Manganeso	2009-2018
Molibdeno	2013-2018
Nitrato	2004-2018
Nitrito	2013-2018
Nitrógeno Kjeldahl	2003-2004-2018
Oxígeno Disuelto	2004-2018
Potasio	2009-2018
pH	2011-2018
Sodio	2009-2018
Sólidos suspendidos totales	2004-2018
Sulfatos	2004-2018
Temperatura	2011-2018
Turbiedad	2009-2018
Zinc	2003- 2013-2018

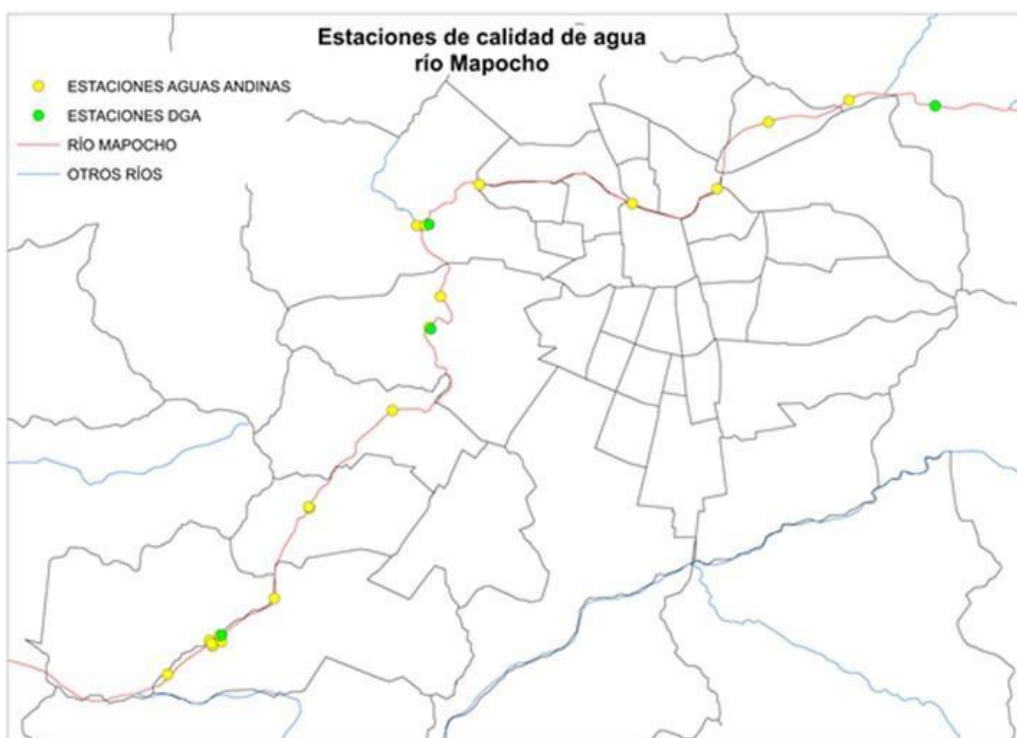


Figura 4.4 Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de agua proporcionado por Aguas Andinas y estaciones vigentes de la DGA.

4.4.4 Tipo de Sustrato y Características de Sedimentos

Las observaciones de sedimentos (sustrato), están formados por un conjunto de datos muy reducidos, de tipo puntual en espacio y tiempo. Los sedimentos forman parte de la descripción de las características de los ríos dado que reflejan procesos de contaminación, así como de procesos hidrodinámicos de cambios que permiten la sedimentación del material en suspensión. El tipo de sustrato es generalmente considerado como parte de la descripción del hábitat de organismos, dado que es una variable relevante para peces, macroinvertebrados y fitobentos. Desde el punto de vista de los ecosistemas representa una entidad física donde se desarrollan los organismos.

4.4.5 Datos Ecológicos

Los datos ecológicos, incluyen la información sobre los componentes abióticos y bióticos recabados a la fecha, más la información que está siendo utilizada para el estudio ecosistémico del río Mapocho y los datos que se han podido recuperar de estudios anteriores. Cada uno de estos datos fueron utilizados para realizar el análisis ecosistémico. Los componentes como el caudal y las propiedades físicas y químicas se midieron en diferentes formas y oportunidades (espacio y tiempo), sin integrar datos ecológicos. También se realizaron mediciones de los sedimentos desde el punto de vista del tamaño de las partículas, así como de

las propiedades químicas y la presencia de materiales contaminantes, sin integrar los componentes biológicos.

4.4.5.1 Componentes de los ecosistemas

En la Tabla 4.8 se indican cada componente del ecosistema, de los cuales se han obtenido muestras en distintas fechas. Los datos de los componentes bióticos de los ecosistemas se obtuvieron en función del eje longitudinal del río. En el caso del estudio de 2003, se describen para el sector mencionado como Mapocho poniente (Serey et al 2003).

Tabla 4.8 Antecedentes sobre componentes abióticos y bióticos para los ecosistemas obtenidos entre los años 2003 y 2018 en el río Mapocho.

	AÑOS			
	2003	2003-2018	2017	2018
Componentes Abióticos				
Caudal				
Magnitud	✓	✓	✓	✓
Propiedades Físicas y Químicas del caudal	✓	✓	✓	✓
Sedimentos químicos	✓		✓	✓
Componentes Bióticos				
Perifiton/Fitobentos	✓		✓	✓
Macrófitas	✓		✓	✓
Vegetación ripariana	✓		✓	✓
Microorganismos	✓		✓	✓
Macroinvertebrados	✓		✓	✓
Peces	✓		✓	✓
Aves acuáticas y riparianas			✓	✓
Metales en biomasa vegetal				✓
Perturbaciones			✓	✓

Los datos del estudio de 2003 fueron obtenidos con una perspectiva exploratoria y más cualitativa (presencia de especies) que los muestreos realizados en los años 2017 y 2018 donde se ha evaluado la abundancia de distintos grupos de organismos. Las técnicas de muestreo usadas fueron estándares en todos los estudios y son propias de los grupos de organismos a definidos a muestrear como componentes bióticos de los ecosistemas.

5 BASE CONCEPTUAL DEL TRABAJO

Los datos que son de interés para un estudio ecosistémico se presentan en una amplia escala de tiempo o frecuencias de observaciones, en distintas áreas o espacios considerados por los estudios o mediciones, así como de diferentes temáticas ecológicas y distintos niveles de resolución de los problemas, y formas de resolver las preguntas por parte de los investigadores o de los ejecutores de los estudios. Esto hace necesario proveer una base conceptual más explícita para integrar en un análisis los datos existentes. También la base conceptual seleccionada debe permitir diseñar un monitoreo ecosistémico requerido por los tomadores de decisión, entregar la posibilidad de dar respuesta a una amplia gama de preguntas, con limitaciones en los datos y de la manera más integrada posible.

5.1 Escalas Espacio-Temporales

Una característica de los sistemas lóticos es su alta heterogeneidad espacio-temporal. Esta heterogeneidad se manifiesta como vías interactivas a lo largo de cuatro dimensiones (Ward, 1989). La dimensión longitudinal integra las uniones aguas arriba y aguas abajo. Los intercambios de energía y materia entre el canal del río y el sistema de planicies de inundación/zona ripariana ocurren a lo largo de la dimensión lateral. La dimensión vertical, tiene un componente lateral hipogeo e incorpora las interacciones entre el canal del río y el agua del subsuelo contigua Figura 5.1. En el caso de la secuencia de eventos de crecidas e inundaciones, la dimensión temporal define la variación estacional de los ríos y cursos de agua (Poff et al. 1997). La variación estacional, está relacionada con la predictibilidad de los eventos de inundación, y actúa como una restricción para la historia de vida de muchos organismos acuáticos.

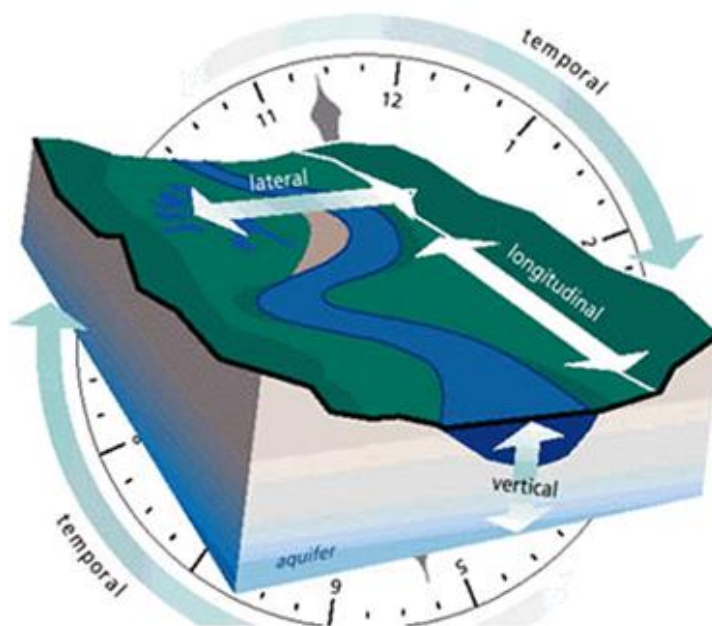


Figura 5.1 Representación de la naturaleza tetradimensional de los ecosistemas lóticos (basado en Ward 1989).

Por otra parte, el conocimiento ecológico del río Mapocho, es reciente y se basa en estudios especiales realizados principalmente por interés de Aguas Andinas. No obstante, existe una serie de información hidrológica y de calidad del agua, que se han obtenido en forma separada para el cumplimiento de normativas sanitarias y ambientales.

El diseño debe considerar un enfoque interdisciplinario, con los conceptos de jerarquía asociadas a las disciplinas y explicitando las escalas espaciales y temporales (las cuatro dimensiones de los ecosistemas lóticos según Ward, 2008). No obstante, lo anterior, en el espacio se enfatiza la dimensión longitudinal, se obtiene información de la dimensión lateral, pero no se incluyó la dimensión vertical.

También es necesario destacar la importancia del nivel de resolución en el espacio, tiempo y desde un punto de vista ecológico. Hay que recordar que escala se refiere a unidades de medidas y no es una propiedad de los objetos de estudio. La combinación de estos aspectos representados en la Figura 5.2 sugiere que no podemos, a partir de un monitoreo particular, responder todas las preguntas que quisiéramos. Pero debemos definir el ámbito de las preguntas que nos gustaría responder. De esta manera diseñar un seguimiento que pueda ser integrado en el tiempo y espacio, que sea robusto y permita maximizar el uso de los datos que se obtengan.

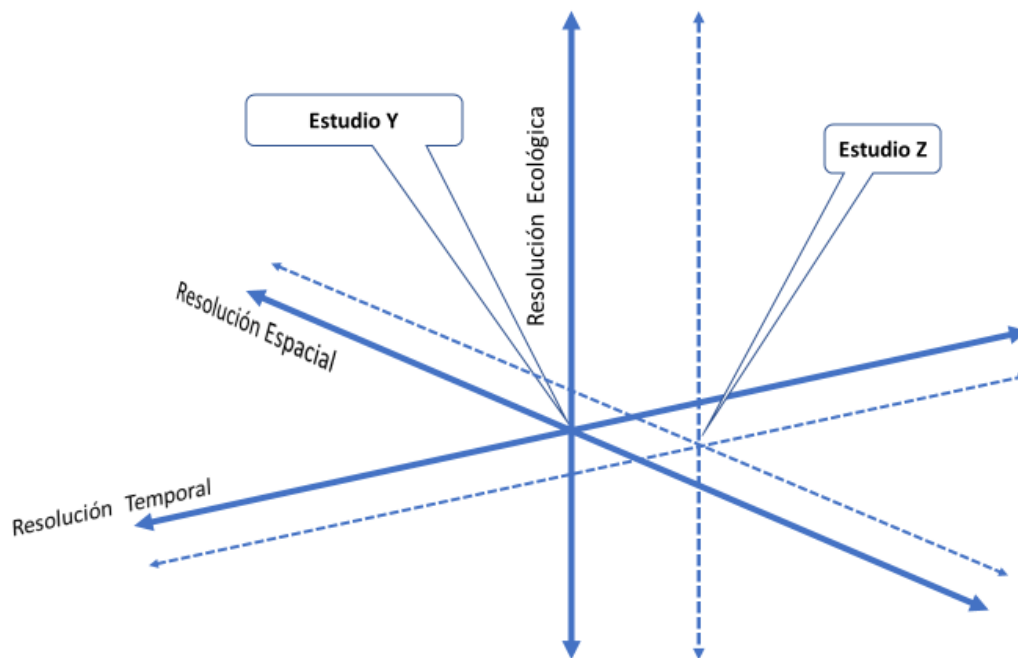


Figura 5.2 Ejes que deben ser considerados en los estudios de ecología (Modificado de Bissonette and Storch 2007). Los estudios Y y Z definen sus propios niveles de resolución, como ocurre tácitamente cuando se responde a una pregunta.

Es importante destacar que el eje resolución espacial de la Figura 5.2 se expresan en el modelo de Ward (1989) como las dimensiones vertical, lateral y longitudinal, pero que no enfatizan la resolución espacial

propriadamente tal. El cuarto eje del modelo tetradimensional (Ward 1989) refiere al tiempo, pero tampoco indica una unidad de medida específica. El modelo de Bissonette & Storch (2007), en cambio se refiere a niveles de resolución espaciales o temporales, asociadas inseparablemente del nivel resolución ecológico que se requiere o desea estudiar. Son aspectos complementarios, a considerar en el diseño del muestreo ecosistémico.

5.2 Selección de la Base Conceptual

La toma de decisiones de las entidades, ya sean autoridades - estatales como privadas-, habitualmente requieren información compleja de los ríos, que se refleja en preguntas de muy distintos tipos. Ecológicamente, formulan preguntas que pertenecen a distintas escalas espaciales o temporales, ya sea presencia de especies, poblaciones de organismos indicadores, comunidades o ecosistemas. Esto plantea desafíos importantes, porque requieren marcos conceptuales diferentes e interdisciplinarios que son poco usados, para entregar respuestas a esas preguntas. Muchos estudios tratan de responderlas, pero tampoco entregan de forma explícita el enfoque que se elige para el desarrollo de las respuestas. En este se hace un esfuerzo por seleccionar un enfoque que permita responder de una mejor forma preguntas ecológicas, en distintos niveles sobre una base interdisciplinaria. Para lograr ese objetivo, se ha seleccionado un enfoque jerárquico y que simultáneamente tenga una base interdisciplinaria.

5.2.1 Jerarquías

Este trabajo se desarrolló bajo el concepto de organización jerárquica en los estudios ecológicos, propuesto primariamente por Allen & Hoesktra (1982) y que es aplicada conceptualmente al estudio de los ecosistemas por O'Neill, et al., 1989. Esta teoría jerárquica ha sido usada ampliamente en ecología y hemos seleccionado una aproximación reciente interdisciplinaria y que está diseñada para ecosistemas fluviales (Dollar *et al* 2007) (Figura 5.3). La importancia de esta teoría de jerarquía es que ella considera un conjunto de conceptos que facilitan una aproximación interdisciplinaria y holística que brinda mejoras sustanciales a la interpretación de los datos que existen sobre el río Mapocho.

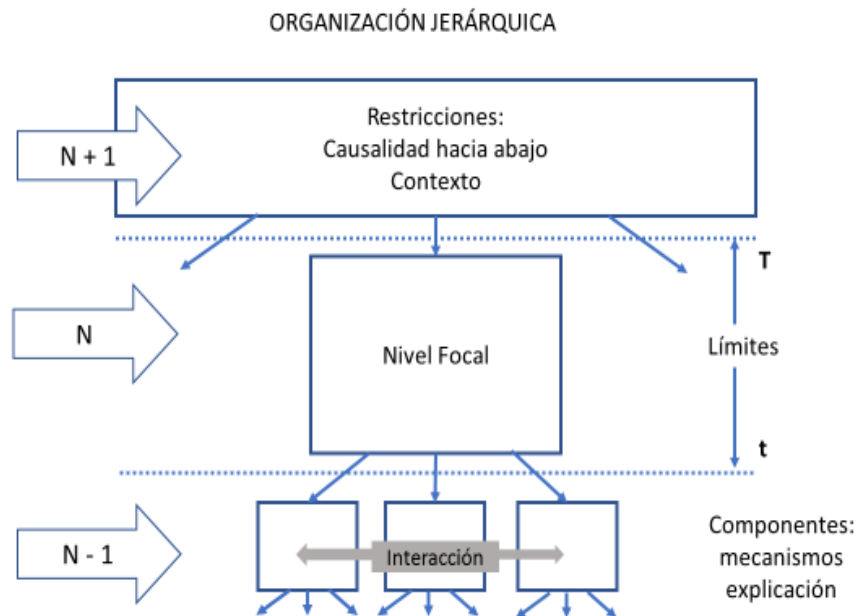


Figura 5.3 Organización jerárquica del enfoque interdisciplinario del análisis, donde el nivel focal N es explicado por los procesos en el nivel N-1 y controlado por los procesos ocurriendo en el nivel N+1. (Modificado de Bissonet & Storch, 2007).

5.2.2 Marco teórico para la comprensión interdisciplinaria de los ríos como ecosistemas.

El enfoque conceptual elegido se centra en el estudio interdisciplinario de los ecosistemas fluviales, desarrollado por Dollar *et al.*, 2007. La proposición de los autores mencionados permite comprender y gestionar el comportamiento de los ríos como ecosistemas desde una perspectiva holística e interdisciplinaria. La proposición indicada, es de interés ya que facilita el pensamiento interdisciplinario, porque los paradigmas disciplinarios pierden su utilidad en el área interdisciplinaria. Los enfoques conceptuales son herramientas útiles con las cuales ordenamos fenómenos y materiales, revelando así patrones y procesos en la naturaleza. El enfoque seleccionado propone incluir jerarquías paralelas en geomorfología, hidrología y ecología de ríos con diferentes elementos organizativos y niveles de organización para cada disciplina. Asigna escalas espaciales y temporales a cada nivel de organización para las diferentes jerarquías de las disciplinas, mediante las cuales diferentes partes pueden distinguirse por frecuencias distintas de ocurrencia y/o tasas de cambio. El enfoque se aplica describiendo primero los niveles de organización relevantes que caracterizan a los diferentes subsistemas del sistema fluvial, en el contexto del problema que se aborda. A esto le sigue la identificación de variables y escalas adecuadas dentro de los diferentes niveles de organización, las interacciones entre los niveles y los efectos de retroalimentación.

5.2.3 Enfoque Eco-hidro-geomorfológico

5.2.3.1 Jerarquías Geomorfológica e Hidrológica

Ecológicamente la comprensión de los ríos ha avanzado y se ha desarrollado una aproximación multidisciplinaria y holística (Dollar *et al.* 2007), que entrega una base conceptual para el análisis de preguntas ecológicas sobre estos sistemas (Figura 5.4). Esta aproximación propone la integración de jerarquías paralelas basadas en tres disciplinas: geomorfología, hidrología y ecología, cada una de ellas con distintos elementos organizacionales y niveles para cada disciplina (Thoms y Parsons 2002; Vaughan *et al.* 2009). La geomorfología es básica para la biodiversidad y el funcionamiento ecosistémico ya que el patrón de los canales provee hábitats para la biota y la base física para los procesos ecosistémicos (Elosegi *et al.* 2010). Esto significa integrar aspectos de la cuenca, la red hidrológica como la magnitud o volumen del régimen del caudal con los niveles de organización en ecología. El objetivo de este enfoque es unir las descripciones de la forma del río (en el contexto de un problema particular) con los procesos fluviales apropiados de tal forma que el fenómeno pueda ser explicado en escalas espaciales y temporales apropiadas (Dollar *et al.* 2007).



Figura 5.4 Descripción Jerárquica de los niveles de organización que caracterizan los subsistemas geomorfológico, hidrológico y ecológico de un río. En amarillo los niveles seleccionados para el análisis de los datos existentes para el río Mapocho. Fuente: Modificado de Dollar *et al.* 2007.

Las tres jerarquías solamente pueden ser integradas para resolver un problema particular o específico después de un escalamiento apropiado de las estructuras organizacionales respectivas, por lo tanto, produciendo jerarquías escaladas (Dollar *et al.* 2007). En nuestro caso, el análisis estará centrado en la

jerarquía ecológica y focalizado en el nivel ecosistema, pero también puede considerar los niveles comunidad, especies.

La asignación del agua del río se ha transformado en el objetivo clave del manejo para sostener los ecosistemas naturales, para rehabilitar ríos degradados por sobre extracción o regulación del caudal, y para proteger la biodiversidad, a nivel mundial. El manejo de los caudales ambientales frecuentemente está relacionado con la pregunta: ¿Qué cantidad de agua se requiere para conservar y proteger la función del río? Desde una perspectiva geomorfológica, la asignación de agua se requiere para mantener la estructura y función de hechos físicos naturales de los canales del río (Thoms y Sheldon, 2002). Desde la perspectiva biológica, la asignación de agua es requerida para mantener los individuos, poblaciones, comunidades y procesos ecosistémicos. Sin embargo, una aproximación interdisciplinaria, ve la asignación ambiental de agua en un contexto espacial y temporal que considera las uniones claves entre geomorfología, hidrología y ecología, y reconoce las restricciones desde los niveles altos e influencias desde los niveles bajos en la jerarquía organizacional, que puede venir desde variados procesos ambientales e institucionales. De lo anterior, la base de trabajo cambia desde un foco de asignación de agua que es orientado a una única especie, dentro de un contexto disciplinario, a uno que considera múltiples interacciones entre biota, estructura física y procesos hidrológicos (Dollar *et al.* 2007).

Para este estudio, la elección de los niveles en cada una de las jerarquías indicadas se ha hecho en función de la disponibilidad de información existente, sobre el río Mapocho. En el caso de la jerarquía geomorfológica, se seleccionó la cuenca de drenaje, como el nivel relevante, el caudal en la jerarquía hidrológica (volumen o magnitud); y ecosistema en la jerarquía ecológica, nivel de interés para responder distintas clases de preguntas por Aguas Andinas.

Es importante destacar que las jerarquías dentro de las disciplinas propuestas por Dollar *et al.* (2007) no son los únicos modelos de jerarquías que se existen en cada una de las disciplinas incluidas, sino que es la elección que han hecho los autores en su propuesta de un marco de trabajo interdisciplinario.

A continuación, se indican los niveles focales más importantes seleccionados para el análisis del río Mapocho, relacionando las jerarquías geomorfológica e hidrológica con la jerarquía ecológica, que permitan responder distintas preguntas sobre el río.

5.2.3.1.1 Cuenca, Subcuenca y Red Hidrológica.

Una cuenca es un área drenada por un único sistema de cursos de agua naturales y es delimitada por la línea divisoria de las cumbres. Una red hidrológica es un conjunto de cursos de agua superficiales permanentes e intermitentes, que confluyen a un punto, es decir pertenecen a la misma cuenca de drenaje. Ecológicamente la red hidrológica interactúa con la dinámica de perturbaciones de la cuenca tales como incendios, tormentas e inundaciones para imponer una organización espacio-temporal y una distribución no uniforme de los ambientes ribereños, con consecuencias para la diversidad biológica y los ecosistemas (Benda *et al.* 2004).

La red hidrológica de una cuenca o subcuenca tiene una serie de tributarios donde, por definición, el tributario es el más pequeño de los dos cursos de agua que se interceptan, y el más grande corresponde al curso principal. Los sectores donde ocurren las confluencias presentan una mayor heterogeneidad de los atributos físicos y químicos en el curso del río. Una confluencia, estrictamente hablando, está definida como

el punto donde dos cursos de agua se encuentran. Un ejemplo es que la confluencia de canales produce cambios abruptos en los flujos de sedimentos y agua, desencadenando cambios morfológicos en las planicies de inundación que determinan modificaciones en las condiciones de hábitat para los organismos, es decir genera heterogeneidad ambiental (Benda *et al.* 2004) (Figura 5.5).

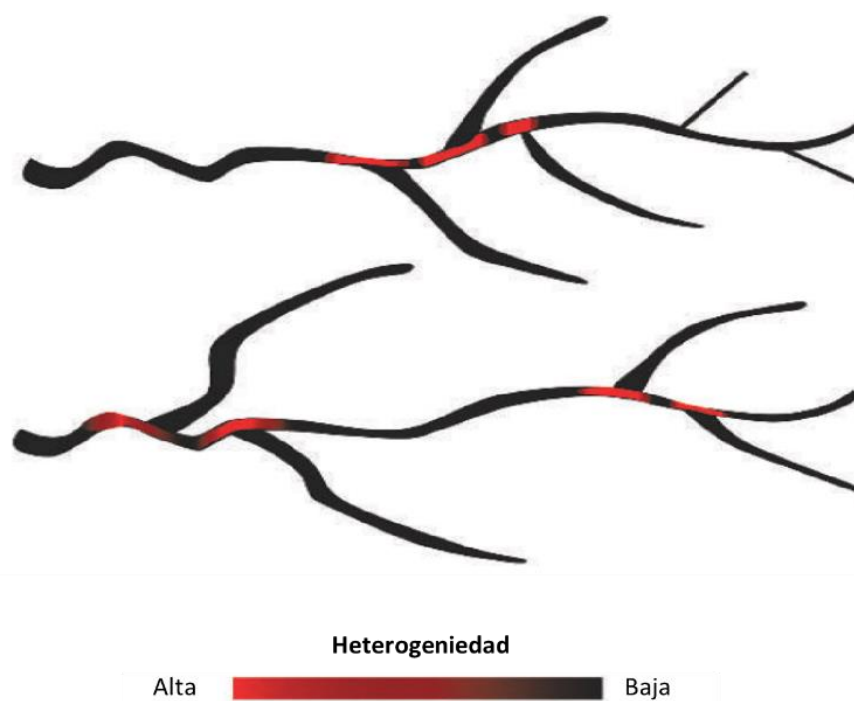


Figura 5.5 Heterogeneidad en la red producida por la confluencia de los cursos de agua. Fuente: modificado de Benda *et al.* 2004.

Los hidrólogos han destacado que la mayor parte del agua que ingresa a un curso superficial ha estado en contacto por un tiempo con el suelo, y esto ocurre para una parte importante del agua que escurre superficialmente. También está claro que la pendiente del valle, la permeabilidad y la profundidad del suelo, los patrones de precipitación afectan fuertemente los patrones del caudal del curso de agua, que es un factor ecológico principal, y más sutilmente ellos afectan el contenido de materiales disueltos del agua. La acción del agua es muy importante sobre las pendientes, antes de ingresar a canales definidos, y la carga de materiales suspendidos y disueltos de un río, es en gran medida, una función de las condiciones geológicas, biológicas y meteorológicas de toda la cuenca (Hynes 1975). Así, las características de la cuenca y las subcuencas son importantes para entender los aspectos funcionales del río.

5.2.3.1.2 Tramos

En la jerarquía geomorfológica se reconocen distintas unidades, entre ellas podemos considerar el “tramo”, que pueden ser modificadas por la intervención antrópica. Este nivel geomorfológico es importante, aunque no se indiquen explícitamente, porque varios seguimientos que han sido realizados corresponden a este

nivel jerárquico. La definición requiere de observaciones en terreno, de forma que los tramos que se identifican se indican más adelante en los resultados.

El concepto hidrológico de tramo es interesante de considerar en el análisis de los ecosistemas lóticos y en nuestro caso, para el análisis de la información existente para algunos de algunos de los componentes de los ecosistemas. Un tramo se define como la distancia entre dos puntos específicos delineando un segmento de un curso de agua o río, para el cual se pueden aplicar los pronósticos. Este generalmente aplica a la distancia sobre y bajo el punto de predicción para el cual es válida la predicción (NOAA). También, es definido como una sección del curso de un río que presenta condiciones hidrológicas similares, tales como descarga, profundidad, área y pendiente. Este también puede ser la longitud de un curso de agua (con condiciones variables), entre dos fluviómetros, o la longitud del río para el que las características están bien descritas por la lectura de única estación fluviométrica (USGS).

En el estudio del río Mapocho, se definieron 5 tramos (Tramo 1: Los Almendros; Tramo 2: Puente San Enrique/Canal San Carlos; Tramo 3: Canal San Carlos/ Parque Fluvial Renato Poblete; Tramo 4: Parque Fluvial Renato Poblete/Puente Esperanza; Tramo 5: Puente Esperanza/Confluencia río Maipo), cuyos criterios de clasificación son descritos en el capítulo de Resultados.

5.2.3.1.3 Regulación del Río y Perturbaciones

Un gran número de ríos se encuentran regulados en su caudal para uso humano. Este hecho es de gran importancia y debe ser considerado en el análisis de los ecosistemas. El río Mapocho, es un río regulado desde hace más de un siglo y ha sido objeto de numerosas modificaciones a su caudal natural con el objeto de distribuir las aguas. Por otra parte, ha servido de vía de evacuación de aguas servidas no tratadas, hasta comienzos del siglo XXI.

- Canalización: El desarrollo de la ciudad de Santiago, ocupando ambos lados del curso del río Mapocho y la construcción de riberas artificializadas para uso urbano, han modificado fuertemente la ribera del río, con distintas infraestructuras hidráulicas y en distintas épocas históricas que necesariamente influyen en la distribución, composición y funcionamiento de los ecosistemas lóticos.
- Ocupación de Riberas: El uso de la tierra, en el sentido lateral y longitudinal del río, es variable y experimenta cambios importantes en el curso del tiempo. Hay uso urbano, de distinto tipo y diferentes momentos del desarrollo de las ciudades.

5.2.3.1.4 Caudal, sedimento y sustrato

a) Régimen del Caudal

El manejo del agua a menudo ha fallado en reconocer que el principio científico fundamental en los sistemas de aguas corrientes depende largamente de su carácter dinámico, y así del volumen o magnitud del caudal, la calidad del agua y la integridad ecológica de los ríos (Poff *et al.*, 1997).

Desde el punto de vista ecosistémico, el agua se puede observar como un medio donde se desarrollan los organismos y que tiene una dinámica que se expresa en el desplazamiento o caudal. Este aspecto dinámico del componente agua de los ecosistemas lóticos, está descrito como el patrón o “régimen del caudal

natural” en el análisis de los ecosistemas (Poff *et al.*, 1997). El “régimen del caudal natural” define y organiza los ecosistemas ribereños; en los ríos, la estructura física del ambiente, y así el hábitat (para los organismos) es definido fuertemente por procesos físicos, especialmente el movimiento del agua y los sedimentos dentro del canal y entre los canales y la planicie de inundación. Para comprender la biodiversidad, producción y sustentabilidad de los ecosistemas ríos, es necesario apreciar el rol central de organización que juega un ambiente físico, dinámicamente variable. El hábitat físico de un río incluye, canales, morfología de las planicies de inundación, el tamaño de los sedimentos y otros hechos geomorfológicos (Poff *et al.*, 1997).

El caudal natural de un río se puede analizar en distintas escalas de tiempo: horas, días, estaciones del año, años; y en periodos más largos. Se requieren muchos años de observación desde estaciones fluviométricas para describir los patrones característicos del caudal, secuencia, variabilidad, es decir el régimen natural del caudal (Poff, 1997) (Figura 5.6).

En nuestro análisis se considera especialmente la magnitud o volumen del caudal, que es la variable principal, en el largo plazo, de los cuales se dispone de datos en las estaciones Los Almendros en la subcuenca alta y Rinconada de Maipú en la subcuenca baja.

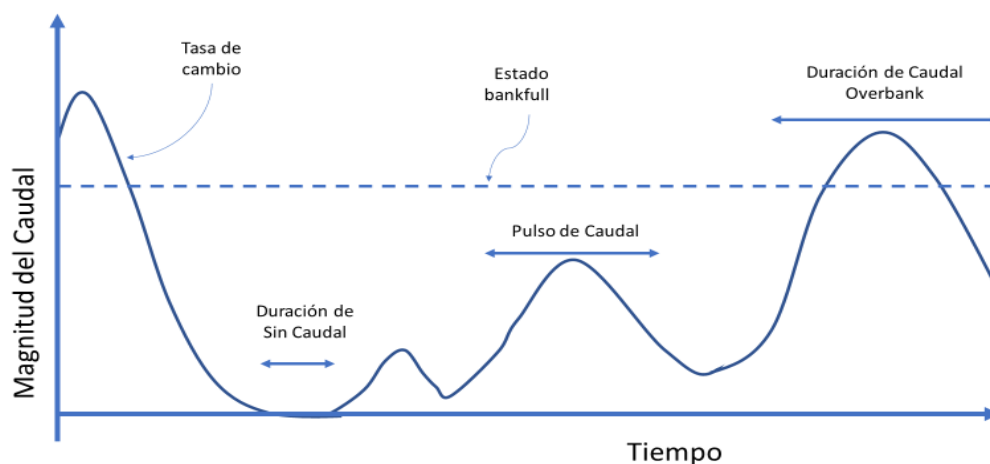


Figura 5.6 Componentes del régimen del caudal considerados ecológicamente importantes. Fuente: modificado de Walker *et al.*, 1995 y McGregor *et al.*, 2011.

b) Propiedades Físico - Químicas del Agua

Tradicionalmente, los análisis relacionados al uso del agua respecto de calidad química tienen una gran relevancia para la sociedad. En el caso del río Mapocho se dispone de una gran cantidad de información de una serie de propiedades como pH, turbidez, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos, nutrientes como nitrógeno, fósforo y iones como el sulfato entre otros, oxígeno disuelto, DBO y DQO. Ecológicamente, ese conjunto de propiedades medidas en los cursos de agua, también son fundamentales en la comprensión de la distribución de la biota, ya que forman parte del hábitat de los

organismos del mismo modo que el caudal, y también son importantes entender los procesos que se analizan en el funcionamiento ecosistémico.

c) Sustrato y Sedimentos

Los sedimentos, corresponden al nivel de partículas en la jerarquía geomorfológica y tienen importancia en los aspectos funcionales del río y forman parte de los análisis hidrológicos. Son también relevantes en la estructuración de los procesos ecosistémicos, ya que se asocian a material particulado orgánico y en los ríos urbanos se asocian con el transporte y acumulación de metales pesados en las partículas de sedimento, que liberados a la columna de agua pueden ser nocivos para los organismos, en los aspectos geomorfológicos de los ríos. Las propiedades físicas y químicas de los sedimentos también se consideran de relevancia para los organismos y para los procesos ecosistémicos como los flujos de carbono.

5.2.3.2 Jerarquía Ecológica

5.2.3.2.1 Concepto de Ecosistema

Una de las dificultades del concepto desde el punto de vista biológico, es que la definición propuesta por Tansley 1935 define ecosistema como “el sistema total, (en el sentido de la física) incluyendo no solamente el complejo de organismos, sino también el complejo de factores físicos, formando eso que nosotros denominamos el ambiente del bioma, los factores del hábitat en sentido más amplio”. Aunque los organismos pueden reclamar nuestro interés primario, cuando tratamos de pensar fundamentalmente, nosotros no podemos separarlos desde su ambiente especial, con el cual forman un sistema físico (Tansley 1935). Esto significa que la entidad de estudio posee partes constitutivas que no son biológicas, no son organismos. Por otra parte, cuando consideramos el enfoque interdisciplinario, algunos de los aspectos de este concepto, quedan incluidos también en las jerarquías geomorfológica e hidrológica, propuesta como base de trabajo.

Este nivel fue seleccionado para estudiar el río desde el punto de vista ecológico, y requiere ser precisado en su uso específico en el contexto de este estudio, siguiendo la idea central en ecología. Frecuentemente en los estudios ambientales, el concepto de ecosistemas es considerado como una metáfora (Pickett y Cadenasso 2002), como un contexto del análisis. En este estudio se usa una aproximación más cercana a la original de Tansley (1935), y del enfoque de significado propuesto por Pickett y Cadenasso (2002).

Debido a que Tansley deseaba enfatizar las uniones entre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema, eligió un término desde la física “sistema” que iluminara las interacciones. La potencia de la definición articulada por Tansley (1935) que es aplicable a cualquier caso donde procesos físicos y biológicos interactúan en alguna manera especial. Un aspecto de interés es el desarrollo de modelos orientados a la diversidad. El foco de esta área incluye riqueza de especies, identidad de las especies, especies claves, grupos funcionales y reglas de unión en procesos ecosistémicos. El objetivo de ese tipo modelos es aclarar el rol de distintos tipos de diversidad biológica en la función ecosistémica (Pickett y Cadenasso, 2002).

Siguiendo la idea de Tansley, se ha definido ecosistema como “una comunidad biótica o ensamblaje y su ambiente físico asociado en un lugar específico” (Pickett y Cadenasso, 2002). A continuación, se presenta un modelo conceptual de las interacciones ecosistémicas (Figura 5.7).

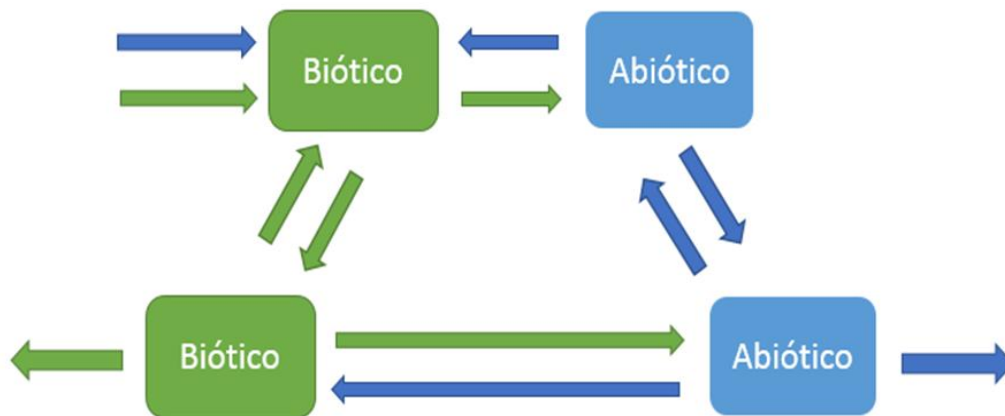


Figura 5.7 Modelo Conceptual de un Ecosistema. Se indican los componentes abióticos y bióticos, las flechas indican interacciones ecosistémicas.

Dentro de la jerarquía ecológica los componentes abióticos, reconocidos como principales en los ecosistemas fluviales, se encuentran el caudal y los sedimentos, con sus propiedades físicas y químicas. Estos componentes también son incluidos desde otras perspectivas en las jerarquías geomorfológicas e hidrológicas. No obstante, en nuestro análisis a nivel de ecosistema en la jerarquía ecológica, el caudal y sedimentos con sus propiedades fisicoquímicas, están incluidos en el concepto de ecosistema.

5.2.3.2.2 El nivel Ecosistema en la Jerarquía Ecológica

En el análisis, si bien se consideran las jerarquías geomorfológica e hidrológica, enfatiza necesariamente la jerarquía ecológica, dado que el estudio se hace desde una perspectiva ecosistémica, que corresponde a un nivel de la jerarquía ecológica propuesta en el modelo Eco-hidro-geomorfológico (Dollar *et al* 2007).

Una vez elegido el nivel de ecosistema, de acuerdo con el concepto de jerarquía, abstrayéndose de las otras jerarquías, y para facilitar el análisis, observaremos solamente la jerarquía ecológica. En nuestro caso el nivel focal N es el ecosistema, el nivel N - 1, corresponde a los componentes del ecosistema, tanto bióticos como abióticos. El nivel N + 1, corresponde al de paisaje ribereño (Figura 5.8).

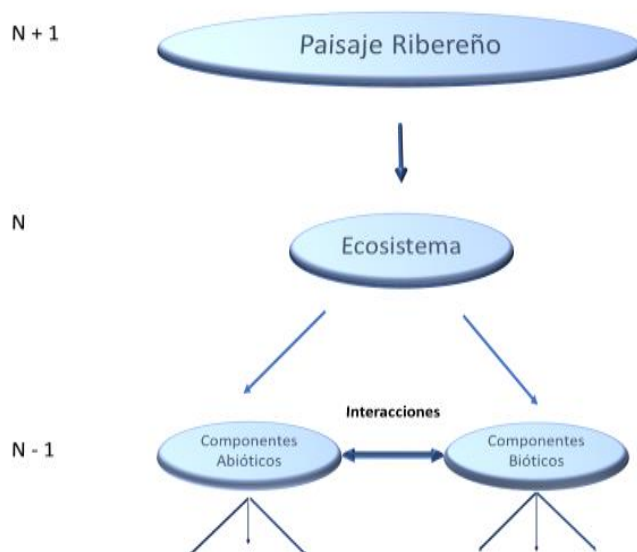


Figura 5.8 Modelo de focalización jerárquica de los ecosistemas para el río Mapocho.

La focalización en el nivel de ecosistema es compleja, dado que como se ha planteado por O’Neill et al 1989, los ecosistemas pueden considerarse jerarquías duales, uno centrado en organismos (aproximación poblacional-comunitaria) y otra en las funciones (aproximación proceso-funcional). En este estudio, cuando desarrollamos los análisis de diversidad (riqueza, abundancia) se hace desde la perspectiva poblacional-comunitaria; mientras que cuando se describen propiedades relacionadas a la luz, fotosíntesis, respiración, niveles de oxígeno, carbono, lo hacemos desde una perspectiva proceso-funcional, aunque ambas se encuentran fuertemente relacionadas.

5.2.3.3 *Análisis Funcional*

5.2.3.3.1 Caudal y Propiedades fisicoquímicas

El caudal tiene una importancia reconocida en el funcionamiento ecosistémico de los ríos, sin embargo, en los estudios, los análisis de las propiedades físico - químicas del agua, son descritas en forma independiente de otras variables y están orientada a mostrar sus cambios temporales. En nuestro caso, dado la gran cantidad de datos existentes, se realizó un análisis de los cambios de las variables en función de los niveles de caudales medios de un mes, con el valor medido de las variables físico y químicas en ese mes. Así, tenemos una nube de puntos entre el valor de la variable y el valor de caudal medio mensual, independiente del tiempo. Los análisis se centran en dos estaciones donde se dispone de los datos apropiados y que pertenecen a la subcuenca alta y baja del río Mapocho, considerados como representativos de una parte importante del eje longitudinal que presenta el río (Figura 5.9).

No obstante, los resultados no representan adecuadamente la parte más baja del río, debido a la estructura de la red hidrológica regulada, desde el puente Esperanza hasta la confluencia con el río Maipo.

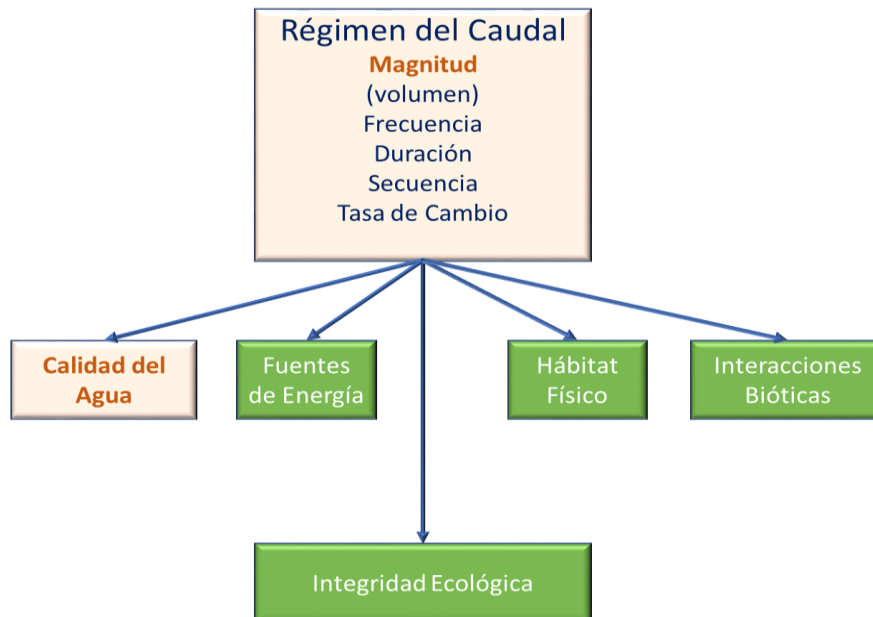


Figura 5.9 Modelo de efectos del caudal en aspectos relacionados a la integridad ecológica en sistemas lóticos (modificado de Poff, 1997). Se destacan la magnitud o volumen y la calidad del agua (propiedades fisicoquímicas).

5.2.3.3.2 Estructura de componentes e Interacciones

Este análisis considera una matriz de interacciones de tróficas entre los componentes de los ecosistemas que se desarrollan a lo largo del eje longitudinal del río. Se basa en relaciones de alimentación y flujo de nutrientes entre los componentes seleccionados de los ecosistemas y proviene del conocimiento ecológico existente y de la evaluación de los componentes en los lugares de muestreo. Simultáneamente, se destaca la importancia del carbono (como parte de la biomasa, es decir reducido) en relación con su origen o producción en los ecosistemas lóticos, es decir como Carbono Autóctono e Ingreso de Carbono Alóctono como fuente de carbono para los componentes heterotróficos del ecosistema. El carbono autóctono se refiere al que se produce por fotosíntesis en el curso de agua, mientras que el alóctono es aquel que ingresa desde la vegetación ribereña que se encuentra fuera del agua superficial que forma parte del ecosistema lótico.

Para entender los cambios de los ecosistemas en relación con el carbono, se realizó un análisis cualitativo del carbono como particulado fino en la columna de agua basado en el material particulado grueso y fino del curso de agua, en función de antecedentes existentes. La degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos en la columna de agua corresponde a parte del proceso de respiración de los ecosistemas. Un estimador del proceso en la columna de agua, es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) para realizar procesos aeróbicos. Por otra parte, determinados niveles de oxígeno son condiciones de hábitat para muchos organismos heterotróficos, entre ellos los peces.

Las interacciones tróficas son difíciles de observar en estudios ambientales, porque el tiempo de observación en un punto de un ecosistema, es solamente el tiempo que se requiere para obtener muestras de la abundancia de las especies presentes o de las muestras de organismos como peces, aves, o macroinvertebrados. Sin embargo, el conocimiento existente sobre los grupos de organismos permite asignarles el tipo de alimentación y que clase de organismos constituyen parte de su dieta alimentaria, de forma de establecer sus relaciones de tróficas o de alimentación. Basados en ese conocimiento se elaboró una matriz de interacciones tróficas, de una manera agregada para los componentes bióticos de los ecosistemas. Por otra parte, para los organismos del fitobentos, macrófitas y vegetación ripariana, por ser organismos que realizan fotosíntesis, las relaciones de nutrientes es directamente con la masa de agua y la radiación fotosintéticamente activa que llega al curso de agua. Estas interacciones se describen en una matriz.

5.2.3.3.3 Ciclo del Carbono

Ecológicamente los ríos se describen desde varias perspectivas, una de las más usuales es considerar qué características del caudal, sedimentos, clases de sustrato, en conjunto con las propiedades fisicoquímicas del agua, son determinantes para la existencia de los organismos o como se menciona frecuentemente, para la vida acuática, es decir caracterizando el hábitat de los organismos.

El río Mapocho está actualmente fuertemente modificado por la actividad antrópica, y en el inicio de los estudios ecosistémicos (2003), cuando no existía la planta de tratamiento de las aguas servidas La Farfana para Santiago, se consideró que el flujo de carbono en estos ecosistemas lóticos estaba fuertemente perturbado por las descargas de aguas servidas sin tratar de la ciudad. Dicho aporte de carbono aumenta notablemente la cantidad de materia orgánica disponible, especialmente para los microorganismos (heterótrofos), modificando la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. La pregunta central formulada: ¿Cuál es la estructura del ecosistema si el carbono (como materia orgánica) es un material que se encuentra disponible en grandes cantidades en el agua del río? (Serey *et al.* 2003). Desde esa perspectiva se elaboró un modelo conceptual para explorar el funcionamiento de los ecosistemas del río Mapocho. Así, el análisis ecosistémico se basa en el modelo conceptual del flujo de carbono y en la naturaleza de los componentes biológicos que se encuentran en los ecosistemas, a lo largo de su eje longitudinal.

En el estudio se compara los modelos ecosistémicos de la subcuenca alta y baja en función de la dimensión longitudinal del río. Para el año 2003 se describe el modelo conceptual propuesto solamente para la subcuenca baja y se compara con lo observado. Para los años 2017 y 2018, se comparan los modelos observados para la subcuenca alta y baja respectivamente.

5.2.3.3.4 Oxígeno Disuelto y Respiración

El oxígeno disuelto OD, la DBO y DQO son tres indicadores, que se pueden relacionar a la magnitud del caudal desde una perspectiva hidrodinámica. Sin embargo, ecológicamente se debe considerar que las muestras se obtienen en el día, cuando ocurre la fotosíntesis. Desde el punto de vista funcional, las medidas o muestras se toman en horas luminosas del día, de tal forma que el valor de OD corresponde los niveles de saturación producto de procesos simultáneos como la turbulencia, el consumo biológico de heterótrofos (microorganismos asociado a DBO), reacciones químicas inorgánicas (DQO). El esfuerzo es darle el significado más probable al conjunto de datos acumulados en distintos monitoreos y estudios desarrollados en el Río Mapocho en términos ecosistémicos.



El caudal medio mensual, se obtiene del promedio diario; en cambio las muestras de las propiedades fisicoquímicas se obtienen de una medición única, en un día “representativo” del mes. Por otra parte, se acepta que los valores analíticos se obtienen en laboratorios certificados, y en consecuencia los valores medidos corresponden al valor que representa el sistema.

6 RESULTADOS

Los resultados se desarrollan desde un enfoque espacio-temporal que permita visualizar la importancia de la red hidrológica y el régimen del caudal de curso principal, sobre los ecosistemas acuáticos, para los cuales se tienen datos.

6.1 Resultados de Muestreo 2018

6.1.1 Componentes Abióticos

6.1.1.1 Características de los puntos de muestreo y parámetros *in situ*

En el siguiente capítulo, se describen las características físicas de cada punto de muestreo, de acuerdo con las observaciones realizadas en terreno. Además, se presentan los resultados de las mediciones de parámetros *in-situ* en cada punto.

		
AGA-1 Los Almendros	AGA-2 Puente La Dehesa	AGA-3 Parque fluvial Renato Poblete
Se observaron aguas semi-turbias, con presencia de aguas corrientes (100%). La cuenca posee un uso residencial e industrial, con presencia de contaminación difusa y ausencia de erosión local. El sustrato de fondo es variado, desde roca madre a arcilla, de origen principalmente inorgánico. No hay presencia de vegetación acuática o algas, y la vegetación de ribera corresponde a árboles de dosel abierto.	Se observaron aguas turbias, con presencia de aguas corrientes (80%) y pozones (20%). La cuenca posee presencia de contaminación difusa y puntual; sin erosión local. El sustrato de fondo es variado, desde roca madre a arcilla, de origen principalmente inorgánico. No hay presencia de vegetación acuática o algas, y la vegetación de ribera corresponde a cultivos de dosel abierto.	Se observaron aguas semi-turbias, con presencia de aguas corrientes (70%) y pozones (30%). La cuenca posee un uso residencial, con presencia de contaminación difusa y puntual; y sin erosión local. El sustrato de fondo es variado, desde roca madre a arcilla, de origen principalmente inorgánico. No hay presencia de vegetación acuática o con algas flotantes, y la vegetación de ribera corresponde a arbustos de dosel abierto.

<p align="center">AGA-4 Puente Av. Américo Vespucio Norte</p>	<p align="center">AGA-5 Puente río Mapocho</p>	<p align="center">AGA-6 Puente aguas abajo PTAS La Farfana</p>
<p>Se observaron aguas turbias, con presencia de aguas corrientes (80%) y pozones (20%). La cuenca posee un uso residencial e industrial, con presencia de contaminación difusa y puntual; y sin erosión local. El sustrato de fondo es variado, desde roca madre a arcilla, de origen principalmente inorgánico. No hay presencia de vegetación acuática o algas, y la vegetación de ribera corresponde a árboles de dosel semiabierto.</p>	<p>Se observaron aguas turbias, con presencia de aguas corrientes (80%) y pozones (20%). La cuenca posee un uso industrial, con presencia de contaminación difusa y puntual; y sin erosión local. El sustrato de fondo es variado, desde roca madre a arcilla, de origen principalmente inorgánico. No hay presencia de vegetación acuática o algas, y la vegetación de ribera corresponde a herbáceas de dosel abierto.</p>	<p>Se observaron aguas semi-turbias, con presencia de aguas corrientes (80%) y pozones (20%). La cuenca posee un uso de agricultura, con presencia de contaminación difusa y sin erosión local. El sustrato de fondo es variado, desde roca madre a arcilla, de origen principalmente inorgánico. No hay presencia de vegetación acuática o algas, y la vegetación de ribera corresponde a árboles de dosel semiabierto.</p>
<p align="center">AGA-7 Puente Esperanza</p>	<p align="center">AGA-8 Puente Pelvin</p>	<p align="center">AGA-9 Puente El Monte</p>
<p>Se observaron aguas semi-turbias, de aguas corrientes (80%) y pozones (20%). La cuenca posee un uso de agricultura, con presencia de contaminación difusa y puntual; y sin erosión local. El sustrato de fondo es variado, desde roca madre a arcilla, de origen principalmente inorgánico. La vegetación acuática corresponde a enraizadas sub-emergentes, y no se observó presencia de algas, y la vegetación de ribera corresponde a arbustos de dosel abierto.</p>	<p>Se observaron aguas claras, con presencia de aguas corrientes (80%) y pozones (20%). La cuenca posee un uso residencial, con presencia de contaminación difusa y puntual; y sin erosión local. El sustrato de fondo es variado, desde roca madre a arcilla, de origen principalmente inorgánico. No hay presencia de vegetación acuática o algas, y la vegetación de ribera corresponde a herbáceas de dosel abierto.</p>	<p>Se observaron aguas claras, de aguas corrientes (60%) y pozones (40%). La cuenca posee un uso residencial y de ganadería, con presencia de contaminación difusa y puntual; y sin erosión local. El sustrato de fondo es variado, desde roca madre a arcilla, de origen principalmente inorgánico. La vegetación acuática corresponde a enraizadas sub-emergentes, y sin algas, y la vegetación de ribera corresponde a arbustos de dosel abierto.</p>

En terreno se midieron los parámetros fisicoquímicos de temperatura, pH, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, conductividad eléctrica y salinidad.

En Tabla 6.1 se muestra los resultados de los distintos parámetros fisicoquímicos medidos en terreno. Se puede observar que la temperatura registrada no muestra una mayor variación entre los puntos de muestreos, salvo en el punto AGA-2 donde se registró el mínimo valor con 10,7 °C. El pH del agua varía desde neutro a moderadamente alcalino (Hounslow, 1995) en el río Mapocho. Las concentraciones de oxígeno disuelto presentaron una variación entre puntos de muestreos, registrándose valores menores a 5 mg/L en los puntos AGA-2, AGA-4 y AGA-5. El contenido salino, al igual que la conductividad eléctrica presentan un comportamiento disímil entre sectores, en la parte alta el río Mapocho registró los menores valores y a medida que el curso de agua avanza hacia el oeste, este aumenta su conductividad con ciertos pick en determinados puntos (AGA-6 y AGA-7), para luego bajar levemente en la parte baja del área de estudio (AGA-8 y AGA-9).

Tabla 6.1 Parámetros fisicoquímicos medidos en terreno (octubre 2018).

Punto de muestreo	Temperatura (°C)	pH	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Saturación de oxígeno (%)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)	Salinidad (g/L)
AGA-1	19,1	8,3	7,9	77,2	222	0
AGA-2	10,7	8,1	4,4	43,7	207	0
AGA-3	20	9,0	6,9	78,8	1282	0,4
AGA-4	14	8,5	3,9	35,2	1166	0,4
AGA-5	15,8	8,4	4,5	44,9	1184	0,4
AGA-6	19,7	7,6	5,9	66,2	1996	0,6
AGA-7	20,9	7,6	6,2	72,1	2080	0,9
AGA-8	19,8	8,3	6,8	77,8	1245	0,4
AGA-9	18,8	8,8	8,0	88,1	1459	0,5

Fuente: CEA, 2018.

Un hecho notable de los resultados es que en los puntos AGA-6 y AGA-7, tienen los pH más bajos, la salinidad más alta y la conductividad más alta de toda la dimensión longitudinal del río Mapocho. También, corresponden a los puntos aguas abajo de las descargas de las plantas La Farfana, para el punto AGA-6 y aguas abajo de las plantas El Trebal y Mapocho para el punto AGA-7, ambos puntos corresponden al Tramo 4.

6.1.1.2 Metales en sedimentos

En la campaña de terreno se tomaron muestras de sedimentos en el sector bajo de la cuenca del río Mapocho, específicamente en el punto AGA-9, en el sector de El Monte, con los siguientes resultados para el análisis de metales y materia orgánica en sedimentos (Tabla 6.2). De acuerdo con los resultados obtenidos, el metal que se encontró en mayor concentración fue el zinc, seguido del cobre; mientras que el de menor concentración fue el cromo. Por otro lado, las concentraciones de materia orgánica fueron bajas, en comparación con otros sistemas.

Tabla 6.2 Resultados de metales en sedimentos en río Mapocho.

Punto de muestreo	Cromo (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	Materia orgánica (%)
AGA-9 (a)	7,19	54,12	11,81	90,78	1,91
AGA-9 (b)	3,28	58,33	9,23	96,53	1,88
AGA-9 (c)	8,22	61,54	13,86	96,41	1,86
Promedio	6,23	58,00	11,62	94,57	1,88

6.1.2 Componentes Bióticos

6.1.2.1 Estructura comunitaria y composición biótica 2018

A lo largo del río Mapocho se identificaron diferentes grupos bióticos, tales como, vegetación ripariana, fitobentos, zoobentos, peces, anfibios y aves acuáticas/riparianas. El detalle del listado de taxa por punto y abundancias de cada una de ellas, se pueden encontrar en el ANEXO I: RESULTADOS CAMPAÑA OCTUBRE 2018.

6.1.2.1.1 Fitobentos

La comunidad fitobentónica del río Mapocho, durante el monitoreo del 2018, estuvo compuesto de un total de 72 especies de la clase Bacillariophyceae. La riqueza de taxa varió entre los tramos de río entre 17 y 43 taxa, reportados en los tramos 1 y 4 del río. La abundancia de taxa por tramo, en tanto, varió entre 95,65 y 23.222 cél/L, reportados entre los tramos 1 y 4 del río. La abundancia relativa por tramo revela que la mayoría de los tramos está compuesta por una gran cantidad de taxa con baja abundancia, es por ello, que solo un menor número de taxa posee abundancias sobre el 10%. Entre estos taxa, con abundancias sobre el 10% se encuentran *Pseudostaurosira brevisstrata*, *Achnantheidium minutissimum*, *Nitzschia sp* y *Staurosira venter*. La distribución de cada uno de estos taxa por tramos se puede observar en la Figura 6.1.

6.1.2.1.2 Zoobentos

La comunidad de zoobentos, durante el monitoreo de 2018, estuvo compuesto de 12 taxa. La mayor riqueza de taxa varió entre 2 y 7 taxa, registrados en los tramos 3 y 5 (Figura 6.2). En cuanto a la abundancia de taxa, esta varió entre 22,2 a 30.005 ind/m², registrados en los tramos 3 y 4. La comunidad de zoobentos, a través de los tramos, se observa que ciertos taxa como *Andesiops sp* (T1), Chironomidae (T2 y T5), Lumbriculidae (T4), presentan altas abundancias, representando abundancias relativas superiores al 50%.

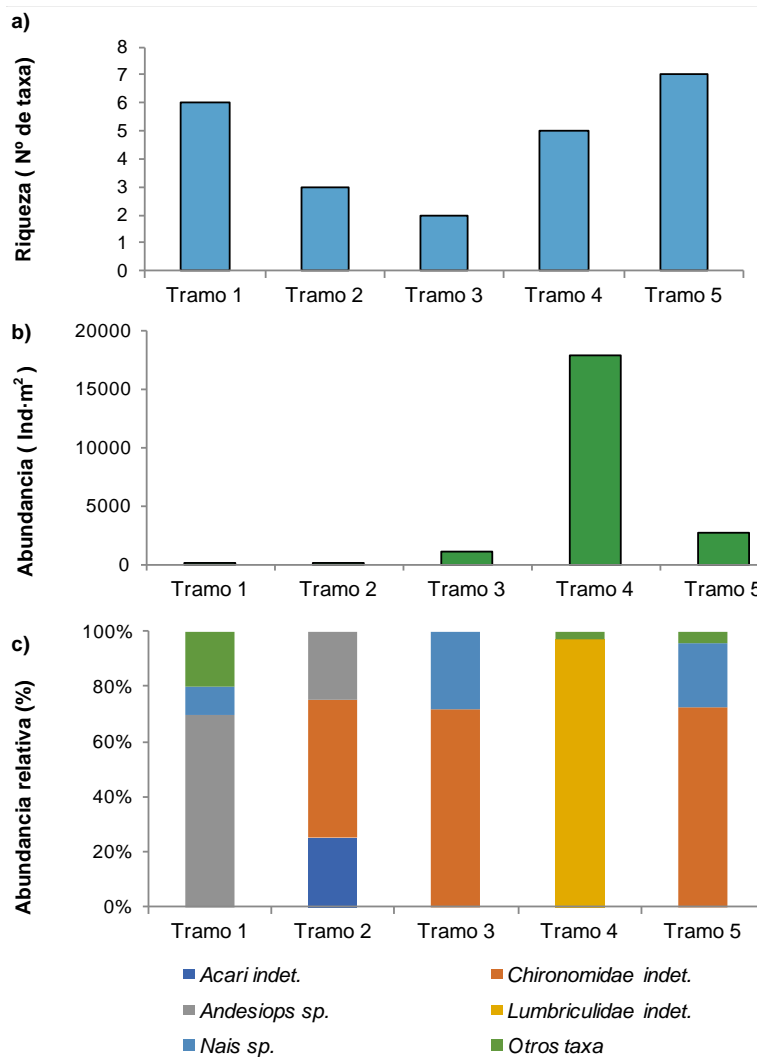


Figura 6.2. Patrones comunitarios y abundancia relativa de taxa por tramos muestreados durante el año 2018.

6.1.2.1.3 Peces

La comunidad de peces, durante el monitoreo de 2018, estuvo compuesta de tres especies, una especie nativa (*Trichomycterus areolatus*) y dos introducidas (*Cyprinus carpio* y *Jenynsia multidentata*), Figura 6.3. En cuanto a la distribución de especies, a través de los tramos, se observa que solo los tramos 4 y 5 presentan fauna íctica y solo el tramo 5 presenta fauna íctica nativa correspondiente a cinco individuos del bagre *T. areolatus*. Las especies introducidas se capturaron en el tramo 4 con un individuo de la carpa *C. carpio* y 15 individuos de *J. multidentata*.

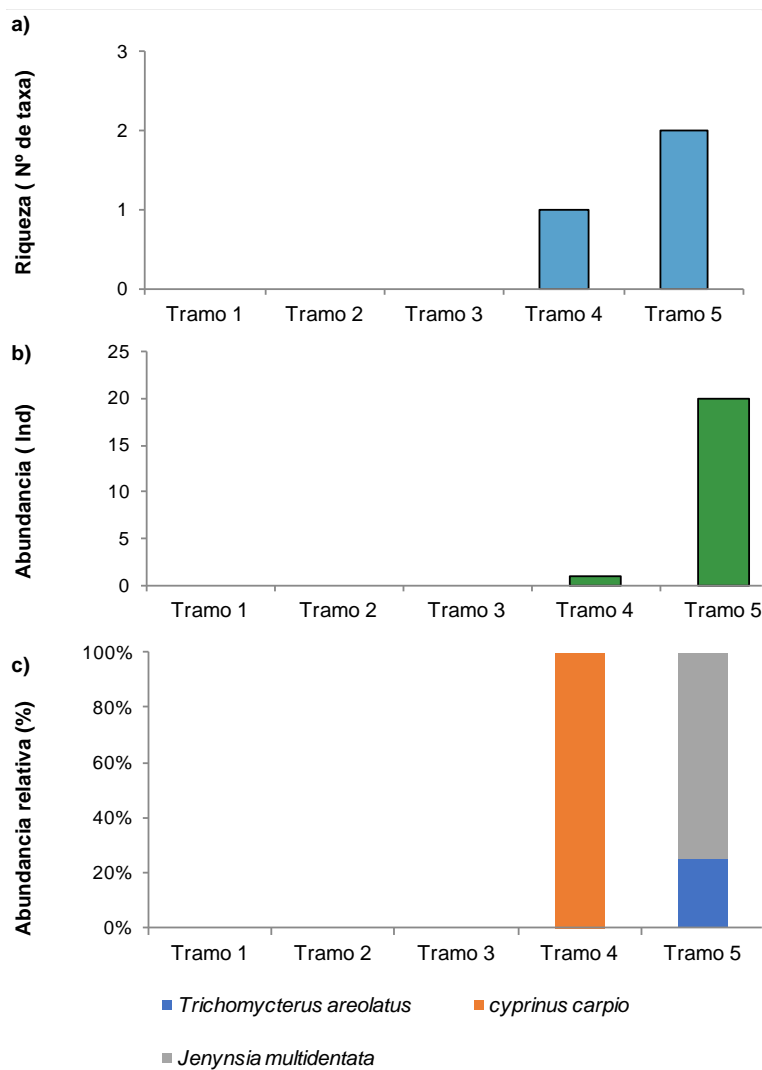


Figura 6.3. Patrones comunitarios y abundancia relativa de taxa por tramos muestreados durante el año 2018.

6.1.2.1.4 Aves

La comunidad de avifauna, durante el monitoreo del año 2018, estuvo compuesta de 32 taxa. La riqueza de taxa varió entre 7 y 21 taxa, registrados en los tramos 2 y 5 (Figura 6.4). La abundancia, en tanto, osciló entre 21 y 116 individuos, registrados en los tramos 1 y 5. La riqueza y abundancia de taxa, presentan un incremento a medida que se desciende longitudinalmente en el río (T1>T2>T3>T4>T5). A través de los puntos de muestreo, se observa que la comunidad de aves varia, el taxa *Zenaida auriculata* posee abundancias relativas superiores al 10% en 4 de los 5 tramos (T1, T2, T3 y T4). En tanto, los taxa *Curaeus curaeus* y *Columba livia*, presentaron abundancias superiores al 10% solo en los tramos 1 y 2, respectivamente.

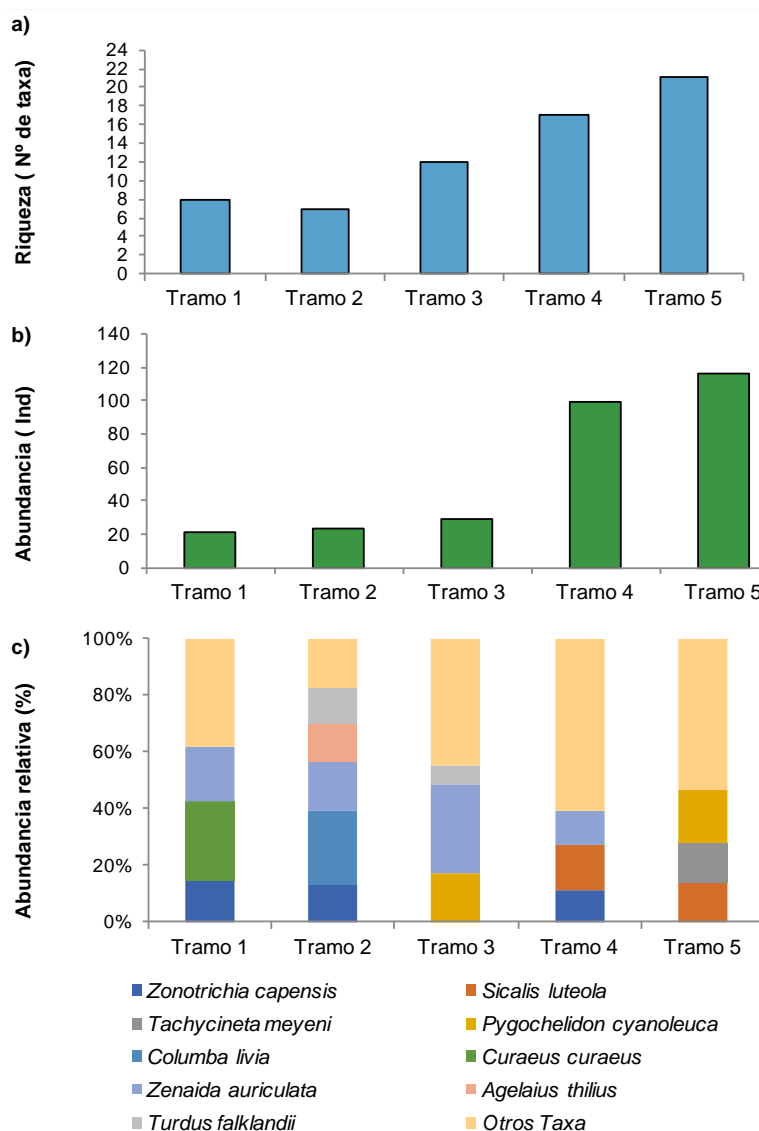


Figura 6.4. Patrones comunitarios y abundancia relativa de taxa por tramos muestreados durante el año 2018.

6.1.2.1.5 Mamíferos

La comunidad de mamíferos, en el monitoreo de 2018, estuvo compuesta de 2 taxa, *Canis Lupus* (Perro) y *Equus ferus* (Caballo), Figura 6.5. El taxa *Canis lupus* fue registrado en los tramos 1 y 2, en tanto, el taxa *Equus ferus* solo fue registrado en el tramo 5.

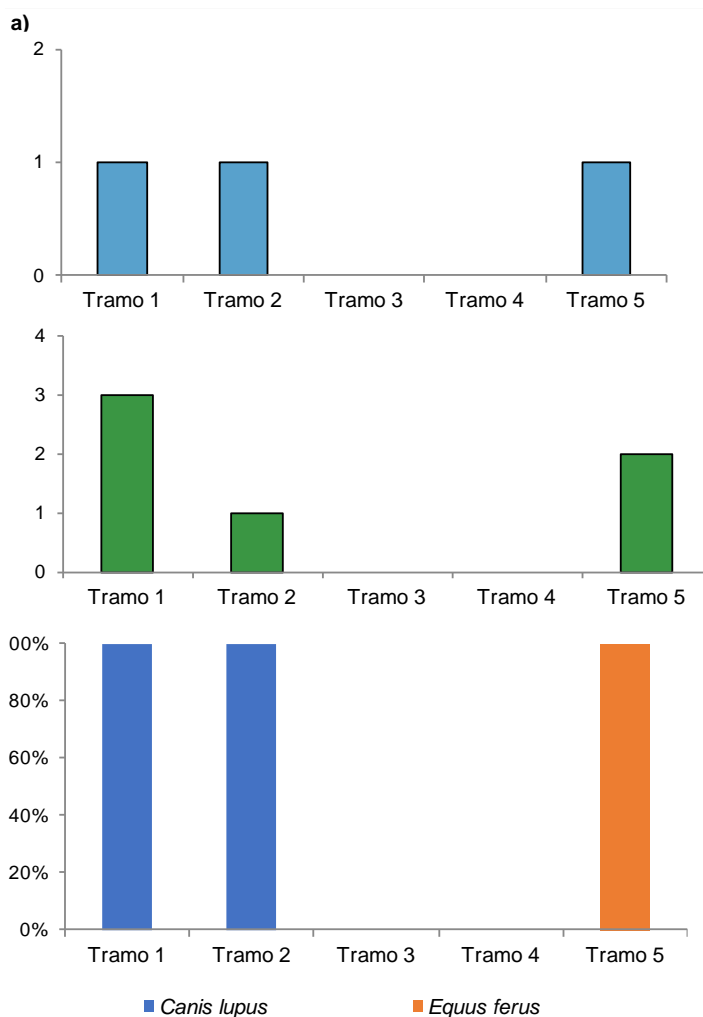


Figura 6.5. Patrones comunitarios y abundancia relativa de taxa por tramos muestreados durante el año 2018.

6.1.2.1.6 Reptiles

La comunidad de reptiles, en el monitoreo de 2018, estuvo compuesta por 2 taxa, *Liolaemus tenuis* (lagartija esbelta) y una culebra de la familia Colubridae. Solo los tramos 3 y 4 presentan registros de taxa, Figura 6.6.

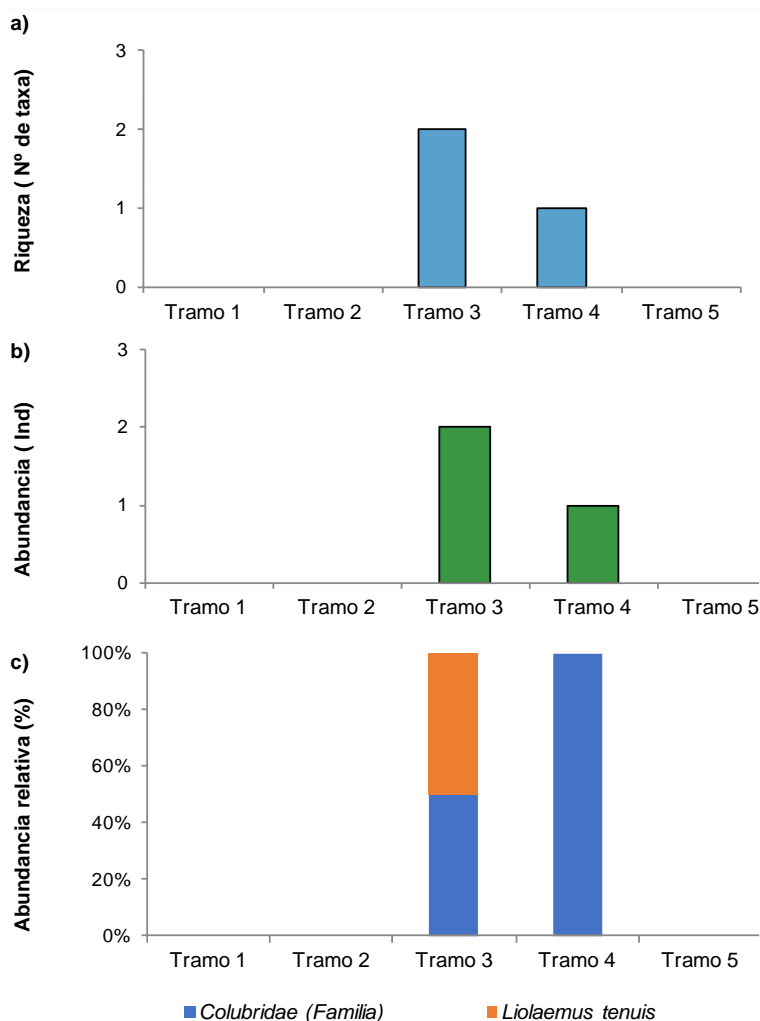


Figura 6.6. Patrones comunitarios y abundancia relativa de taxa por tramos muestreados durante el año 2018.

6.1.2.2 Estructura de Componentes

En los estudios de los años 2017 y 2018 se obtuvieron muestras de los siguientes componentes bióticos: vegetación ripariana, macrófitas, fitobentos, macrozoobentos, peces, aves acuáticas y riparianas, mamíferos y reptiles. Los componentes peces y reptiles están ausentes en la subcuenca alta del río Mapocho, pero si están presentes en la subcuenca baja.

6.1.2.3 Riqueza General de Especies 2018

De manera general, se puede indicar que todos los grupos biológicos prospectados fueron encontrados en los diferentes tramos del río Mapocho, excepto los anfibios. Los grupos más diversos correspondieron al de las microalgas acuáticas, y las aves acuáticas y ribereñas, con 73 y 32 taxa respectivamente, mientras que

los grupos menos diversos correspondieren a los mamíferos, reptiles y peces. Las riquezas por punto de muestreo y total de cada componente biológico, se presenta en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3 Riqueza total en cada punto de muestreo realizado en octubre 2018.

Componente	AGA-1	AGA-2	AGA-3	AGA-4	AGA-5	AGA-6	AGA-7	AGA-8	AGA-9	Total
Anfibios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aves	8	7	12	10	9	9	10	14	18	32
Mamíferos	1	1	0	0	0	0	0	0	1	3
Reptiles	0	0	2	0	0	0	1	0	0	2
Fitobentos	17	20	36	14	18	32	11	11	29	73
Zoobentos	6	3	2	3	2	2	3	4	5	12
Peces	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3

6.1.2.4 Riqueza de especies por Tramos 2017-2018

La riqueza de especies, de los distintos componentes bióticos indicadas en las Figura 6.7, Figura 6.8, Figura 6.9, Figura 6.10, Figura 6.11, muestran cambios importantes. Así en la vegetación ripariana, el orden de los tramos desde el que presenta mayor riqueza hacia el de menor riqueza es el siguiente: T4 > T5 > T1 > T2 > T3. Para las macrófitas la secuencia es T5 > T4 = T1, en T2 y T3 este componente está ausente de las muestras. En el caso de este componente, es necesario indicar que, dado la localización de los puntos y de la gran extensión de la dimensión longitudinal del río, es muy posible que este componente se encuentre formando parte de los ecosistemas, pero no se encontró en los puntos específicos de muestreo.

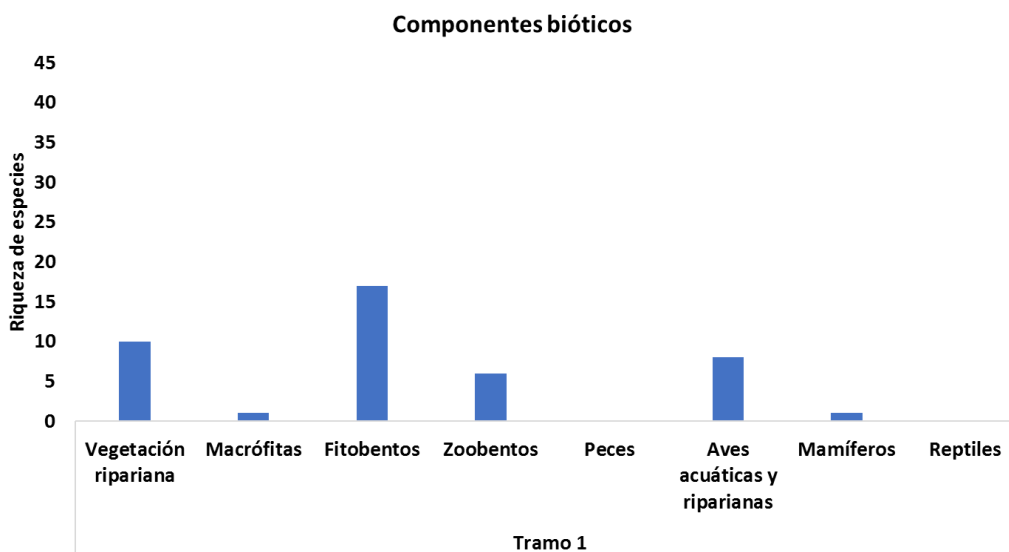


Figura 6.7 Componentes y riqueza de especies por componentes en el tramo 1, río Mapocho.

Para este componente, la secuencia en riqueza de los tramos puede deberse a varias razones, una de ellas es que en la parte en el tramo 1 el sustrato es rocoso y el agua tiene mayor velocidad, y puede ejercer un rol abrasivo con las partículas en suspensión sobre el fitobentos que debe fijarse al sustrato.

El componente zoobentos la secuencia de riqueza es $T5 > T1 > T4 > T2 > T3$, el tramo 5 es el más rico en especies junto al tramo 1. Ambos en el extremo de la dimensión longitudinal, el tramo 1 en el extremo de mayor altitud y perteneciente a la subcuenca alta y el tramo 5, en la subcuenca baja, donde las condiciones generales del río son más favorables para este tipo de organismos.

El componente fitobentos presenta la siguiente secuencia de riqueza en función de los tramos $T4 > T3 > T5 > T2 > T1$.

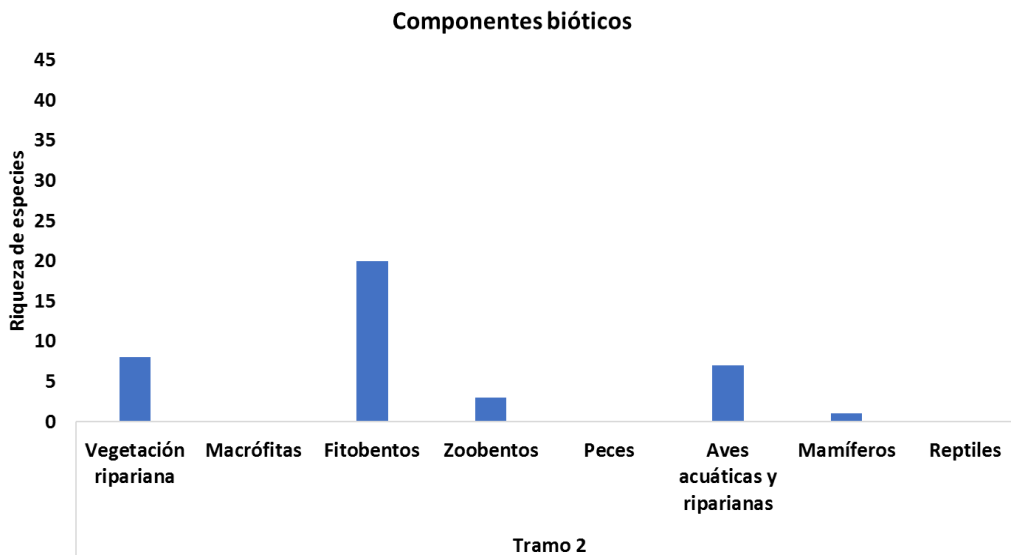


Figura 6.8 Componentes y riqueza de especies por componentes en el tramo 2, río Mapocho.

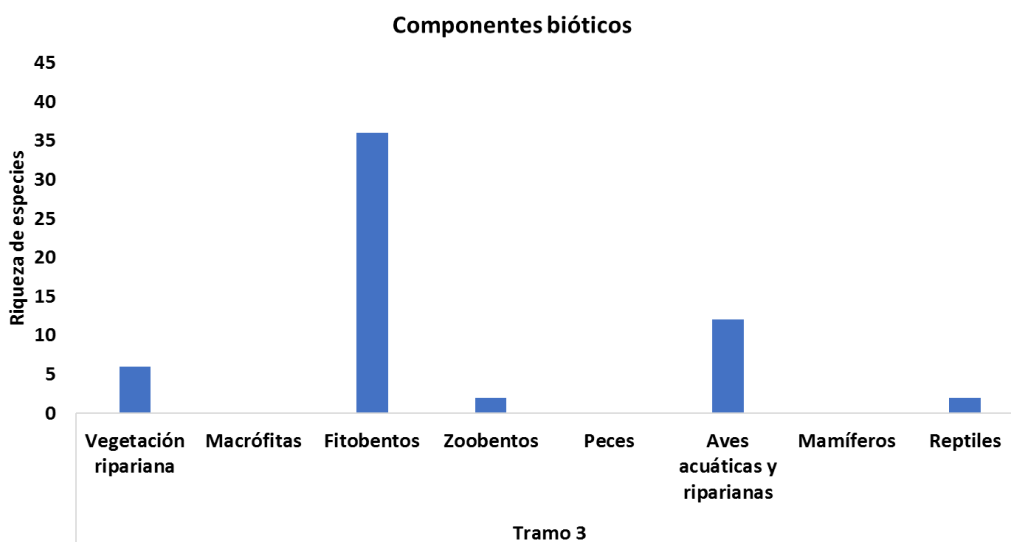


Figura 6.9 Componentes y riqueza de especies por componentes en el tramo 3, río Mapocho.

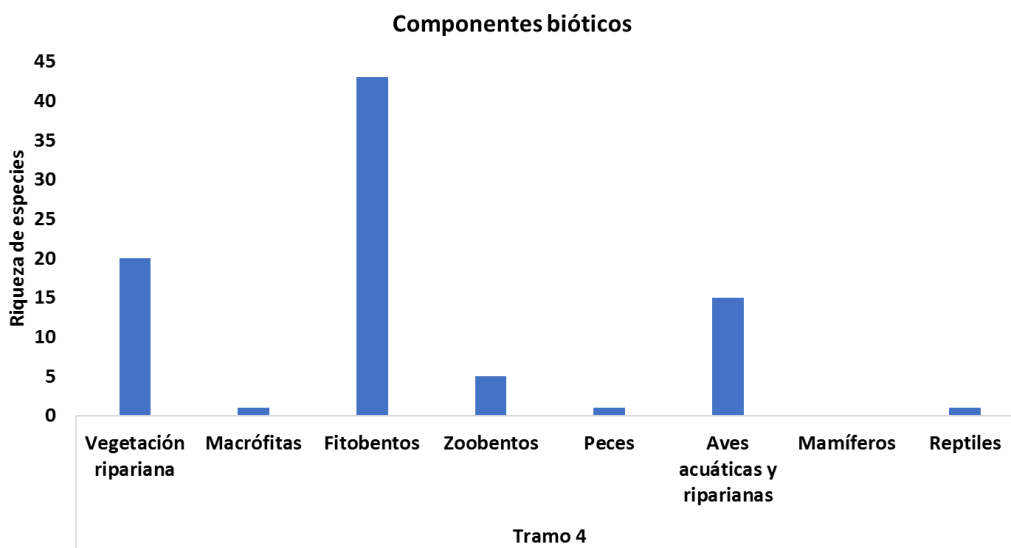


Figura 6.10 Componentes y riqueza de especies por componentes en el tramo 4, río Mapocho.

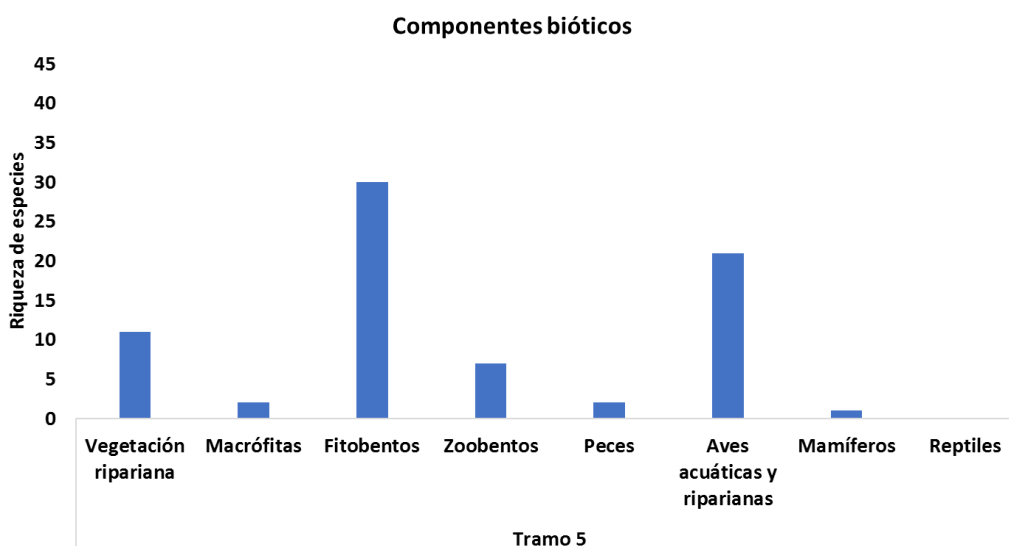


Figura 6.11 Componentes y riqueza de especies por componentes en el tramo 5, río Mapocho.

Para el componente peces la riqueza es $T5 > T4$ y los otros tramos no tienen este componente. En el componente aves acuáticas y riparianas la secuencia es la siguiente: $T5 > T4 > T3 > T1 > T2$, donde la mayor cantidad de especies se observa en T5, que es el tramo más cercano a la confluencia con el Maipo. El número menor de especies se observa en T2, que corresponde a tramo con mayor modificación reciente, dado por bajos caudales y la construcción de gaviones a lo largo de todo el borde sur y norte del río. En relación con la riqueza de mamíferos $T5 = T2 = T1$, en los otros tramos están ausentes. Finalmente, para el componente reptiles la secuencia es $T3 > T4$ y para los otros tramos este componente está ausente.

6.1.2.5 Dominancia de los Taxa por Tramos 2017-2018

Las Figura 6.12 y Figura 6.13 muestran las abundancias relativas de cada uno de los componentes biológicos monitoreados, mientras que la Figura 6.14 algunas fotografías de estos grupos.

Se puede observar que entre los años 2017 y 2018 se repiten los patrones en cuanto a los grupos que dominan en cada uno de los puntos de muestreo, así como el tramo donde se encuentran presentes. Por ejemplo, especies de aves fueron reconocidas en la mayoría de los tramos del río como el chilcol, tórtolas, tordos, zorzal y queltehue, sin especies características de algún tramo en particular. El componente de los mamíferos fue pobre, con sólo 3 especies, durante el año 2017 fueron observados coipos, no así durante 2018, pero sí perros y caballos en la ribera. También fueron registradas sólo 3 especies de reptiles, una especie durante 2017 (lagartija lemiscata) y durante 2018 la lagartija esbelta y culebras. No fueron encontrados anfibios.

En cuanto a los componentes acuáticos, el componente de las microalgas bentónicas estuvo bien representado ambos años, y aunque este componente es variable en cuanto a sus riquezas y abundancias, se observa un similar patrón con taxa dominantes como *Fragilaria*, *Nitzschia*, *Achnanthydium*. El grupo de

zoobentos dominaron los grupos de larvas de mosquitos (quironómidos), gusanos oligoquetos. Finalmente, la fauna íctica estuvo representada por 5 especies (nativas; *Basilichthys australis*, *Trichomycterus areolatus* e introducidas: *Cyprinus carpio*, *Jenynsia multidentata*, *Gambusia affinis*), todos reconocidos en los tramos 4 y 5 del río mapocho, con dominancia de las especies *Trichomycterus areolatus* (bagre chico), *Jenynsia multidentata* (orillero), *Gambusia affinis* (pez mosquito).

Finalmente, la siguiente tabla refleja cambios en la biota acuática entre los años 2003-2018 (Tabla 6.4). Estos grupos podrían ser utilizados como indicadores de los cambios en el ecosistema del río Mapocho. En el caso del fitobentos, ausentes en el estudio 2003, a la fecha se han determinado 75 taxa, en el caso del zoobentos, lo más relevante guarda relación con la ausencia en los muestreos actuales de grupos indicadores de contaminación orgánica como nemátodos, psicodidos y syrphidos, aunque aún el río no presenta grupos típicos como plecópteros, tricópteros y efemerópteros en toda su extensión (sólo en su nacimiento), se evidencia una mejora del tipo de grupos presentes. Los peces también han mostrado cambios, apareciendo en los sectores terminales del río, de estar ausentes durante el estudio 2003, a las 5 especies registradas estos dos últimos años.

Tabla 6.4 Resumen de los componentes bióticos observados en el río Mapocho en los estudios de 2003, 2017 y 2018.

Componente	2003	2017	2018
Fitobentos	Ausentes	34 spp total	75 spp total
Zoobentos	15 spp total 50% Nematodos 26% Chironomidos 17% Psychodidae 5% Oligoquetos	8 spp total 0% Nematodos 91% Chironomidos 0% Psychodidae 6% Oligoquetos	11 spp total 0% Nematodos 54% Chironomidos 0% Psychodidae 42% Oligoquetos
Peces	Ausentes	<i>Trichomycterus areolatus</i> <i>Basilichthys australis</i> <i>Gambusia affinis</i>	<i>Trichomycterus areolatus</i> <i>Cyprinus carpio</i> <i>Jenynsia multidentata</i>

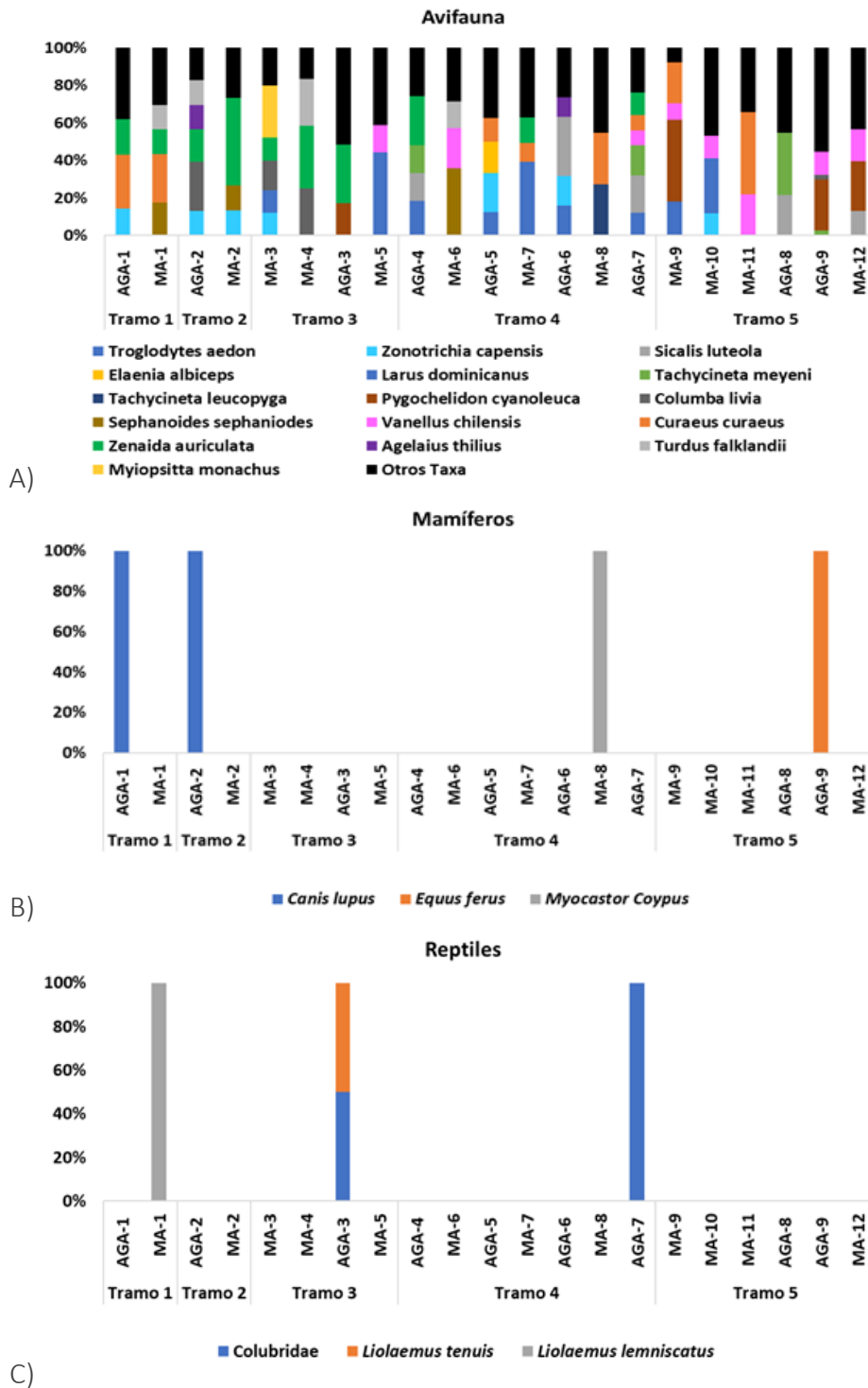


Figura 6.12 Grupos dominantes en cada uno de los componentes biológicos registrados entre 2017-2018 (a) aves, b) mamíferos y c) reptiles).

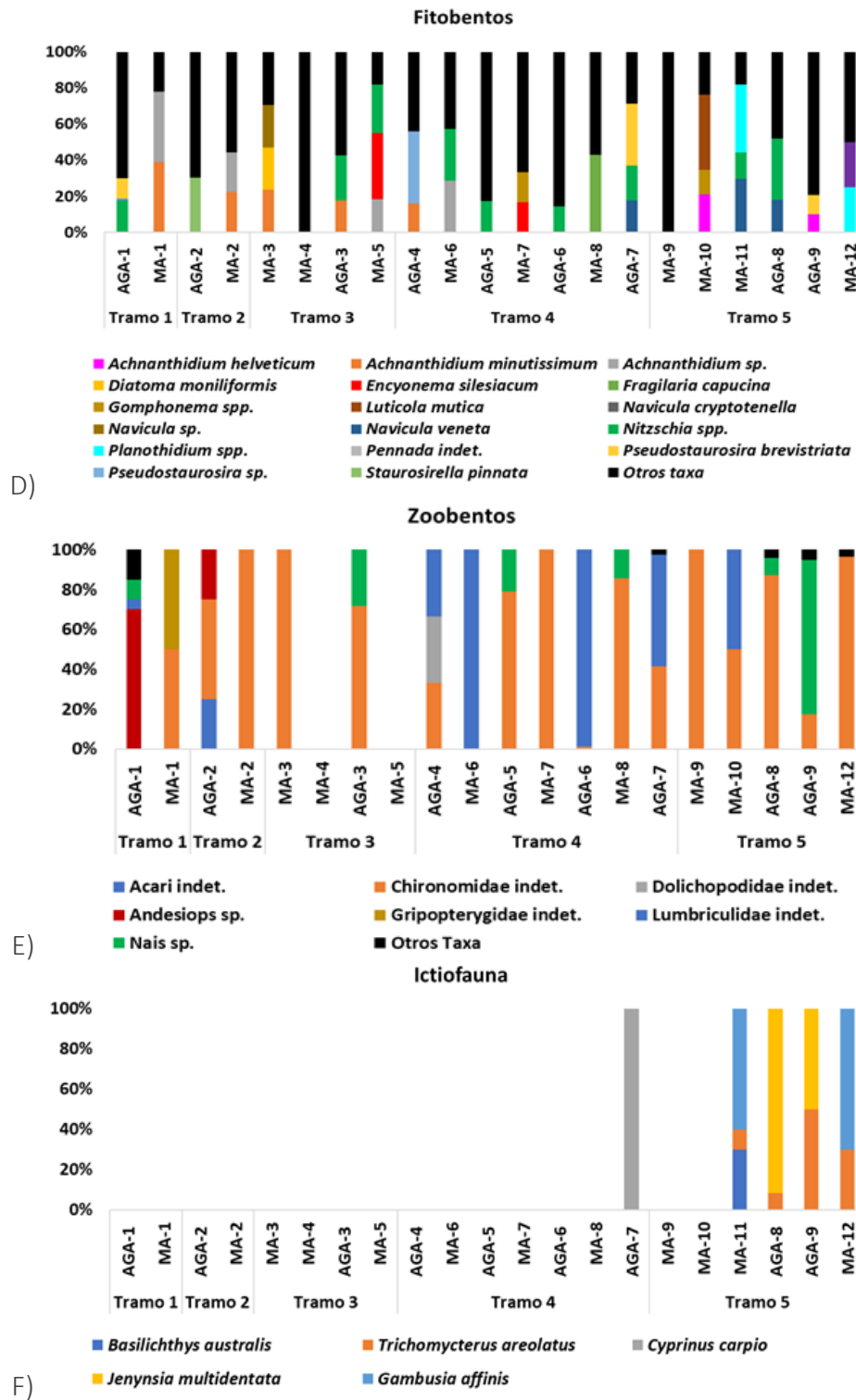


Figura 6.13 Grupos dominantes en cada uno de los componentes biológicos registrados entre 2017-2018 (d) fitobentos, e) zoobentos, f) fauna íctica).



Figura 6.14 Componentes biológicos reconocidos en los muestreos del río Mapocho 2017-2018. 1: *Liolaemus tenuis* (Reptil), 2: *Myocastor coypus*, 3 y 8: Diatomeas (Fitobentos), 4 y 7: *Smicridea* (Zoobentos), 5: *Andesiops sp* (Zoobentos), 6: *Physa sp.* (Zoodentos), 9: *Cyprinus carpio* (Pez introducido), 10 y 15: *Trichomycterus areolatus* (Pez nativo), 11: *Jenynsia multidentata* (Pez introducido), 12: *Hyaella* (Zoobentos), 13: Garza (Aves), 14: *Equus ferus* (Mamífero).

6.1.2.6 Metales en Biomasa Vegetal

En la campaña de terreno se tomaron muestras de biomasa vegetal en el sector bajo de la cuenca del río Mapocho, específicamente en el punto AGA-9, en el sector de El Monte, con los siguientes resultados para el análisis de metales (Tabla 6.5). De acuerdo con los resultados obtenidos, en todas las especies analizadas, el metal más abundante corresponde al zinc, mientras que el que se presenta en menores concentraciones es el plomo. En general, las mayores concentraciones de metales traza se encontraron en las muestras de *Potamogeton pusillus*, una herbácea ribereña. Por otro lado, las menores concentraciones se observaron en la especie *Cotula coronopifolia*, la cual crece en el agua o se encuentra con sus raíces dentro de un curso de agua permanente.

Tabla 6.5 Resultados de metales en biomasa vegetal en río Mapocho.

Punto de muestreo	Especie	Cobre (mg/kg)	Cromo (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
AGA-9 (A)	<i>Salix humboldtiana</i>	9	<0,001	0,383	62
AGA-9 (B)	<i>Baccharis salicifolia</i>	22	<0,001	0,388	48
AGA-9 (C)	<i>Typha angustifolia</i>	15	<0,001	<0,01	22
AGA-9 (D)	<i>Potamogeton pusillus</i>	42	2,75	3,42	90
AGA-9 (E)	<i>Cotula coronopifolia</i>	7	4,50	<0,01	23

6.1.3 Perturbaciones en las áreas ribereñas o ripariana del río Mapocho

6.1.3.1 Las áreas ribereñas o riparianas

Las riberas son áreas entre ambientes acuáticos y terrestres que poseen características singulares y desempeñan funciones primordiales para el óptimo funcionamiento de los ríos. Pueden realizar una función de filtro de materiales que quedan disueltos en el agua, eso facilita el mantener la calidad del agua al frenar su eutrofización a causa de los contaminantes que arrastra el escurrimiento superficial de zonas urbanas y agrícolas, ya que las plantas que crecen en ese ambiente capturan nutrientes que promueven la eutrofización de los cuerpos de agua. Es decir, es un filtro de la contaminación difusa (Mitsch *et al.* 1995, Ceccon 2003).

En nuestros modelos corresponden a la vegetación ripariana y macrófitas que crecen en el borde del curso de agua. La vegetación ribereña también reduce la energía del flujo de agua, evita la erosión del suelo y fortalece los bancos de las orillas del cauce. Actúa como un agente transformador cuando los procesos químicos y biológicos cambian las cantidades y especies químicas de los nutrientes y otros elementos o moléculas. Por ejemplo, cuando las bacterias de esta zona descomponen los residuos de pesticidas y los transforman en compuestos no tóxicos y otros materiales biodegradables.

Las riberas entregan una variedad de servicios a la vida silvestre local, como abundantes y diversos recursos alimenticios a los animales acuáticos, que son la base de las mallas o estructura tróficas de los ecosistemas lóticos, como los ríos. El material orgánico que proviene de la vegetación (hojas y ramas caídas en descomposición) se transporta al cuerpo de agua a partir de la vegetación ribereña o ripariana de los bordes, que es la fuente de carbono (alóctono) y energía más importante, en muchos casos, que la producción por fotosíntesis (producción autóctona) que se desarrolla los ríos.

La madera de troncos y ramas que flota, producto de árboles muertos, desacelera el flujo de la corriente y crea hábitats para ciertos organismos acuáticos, al formar pozas y nuevos refugios en medio de la corriente, los cuales se convierten en áreas de desove, crianza y refugio en veranos secos e inviernos muy fríos.

Por su parte, los árboles en el borde controlan el flujo de radiación lumínica que llega al curso de agua, de los ríos, mediante la sombra que proyecta sobre el curso del agua, lo que limita la producción autóctona y modifica el microclima del río (Guevara *et al.*, 2006).

La vegetación ribereña y de macrófitas ofrece un espacio para la actividad de la fauna silvestre local y migrante, pues ahí puede anidar, alimentarse, moverse o refugiarse. Incluso, puede albergar a especies depredadoras de roedores o insectos de zonas agrícolas o a especies endémicas. Entre otros beneficios se encuentran el suministro de alimento a seres humanos, la generación de ingresos económicos a través de los productos cosechados, la captura de dióxido de carbono que contribuye a reducir los gases de efecto invernadero y la diversificación del paisaje (Naiman *et al.*, 2005).

Esta conectividad lateral corresponde a la dimensión lateral del río, es importante durante el crecimiento y retraimiento de una inundación, pues ocurren flujos de sedimentos, nutrientes y organismos. La liberación de carbón orgánico disuelto y nutrientes, desde la superficie de sedimentos y su transporte de regreso al río, constituye una importante fuente de materiales y energía para los organismos acuáticos, por lo que se considera la base de su alimentación en los sistemas lóticos. Por todo lo anterior, las riberas de los ríos, con su vegetación ribereña, constituyen una unidad biológica que permite evaluar los efectos de cambios que ocurren y permanecen en el tiempo, ya que su supervivencia, productividad y biodiversidad dependen de la geomorfología del sistema y de la dinámica fluvial, como se indicó en el enfoque jerárquico eco-hidrogeomorfológico.

6.1.3.2 *Perturbaciones en las áreas ribereñas del río Mapocho*

Ecológicamente una perturbación significa la destrucción de biomasa y la liberación de espacio, nutrientes, y puede ser originada por factores físicos, químicos (por ejemplo, contaminación) naturales o de origen humano, al modificar las condiciones existentes previamente. Las riberas del río Mapocho y su vegetación, históricamente se han visto modificadas por diferentes perturbaciones, donde la más importante es el desarrollo y crecimiento de la ciudad de Santiago, perdiendo una importante proporción de vegetación ribereña natural, siendo reemplazada por especies introducidas y modificando los patrones de interacción o funcionamiento natural con los ecosistemas del río.

En los tramos 1, 2 y 3 definidos en este estudio para el río Mapocho, se encuentra fuertemente modificado por las acciones antrópicas, especialmente las riberas. En el caso de los tramos 1 y 2 por gaviones que se construyeron como defensas contra crecidas y que sirven de límite a rellenos que posibilitan el uso urbano, especialmente para infraestructura civil. En el caso del tramo 2, en las últimas décadas del siglo XX y las transcurridas de este siglo XXI, ha sufrido fuertes intervenciones, que han modificado sus límites en la dimensión lateral del río (desde la perspectiva ecológica). En el caso de estos tramos indicados, especialmente en tramo 2 se han desarrollado extracción de áridos, material clave para la construcción en las ciudades. El tramo 3 se encuentra abovedado desde el siglo XX, en su mayor parte y representa la mayor perturbación morfológica en el eje longitudinal del río.

Pese a la importancia de las riberas en el río Mapocho, nuestro análisis específico consideró solamente perturbaciones recientes, relacionadas principalmente a la disposición de desechos sólidos y uso del espacio ribereño. Los desechos sólidos son materiales muy diversos, que son dispuestos en forma ilegal y generan problemas de contaminación porque caen al curso de agua o bien no se descomponen, porque no son orgánicos y el caudal los arrastra aguas abajo, hacia la confluencia con el río Maipo. Estos materiales no siempre liberan compuestos tóxicos.

Se distinguieron 12 categorías de perturbación de origen antrópico en los bordes a lo largo de la dimensión longitudinal del río Mapocho (Tabla 6.6, Figura 6.15). Las más frecuentes son basura, extracción de áridos y desechos sólidos de materiales diversos, incluyendo los de construcción. Se consideró los neumáticos como una categoría diferente, debido a la acumulación de estos residuos sólidos por empresas de transporte público.

Tabla 6.6 Frecuencia de las perturbaciones de origen antrópico en los bordes del río, por tramos, en el río Mapocho.

Perturbación antrópica	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Total General
Desechos sólidos		2		5	14	21
Basura		2		26		28
Neumáticos	1			1		2
Extracción de Áridos		4		17	3	24
Campamento		2		4		6
Defensas ribereñas					5	5
Gaviones	2	1				3
Descargas PTAS				4		4
Incendio				1		1
Lagunas en pozos abandonados				4		4
Relave minero La Africana				2		2
Terminal de buses				3		3
Total, general	3	11	0	67	22	103

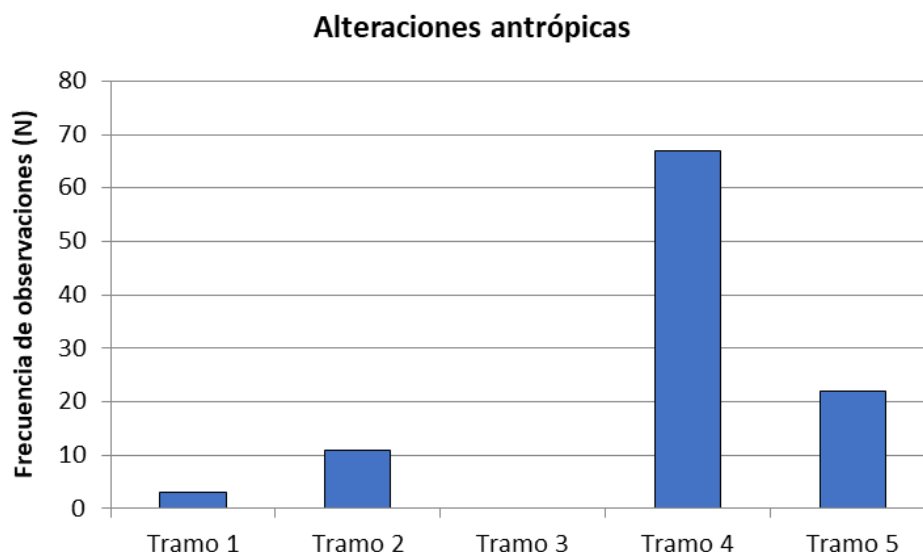


Figura 6.15 Distribución de las perturbaciones por tramos de origen antrópico, en los bordes del río Mapocho.

En el tramo 1 dado sus características geomorfológicas, solamente se encuentran gaviones y neumáticos en borde del curso de agua. Es importante notar que en el tramo 2, la extracción de áridos, la basura, desechos sólidos aparecen como importantes, pero también la existencia de campamentos, ocupaciones ilegales que existen y forman parte de problemas sociales del uso urbano, que se desarrollan en la planicie de inundación del río, al salir del encajonamiento andino. En este tramo se encuentran gaviones enmallados que ocupan largas extensiones en ambas riberas, a lo largo del río (Figura 6.16). En el tramo 3 no observamos las clases de perturbaciones indicadas en la tabla, debido a que se encuentra en su mayor parte abovedado y con bordes casi verticales en el borde del río por eso no se registraron áreas con perturbaciones, en la condición actual.

Para el conjunto de tramos, la mayor frecuencia de perturbaciones actuales se encuentra en el tramo 4, donde la basura, la extracción de áridos y desechos sólidos son las más frecuentes. También se localizan campamentos con población humana, terminales de buses del Transantiago, y relaves abandonados de la Mina La Africana. Por otra parte, se encuentran pozos de árido abandonados, que se han transformado en lagunas que pueden tener valor ecológico, en la medida que se realice un manejo adecuado del área perturbada donde se encuentran.

En el tramo 4, es donde ocurre con mayor frecuencia la disposición de basura de diferente tipo en el borde del río, como se observa en la Figura 6.17, con materiales orgánicos o restos de materiales de construcción.

También en este sector se pueden encontrar desechos en el curso de agua, como neumáticos en desuso, después de su ciclo operacional (Figura 6.18).

En los tramos 4 y 5 las perturbaciones mayores que afectan la morfología del río corresponden a defensas contra crecidas, la ordenación del cauce principal del río aguas abajo del puente La Esperanza, para evitar salidas laterales, determinando la formación de un nuevo trenzado en el lecho, adecuado a los caudales menores de los últimos años. También se encuentran las evidencias de sectores de extracción de áridos activos y algunos abandonados, que ocupan áreas significativas, especialmente en el borde sur. En el tramo 5, las perturbaciones más importantes son los desechos sólidos y las obras de defensa fluviales para evitar la salida y erosión de las riberas durante las crecidas.

A continuación, se presentan fotografías de las perturbaciones observadas en terreno, además de imágenes recopiladas mediante el vuelo de dron en algunos tramos del río Mapocho.



Figura 6.16 Gaviones escalonados con mallas metálicas construidos en la ribera del tramo 2.



Figura 6.17 Área con desechos sólidos, basura con restos de materiales orgánicos como restos de materiales destinados a la construcción.



Figura 6.18 Neumáticos y otros desechos sólidos en el curso de agua del río Mapocho.



Figura 6.19 Extracción de áridos en sector de Plaza San Enrique (Fuente: CEA, 2018 - Drone).



Figura 6.20 Basura en vereda sur en sector de Costanera Sur en puente Carrascal.



Figura 6.21 Relave minero La Africana, aguas debajo de Ruta 68.



Figura 6.22 Basura en sector de Camino a Rinconada (puente).



Figura 6.23 Áridos en ribera del río Mapocho, sector paralelo a Camino a Rinconada.

6.2 Base de datos

En el Anexo se entrega la base de datos en formato digital de la información recabada a la fecha (2003-2018). Esta información considera datos físicos y químicos, microbiológicos, biológicos, caudales y precipitaciones.

Una dificultad importante, cuando se trata de integrar datos de distintos periodos de observación, es la heterogeneidad de las mediciones realizadas, por distintos profesionales, distintos laboratorios, métodos y tecnologías analíticas en el caso de las mediciones de propiedades químicas en el largo plazo.

Por otra parte, las mediciones o registros ecológicos de los componentes bióticos de los ecosistemas son escasos. En este estudio se dispone solamente de tres muestreos en el tiempo, pero con distintas escalas espaciales y en diferentes estaciones del año. Desde esta perspectiva, sus resultados son orientadores, pero no pueden ser considerados inequívocos. En este contexto de conocimiento deben ser ponderados los datos que se obtienen en la estación primavera de 2018. El aspecto fundamental es saber si la agregación de este conjunto de datos permite vislumbrar algún patrón que sirva de base al seguimiento de carácter ecosistémico.

6.2.1 Escalas y Jerarquías

De acuerdo con nuestra base de trabajo conceptual, el río se ha estudiado en su eje longitudinal, en las dos subcuencas reconocidas por la DGA. Este análisis en subcuencas se realiza en función de disponer patrones de caudales apropiados a los tramos del río y no exactamente en función de cada punto de su dimensión longitudinal. Desde el punto de vista temporal se ha registrado información del caudal medio diario, de modo que los datos se pueden agregar en días, meses, años. Para los datos de calidad del agua, se tienen registros mensuales y de variables medidas in situ en forma instantánea, con día, mes y año. Por otra parte, se dispone de datos en distintos puntos de la dimensión longitudinal, dependiendo de los tipos de estudio y seguimientos requeridos, ya sea por Aguas Andinas, o por los servicios del Estado para el cumplimiento de normativas o resoluciones (por ejemplo, resoluciones legales). Los análisis se realizaron de acuerdo con los niveles jerarquizados definidos en la metodología, y varían de acuerdo con la disponibilidad de datos.

6.2.1.1 Escalas Espacio-Temporales

El análisis en el espacio se realizó en función de la jerarquía geomorfológica usando las jerarquías subcuenca y tramo. Todos los puntos seleccionados en los cuales se ha registrado alguna vez mediciones físicas, químicas o microbiológicas se incluyeron en los tramos definidos (5). También se incluye la información de puntos de muestreo donde se describieron los componentes bióticos de los ecosistemas del río Mapocho. Se dispone de información ecosistémica y de calidad del agua en esas dos subcuencas, de tal modo que desarrollaremos un análisis considerando estas características eco-hidro geomorfológicas.

Espacialmente, tenemos información de los caudales del curso principal en dos puntos, estación fluviométrica. Los Almendros, que pertenece a la subcuenca Mapocho Alto, y de la Estación Rinconada, que corresponde a Subcuenca Mapocho bajo. Con estos antecedentes se ha definido el análisis espacial en función de las subcuencas alta y baja (Figura 6.24, Tabla 6.7).

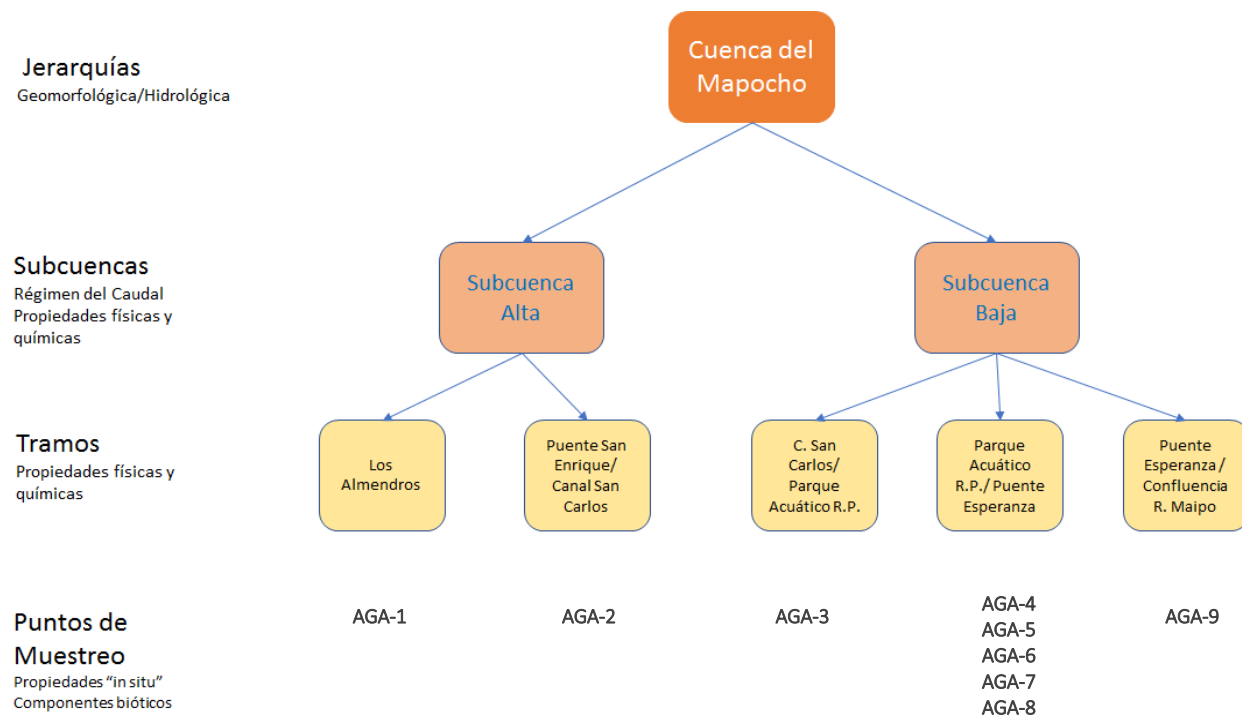


Figura 6.24 Diagrama que muestra los puntos de muestreo asociados a la jerarquía geomorfológica-hidrológica usada en el trabajo.

Tabla 6.7 Jerarquías y aspectos considerados en el estudio en diferentes niveles.

Jerarquía Geomorfológica	Jerarquía Hidrológica	Jerarquía Ecológica	Escalas Temporales
Subcuencas (N +1) Red Hidrológica Caudal	Magnitud del caudal Relación Régimen del Caudal / Propiedades físicas y químicas	Paisaje Ribereño (Tipos de Ecosistemas lóticos y ribereños)	Interanuales y estacionales
Tramos N Propiedades físicas y químicas del caudal		Ecosistemas Estructura y Función Componentes Abióticos: propiedades físicas y químicas Componentes Bióticos: Estructura de Componentes y riqueza de especies Análisis funcional	Interanuales y estacionales Interanuales
		Especies/ grupos de especies	

Las observaciones se deben interpretar en un contexto comparativo respecto de condiciones pasadas. En términos ecosistémicos y espaciales el río cambia en los ejes lateral, vertical y longitudinal (Ward, 1979). En este estudio se ha seleccionado enfatizar especialmente la heterogeneidad en la dimensión longitudinal.

Para generar el patrón del “régimen del caudal” se dispone de una amplia cantidad de datos los que se analizarán en función de valores medios mensuales y en función de los años de registro. Se ha definido elaborar hidrogramas a partir del inicio de registros disponibles de la estación Los Almendros. Se considera el análisis de dos estaciones fluviométricas, Los Almendros y Rinconada, ambas pertenecientes a la Dirección General de Aguas (DGA). El análisis nos entrega el patrón estacional e interanual del régimen del caudal en los últimos 30 años para las Subcuencas alta y baja del río Mapocho.

6.2.1.2 *Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas y escalas temporales*

Temporalmente, si tomamos como referencia la operación de las plantas de tratamiento de aguas servidas, como un hito importante para el funcionamiento del río, tenemos los siguientes períodos: i) Período 1: Hasta la entrada en operación de la PTAS Santiago Poniente (1994); ii) Período 2: Hasta antes de la entrada en operaciones de la PTAS El Trebal (2001). No hay tratamiento de aguas servidas en Santiago; iii) Período 3: Desde la entrada en operaciones de la PTAS El Trebal (2001). Esta afecta a las muestras aguas abajo del punto de descarga de la planta. No afecta las descargas de aguas servidas aguas arriba ya que colecta las aguas del sector sur de Santiago; iv) Período 4: Desde la entrada en operaciones de la PTAS La Farfana (2003). Afecta las descargas del Zanjón de la Aguada, ya que colecta y trata las aguas del sector central de Santiago y descarga aguas arriba del Zanjón; v) Período 5: Desde la entrada en operaciones de la PTAS Mapocho (2011). Elimina todas las descargas de aguas servidas desde el sector Lo Barnechea y Norte de la ciudad de Santiago.

El análisis de los datos se realizó de acuerdo con las escalas espaciales y temporales indicadas en la Figura 5.1. Respecto de los aspectos ambientales y el impacto de las PTAS instaladas en estas dos últimas décadas, se realizó de acuerdo con los periodos indicados más arriba.

6.2.2 Geomorfológica e Hidrológica

6.2.2.1 *Subcuencas*

El Río Mapocho constituye una cuenca dentro de la hoya hidrográfica del Río Maipo, nace en la cordillera de Los Andes, pero sus cabeceras no alcanzan las altas cumbres que forman el límite chileno-argentino, quedando de este modo reducida su área nivo-glacial, lo que le confiere un carácter fundamentalmente pluvio-nival a su escurrimiento. No obstante, las cumbres que conforman su límite de cuenca alcanzan los 5.200 msnm y 5.400 msnm. El Río Mapocho corre de Oriente a Poniente por más de 76 km y mantiene una hoya andina de 4.230 km². La hoya andina se encuentra constituida por cuatro afluentes: el río Molina, el estero Yerba Loca, el río San Francisco y el estero Arrayán, además del Canal San Carlos que recorre la cuenca de Sur a Norte, vaciando sus aguas del Maipo hacia el Mapocho. Presenta dos subcuencas que están bien definidas espacialmente (Figura 6.25), la denominada Subcuenca Mapocho Alto y la subcuenca Mapocho Bajo. La primera tiene un área mucho más pequeña y se encuentra principalmente sobre los 1000 metros de altitud. La subcuenca baja es mucho más extensa. Los cursos de agua superficiales que descargan en el río Mapocho son el Canal San Carlos, que conduce agua desde el río Maipo hacia el Mapocho y colecta una serie de quebradas cordilleranas que caen superficialmente al Canal o bien

mediante canalizaciones urbanas. Adicionalmente a ello se encuentran ductos de aguas lluvias, que caen directamente al canal.

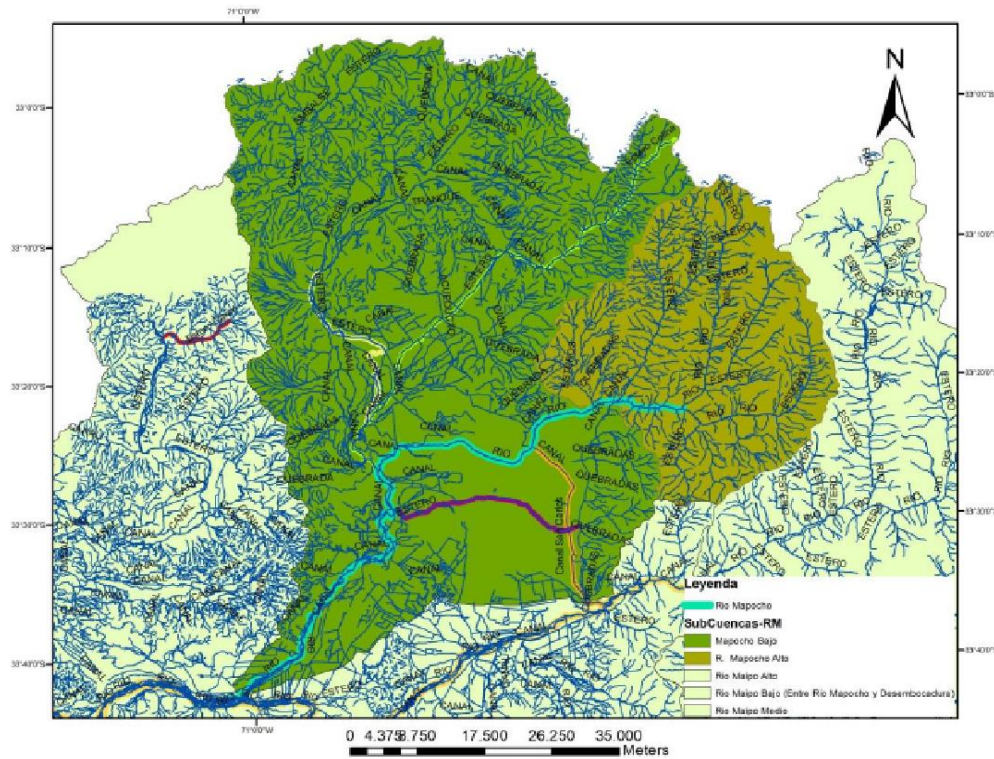


Figura 6.25 Subcuencas del río Mapocho.

Un hecho importante desde el punto de vista hidrológico es que la subcuenca baja, drena una parte importante del agua de sectores altos y que descargan en el Zanjón de la Aguada y que se une al curso del Mapocho en Maipú antes de la estación fluviométrica Rinconada y otra parte descarga en el Canal San Carlos, que une el río Maipo con el Mapocho, que se une al curso principal del río en el sector de Tobalaba, área completamente urbanizada.

6.2.2.2 Red Hidrológica, Tramos y Caudal

De los antecedentes recopilados, sin duda, que la unión del río Maipo con el río Mapocho, a través del Canal San Carlos, es un hecho geomorfológico, hidrológico y ecológico relevante, por el aporte de un caudal significativo al Mapocho durante más un siglo. Desde el punto de vista de la regulación del caudal, es importante destacar, que las secciones del río están definidas por la DGA, con criterios hidrológicos y de uso, y que existen desde hace más de un siglo. Este enfoque de categorización técnico-legal, no es necesariamente el más apropiado para los fines de análisis ecológico.

6.2.2.2.1 Red Hidrológica

La red hidrológica natural consistía en el curso principal, sus afluentes (cordilleranos, estero Lampa, Zanjón de la Aguada), Figura 6.26. En el sector de Peñaflores hacia el río Maipo, una serie de afloramientos hacia el curso principal del río Mapocho (Figura 6.27).

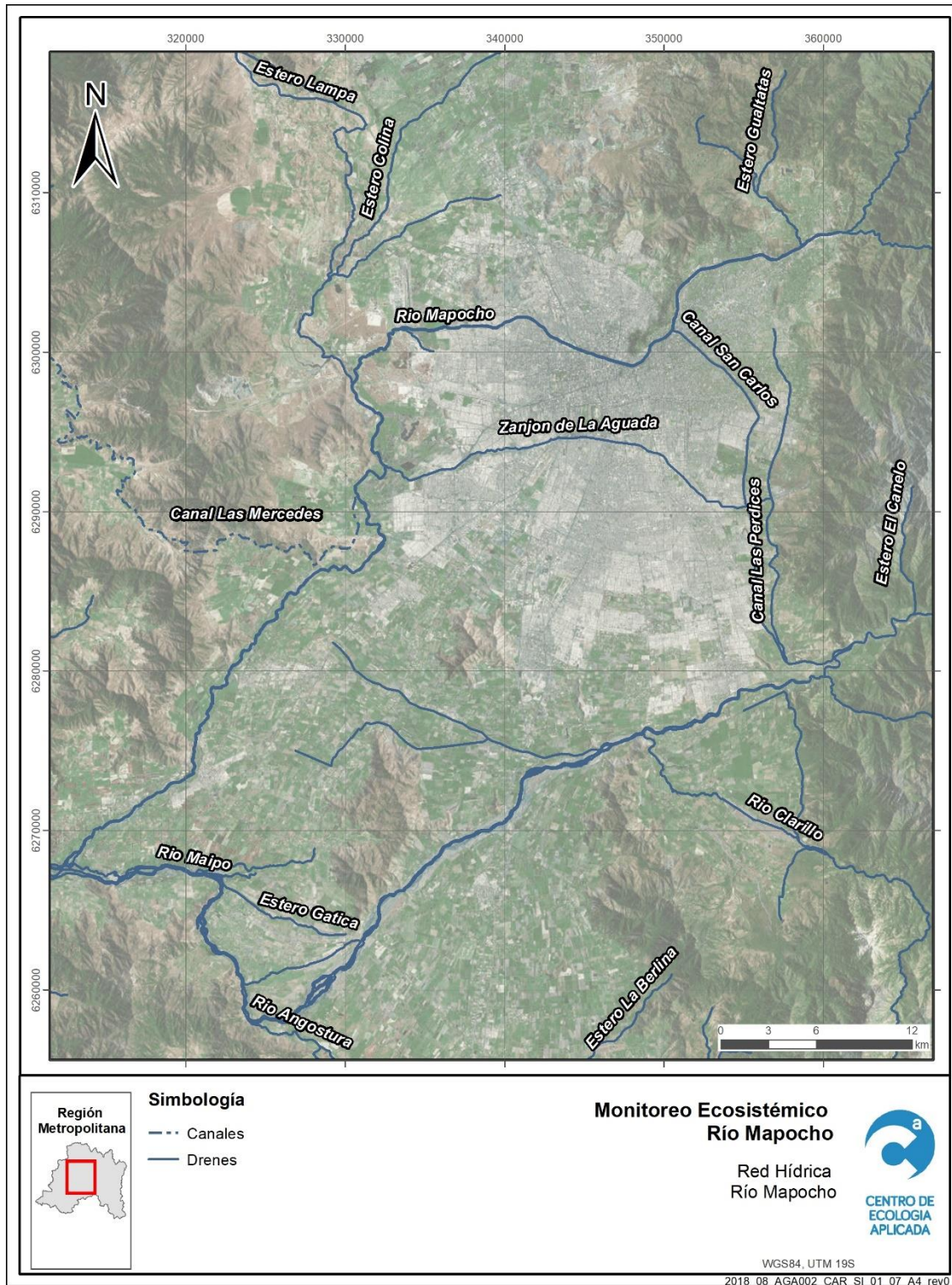


Figura 6.26 Red Hidrológica que corresponde a la extensión estudiada del curso principal río Mapocho.

La red hidrológica natural de las subcuencas se ha modificado por el desarrollo de actividades de regulación de los derechos de aguas y la construcción de los sistemas de canales. La mayor parte de ellos tiene décadas de antigüedad, de tal modo que consideraremos que los efectos en los ecosistemas se encuentran incorporados en su funcionamiento (Figura 6.28). A fines del siglo XIX comienza la transformación del río Mapocho, siendo la obra más importante la aducción de agua desde el río Maipo hacia el Mapocho, mediante el canal San Carlos. Simultáneamente la construcción de una serie de canales para extraer agua del Mapocho con fines de riego (por ejemplo, canal Las Mercedes (Figura 6.28, Tabla 6.8). Todos los canales construidos con el fin de proveer agua para riego forman parte integral de la caracterización hidrológicas, y se denominó red hidrológica pasada.

A inicios del siglo XXI se inició la construcción de una serie de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas para la Región Metropolitana de Santiago y construyeron una serie de recolectores de aguas servidas para conducirlos a las plantas de tratamientos La Farfana, El Trebal, y Mapocho, que se localizan al poniente de Santiago, en la vecindad del río, (Figura 6.29). Estas plantas, modifican el caudal del río Mapocho, dada la magnitud del caudal de aguas que tratan.

La red hidrológica, que aporta agua al curso del río Mapocho a inicios del Siglo XXI se muestra en la Figura 6.27. De tal forma que consideraremos un cambio en la hidrología y para los fines de análisis la denominaremos red hidrológica actual. Además, existía una serie de descargas de las aguas no tratadas, que llegaban al río Mapocho, que se ilustran en la Figura 6.30.

En síntesis, la red hidrológica de la Subcuenca Baja del río Mapocho ha sido fuertemente modificada a través del tiempo por el uso agrícola, urbano-doméstico, industrial, minero del agua, y por la ocupación del territorio que han creado una red de evacuación de aguas lluvias y de aguas servidas complejo, transformando el régimen hidrológico natural. Desde la perspectiva o enfoque adoptado en este estudio, eco-hidro-geomorfológico del río, estas modificaciones deben modificar los ecosistemas que se estructuran a lo largo del eje longitudinal del río.

Tabla 6.8 Registro de confluencias de cursos de agua superficiales (ingreso de aguas) y extracción de agua desde el curso principal (desvío de aguas) en el área de estudio.

	INGRESO DE AGUAS	SALIDA DE AGUAS
Cuencas Andinas	X	
Canal El Bollo		X
Canales Unidos		X
Canal San Carlos	X	
Canal El Carmen		X
Canal La Pólvora		X
Quinta Normal	X	
Canal La Punta		X
Canal Las Casas de Pudahuel		X
Planta Aeropuerto AMB	X	
Afloramiento	X	
Estero Lampa	X	
Zanjón de la Aguada	X	

	INGRESO DE AGUAS	SALIDA DE AGUAS
Descarga de La Farfana	X	
Canal Las Mercedes		X
Afloramiento	X	
Canal Padre Hurtado		X
Canal Esperanza Alto		X
Plantas El Trebal Mapocho	X	
Canal Bombilla		X
Canal Bajo de la Esperanza		X
Canal Castillo		X
Canal Romero		X
Canal Santa Cruz o Domingano		X
Canal Mallarauco o Pelvín		X
Estero Agua Fría	X	
Afloramiento	X	
Canal El Paico		X
Afloramiento	X	
Canal Lo Aguirre		X
Canal San Miguel		X
Canal La Manresa		X
Canal Chiñique-Chacón		X
Canal San José		X

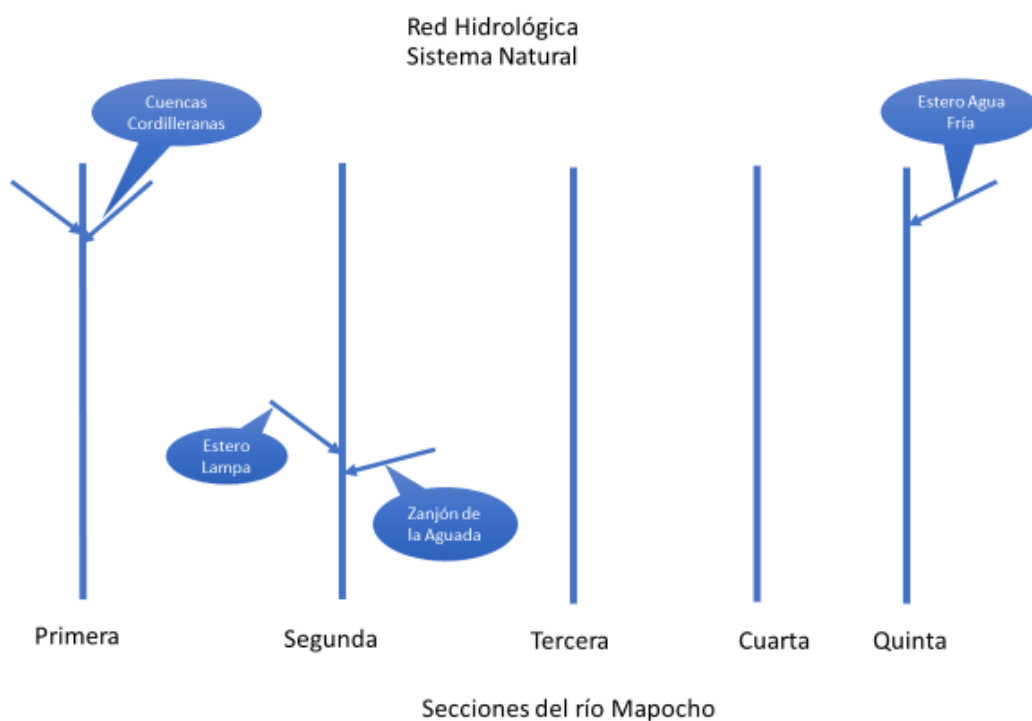


Figura 6.27 Modelo de la Red Hidrológica del río Mapocho antes de las obras del siglo XIX de acuerdo con la nomenclatura de secciones de la DGA. (Flechas azules: aportes de agua al río Mapocho).

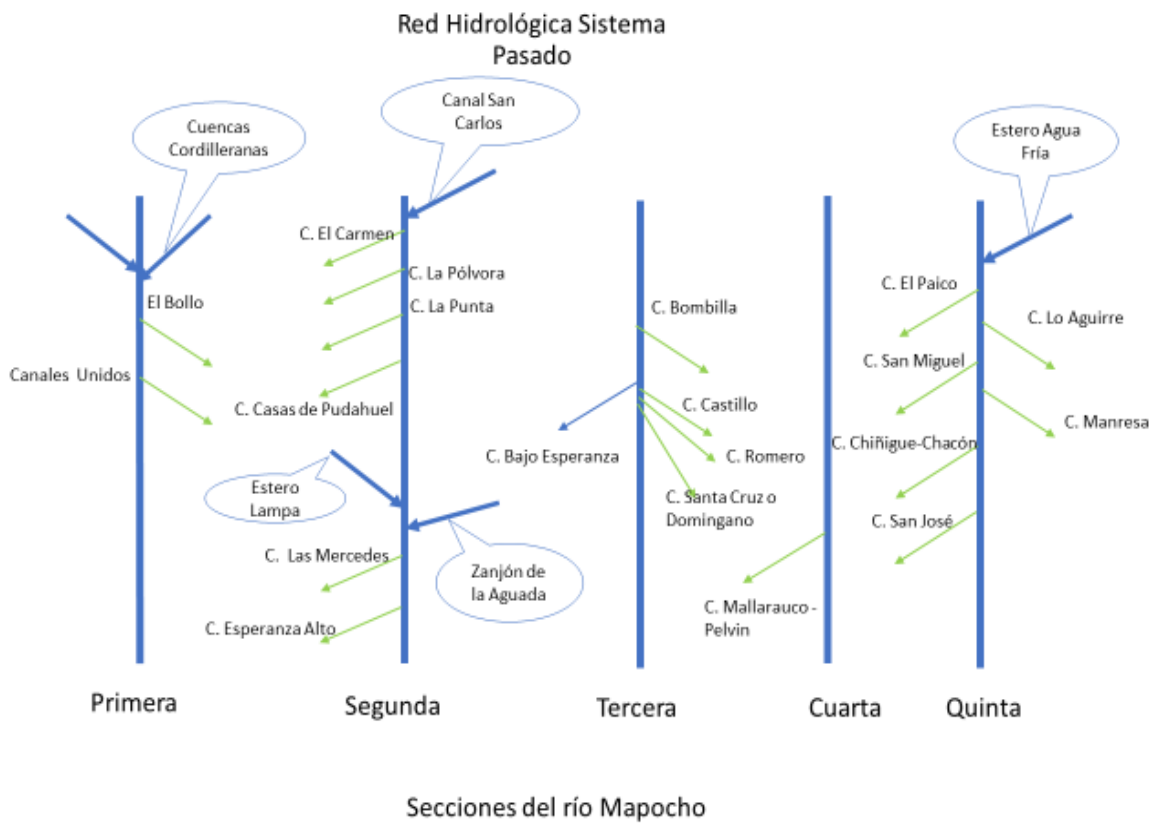


Figura 6.28 Modelo de la Red Hidrológica del río Mapocho con la construcción de canales hasta fines del siglo XX, de acuerdo con la nomenclatura secciones de la DGA. (Flechas azules: aportes de agua al río Mapocho, Flechas verdes: extracción de agua).

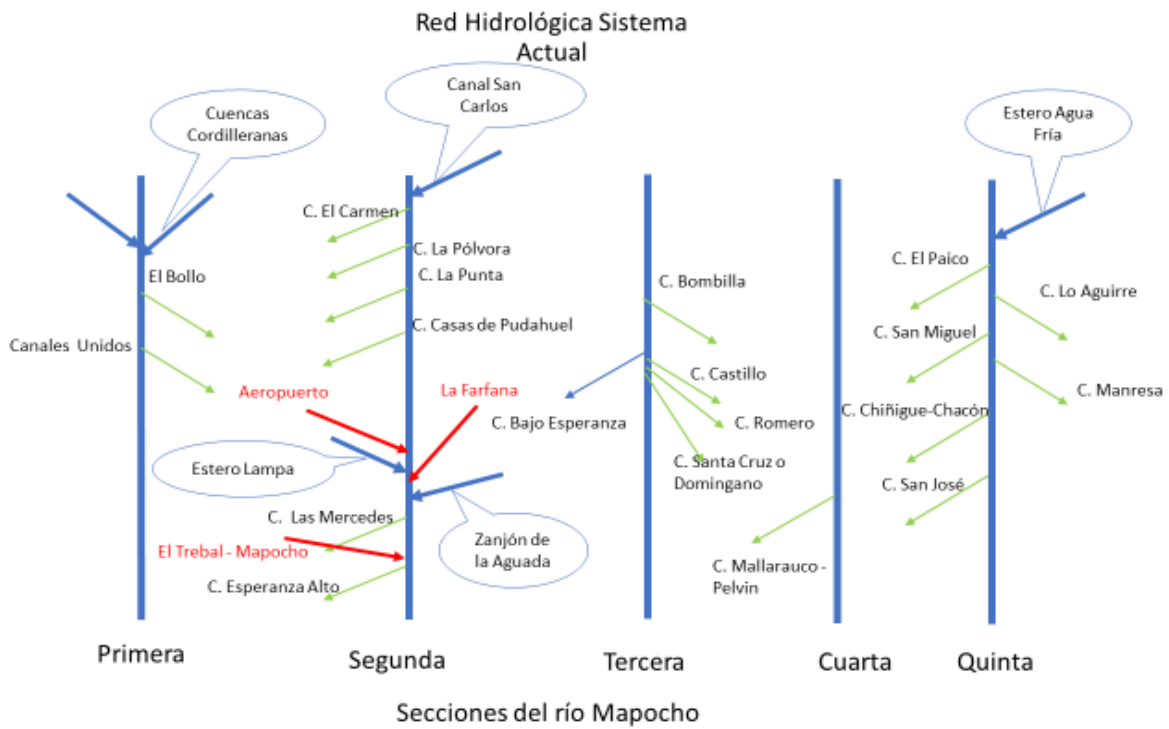


Figura 6.29 Modelo de la Red Hidrológica del río Mapocho a comienzos del siglo XXI y las plantas de tratamiento de aguas servidas, de acuerdo con la nomenclatura de secciones de la DGA. (Flechas azules: aportes de agua al río Mapocho, Flechas verdes: extracción de agua, Flechas rojas: aportes de agua por PTAS).

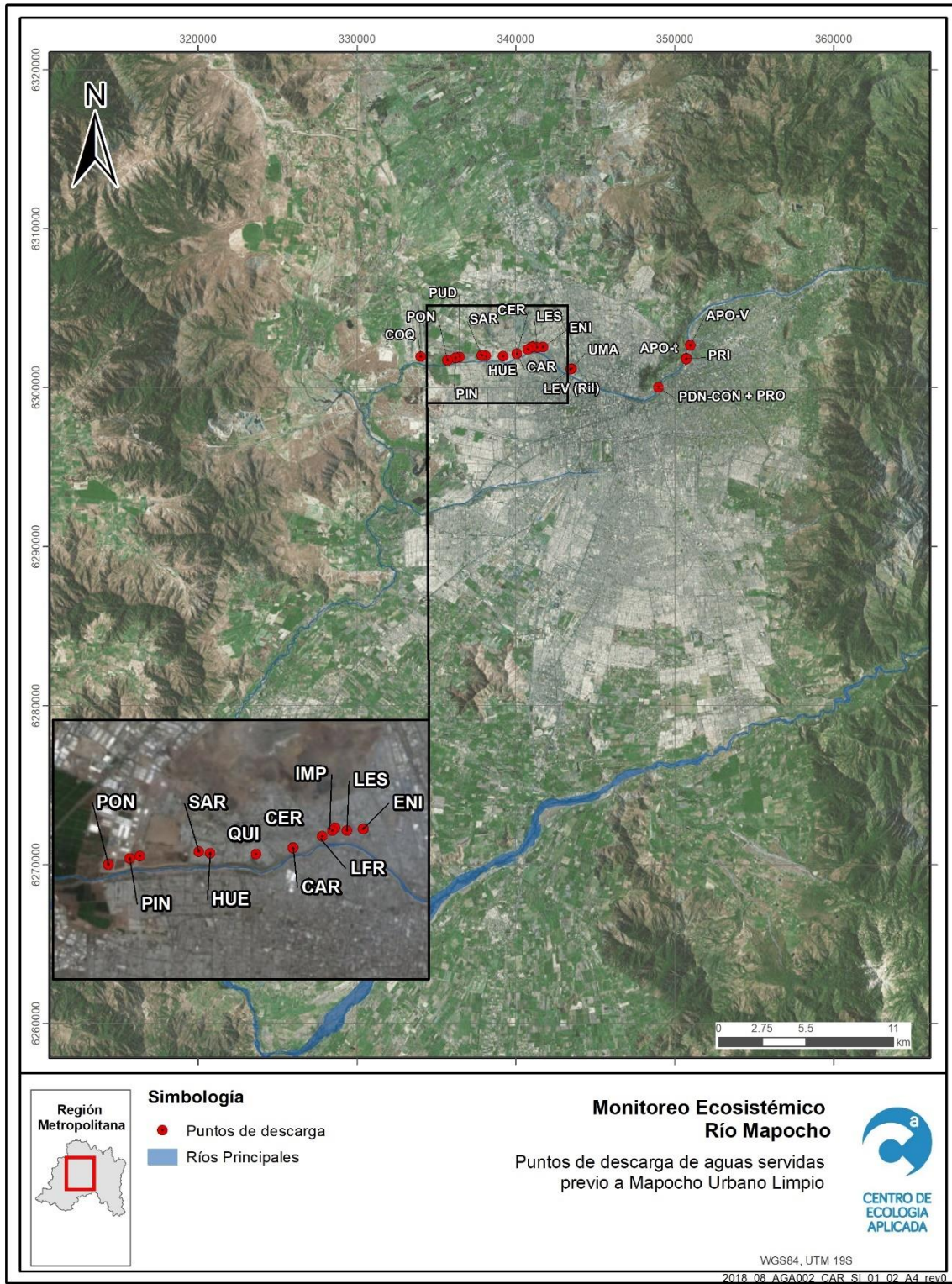


Figura 6.30 Puntos descarga de aguas servidas en la red hidrológica pasada, subcuencas Alta y Baja.

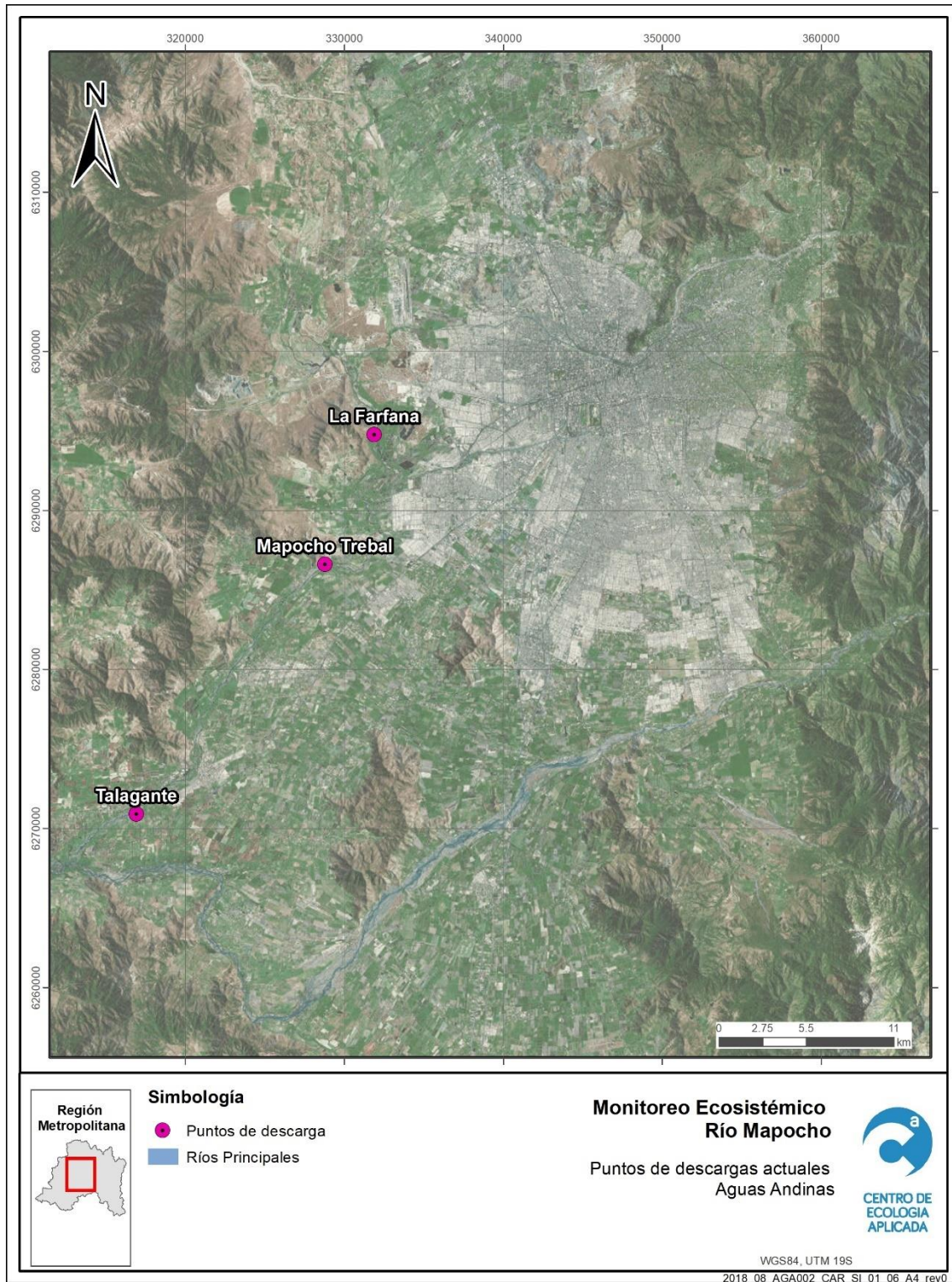


Figura 6.31 Localización de las descargas de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de la Región Metropolitana, que descargan en el Río Mapocho.

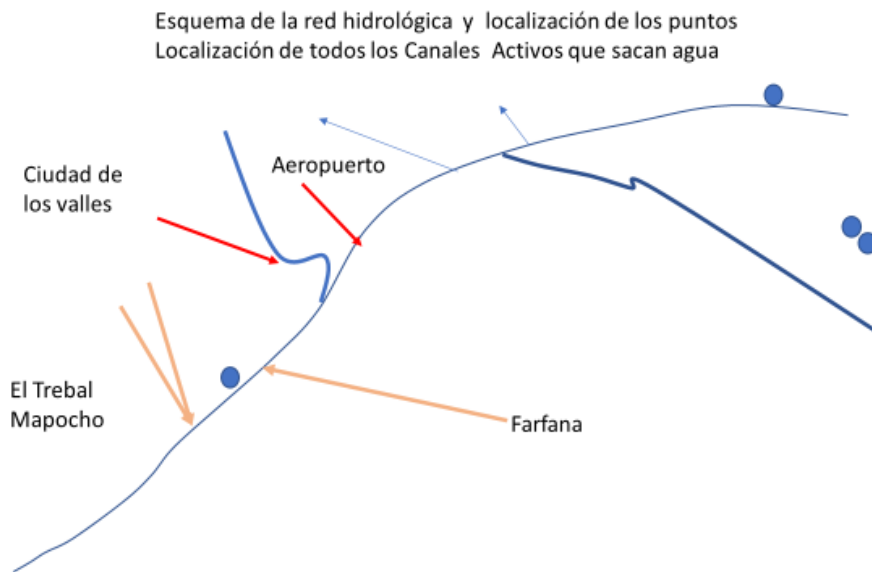


Figura 6.32 Modelo de la red hidrológica actual del Río Mapocho, con sus principales afluentes o descargas al curso principal.

6.2.2.2.2 Tramos

Un tramo es un sector de un curso de agua o río, a lo largo del cual, existen condiciones ecológicas similares, tales como la descarga, profundidad, área y pendiente. También puede ser la longitud de un río o curso de agua (con condiciones cambiantes) entre dos estaciones fluviométricas, o la longitud de un río que es bien descrita por única estación. La idea de tramo no ha sido considerada de modo explícito en los estudios del río Mapocho, de forma que no hay antecedentes que podamos incorporar en este aspecto. Sin embargo, existen antecedentes actuales que permiten identificar en función de los estudios recientes desde imágenes satelitales y observaciones de terreno tramos para los fines de este estudio. De acuerdo con esta idea y considerando aspectos geomorfológicos, hidrológicos incluyendo la red indicada más arriba, se definieron 5 tramos que se observan en la Figura 6.33. Los tramos definidos no coinciden completamente con las dos subcuencas reconocidas. Esto se debe a las modificaciones realizadas por el hombre en el uso urbanos de las riberas, los procesos de abovedamiento del río, la construcción de gaviones y la construcción del Canal San Carlos.

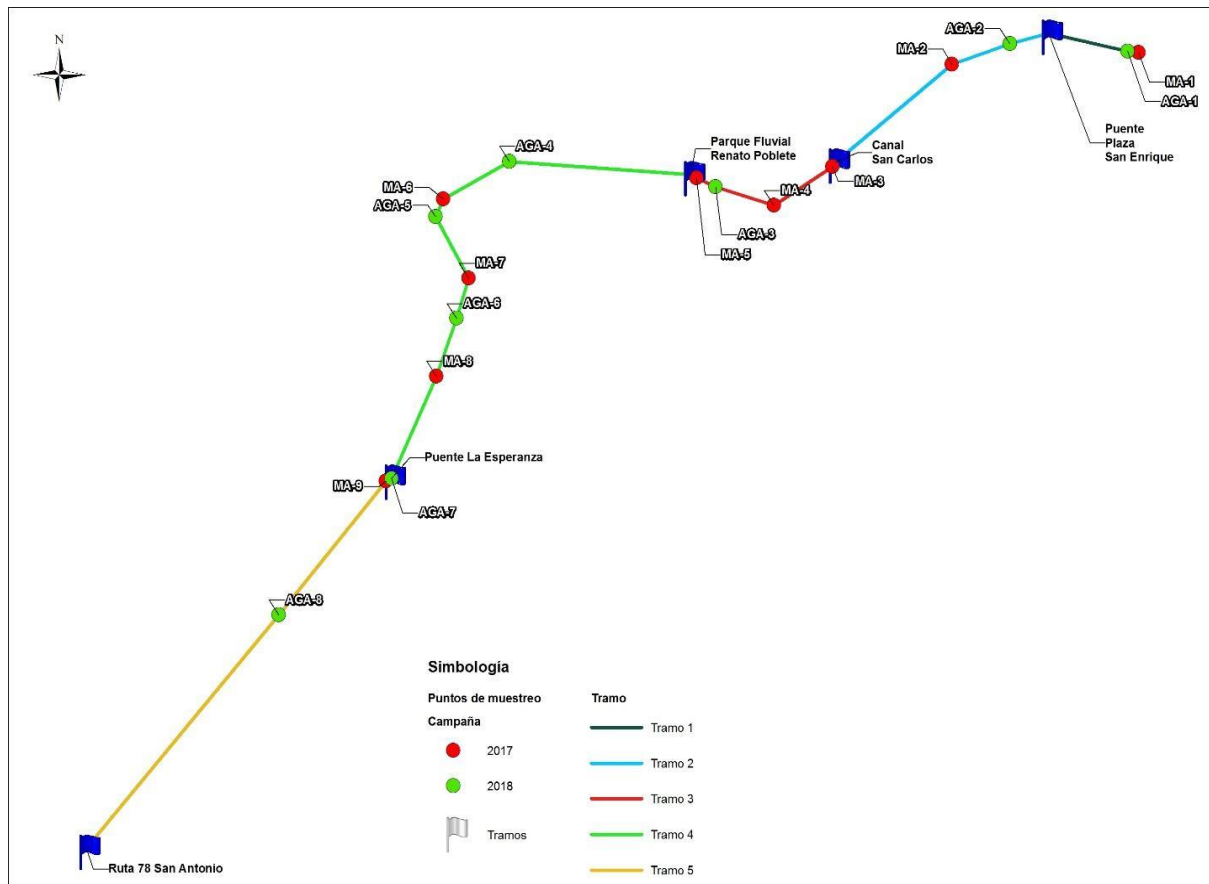
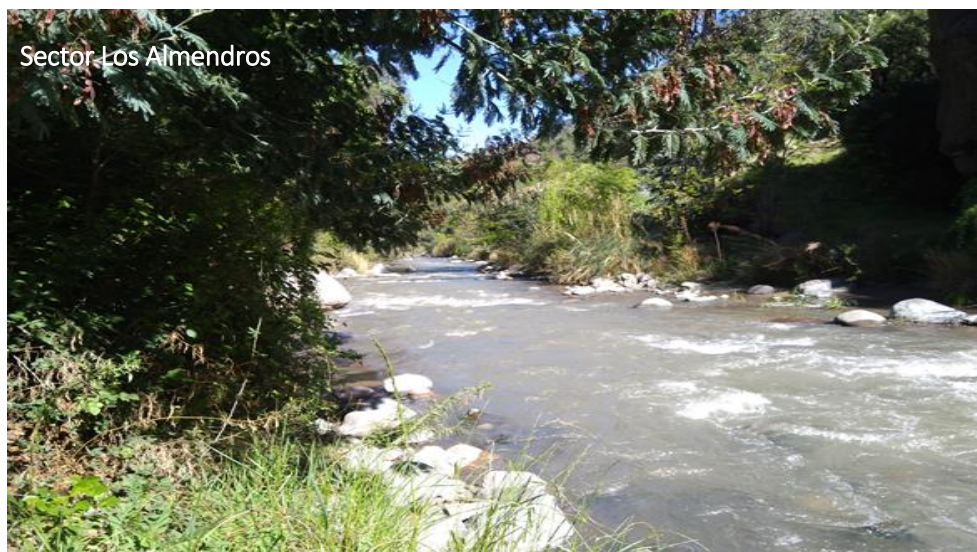


Figura 6.33 Localización de los tramos 1 al 5 en el eje longitudinal del río Mapocho.

A continuación, se caracterizan los tramos definidos basados en información de terreno y antecedentes de imágenes satelitales.

a) Tramo 1: Los Almendros

Este tramo se caracteriza por presentar un alta pendiente, con un lecho del río formado por grandes rocas o bien roca madre, dado que corresponde a una zona montañosa, por donde escurre el agua en forma turbulenta. Este tramo representa a la parte cordillerana del río Mapocho actual, que no está incluida en el presente estudio.



b) Tramo 2: Puente San Enrique- Canal San Carlos

El tramo desde el sector del Puente San Enrique, cuando el río se abre hacia el valle, se produce un cambio significativo en la pendiente aumentando la formación de bancos de material sedimentado de distinto tamaño. El río alcanza una dimensión lateral muy importante, que en la actualidad se encuentra modificado por obras de encauzamiento, con distintas técnicas de construcción, y en un amplio trayecto con gaviones enmallados, que le dan un límite morfológico nuevo al río Mapocho en este sector. Por otra parte, el caudal ha formado nuevos canales de forma trenzada, con bajo niveles de caudales, excepto en los momentos de precipitaciones de la temporada de invierno. Esta estructura del río se puede observar hasta la desembocadura del Canal San Carlos.



c) Tramo 3: Canal San Carlos - Parque Fluvial La Familia

Este tramo presenta un curso de agua abovedado, con un lecho del río construido con bloques de rocas de gran tamaño, articulados en el fondo de modo de impedir la erosión. En las riberas naturales han desaparecido y en su lugar se construyeron muros, prácticamente verticales para encauzar el agua, también elaborado por bloques de roca. Este hecho representa un cambio geomorfológico irreversible, que condiciona el desarrollo de los ecosistemas. En este segmento del eje longitudinal, se modificó fuertemente la formación de bancos de sedimentos, la formación de canales en relación con el caudal, la ribera que se encuentra eliminada, que se expresa espacialmente con mayor amplitud en la temporada de estiaje o bien cuando los caudales son menores por causas de cambios interanuales en las precipitaciones. Desde el punto de vista de las dimensiones espaciales (Ward 1989) reducen las dimensiones lateral y vertical del río. El desarrollo de los ecosistemas está así en este sector fuertemente condicionado por las alteraciones de origen antrópico.



d) Tramo 4: Parque Fluvial La Familia - Puente La Esperanza

Aguas abajo del parque acuático, el curso del río disminuye su pendiente, se hace más meándrico en la figura de su eje longitudinal. En un sector de este tramo se presenta una ribera con gaviones enmallados, para mantener el curso de agua. Más abajo del cruce con la autopista Américo Vespucio estos gaviones están ausentes. El curso del río cambia de dirección y pasa por el sector poniente en dirección sur, que en el año 2003 se denominó Mapocho poniente. En este tramo descargan actualmente las aguas tratadas las PTAS de La Farfana, El Trebal y Mapocho.



e) Tramo 5: Puente Esperanza - Confluencia río Maipo.

Aguas abajo de las descargas de las PTAS El Trenal y Mapocho, el curso de agua pasa por un sector donde se realizaron obras fluviales de defensa, para evitar en las crecidas que el curso de agua cambie de dirección y erosione o inunde las terrazas fluviales aledañas. Hacia el Maipo, el río en su eje longitudinal fluye libremente, con pocas modificaciones causadas por obras de defensa fluvial. Otro hecho, de importancia es que se presentan afloramientos, no localizados adecuadamente y no disponemos de esa información hidrológica.



Tabla 6.9 Valores de Precipitaciones medias anuales de las estaciones Los Almendros y Fundo Marruecos (DGA, 2018).

Año	Precipitación media anual (mm)	
	Los Almendros	Fundo Marruecos
1989		41,43
1990		2,14
1991		56,72
1992		34,12
1993		24,33
1994		22,48
1995		16,47
1996		12,81
1997		61,00
1998		6,62
1999	46,24	28,28
2000	52,27	37,87
2001	38,12	28,06
2002	58,46	45,66
2003	15,01	18,49
2004	40,90	27,79
2005	54,62	37,47
2006	34,82	28,83
2007	21,64	13,55
2008	37,85	29,44
2009	33,34	22,73
2010	27,46	15,86
2011	16,53	11,53
2012	27,30	17,21
2013	13,49	15,67
2014	17,31	15,53
2015	20,95	18,03
2016	24,40	0,00
2017	13,12	29,60
2018	5,30	10,00

6.3 Análisis Jerárquico Eco hidro geomorfológico

El análisis interdisciplinario seleccionado, permite entender los aspectos geomorfológicos e hidrológicos del río en conjunto con el ecológico de forma integrada. Simultáneamente, usamos distintos niveles jerárquicos de análisis para encontrar patrones de interés ecológicos, usando en general el mismo conjunto de datos.

En esta sección se realiza un análisis desde la jerarquía ecológica centrada en el nivel de ecosistema, como eje de la integración, pero considerando también los resultados entregados en la caracterización del río Mapocho desde las jerarquías geomorfológicas e hidrológica.

Por otra parte, el análisis considera escalas espacio - temporales diferentes, el caso de los componentes abióticos, para el caudal se realizó un análisis en las escalas mensuales y anuales, basados en datos medios. En cambio, para el análisis del ecosistema en cuanto a su estructura de componentes e interacciones, corresponden a un nivel temporal integrado; interanual o superior en los aspectos correspondientes a las interacciones tróficas o propiedades como la riqueza de especies. Este análisis incluye los resultados obtenidos en el muestreo de los ecosistemas en el año 2018.

6.3.1 Componentes de los ecosistemas

De acuerdo con el modelo conceptual de ecosistemas, los componentes abióticos son constitutivos de los ecosistemas, como el caudal, el sustrato y sedimento, con un amplio conjunto de propiedades físicas y químicas. Estos se han descrito desde las perspectivas de las jerarquías geomorfológica e hidrológica. Ahora, se analizan desde el punto de vista de la jerarquía ecológica como parte constitutiva de los ecosistemas (Tansley 1935).

En la definición de los componentes de los ecosistemas en el año 2003, se tomó en consideración que las fuentes de carbono de los ecosistemas estaban fuertemente perturbadas por las descargas de aguas servidas no tratadas al curso principal de río Mapocho. Simultáneamente, se seleccionaron componentes bióticos que pueden ser monitoreados en el largo plazo, que permiten una descripción de la composición y abundancia de organismos acuáticos y riparianos.

Es importante destacar que las observaciones en los componentes abióticos y bióticos seleccionados se realizaron en muestras obtenidas en puntos de muestreo, en las dos subcuencas del río Mapocho, en la dimensión longitudinal. También se debe indicar la existencia de una sola temporada de observación en esos componentes tanto en el año 2003, el año 2017, así como en el año 2018.

Tabla 6.10 Componentes bióticos de los ecosistemas evaluados en las distintas temporadas de seguimiento (evaluado no significa que se encontraron en los muestreos).

	Componentes / Temporadas	Mapocho Poniente	Sector 1 *	Sector 2	Sector 3	Tramos (1-5)
		2003	2017	2017	2017	2018
Abióticos						
Caudal	✓	✓	✓	✓	✓	
Sedimentos	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bióticos						
Perifiton/Fitobentos	✓	✓	✓	✓	✓	
Peces	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Microorganismos	✓	✓	✓	✓	✓	
Macroinvertebrados	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Macrófitas						✓
Vegetación Ripariana	✓	✓	✓	✓	✓	✓

	Componentes / Temporadas	Mapocho Poniente	Sector 1 *	Sector 2	Sector 3	Tramos (1-5)
		2003	2017	2017	2017	2018
Aves Acuáticas y Riparianas		✓	✓	✓	✓	✓

* Corresponde a la zonificación longitudinal propuesta en el río Mapocho, en el estudio 2017.

Los componentes fueron seleccionados para el estudio ecosistémico del río Mapocho en relación con el estado del río en el año 2003, y considerando que algunos grupos de organismos, como los macroinvertebrados bentónicos, buenos indicadores de la calidad del agua y en consecuencia del estado del río como ecosistema. También se tomó en consideración el origen del carbono que es usado por los organismos del río, es decir, si el carbono o materia orgánica es de origen alóctono o autóctono. En el año 2003, el río recibía una gran cantidad de aguas servidas sin tratar, y el origen del carbono era esencialmente aportado por las aguas servidas domiciliarias, descargadas por la red de alcantarillado, directamente al curso del Mapocho, sin tratar. Es en ese contexto se definió explorar la existencia de distintos grupos de organismos. Así se seleccionaron, la vegetación ripariana, las macrófitas, el fitobentos, los macroinvertebrados bentónicos, peces y microorganismos. Estos últimos, debido a que las aguas de cursos urbanos deben mantener niveles bajos de microorganismos (fecales), especialmente respecto de los requerimientos para el agua de uso en riego y recreación. Por otra parte, entre los componentes abióticos se incluyó la columna de agua y los sedimentos. Desde el punto de vista espacial se consideran las subcuencas altas y bajas del río Mapocho, y desde el punto de vista temporal se realiza un análisis en dos escalas, mensual e interanual.

Los componentes bióticos solamente se han muestreado en tres oportunidades en términos temporales. En cambio, en términos espaciales, hay numerosos puntos de muestreo, aunque no coinciden en las distintas campañas realizadas, pero se encuentran en ambas subcuencas y en todos los tramos definidos. Estacionalmente en el otoño de 2003, en el otoño de 2017 y primavera de 2018, de tal manera que los patrones de funcionamiento que se indiquen son generales. Sin embargo, dado lo escaso de los muestreos, se hace un análisis temporal único con los datos acumulados hasta el momento.

6.3.2 Análisis Jerárquico de los Componentes Abióticos

Para los componentes abióticos se realizó un análisis comparativo entre la subcuenca alta y la subcuenca baja del río Mapocho, considerando 30 años de observaciones, y en casi todas las variables en función de dos escalas de tiempo, mensual e interanual. El análisis se realiza en el nivel jerárquico de subcuencas para las estaciones fluviométricas existentes. En cambio, para otras propiedades físicas y químicas, dado la heterogeneidad espacial en la dimensión longitudinal del río, y la existencia de observaciones en distintos puntos, se realizó un análisis en el nivel jerárquico de tramo.

6.3.2.1 Nivel de Subcuencas

6.3.2.1.1 Magnitud del caudal / régimen del caudal

Ecológicamente el caudal es considerado fundamental en el análisis del funcionamiento ecosistémico, y en un río no regulado se define como “régimen natural del caudal” (Poff et al. 1997). Especialmente, dado las estaciones fluviométricas existentes, el régimen del caudal del río solamente se puede analizar a nivel de

las subcuencas alta y baja. La escala temporal se realizó por mes y año (Poff et al. 1997) y de esta forma, el régimen de caudal que se puede observar corresponde a sus variaciones estacionales e interanuales.

El patrón del caudal observado a escala de décadas muestra claramente que la subcuenca alta tiene un régimen completamente distinto de la subcuenca baja. En la estación Los Almendros la distribución estacional muestra que aumenta en los meses de mayo a noviembre y comienza a disminuir en los meses de verano hasta alcanzar mínimos en los meses de febrero, marzo y abril. En cambio, en la estación Rinconada, la disminución estacional de la magnitud del caudal se acentúa en los meses de marzo y abril, y aumenta mucho más rápido en los meses de mayo, junio, alcanzando un máximo en los meses de invierno y primavera.

También se observa que la magnitud del caudal es muy diferente en todo el periodo de análisis entre las subcuencas alta y baja (Figura 6.35, Tabla 6.11). Esto se explica por la conexión de la subcuenca baja con el río Maipo a través del Canal San Carlos y el régimen de precipitaciones estacional. Esto se debe, por una parte, al patrón de precipitaciones líquidas que es dominante en la subcuenca baja, mientras que en la subcuenca alta la precipitación dominante es sólida, de modo que los caudales máximos ocurren en el periodo de fundición de nieve al inicio de la primavera. Por otra parte, la estacionalidad de la magnitud del caudal en la subcuenca baja es claramente pluvionival, mientras subcuenca alta es nival.

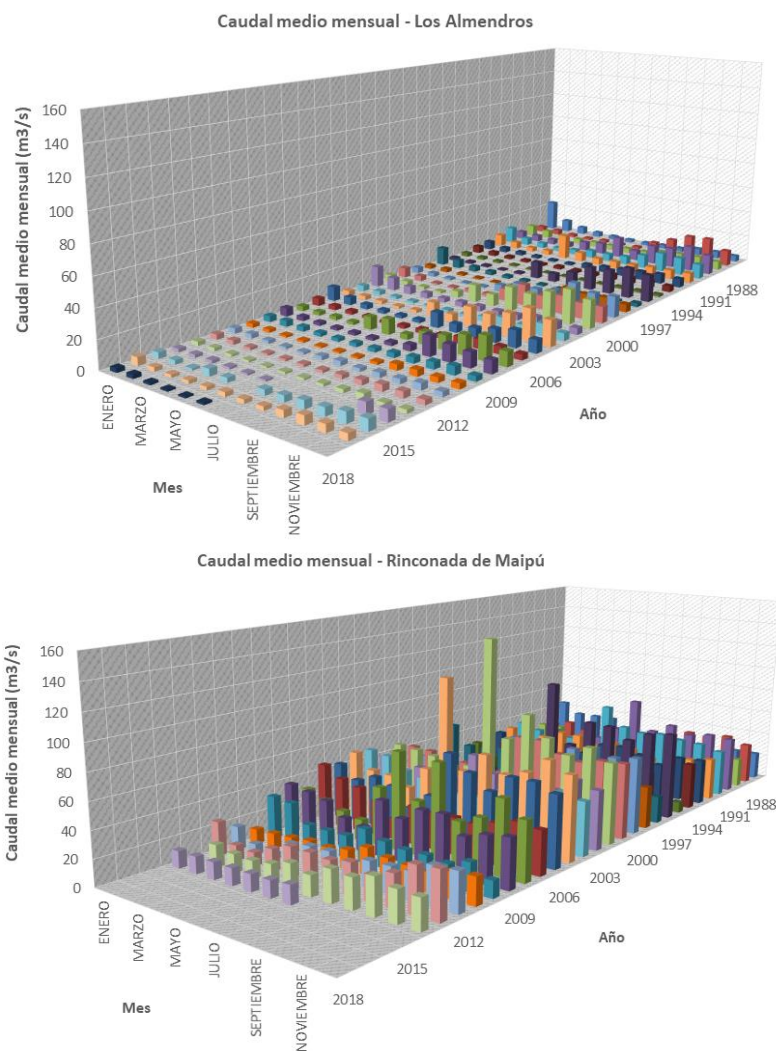


Figura 6.35 Patrones estacionales e interanuales de los caudales en la estación Los Almendros de la subcuenca alta y en la estación Rinconada de Maipú de la subcuenca baja, del río Mapocho.

Tabla 6.11 Valores de Precipitaciones medias anuales de las estaciones Los Almendros y Fundo Marruecos (DGA, 2018).

Año	Promedio Caudal medio mensual (m³/s)	
	Los Almendros	Fundo Marruecos
1988	5,75	26,68
1989	7,30	27,17
1990	5,31	20,69
1991	9,88	35,41
1992	7,66	39,37

Año	Promedio Caudal medio mensual (m ³ /s)	
	Los Almendros	Fundo Marruecos
1993	6,82	31,11
1994	4,19	29,19
1995	3,41	27,97
1996	1,33	17,33
1997	9,45	44,36
1998	3,21	26,53
1999	3,39	24,22
2000	7,64	40,95
2001	7,31	48,12
2002	11,19	65,02
2003	5,64	39,37
2004	3,47	35,30
2005	9,43	58,03
2006	6,71	46,25
2007	3,60	31,18
2008	7,84	41,48
2009	5,77	33,94
2010	3,69	20,28
2011	2,45	15,09
2012	2,91	17,84
2013	2,78	22,10
2014	2,10	19,36
2015	3,33	12,97
2016	4,68	
2017	3,68	
2018	1,83	

Estas diferencias en el patrón estacional, se debe a que, en la subcuenca alta, una parte importante de las precipitaciones cae en forma sólida durante el invierno, y en la temporada de primavera la nieve se funde aumentando el caudal, mientras que, en la subcuenca baja, la precipitación cae invierno y en forma líquida. Estos resultados indican la existencia de una estacionalidad de tipo mediterráneo, que era esperable y simultáneamente una diferenciación espacial entre las subcuencas en el régimen del caudal, principalmente en magnitud.

En ambas subcuencas se observa una drástica reducción de los caudales medios mensuales a partir del año 2007, que es coherente con las sequías de los últimos años, simultáneamente se produce una homogeneización de la magnitud de los caudales estacional. Esta oscilación en la magnitud del caudal también es importante en el desarrollo de los ecosistemas lóticos, considerado un factor clave en la

dinámica de las comunidades y ecosistemas en ríos, independiente de la ausencia de datos o registros en los últimos años para la estación Rinconada.

6.3.2.1.2 Propiedades Físicas y Químicas del caudal

La caracterización de estas variables se realizó para los niveles de subcuencas, alta y baja del río Mapocho y dos escalas temporales, mensual e interanual.

a) Temperatura

En general, las temperaturas fueron levemente menores en la subcuenca alta con respecto a la subcuenca baja (Figura 6.36), aunque es importante destacar que la primera presentó una menor cantidad de mediciones. La importancia de este parámetro se basa en la viabilidad de los organismos a subsistir a ciertas temperaturas y la disolución de oxígeno posible en el curso de agua. Cabe destacar, que este parámetro presenta una amplia variación dependiendo del día y hora de medición.

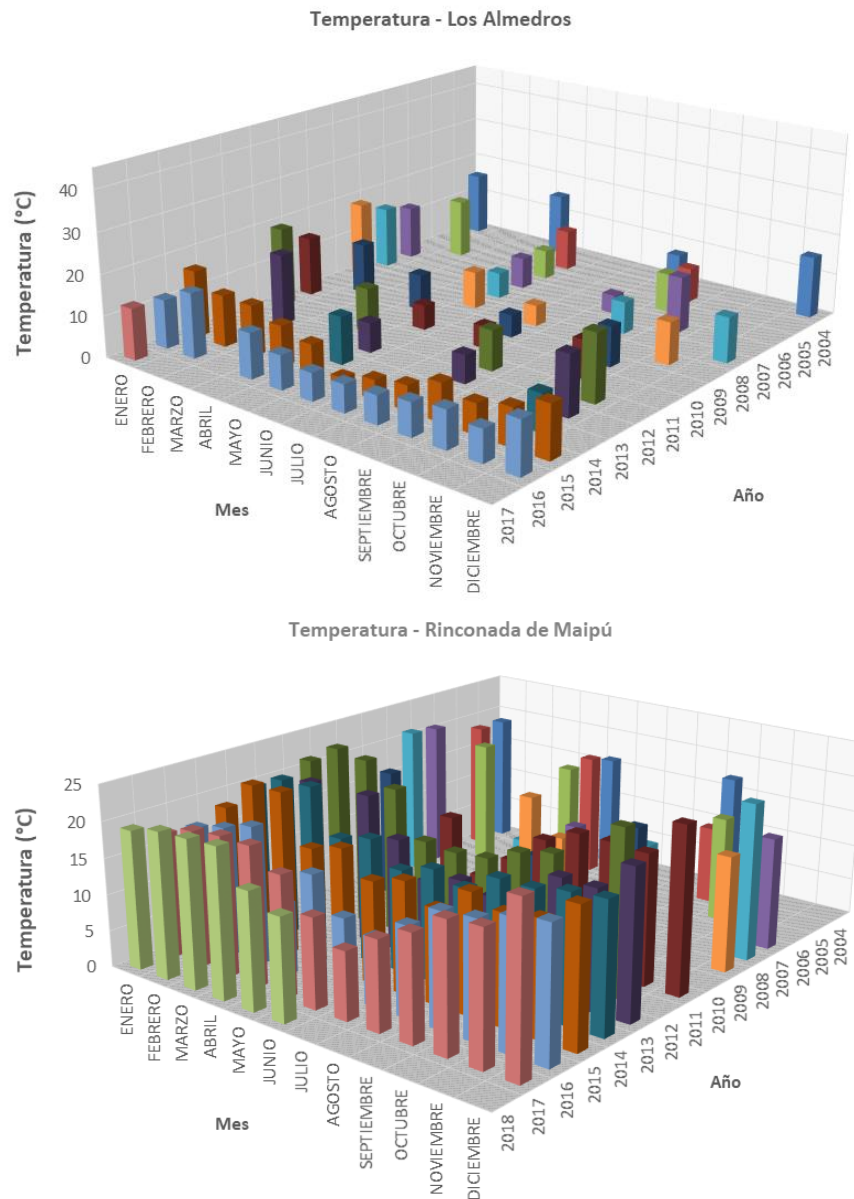


Figura 6.36 Distribución temporal de los valores de temperatura en la columna de agua de las Subcuenca alta, estación Los Almedros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.

b) pH

El pH, en la subcuenca alta (Figura 6.37) en general es de neutro a ligeramente alcalino, en todo el período de registro. Sin embargo, en los meses de verano tiende a ser más neutro y en algunas oportunidades es ácido. Este hecho ocurre cuando el caudal es más reducido, en el verano especialmente en el mes de febrero y marzo. Una explicación es que uno de los cursos correspondiente al estero Yerba Loca, presenta

pH ácido en una parte importante de su trayecto y forma parte de los afluentes de red hidrológica de la subcuenca alta del río Mapocho aguas arriba de la estación Los Almendros.

En la subcuenca baja, el pH es generalmente neutro a ligeramente alcalino durante todo el ciclo anual y a lo largo del periodo de registro analizado en la estación Rinconada (Figura 6.37). y es mucho más estable, pero también disminuye levemente en los meses de verano.

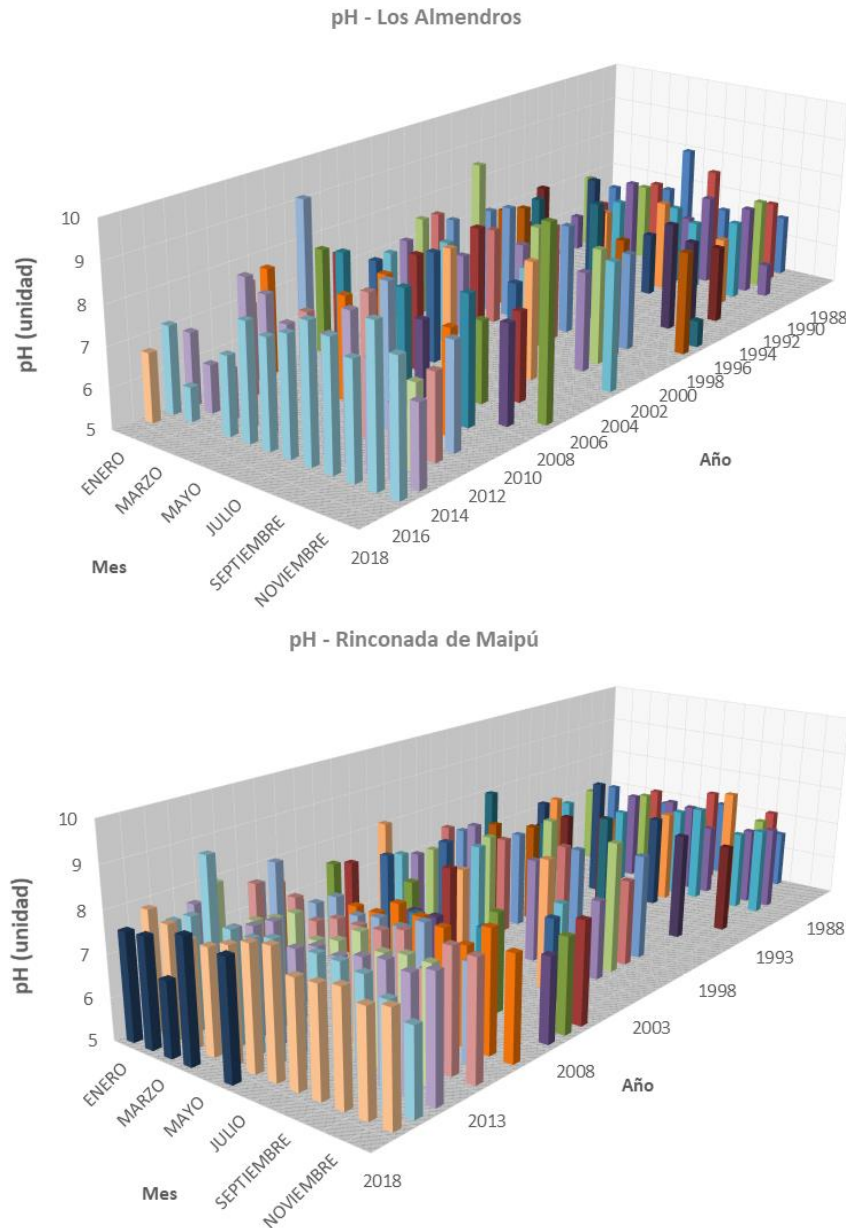


Figura 6.37 Distribución temporal de los valores de pH en la columna de agua de las Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.

c) Oxígeno Disuelto

El nivel de oxígeno disuelto es un importante indicador de la calidad del agua, y es una variable del hábitat para muchos organismos acuáticos. De acuerdo con la Figura 6.38 los niveles de oxígeno disuelto son en general mayores en la subcuenca alta medida en la estación Los Almendros, respecto de los niveles observados en la estación Rinconada de la subcuenca baja del río Mapocho. Los niveles de OD son mucho más regulares en la subcuenca alta, no obstante, que no se dispone de muchos datos registrados de una forma sistemática en el tiempo. En la última década se observa la ocurrencia de cierta estacionalidad en los niveles de OD, aumentando en los meses de invierno.

En la estación Rinconada de la subcuenca baja, se observa que ha ocurrido un aumento en los niveles de oxígeno, desde la primera década del siglo XXI, posterior a la instalación de la PTAS. También se observa un ciclo estacional, con un aumento de los niveles de OD en los meses de invierno. Por otra parte, en los últimos años de registro, se ha presentado una disminución de los niveles de OD, especialmente en los meses de verano.

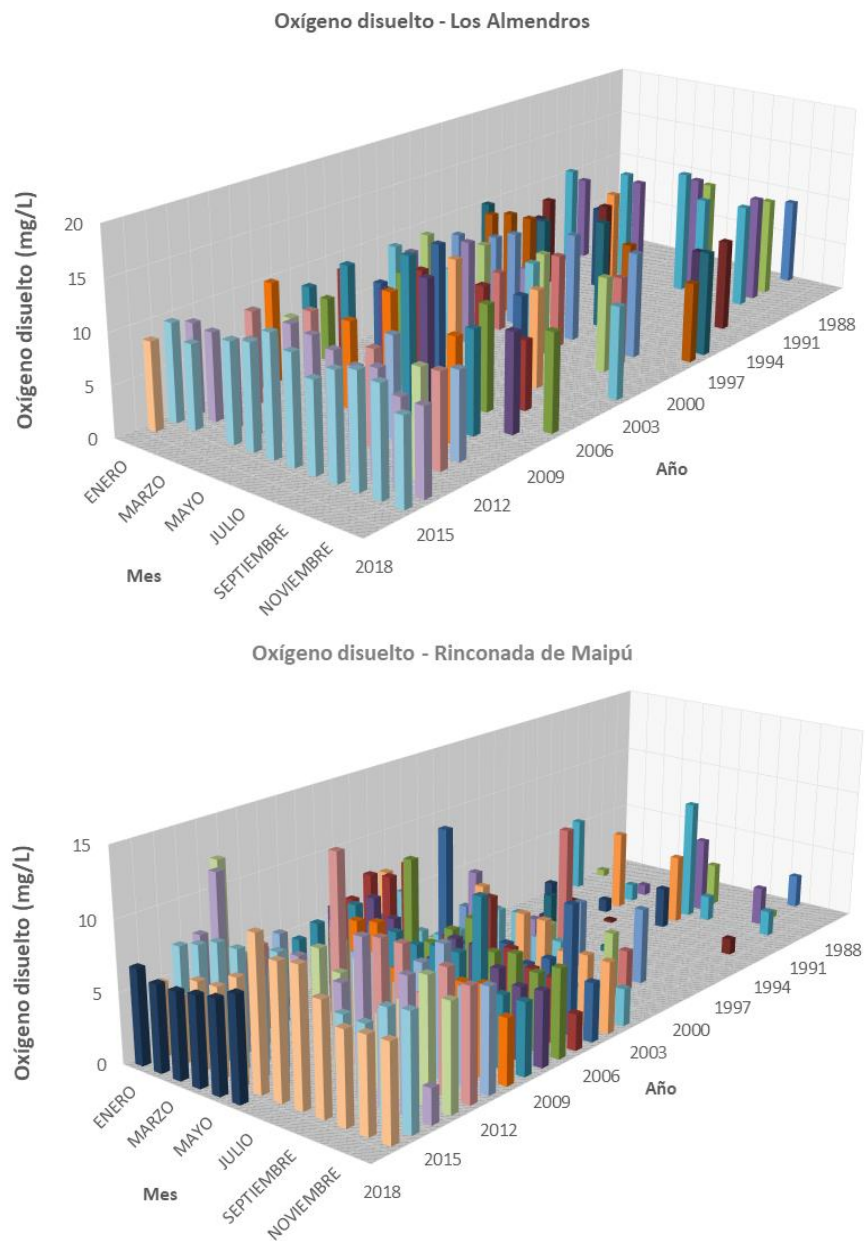


Figura 6.38 Distribución temporal de los valores de oxígeno disuelto en la columna de agua de la Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.

d) Conductividad Eléctrica

Al comparar la conductividad eléctrica espacialmente, se observa que es claramente menor en la subcuenca Alta que en la subcuenca baja. Los valores obtenidos en la subcuenca alta no han cambiado mayormente



en los 30 años de observación y presentan una suave estacionalidad Figura 6.39 mientras que en la subcuenca baja se observa que ha ocurrido una tendencia a aumentar, especialmente en la última década.

En la estación Rinconada de la subcuenca baja, los valores son mucho más elevados respecto de la subcuenca alta y parecen haber incrementado en los últimos años de registro Figura 6.39. No se observan cambios en la escala interanual, para el periodo de observación.

Estacionalmente, en la subcuenca alta no se observa una estacionalidad, en cambio en la subcuenca baja hay estacionalidad, siendo mayor los valores en los meses de verano-otoño y disminuyendo en invierno-primavera.

Estas diferencias, pueden ser originadas por la naturaleza distinta de la subcuenca baja, así como por la red hidrológica modificada por el Canal San Carlos, y la descarga de la planta La Farfana, que aporta aguas tratadas, aguas arriba de los registros en la estación Rinconada.

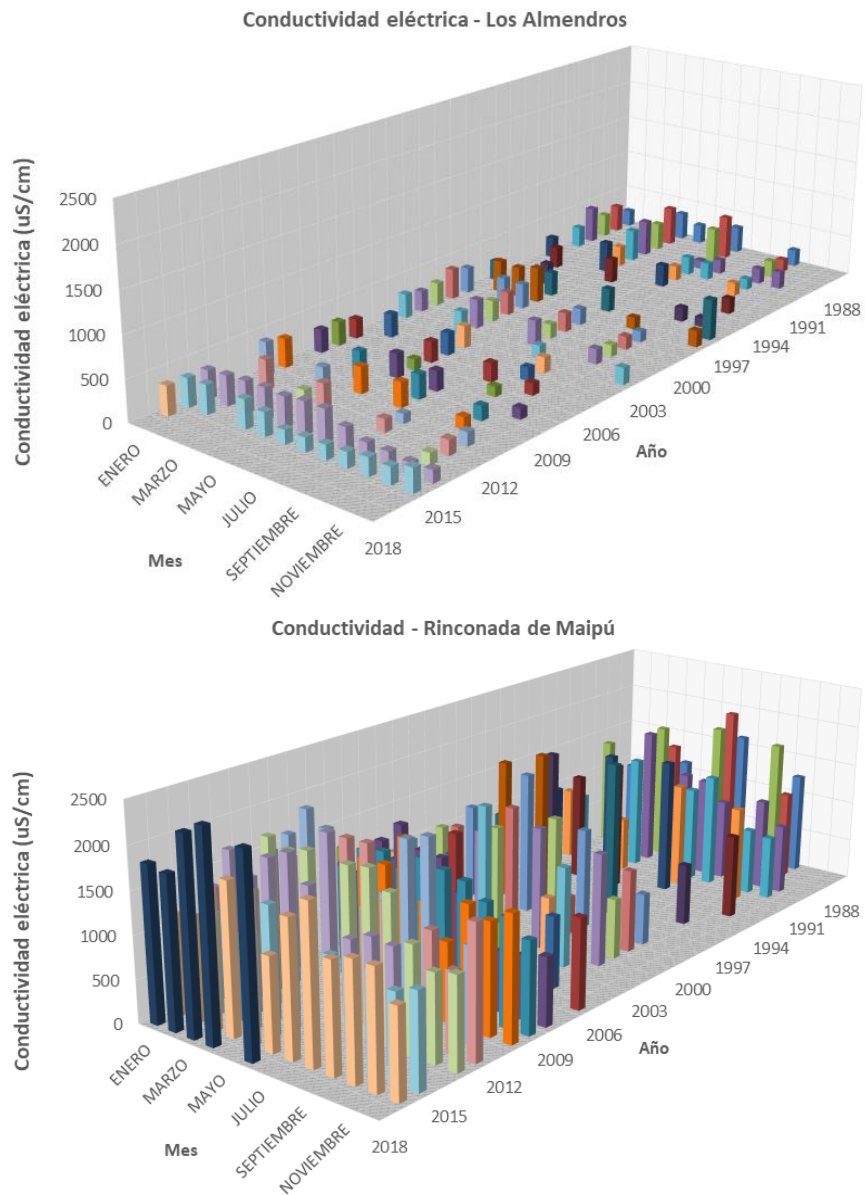


Figura 6.39 Distribución temporal de los valores de conductividad eléctrica en la columna de agua de la Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.

e) DBO

Mediciones de esta variable en la subcuenca Alta, no se han realizado, solamente un valor aislado de aproximadamente 1.8 mg/L (Figura 6.40). En la subcuenca baja, se tienen registros más sistemáticos, a partir del año 2003. Los valores eran más altos al comienzo de los registros sistemáticos, y se relacionan al proceso de construcción de las plantas de tratamiento, cuando aún se descargaba agua sin tratar al curso principal

de la parte alta y norte de Santiago. En la última década ha ocurrido una disminución de los valores de DBO (Figura 6.40). No obstante, en los últimos años de registro, aparentemente ha ocurrido un incremento de esos valores, que podría deberse a una disminución importante en el caudal del río Mapocho, en el sector donde descarga la planta de tratamiento La Farfana.

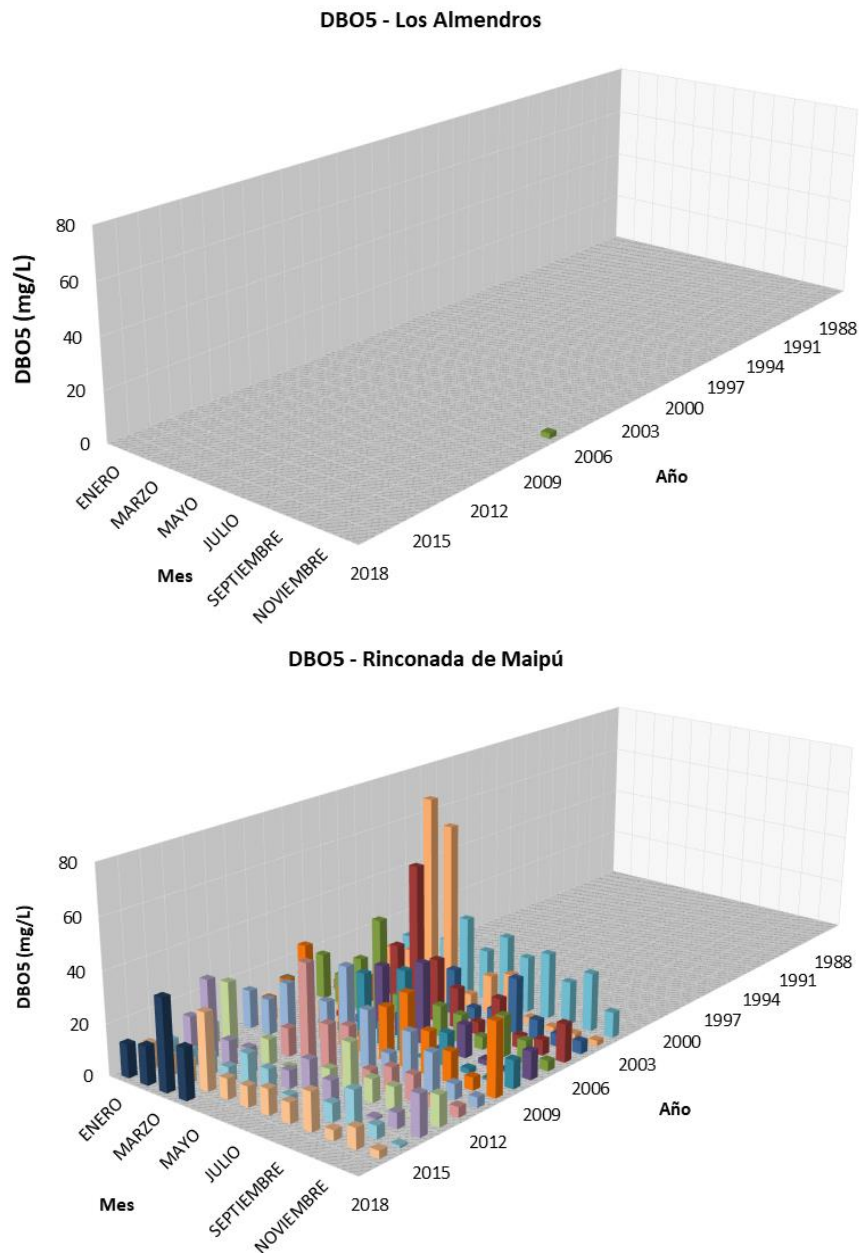


Figura 6.40 Distribución temporal de los valores de DBO en la columna de agua de la Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.

f) DQO

Los valores de Los Almendros son claramente inferiores a los que se observan en Rinconada Figura 6.41 durante todo el periodo de análisis. En cambio, en subcuenca baja en Rinconada ha ocurrido una notable disminución en los valores de DQO, especialmente desde 2008, y se han estabilizado en los últimos años. Este cambio, está asociado a la construcción del colector intercomunal de las comunas de centro norte de la red de aguas servidas domiciliarias, construida por Aguas Andinas, que redireccionó las descargas hasta el inicio de las operaciones de la planta Mapocho. Estos resultados indican una mejora notable en este indicador en el caudal, que sugiere una mejoría en las condiciones para componentes bióticos como los macroinvertebrados bentónicos y los peces, en los ecosistemas del río.

Sin embargo, en el último año de registro se observó cierto aumento respecto de los mismos meses del año anterior, a pesar de que son valores dentro de rangos bajos.

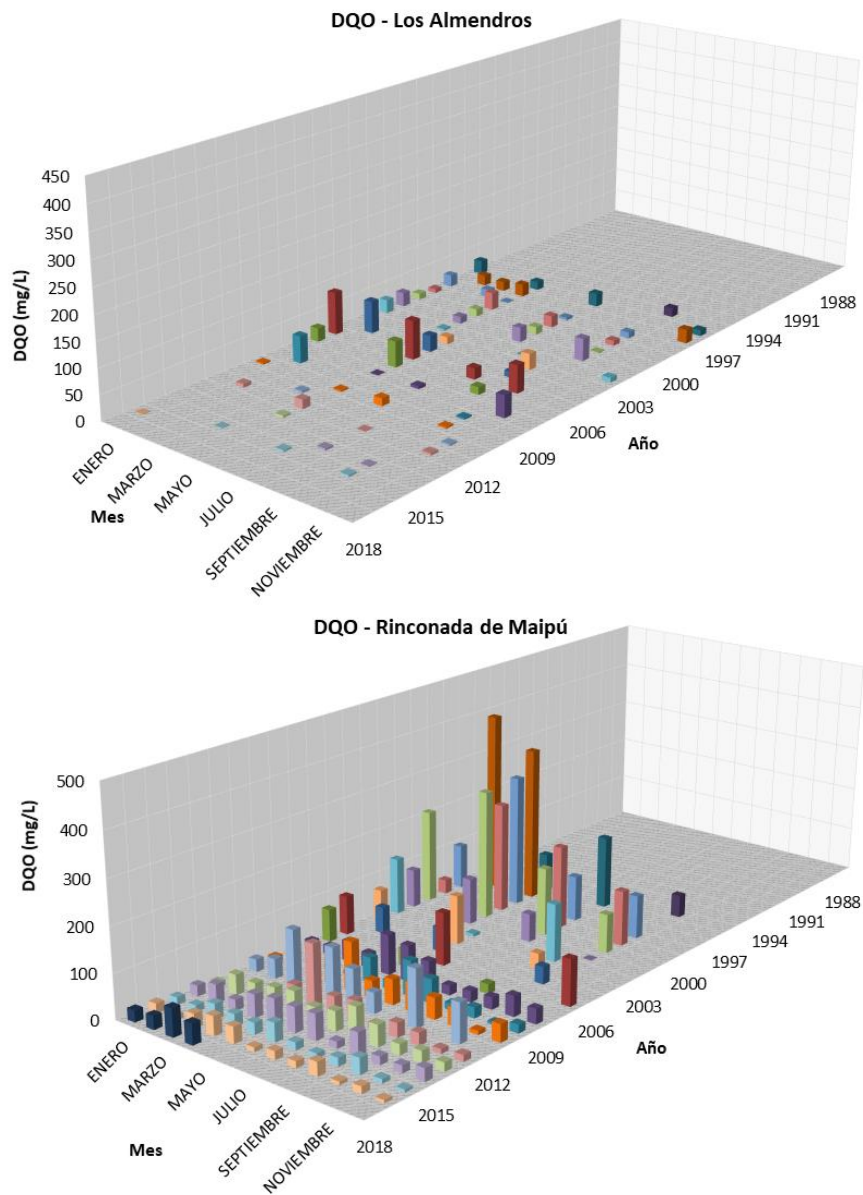


Figura 6.41 Distribución temporal de los valores de DQO en la columna de agua de la Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.

g) Nitrato

El nitrato, una especie química importante para los organismos que realizan fotosíntesis en los ecosistemas acuáticos, presentan valores bajos en la columna de agua, en todos los registros realizados en la estación Los Almendros Figura 6.42, esperable en aguas de las partes altas de los ríos, en este caso de la subcuenca alta del río Mapocho.

En cambio, en la subcuenca baja del río Mapocho, estación Rinconada (Figura 6.42) en general son más altos y en algunas ocasiones muy elevados. Antes de la construcción de las plantas, eran más elevados.

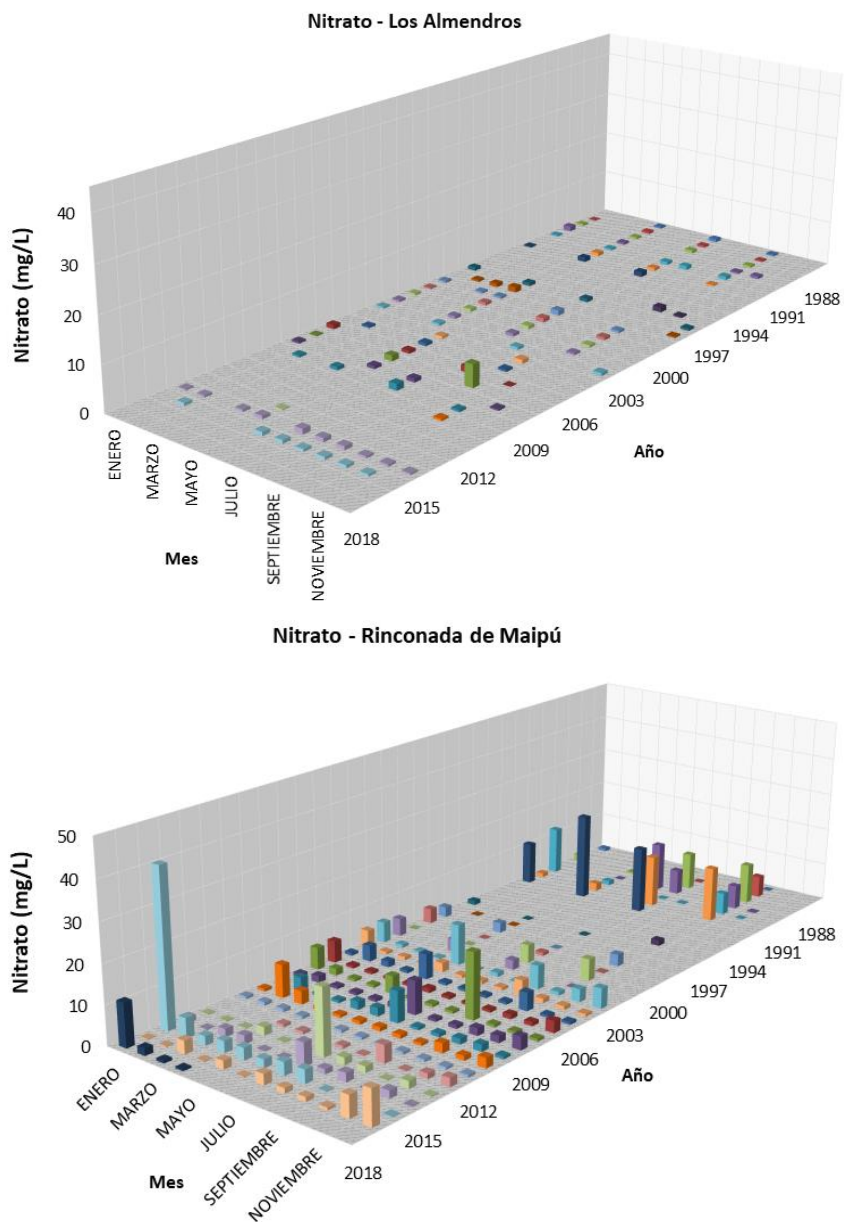


Figura 6.42 Distribución temporal de los valores de Nitrato en el caudal de la Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.

h) Fósforo

Los valores de fósforo son bajos en la subcuenca alta del río Mapocho de acuerdo con los registros de la estación Los Almendros (Figura 6.43), y se considera dentro de los niveles de buena calidad del agua. En cambio, la subcuenca baja presenta valores mucho más elevados, antes y después de la construcción de las plantas de tratamiento (Figura 6.43). No obstante, se observa un decrecimiento en los valores en los últimos años.

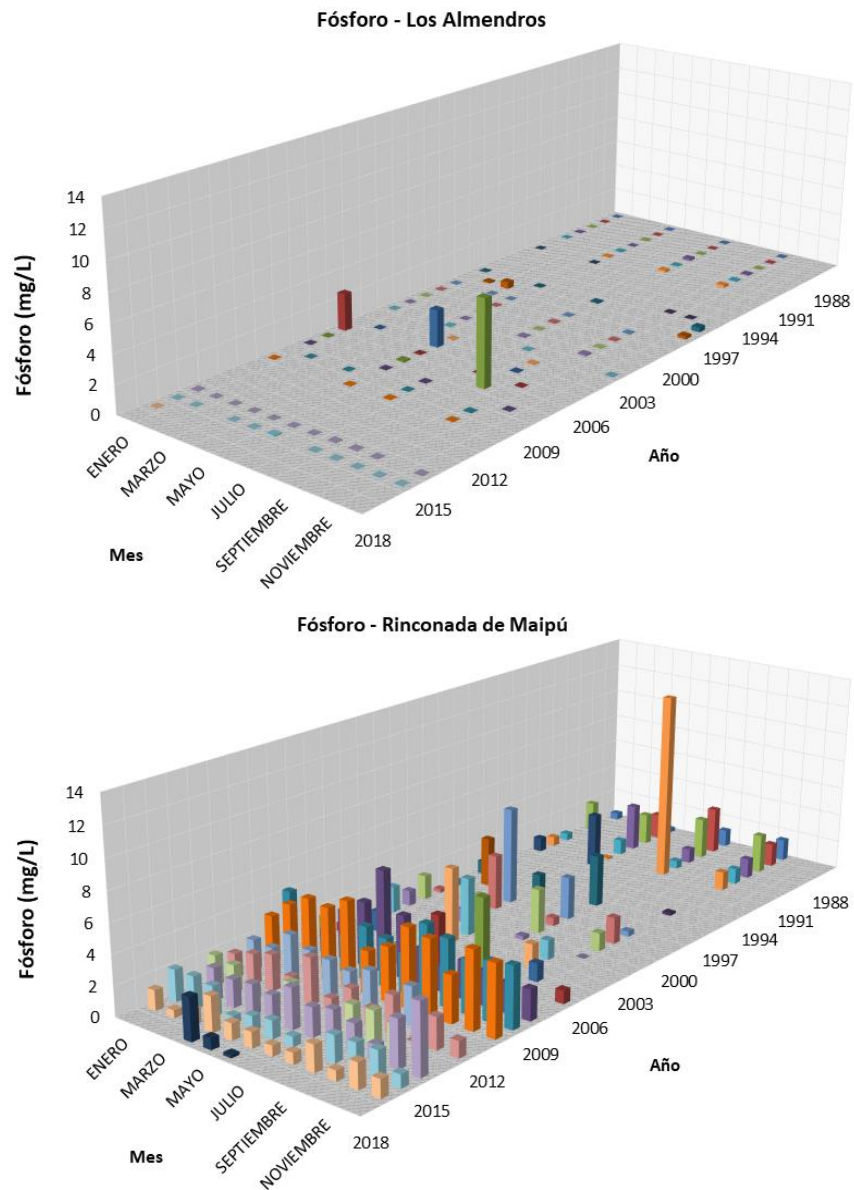


Figura 6.43 Distribución temporal de los valores de fósforo en la columna de agua de la Subcuenca alta, estación Los Almendros (izquierda), y subcuenca baja, Estación Rinconada (derecha), río Mapocho.

6.3.2.2 Nivel Tramos

No se dispone de datos de la magnitud del caudal, porque no hay estaciones fluviométricas en todos los tramos y por ello el análisis se realizó, solamente con las propiedades físicas y químicas del caudal. Por otra parte, la cantidad de datos acumulados para cada tramo es diferente. Los análisis se realizan en las escalas temporales de mensuales e interanual.

a) Temperatura

Las temperaturas aumentan desde el tramo 1 hacia el tramo 5. Los aumentos más importantes ocurren entre el tramo 1 y el tramo 2. Los tramos 4 y 5 presentan patrones de temperatura similares. El tramo 1 se diferencia de todos los demás por presentar las temperaturas más bajas, en todo el ciclo anual. En el tramo 2 la temperatura del caudal aumenta especialmente en los meses de primavera y verano respecto del tramo 1.

El tramo 4 presenta en general valores de temperatura mayores que el tramo 5, y valores más altos especialmente en el periodo estival e inicios de otoño. Esto se relaciona también con valores menores, especialmente de oxígeno disuelto en este tramo. Todos los tramos presentan un ciclo estacional, con las temperaturas más bajas en los meses de junio, julio y agosto, de cada año.

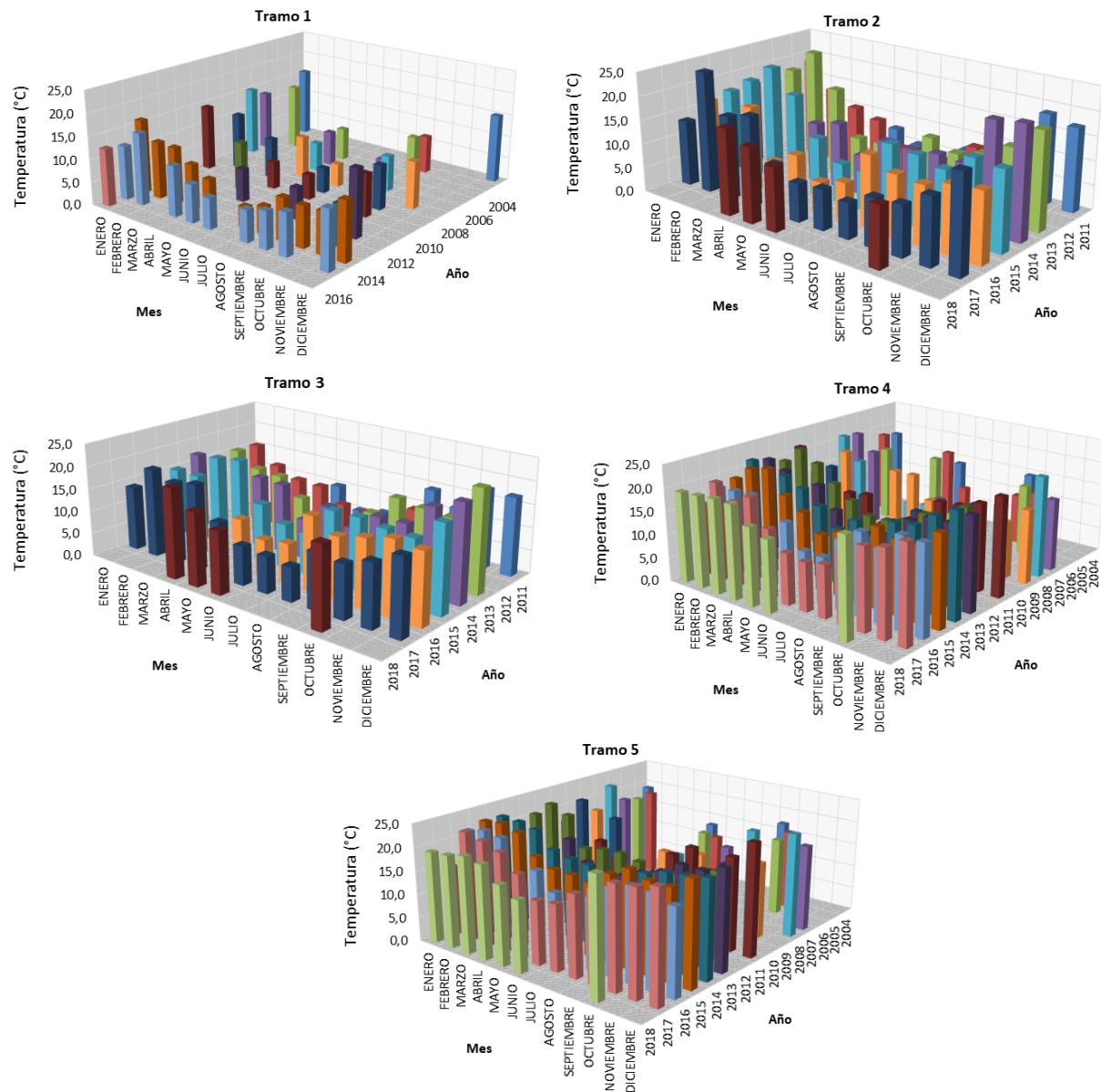


Figura 6.44 Distribución temporal de los valores de temperatura en la columna de agua de los tramos 1 a 5 identificados en el río Mapocho.

b) pH

Para el conjunto de datos registrados el pH, en el tramo 1 es de 7,4 unidades y el mes de enero con una media de 6,9 unidades. Este tramo presenta valores de pH menores del conjunto de tramos. Esta variable presenta valores con poca variabilidad en los demás tramos. El tramo 2 se presenta con un valor medio de 7.6 unidades; el tramo 3 de 7,9 unidades; el tramo 4 con un medio de 7,7 unidades y el tramo 5 con un valor medio de 7,9 unidades. Es una variable que presenta una estabilidad en su ciclo anual prácticamente en todos los tramos excepto para el tramo 1.

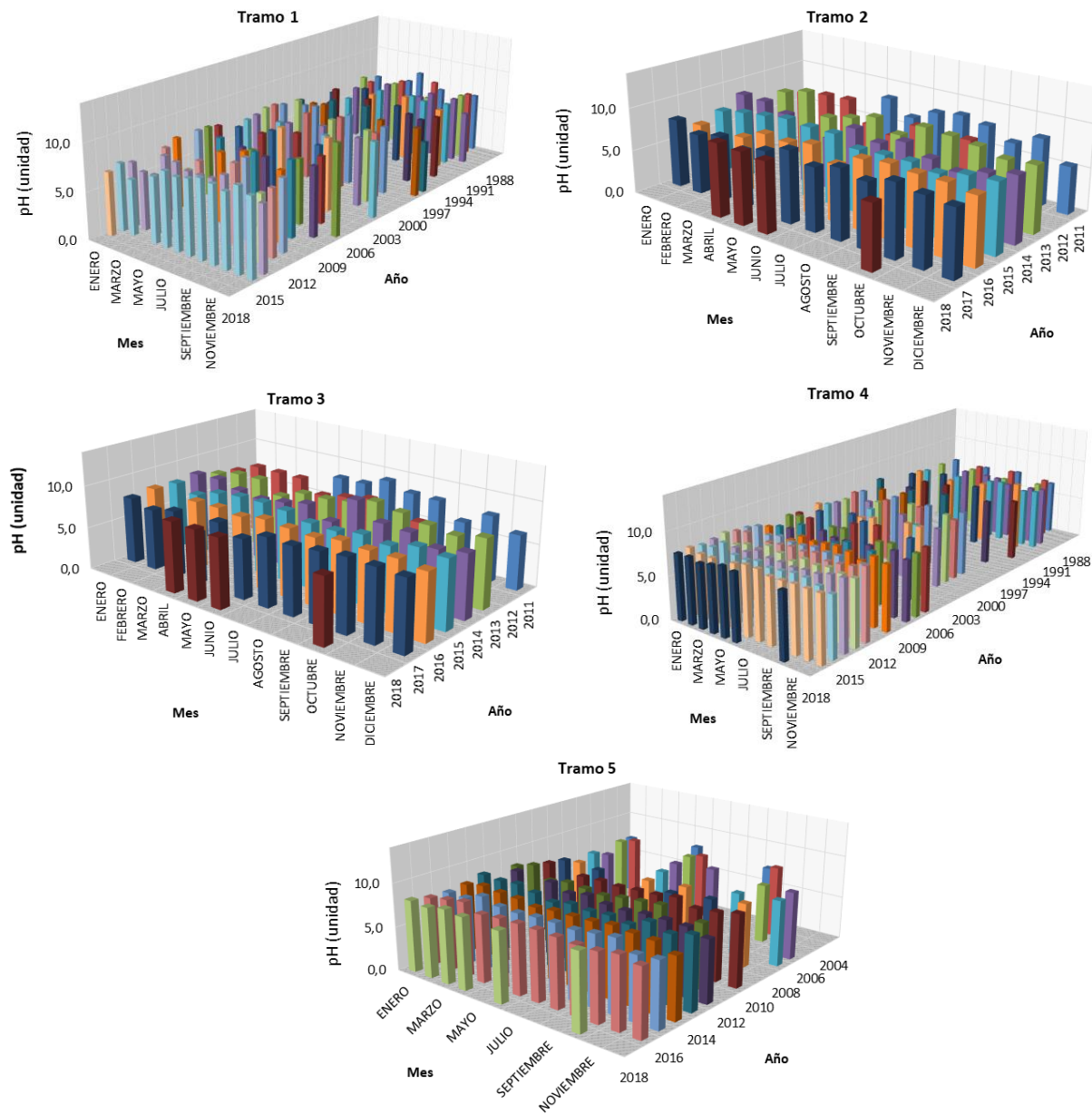


Figura 6.45 Distribución temporal de los valores de pH en la columna de agua de los tramos 1 a 5 identificados en el río Mapocho.

c) Oxígeno Disuelto

El tramo 1 presenta un valor medio de 9,8 mg/L para el conjunto de datos existentes. El tramo 2 en cambio presenta un valor medio de 8,25 mg/L de OD; el tramo 3 con 8,18 mg/L; el tramo 4 con un valor medio de 6,42; y el tramo 5 con un valor de 7,78 mg/L. De estos datos se evidencia que el tramo 4 es el que presenta el valor medio más bajo. No obstante, este tramo ha aumentado de un valor medio anual de 4,23 mg/L en el año 2005 hasta 7,7 mg/L de oxígeno disuelto en el año 2017.

El oxígeno disuelto, presenta una disminución en el tramo 4, especialmente acentuado en los últimos años de registro. Esto coincide que en este tramo ocurren las principales descargas actuales, que incluye el estero Lampa y la planta de tratamiento del aeropuerto AMB, Ciudad de los Valles y las plantas de tratamiento La Farfana, El Trebal y Mapocho. Además, la disminución se acentúa en los meses de verano e inicio de otoño, cuando los caudales son menores.

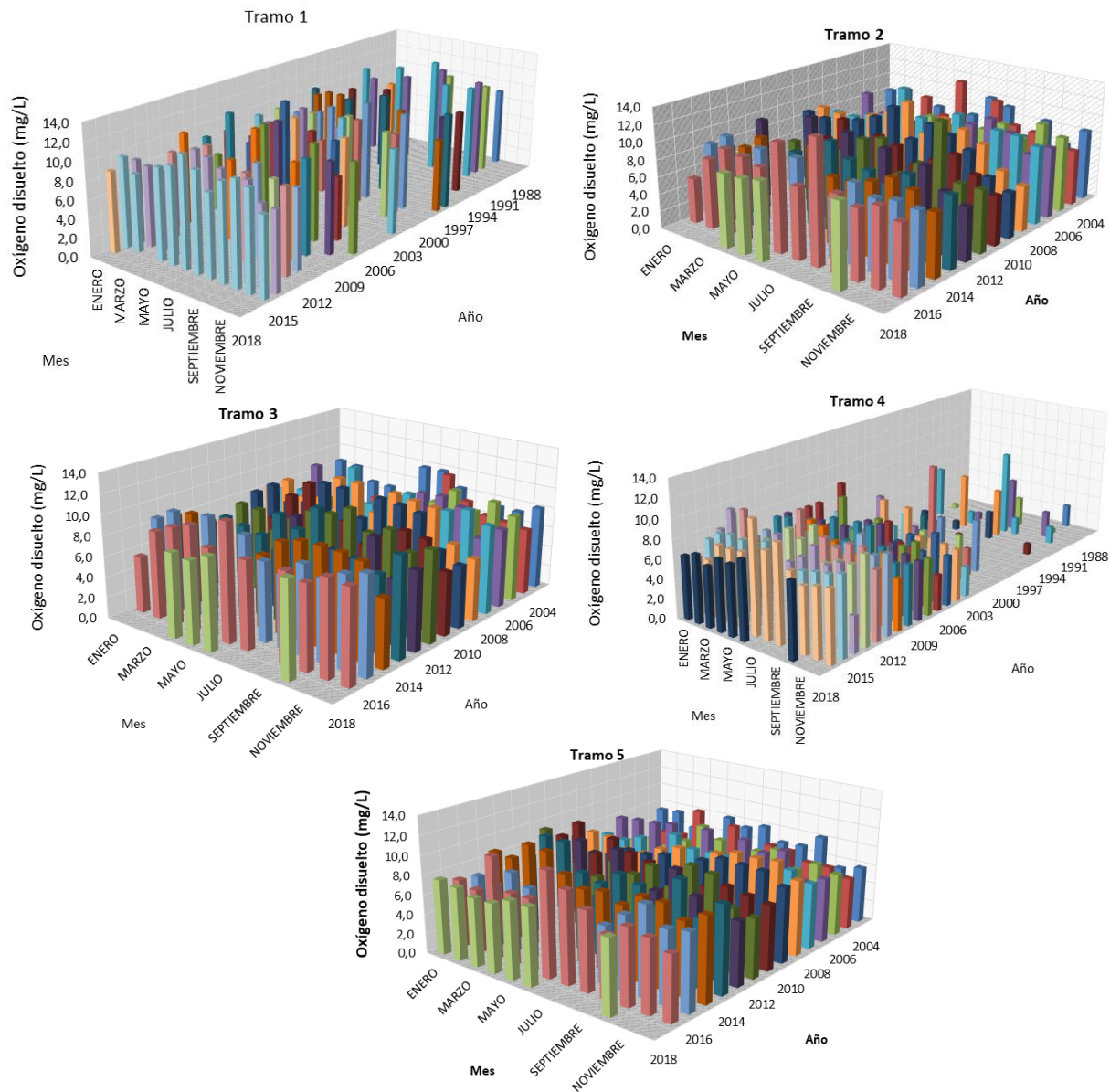


Figura 6.46 Distribución temporal de los valores de oxígeno disuelto en la columna de agua de los tramos 1 a 5 identificados en el río Mapocho.

d) Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica es claramente menor en el tramo 1 respecto de los otros cuatro tramos, tanto mensualmente como anualmente. El tramo 2 presenta valores en general mayores, pero también relativamente bajos, tanto en la escala mensual como anual. El tramo tres presenta valores mucho más altos, tanto anual como mensualmente para todo el periodo analizado. En este tramo el caudal tiene el aporte significativo del canal San Carlos. El tramo 4 es el que en general presenta los valores mayores de esta variable y que en el tramo 5 presenta valores que disminuyen. Por otra parte, en los últimos años, los valores de la conductividad eléctrica han aumentado en el tramo 4, como promedio. De acuerdo con lo observado en el tramo 4, los valores de conductividad eléctrica han aumentado en los últimos años como promedio. Este hecho puede ser consecuencia de que este tramo recibe las descargas de las PTAS del aeropuerto Arturo Merino Benítez, Ciudad de los Valles, la descarga del estero Lampa con agua desde toda la cuenca al norte del Mapocho, y de las PTAS La Farfana, El Trebal y Mapocho. Es decir, de casi todo Santiago. Entonces es esperable, que este parámetro alcance niveles más altos. Los valores medidos en los puntos AGA-6 y AGA-7, que corresponden al tramo 4, de la campaña de 2018, son los mayores y apoyan esta interpretación.

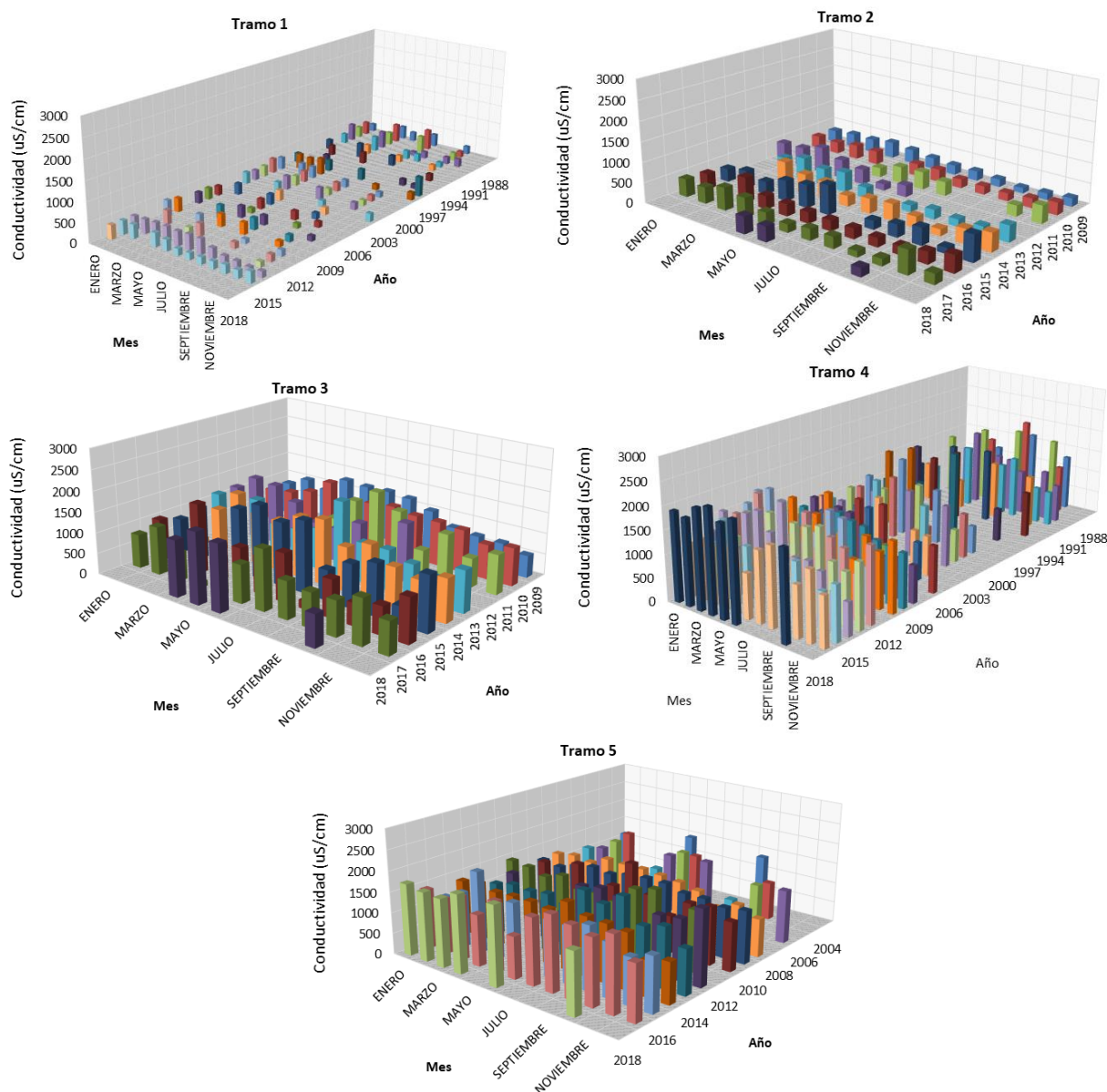


Figura 6.47 Distribución temporal de los valores de conductividad eléctrica en la columna de agua de los tramos 1 a 5 identificados en el río Mapocho.

e) DBO y DQO

Para el tramo 1 se dispone solamente de una medición en el periodo de estudio (2 mg/L). Para el tramo 2 el valor medio de DBO es 2,19 mg/L. Es claro que estos dos tramos, se encuentran relacionados fuertemente por la secuencia lineal del caudal; el tramo 3 con un valor medio de 6,64 mg/L; el tramo 4 con un valor medio de 13,38 mg/L, mientras que el tramo 5, alcanza solamente a 5,61 mg/L. En el tramo 4 la DBO el valor medio anual ha disminuido desde 23,53 mg/L en el año 2004 a un nivel de 9,91 mg/L en 2017, con oscilaciones importantes.

El tramo 1 presenta un valor medio de DQO de 18,8 mg/L. El tramo 2 de 8.43 mg/L, mientras que el tramo 3 un valor de 11.44 mg/L; el tramo 4 presenta un valor de 13,38 mg/L; mientras que el tramo 5 de 17,91 mg/l. Los valores más altos del tramo 1 pueden deberse a la presencia de metales disueltos o asociados a partículas que requieren oxígeno en reacciones de oxidación.

f) Nitrógeno y Fósforo

En el tramo 1 el valor medio del nitrato es de 0.66 mg/L; en el tramo 2 de 1,73 mg/L; en el tramo 3 de 0,92 mg/L; en el tramo 4 alcanza un valor medio de 1,82 mg/L; y el tramo 5 presenta un valor de 9,18 mg/L. En el tramo 5 ocurre un aumento notable del nitrógeno en el caudal no recibiendo descargas de las plantas de tratamiento de aguas servidas de gran volumen indicadas más arriba. Esto sugiere que el valor puede resultar de una contaminación difusa, probablemente por la aplicación de fertilizantes en las áreas agrícolas que drena hacia el curso del Mapocho.

El fósforo en el tramo 1 presentó un valor medio 0,14 mg/L; el tramo 2 presenta un valor de 0,74 mg/L; el tramo 3 de 1.33 mg/L; el tramo 4 con un valor medio de 2,23 mg/L; el tramo 5 con un valor de 1,26 mg/L. Para este elemento, los tramos de la subcuenca alta presentan valores más bajos, que los tramos 3, 4 y 5.

Los resultados con los elementos nitrógeno y fósforo muestran que los tramos 1 y 2, se diferencian del resto, tramos 3, 4, y 5. Por su parte el tramo 4 aparece diferente de los tramos 3 y 5.

Síntesis

Los resultados de los tramos apoyan que, en la subcuenca baja, del río Mapocho, el Tramo 4 es el que presenta características más diferenciadas en varias propiedades, como oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DBO, DQO y nutrientes, respecto de los tramos 3 y 5 de la subcuenca baja, El tramo 5 aparece con los valores más altos de nitrógeno. Este conjunto de variables apoya la idea que el Tramo 4, es el que presenta condiciones menos favorables para varios grupos de organismos, entre ellos los peces e invertebrados bentónicos.

6.3.3 Análisis Jerárquico de los Componentes Bióticos

Los componentes bióticos se analizan desde la perspectiva de la riqueza de especies en el nivel jerárquico de subcuencas, ya que las observaciones o muestras, si bien permiten cualitativamente representar o describir de tramos, para propiedades cuantitativas, las muestras tienen restricciones en sus escalas temporales. Así, se realizó una comparación de los valores de riqueza de los diferentes componentes a nivel de las subcuencas alta y baja, para los componentes observados en los años 2017 y 2018.

6.3.3.1 Riqueza de especies

Los valores de riqueza de los grupos indicados en la Tabla 6.12 muestran que el fitobentos en la subcuenca alta es menos rico en especies de diatomeas que en la subcuenca baja. En ambas subcuencas en el año 2018 aparece un mayor número de especies, que puede deberse a la estación de muestreo, ya que en el año 2017 se realizó en otoño, después de un evento de precipitaciones, mientras que en el año 2018 se realizó en primavera. Los organismos del fitobentos pueden presentar cambios en la riqueza relacionados al régimen del caudal y la estacionalidad asociado a precipitaciones y caudal (Tabla 6.12), en función de los

grupos taxonómicos de organismos o grupos funcionales definidos. El componente de vegetación ripariana se incluye a las macrófitas en este documento.

Tabla 6.12 Riqueza de Especies de componentes bióticos de los ecosistemas en las Subcuencas Alta y Baja del Río Mapocho.

	Subcuenca Alta del río Mapocho		Subcuenca Baja del río Mapocho	
	2017	2018	2017	2018
Vegetación ripariana / macrófitas	-	17	-	23
Fitobentos	9	30	23	66
Zoobentos	2	7	7	8
Peces	0	0	3	3
Aves acuáticas y riparianas	11	12	33	30
Total	22	66	66	130

Los macroinvertebrados bentónicos presentan un bajo número de taxa en ambas subcuencas. En la subcuenca alta en el año 2017, en otoño solamente se observaron 2, mientras que en primavera en el año 2018 se observaron 7. En cambio, en la subcuenca baja se ha observado 7 y 8 taxa respectivamente, y especialmente en el sector más cercano a la confluencia con el río Maipo.

Respecto del componente aves acuáticas y riparianas, el número de especies observadas en la subcuenca alta en ambos años es similar, también en la subcuenca alta, lo mismo ocurre en la subcuenca baja donde el número de taxa prácticamente no cambia. Sin embargo, la riqueza de especies de aves es casi tres veces mayor en la subcuenca baja. En el caso del componente peces no forman parte de los ecosistemas lóticos de la subcuenca alta, solamente forman parte de los ecosistemas en la subcuenca baja, en las cercanías de la confluencia con el Maipo.

Estos antecedentes entregados por la riqueza de especies apoyan la diferenciación jerarquizada de los ecosistemas del río Mapocho, en función de las subcuencas.

6.4 Análisis funcional de los ecosistemas

Para mayor precisión en la descripción funcional es necesario recordar que los componentes abióticos caudal y sedimentos, con sus propiedades físicas y químicas respectivas son importantes en el funcionamiento de los ecosistemas lóticos. Sin embargo, los datos existentes sobre los sedimentos son muy escasos, de forma que no se consideran en el análisis funcional. Por otra parte, debemos indicar que los valores que se incluyen en los análisis del caudal con variables físicas y químicas corresponden solamente a los datos registrados en las estaciones Los Almendros y Rinconada de Maipú.

6.4.1 Relación Magnitud del caudal con sus propiedades físicas y químicas a nivel de las subcuencas

El componente abiótico *caudal* de los ecosistemas lóticos, con su aspecto dinámico, es decir el régimen del caudal que describe las variaciones de la magnitud es muy determinante en la estructuración y

funcionamiento ecosistémico, considerándose como fundamental en ecología lítica. El caudal, es decir la relación entre volumen y velocidad, influye en las propiedades físicas como sustrato y sedimentos (hábitat físico para los organismos); propiedades químicas del agua; sobre los organismos y procesos ecosistémicos. Una de las dificultades para el análisis ecosistémico es la complejidad de las relaciones entre los componentes, porque son de varios tipos, y se debe elegir aquellas más relevantes y para las que se dispone de información o datos adecuados, entre las numerosas posibilidades en función de las preguntas. En nuestro caso, además de mejorar el conocimiento y comprensión del río Mapocho, se trata de poner en valor los datos obtenidos, por largos períodos de tiempo, de distintas entidades públicas y de Aguas Andinas.

En nuestro caso, dada la existencia de una masa de datos de caudal y de calidad del agua de este, agregada temporalmente a nivel mensual, se explora para buscar evidencia de patrones entre la *magnitud o volumen del caudal y algunas propiedades físicas o químicas relevantes* para el río Mapocho. No se consideró este análisis datos biológicos, debido a que son escasos y poco adecuados para integrarlos con las mediciones del caudal, considerando solamente mediciones en los años 2003, 2017 y 2018.

a) Temperatura

Los valores de temperatura correspondientes a las estaciones de Los Almendros y Rinconada indican que el agua es en general más fría en los ecosistemas de la subcuenca alta con caudales menores a $10 \text{ m}^3/\text{seg}$. En la subcuenca alta con valores de temperaturas frecuentemente menores a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ y algunas veces hasta cerca de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. En cambio, el agua en los ecosistemas de la subcuenca baja del río Mapocho se encuentra a temperaturas claramente superiores (Figura 6.48). En esta última subcuenca es frecuente, que el caudal presenta temperaturas mayores a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta cerca de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, fenómeno que debería afectar a los niveles de oxígeno disuelto, reduciendo y simultáneamente aumentando la tasa metabólica de los organismos, especialmente relevante para los microorganismos. Un aspecto más complejo, se refleja en el hecho que, en ambas subcuencas, la temperatura presenta mayor variabilidad a niveles de caudales menores. En general, en ambas subcuencas, a menor caudal mayor temperatura del agua, hecho que tiene consecuencias en la actividad de los organismos animales y de los microorganismos especialmente.

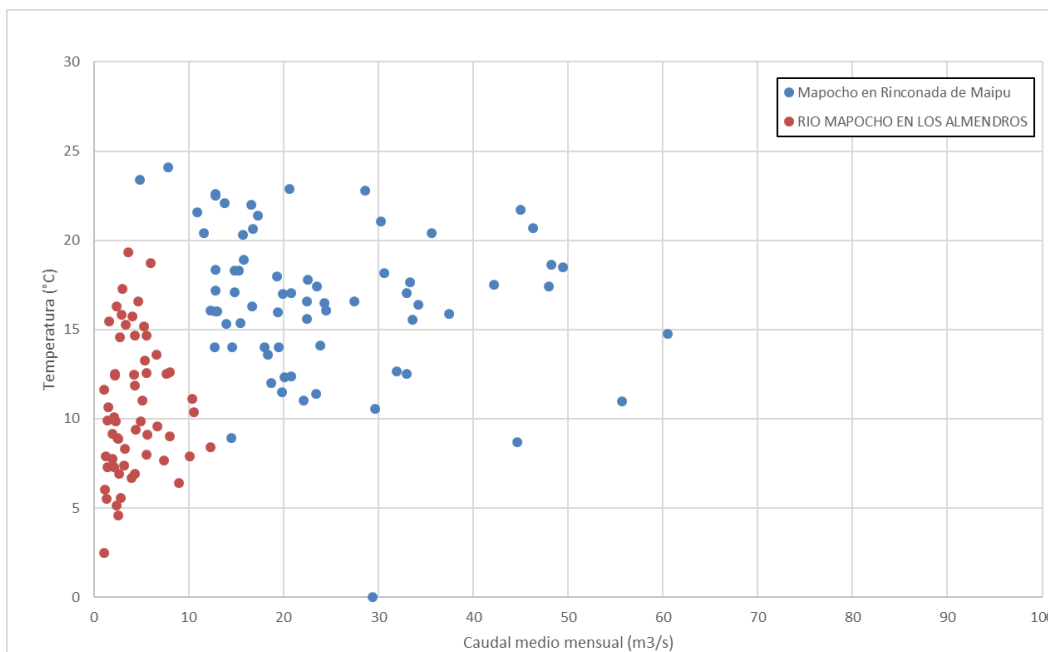


Figura 6.48 Valores de la temperatura del agua en función del caudal en las estaciones Los Almendros de la subcuenca alta y Rinconada de la subcuenca baja, del río Mapocho.

b) pH

Los valores de pH correspondientes a las estaciones de Los Almendros y Rinconada indican que el agua de los ecosistemas de la subcuenca alta tiende a ser suavemente alcalino, independientemente del caudal. En la subcuenca alta puede presentar valores de pH ácidos de hasta 6 y valores más alcalinos con caudales menores a 10 m³/seg, que puede deberse a la naturaleza geológica de algunas de las subcuencas, especialmente asociadas a la subcuenca de estero Yerba Loca, Santuario de la Naturaleza. Mientras que en los ecosistemas de la subcuenca baja el componente caudal presenta valores de pH más neutros a suavemente alcalino y con pocos valores de pH > a 8 (Figura 6.49). Un hecho importante, es el caudal de la subcuenca alta es la presenta mayor variabilidad, pero no asociada a la magnitud del caudal. En el caso de la subcuenca baja, la variabilidad del pH es mucho menor y se mantiene independiente de la magnitud del caudal.

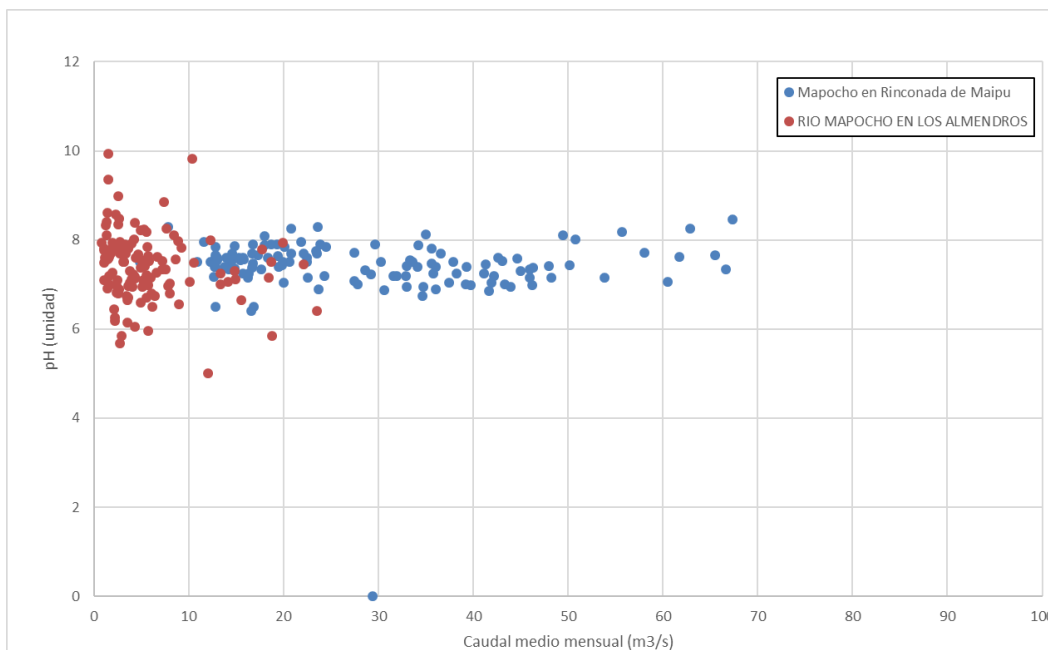


Figura 6.49 Valores de pH del agua en función del caudal en las estaciones Los Almendros de la subcuenca alta y Rinconada de Maipú de la subcuenca baja, del río Mapocho.

c) Oxígeno Disuelto (OD)

La Figura 6.50 muestra que la subcuenca alta presenta claramente niveles de oxígenos muy superiores a los niveles de OD de la subcuenca baja. En general, los caudales bajos en ambas subcuencas presentan mayor variabilidad en los niveles de OD. La subcuenca alta presenta pocos valores bajo 8 mg/l mientras que, en la subcuenca baja, la mayor parte de los valores registrados son menores. La subcuenca baja, además presenta valores muy bajos de OD en algunas ocasiones para caudales bajos. No obstante, hay un amplio rango de caudales, desde 10 m³/s hasta cerca de 90 m³/s en los que OD puede estar bajo 8 mg/L y entre 10 y 50 m³/s, pueden bajar a niveles inferiores a 4 mg/L, condición claramente no favorable para organismos como peces.

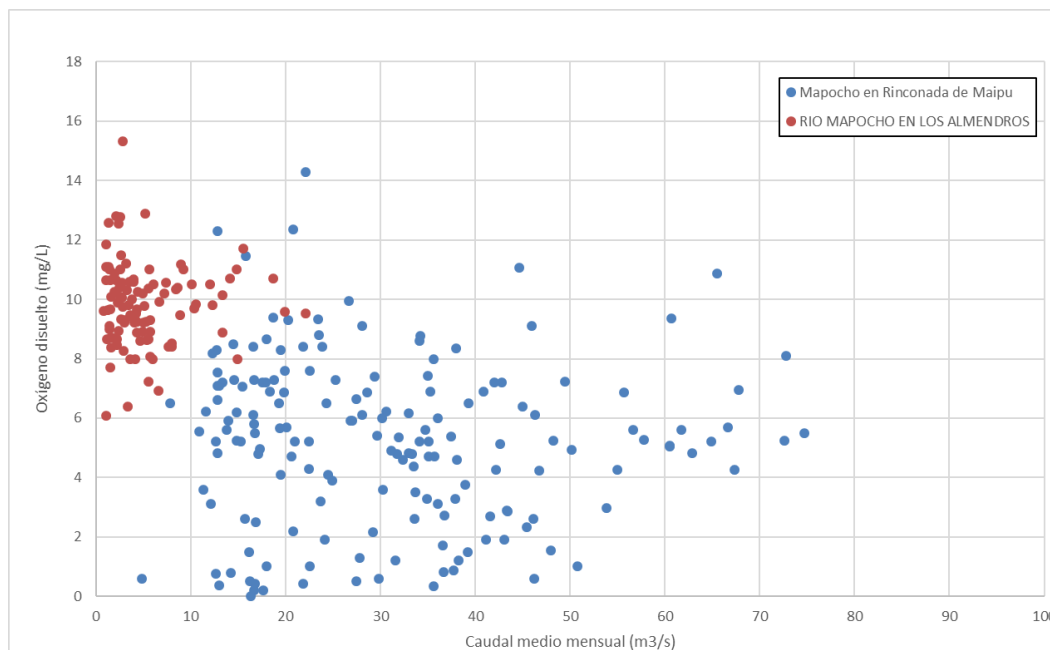


Figura 6.50 Valores de Oxígeno Disuelto del agua en función del caudal en las estaciones Los Almendros de la subcuenca alta y Rinconada de la subcuenca baja, del río Mapocho.

La subcuenca alta presenta valores adecuados para la vida acuática de peces e invertebrados bentónicos, para casi todos los caudales, aunque sean bajos. En cambio, en la subcuenca baja, ocurren con cierta frecuencia valores que pueden ser condiciones restrictivas para la fauna indicada. Esto puede afectar la distribución de organismos especialmente sensibles como son los peces, y constituir una barrera para la ocupación de sectores de la dimensión longitudinal del río y dar una mayor complejidad estructural a los ecosistemas lóticos.

d) Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica muestra en sus niveles, patrones diferenciados entre las subcuencas alta y baja, siendo en general mucho mayores en la subcuenca baja, y mayores en general a caudales menores en ambas subcuencas. Estos resultados, sugieren una fuerte diferenciación entre ambas subcuencas, respecto de esta propiedad del caudal de agua. Estos valores tienen relación a los efectos de las distintas masas de agua que circulan en las subcuencas y a los efectos de descargas de materiales que realizan actualmente las plantas de tratamiento de aguas servidas.

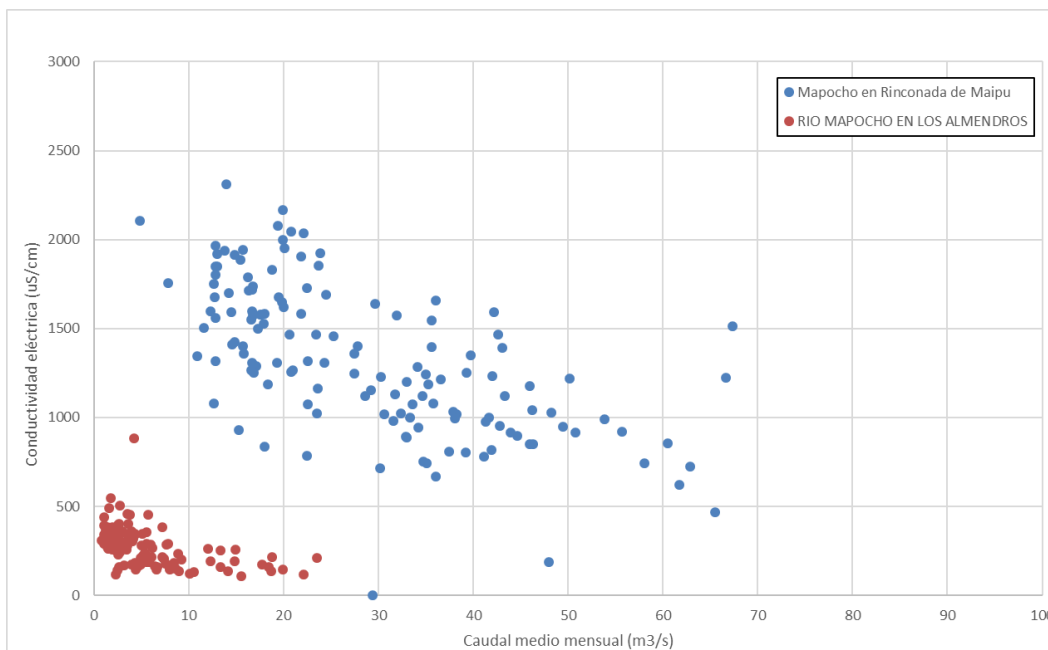


Figura 6.51 Valores de conductividad eléctrica del agua en función del caudal en las estaciones. Los Almendros de la subcuenca alta y Rinconada de la subcuenca baja, del río Mapocho.

e) Turbidez

Los valores de mayor turbidez se relacionan con valores mayores de caudal, probablemente por el aumento de la escorrentía superficial en subcuenca baja que descarga hasta antes de la estación fluviométrica de Rinconada de Maipú, correspondiente a precipitaciones líquidas y al agua que entrega el canal San Carlos a curso principal del río Mapocho. La cantidad de observaciones es reducida, pero sugiere que en general a mayor caudal ocurre una mayor turbidez del río.

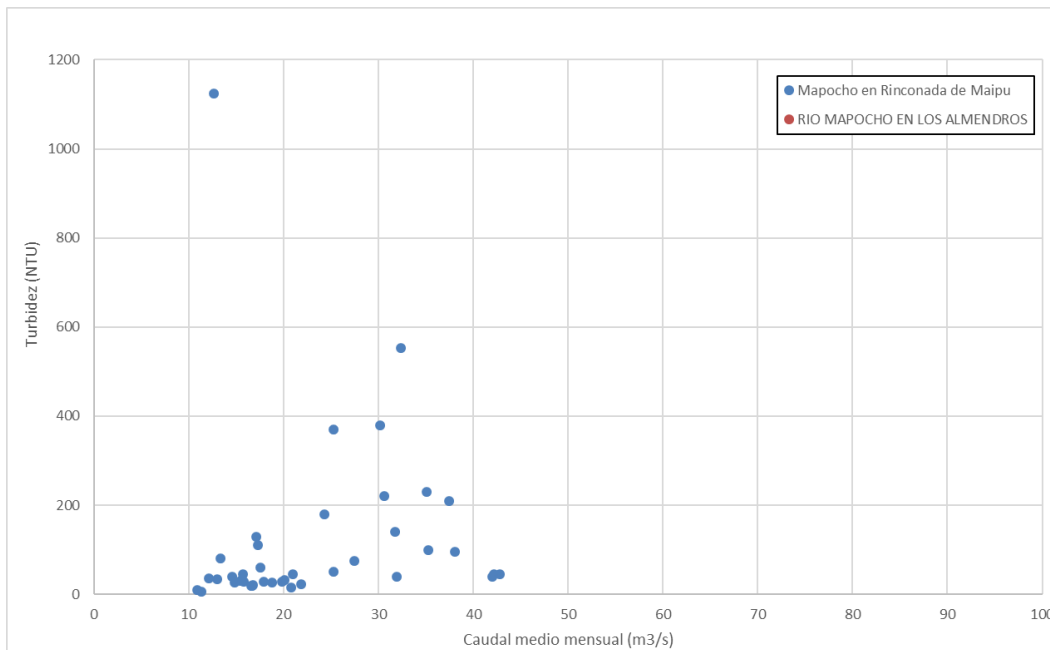


Figura 6.52 Distribución de los valores de turbiedad en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.

f) DBO

Para esta variable no se dispone en la práctica de datos en la subcuenca alta (solo un valor), solamente la subcuenca baja tiene una cantidad de datos que permite entender una respuesta de los ecosistemas en término de necesidades de oxígeno, para los procesos ecosistémicos. Los niveles observados, en una alta proporción corresponden a cursos de agua que se consideran tienen descargas de aguas servidas (>10.000 mg/L). En general, se presenta una mayor variabilidad de la DBO en los niveles de caudales menores y ocurre una disminución de la DBO cuando aumenta la magnitud del caudal. Esto significa que, en el periodo estival e inicio del otoño, deben ocurrir los niveles mayores de demanda de oxígeno disuelto por los organismos animales y los microorganismos que se encuentran en el caudal del río.

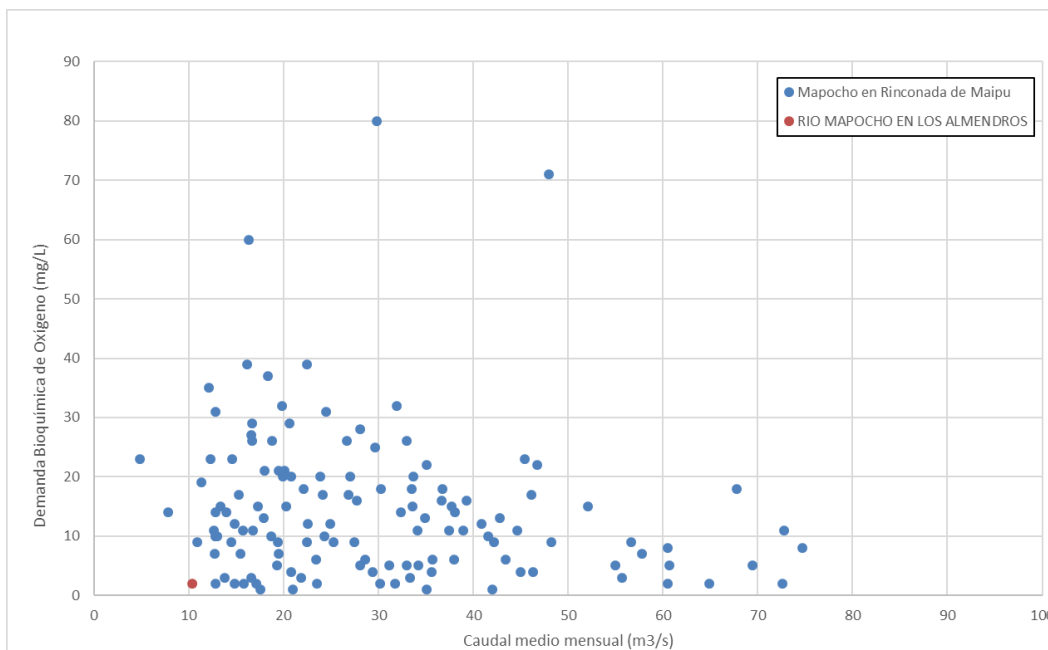


Figura 6.53 Valores de DBO del agua en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.

g) DQO

Para esta variable, se dispone de datos en ambas subcuencas, y en la Figura 6.54, se observa que los valores de DQO en la subcuenca alta son claramente inferiores y tienen una baja superposición con los valores de la subcuenca baja, que presentan valores frecuentemente más altos a distintos niveles de caudal. En ambos casos, los valores disminuyen globalmente con el caudal, y los valores más altos ocurren cuando los caudales son más bajos, en cada cuenca respectivamente.

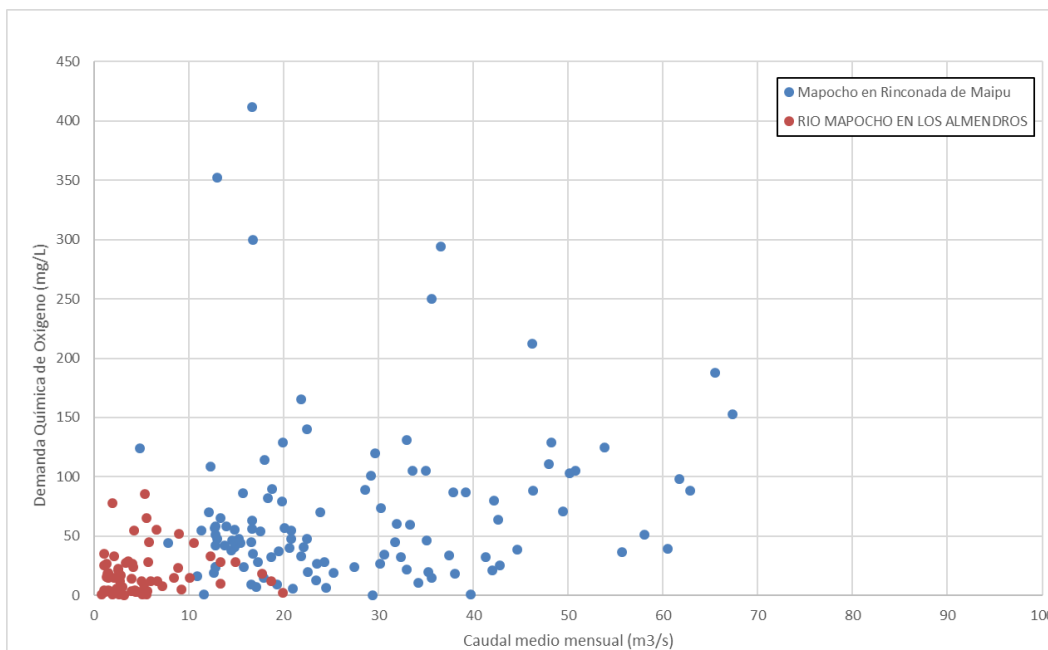


Figura 6.54 Valores de DQO del agua en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.

h) Nitrato

El nitrógeno como nitrato es menor en la subcuencia alta respecto de la subcuencia baja, los valores de la subcuencia alta presentan poca variación en función del caudal, mientras que la subcuencia baja presenta una alta variabilidad, especialmente los caudales menores. Las subcuencas tienen claras diferencias en los niveles de nitrato y con los niveles del caudal.

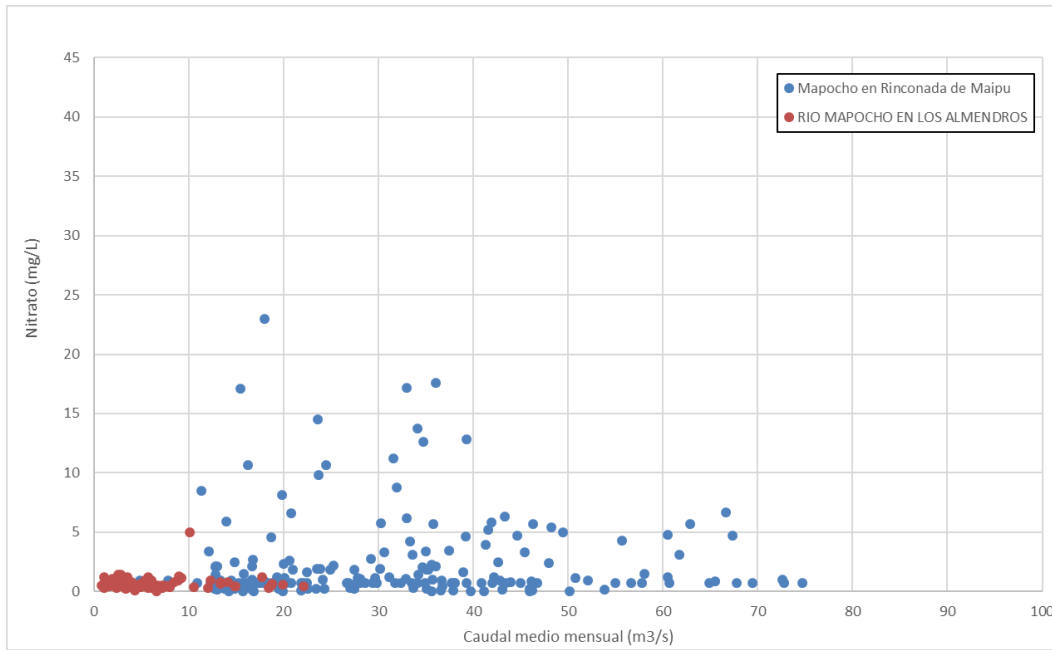


Figura 6.55 Distribución de los valores de nitrato en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.

i) Fósforo

Solamente se dispone de valores para la subcuenca baja, los que se caracterizan por presentar una alta variabilidad y ser relativamente altos- Los valores son en general mayores cuando los caudales son menores, es decir la tendencia es a disminuir las concentraciones de fósforo con el aumento del caudal.

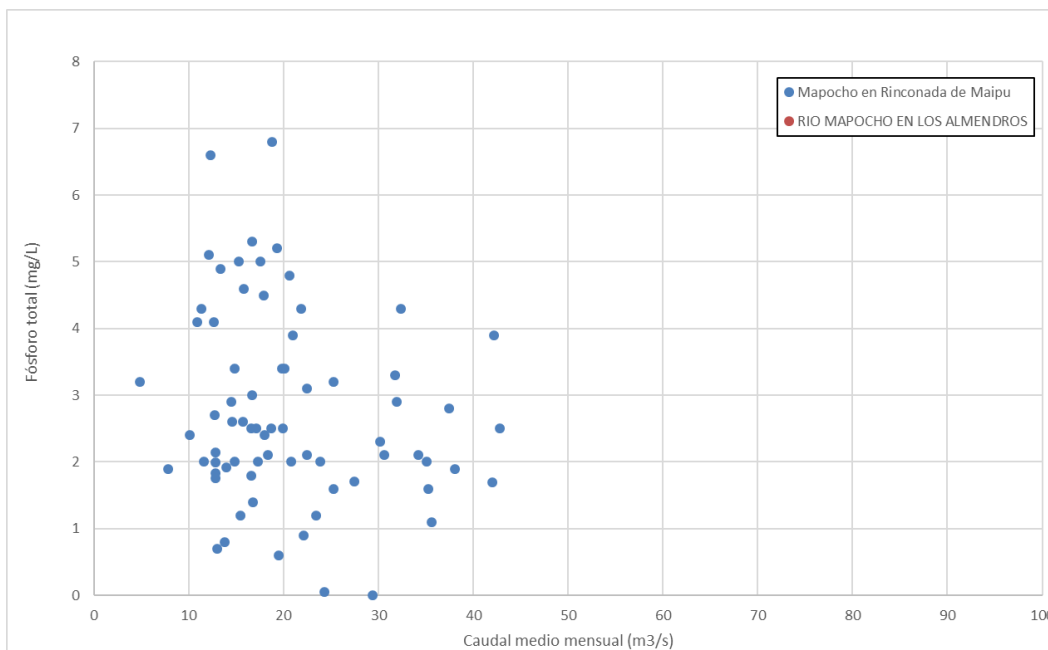


Figura 6.56 Distribución de los valores de fosfatos en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.

j) Sulfato

Los sulfatos son claramente menores en la subcuenca alta respecto de la subcuenca baja, hecho que indica diferencias importantes en las características químicas del caudal en función de subcuenca y las actividades de la ciudad. Por otra parte, en ambas subcuencas, los niveles de sulfato disminuyen con el aumento de la magnitud del caudal.

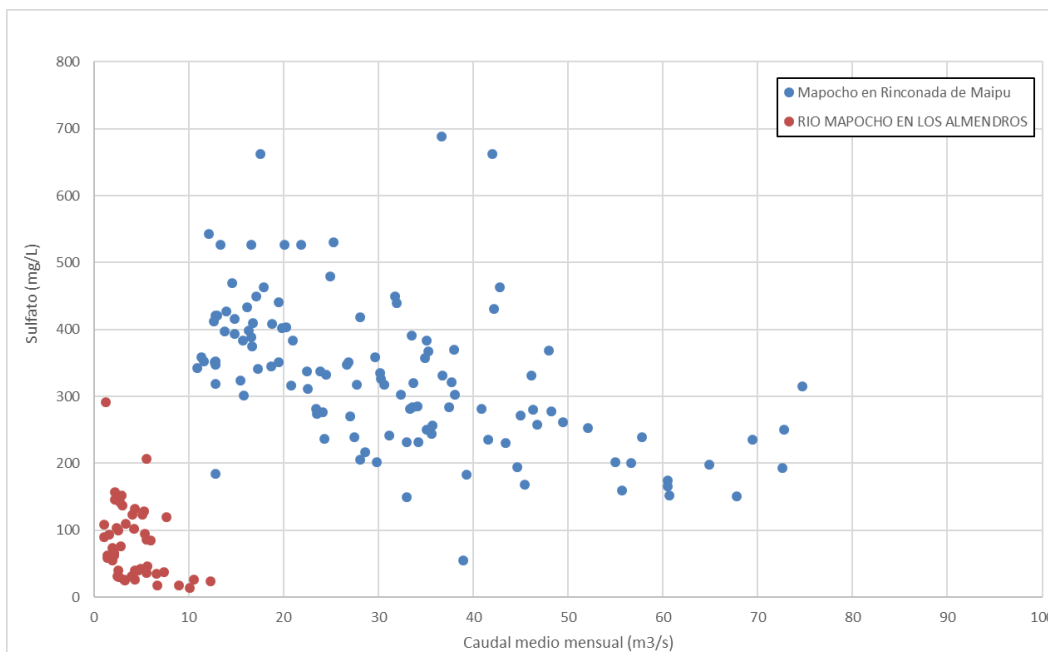


Figura 6.57 Distribución de los valores de sulfato en función del caudal y de las subcuencas alta y baja del río Mapocho.

k) Cloruro

Los cloruros, son claramente mucho más bajos en la subcuenca alta que en la subcuenca baja y presentan poca variabilidad. En cambio, en la subcuenca baja los valores son mucho más altos, varias veces y tienden a disminuir con el aumento del caudal. También es importante destacar que los valores de caudales menores esta subcuenca presenta mayor variabilidad.

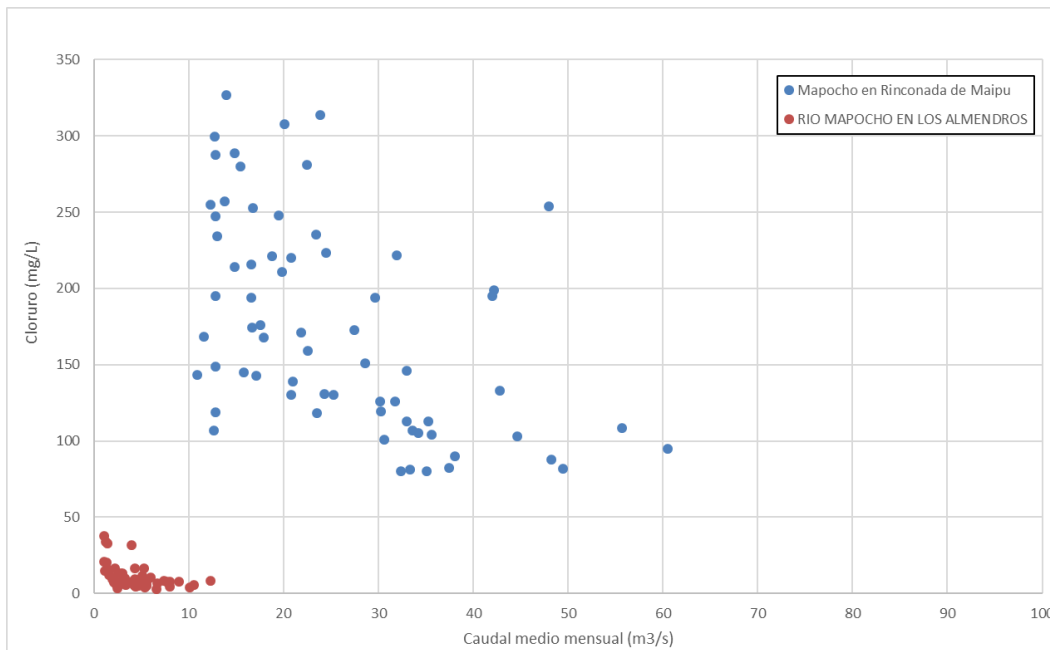


Figura 6.58 Distribución de los valores de cloruros en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.

l) Cobre

El cobre se incluyó debido a la existencia de la actividad minera en la parte alta de la subcuenca alta del río Mapocho, que puede implicar la presencia de este elemento por contaminación o bien por la naturaleza propia de la conformación geológica de las subcuencas andinas del río Mapocho. Los resultados Figura 6.58 muestran que en la subcuenca alta se presentan valores de cobre mucho más altos que en la subcuenca baja (Figura 6.59). Además, presentan grandes variaciones en las concentraciones en función de la magnitud del caudal. En cambio, en la subcuenca baja, se presentan valores muy bajos y no hay una relación con el caudal.

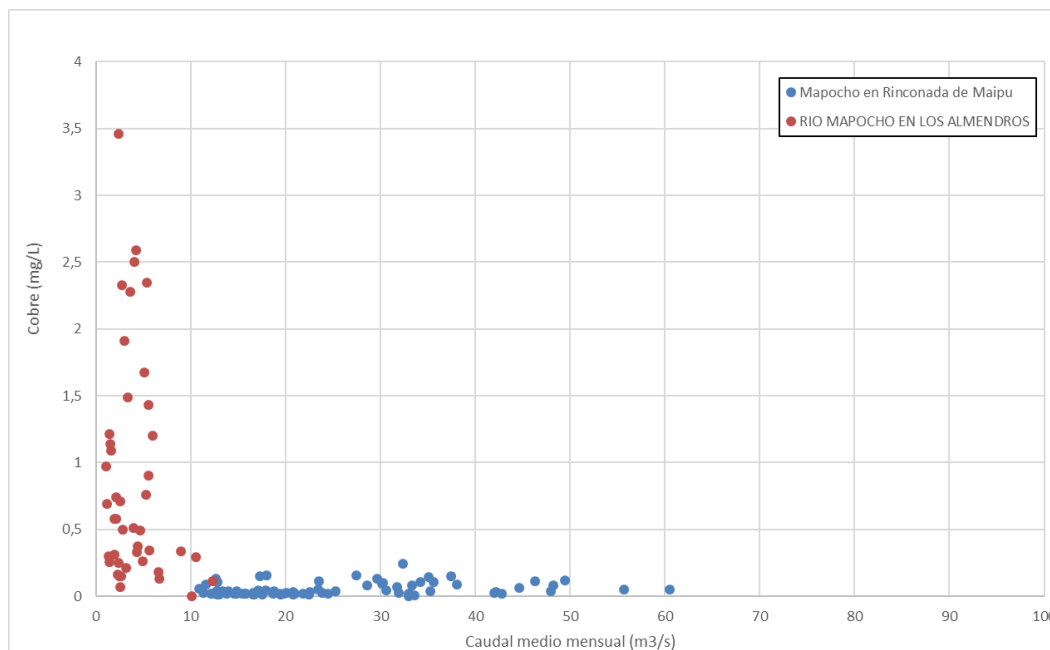


Figura 6.59 Distribución de valores de cobre en función del caudal en las subcuencas alta y baja del río Mapocho.

Síntesis

El análisis de la relación variables físicas o químicas en función de la magnitud del caudal, muestra que la mayoría de las variables analizadas (temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, turbidez, DBO, DQO, nutrientes, sulfato, cloruros) aumentan a valores cuando el caudal es menor, pero también aumenta la variabilidad de esos valores. Solamente el pH y la turbidez son distintos; el pH tiende a no diferenciarse en función del caudal, particularmente en la subcuenca baja; mientras que en la subcuenca alta tiende a disminuir con el aumento del caudal. La turbidez, tiende a aumentar con el caudal, resultado esperable en función de la escorrentía en la cuenca, pero solamente se dispone de datos para la subcuenca baja.

6.4.2 Interacciones Ecosistémicas

El modelo ecosistémico existente para el río Mapocho, ha sido propuesto en estudios elaborados para Aguas Andinas. El modelo se basa en la definición de componentes bióticos, conformados por organismos presentes en el río, agregados en grupos funcionales o taxocenosis, y de los componentes abióticos como son el caudal, los sedimentos o bien del sustrato y preguntas relacionadas al uso del carbono. Así, el análisis se ha hecho a nivel de subcuencas y de tramos, definidos en la dimensión longitudinal del río.

Respecto de las variables físicas y químicas medidas en el caudal, su análisis fue centrado en indicar cómo los valores de las variables afectan globalmente a los componentes bióticos de los ecosistemas. Es decir, el efecto de los componentes abióticos sobre los bióticos y que habitualmente cuando el análisis está centrado en las especies, se consideran como factores del hábitat.

6.4.2.1 Interacciones tróficas en los ecosistemas

El modelo del año 2003 propone un conjunto de relaciones entre los componentes de los ecosistemas, que se pueden mostrar de un modo más explícito en una matriz de interacciones ecosistémicas. En este estudio las interacciones seleccionadas corresponden a las de tipo trófico.

Una forma de describir los ecosistemas es nombrar los principales componentes bióticos y relacionarlos a partir de sus interacciones de alimentación u otras de importancia, como son los flujos de materiales. Así, definir la estructura trófica de los ecosistemas del río Mapocho, permite evaluar aspectos claves, como es la composición (especies u otras taxa) de los componentes de los ecosistemas. La definición de componentes se basa en grupos taxonómicos de organismos emparentados o taxocenosis y en grupos funcionales dado características generales de alimentación. La matriz de interacciones se elaboró en función del conocimiento sobre las características de alimentación de los organismos y procesos de absorción de nutrientes para los organismos vegetales o requerimiento de sustratos en el caso de los microorganismos descomponedores.

Simultáneamente, se destaca la importancia del carbono (como parte de la biomasa) en relación con su origen o producción en los ecosistemas lóticos, es decir como Carbono Autóctono e Ingreso de Carbono Alóctono como fuente de carbono para los componentes heterotróficos del ecosistema. El carbono autóctono se refiere al que se produce por fotosíntesis en el curso de agua, mientras que el alóctono es aquel que ingresa desde la vegetación ribereña que se encuentra fuera del agua superficial que forma parte del ecosistema lótico.

Tabla 6.13 Matriz de interacciones para los ecosistemas del río Mapocho.

	Vegetación Ripariana	Macrófitas	Fitobentos	Macroinvert. ebrados	Peces	Aves acuáticas y riparianas	Microorganismos	Otros Grupos de Organismos	Detritus/Materia Orgánica Particulada/ Materia Orgánica Disuelta	Sedimentos	Caudal / Var. Físicas y Químicas
Vegetación Ripariana			1	1	1	1	1		1		
Macrófitas			1	1	1	1			1		1
Fitobentos				1					1		1
Macroinvertebrados									1		1
Peces						1			1		1
Aves acuáticas y riparianas								1		1	1
Microorganismos											
Otros Grupos de Organismos											
Detritus/Materia Orgánica Particulada/ Materia Orgánica Disuelta											1
Sedimentos											1
Caudal / Var. Físicas y Químicas											

Para entender los cambios de los ecosistemas en relación con el carbono, se realizó un análisis cualitativo del carbono, como particulado fino en la columna de agua basado en el material particulado grueso y fino del curso de agua, en función de antecedentes existentes. La degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos en el caudal corresponde a parte del proceso de respiración de los ecosistemas lóticos. Un estimador del proceso en el caudal, es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) para realizar

procesos aeróbicos. Por otra parte, determinados niveles de oxígeno son condiciones de hábitat para muchos organismos heterotróficos, entre ellos los peces

6.4.2.2 Modelo General del Río Mapocho 2003

El modelo conceptual propuesto en el año 2003 para explorar la estructura ecosistémica del río Mapocho (Figura 6.60) tenía en consideración la importancia de grupos de organismos en el funcionamiento de los ríos y la existencia de descargas de nutrientes y materia orgánica (particulada y disuelta) al curso de agua. Las descargas corresponden principalmente a aguas servidas domiciliarias e industriales no tratadas de Santiago. Por otra parte, en los ecosistemas lóticos, el origen del carbono orgánico tiene una gran importancia en su estructuración o desarrollo. Los componentes incluidos para el modelo, se basó en las características de los ríos mediterráneos como ecosistemas.

En modelo fue elaborado para explorar, la existencia de los componentes en el sector definido para el estudio 2003. Los resultados muestran los componentes encontrados (observados) en el estudio después de realizar el muestreo, para esa parte del río Mapocho (Mapocho poniente).

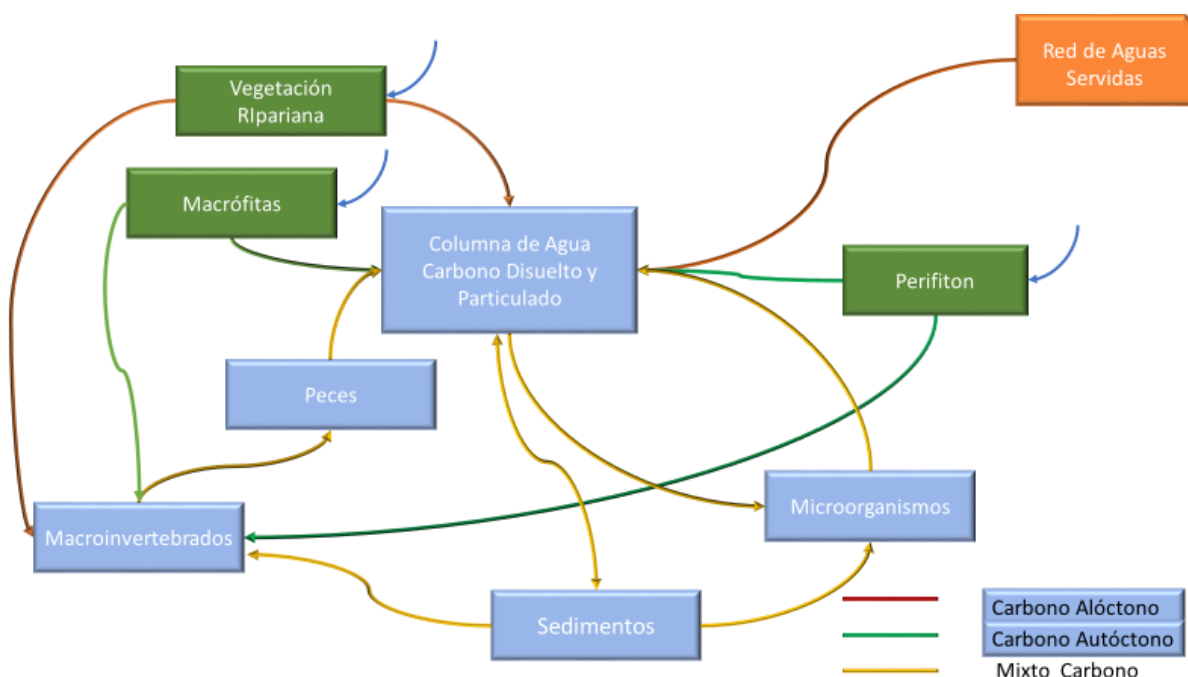


Figura 6.60 Modelo General Propuesto para el análisis ecosistémico del Río Mapocho en el año 2003. La figura solamente destaca los flujos más importantes relacionados a la materia orgánica.

6.4.2.3 Modelos de los Ecosistemas por Subcuencas y Tramos

El análisis se focaliza en los aspectos de la estructura de componentes (fitobentos, zoobentos, peces, etc.) en función la jerarquía geomorfológica de subcuencas y tramos. Los aspectos funcionales se centran en la relación de variables físicas y químicas que son factores que afectan los procesos ecológicos y en indicadores

Desde el punto de vista funcional, el aporte de carbono alóctono es mucho menor que el que ocurre en el tramo 1, dado el estado de perturbación de los bordes del río, que implica una baja abundancia de plantas y como consecuencia, poca materia orgánica en forma de partículas desde el borde al curso del río.

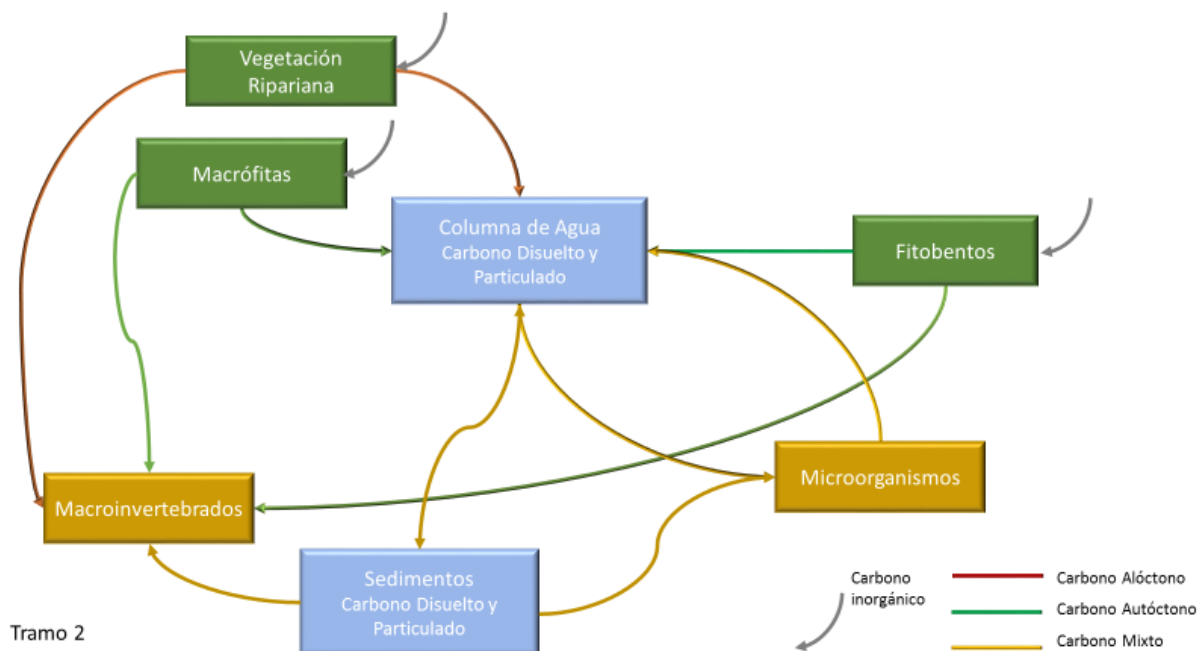


Figura 6.62 Modelo de ecosistema para el Tramo 2, subcuenca alta del río Mapocho en función origen del carbono.

6.4.2.3.2 Subcuenca Baja

c) Tramo 3

El modelo del tramo 3 muestra la existencia de más componentes bióticos, como las aves acuáticas y riparianas (Figura 6.63). No obstante, los peces no se observaron como componentes del ecosistema. Esto puede ser explicado, en parte porque el muestreo se realizó en una única estación del año, y también porque este tramo presenta una parte importante de su extensión longitudinal abovedada, incluyendo el lecho del río, por obras hidráulicas de larga data, de tal manera que limita la presencia de varios tipos de organismos.

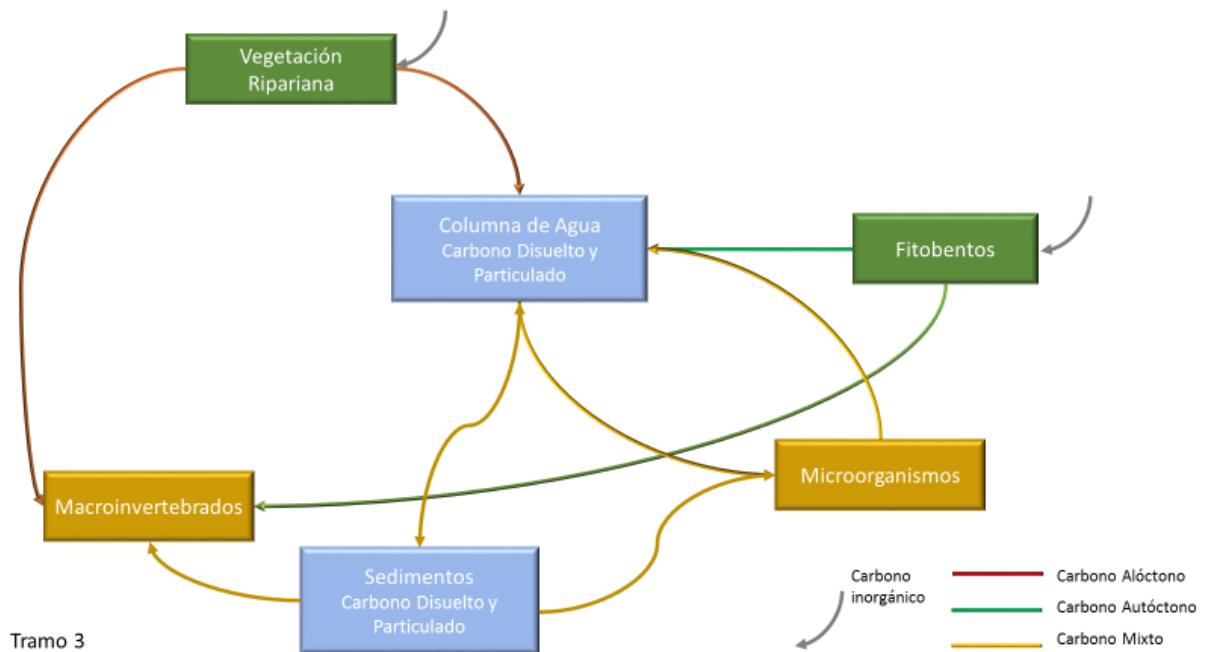


Figura 6.63 Modelo de ecosistema Tramo 3, de la subcuenca Baja del río Mapocho en función del origen del Carbono.

d) Tramo 4

En este tramo de la subcuenca baja del río Mapocho, se observa la presencia de peces como componente de los ecosistemas, grupo de organismo de gran importancia en los ecosistemas lóticos (Figura 6.64). Este grupo de organismos es considerado fundamental, como indicador de condiciones más favorables de los aspectos físicos y químicas del caudal.

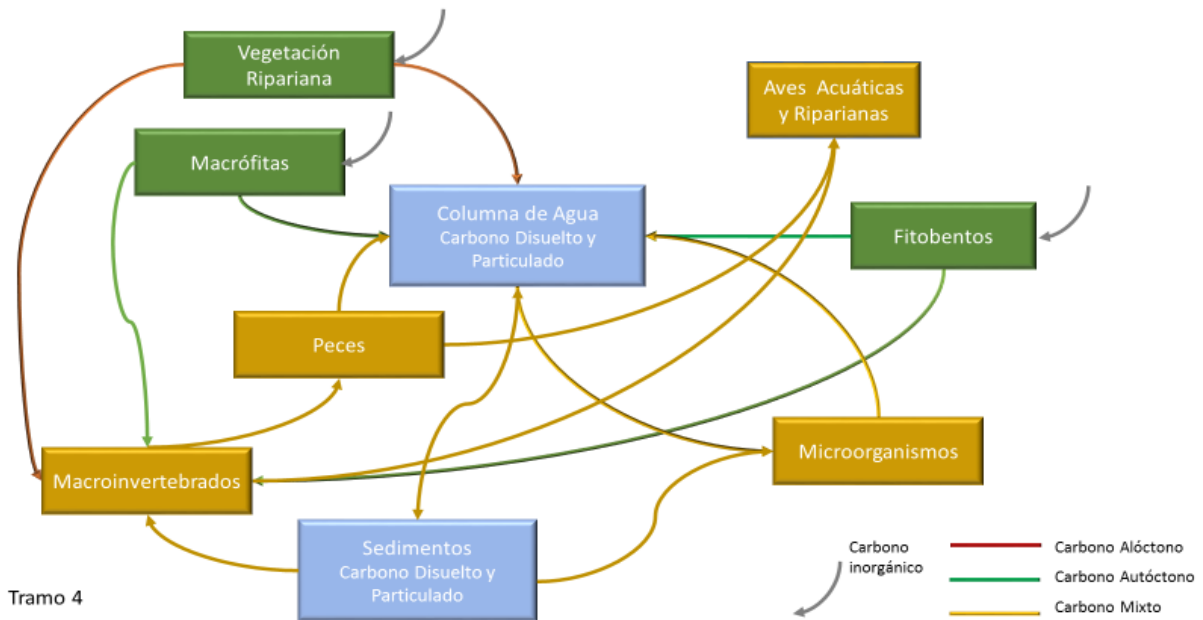


Figura 6.64 Modelo de Ecosistema Tramo 4 de la subcuenca baja del río Mapocho en función del origen del carbono.

e) Tramo 5

Este tramo, si bien presenta los mismos componentes que en el tramo 4 ocurre una mayor frecuencia de presencia de peces, los componentes de vegetación ripariana y macrófitas alcanzan un mayor desarrollo. La presencia de aves acuáticas y riparianas es de mayor relevancia, y ocurren afloramientos de agua que se unen al caudal superficial.

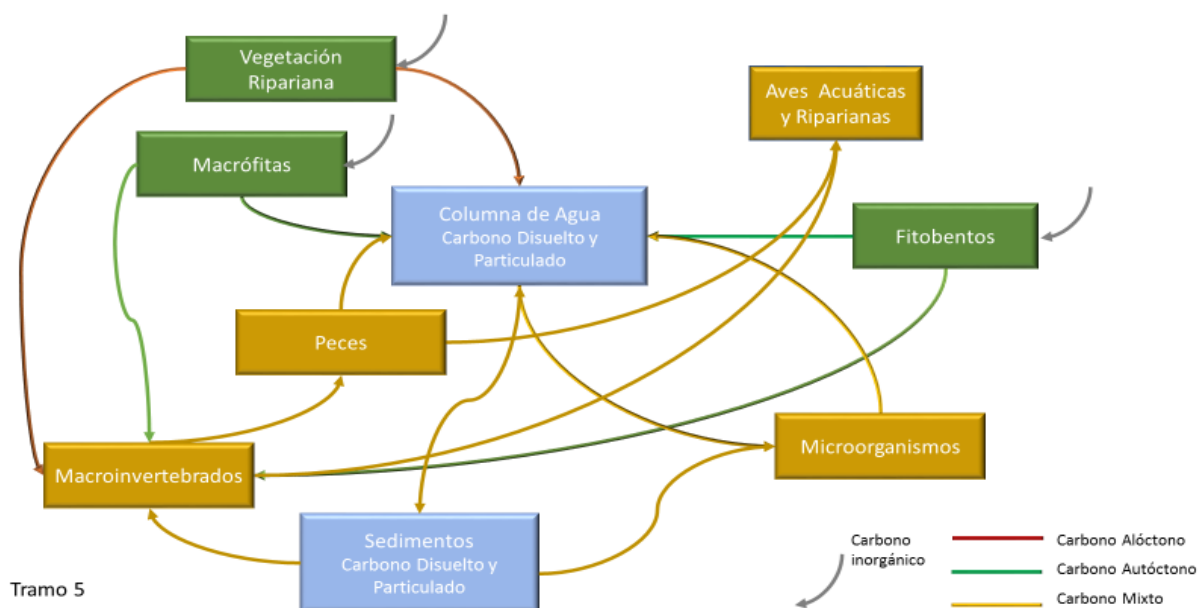


Figura 6.65 Modelo de Ecosistema Tramo 5 de la subcuenca baja del río Mapocho en función del origen del carbono.

6.4.2.4 Carbono: origen y principales flujos en los Ecosistemas del río Mapocho

En los ecosistemas acuáticos lóticos, las fuentes de materia orgánica para los organismos heterótrofos (que no realizan fotosíntesis) como los invertebrados bentónicos o macroinvertebrados, tiene una gran relevancia. Desde esta perspectiva, se define como carbono alóctono si el carbono orgánico entra desde el exterior al curso de agua como detritus. La materia orgánica producida por fijación de carbono in situ en el río, por organismos que realizan fotosíntesis, se denomina autóctono. Dado lo anterior, se eligió formular modelos conceptuales basados en este aspecto para describir los ecosistemas del río Mapocho.

Los modelos conceptuales elaborados, para representar el funcionamiento ecosistémico del río Mapocho, tienen en cuenta la existencia de dos subcuencas y describen relaciones entre componentes en función de los flujos de carbono, que deben ocurrir por las interacciones tróficas que se estructuran a lo largo de la dimensión longitudinal del río Mapocho.

Ecológicamente, en los ecosistemas lóticos, la materia orgánica que sirve de alimento a los organismos heterótrofos, entre ellos a los macroinvertebrados y microorganismos, es decir, la fuente de energía para los heterótrofos se define según su origen. Esto es si se produce en el mismo ecosistema lótico, se denomina carbono autóctono y si proviene de otros ecosistemas se denomina alóctono.

Antes de la operación de las plantas de tratamiento, el carbono alóctono que ingresaba en el río, correspondía a los aportes desde los ecosistemas ribereños y *detritus* transportados por el agua desde la superficie de la cuenca y el más importante, al carbono descargado por los ductos de aguas servidas sin tratar, en el curso principal del Mapocho.

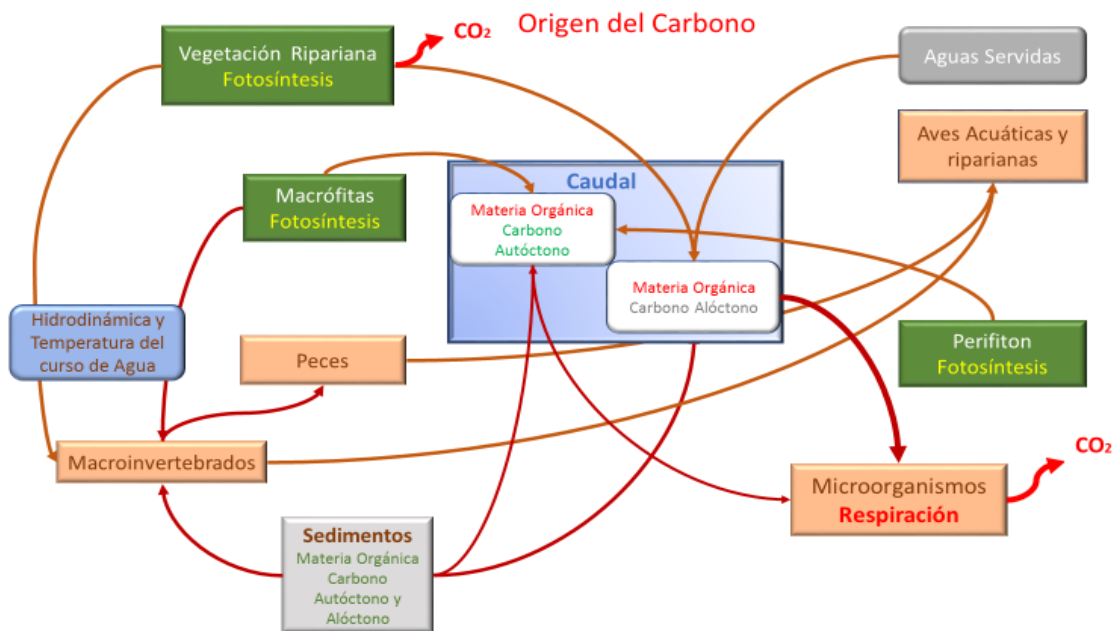


Figura 6.66 Modelo de origen del Carbono y respiración en los ecosistemas lóticos del río Mapocho.

Espacialmente a nivel de la cuenca y subcuencas no existe un registro detallado de todos los puntos de descarga de aguas servidas sin tratar, que existían en el río Mapocho. Desde el punto de vista ecosistémico la descarga de aguas servidas significaba incorporar a los ecosistemas, una gran cantidad de materia orgánica alóctona (material fecal), nutrientes, y microorganismos (coliformes fecales y otros microorganismos). Es decir, las descargas no tratadas incorporan microorganismos, que actúan degradando la materia orgánica (materia orgánica particulada y disuelta) cambiando el funcionamiento del río, y donde los procesos de descomposición y por lo tanto la respiración, dominaban los flujos de energía en los ecosistemas, (independientemente de su significado sanitario). El conjunto de microorganismos del ecosistema tiene un rol importante en la descomposición de la materia orgánica (particulada y disuelta) hasta la mineralización, es decir nutrientes, agua y CO_2 .

6.4.2.5 Respiración y Oxígeno Disuelto

En los ecosistemas el ingreso de energía y materiales se realiza por los organismos, la energía solar es la fuente básica y se incorpora mediante el proceso de la fotosíntesis que fija químicamente la energía en los enlaces de las moléculas que se construyen. El uso de los materiales y energía biológicamente fijada se usa por los organismos mediante la degradación de materia orgánica o biomasa, en una serie de procesos que finalizan con la formación de CO_2 , materiales simples y agua, es decir la respiración.

En los ecosistemas acuáticos, y en particular en los lóticos, el proceso de respiración ocurre en todos los componentes bióticos. No obstante, en los organismos que realizan fotosíntesis, la respiración consume una parte de la energía, es decir es respirada, la otra se acumula como biomasa en diferentes formas. En

cambio, los heterótrofos, deben obtener toda la energía y materiales a partir de biomasa o materia orgánica muerta, que implica el proceso de respiración.

Para el desarrollo de sus actividades los organismos de los distintos componentes biológicos requieren disponer de oxígeno libre. En el caso de los organismos acuáticos, debe estar disuelto en agua, para ser incorporado por los organismos y permitir el proceso respiración aeróbica a nivel celular. Cuando los niveles de oxígeno disuelto son bajos y no hay suficiente para los procesos de respiración aeróbica, los microorganismos pueden conmutar a respiración anaeróbica, con consecuencias para los propios organismos en su eficiencia y el funcionamiento ecosistémico debido a un complejo de reacciones químicas que ocurren en el agua.

6.4.2.5.1 Niveles de Oxígeno en el Caudal del río Mapocho

El oxígeno se ha usado como un indicador fundamental de las características del agua, dado la importancia que esta tienen para la vida animal, y en especial para los peces en los ecosistemas dulceacuáticos.

El valor observado del nivel de oxígeno disuelto en el caudal de un ecosistema lótico es el resultado de varios procesos físicos, químicos y biológicos conocidos, que ocurren simultáneamente. Entre los físicos, se encuentran los procesos físicos como la temperatura, hidrodinámicos, como la turbulencia en el curso longitudinal del río, que determinan incorporación de oxígeno disuelto en el agua; y por otra parte el oxígeno aportado por el procesos de fotosíntesis por los componentes macrófitas y perifiton o fitobentos durante las horas con luz; el consumo de este elemento por los procesos metabólicos de todos los organismos, es el consumo, dominado especialmente por microorganismos que degradan materia orgánica, (partículas y material orgánico disuelto) y que son afectados por la temperatura del agua en su nivel de actividad.

Ecológicamente para un mismo nivel de OD puede encontrarse en un *amplio rango de valores de caudal*, así como para un mismo nivel de caudal un amplio rango de valores de OD en el agua, como se observa en la Figura 6.50. La DBO y DQO son estimadores de los requerimientos de oxígeno en los ecosistemas acuáticos, corresponde a dos aproximaciones metodológicas diferentes y que son indicadores de la importancia de la actividad microbiana, en la descomposición de materia orgánica en la columna de agua y de los requerimientos integrados de las demandas biológicas y de naturaleza química en el caso de la DQO. Estos valores son usados para entender el funcionamiento ecosistémico de función de las subcuencas alta y baja del río Mapocho. Entonces, los niveles de OD, DBO y DQO pueden informar de aspectos críticos del funcionamiento ecosistémico.

La relación entre OD con DBO y DQO se observa en la Figura 6.67 para el río Mapocho en Rinconada donde se disponen de datos simultáneos. El OD presenta una alta variabilidad respecto de la DBO₅, del mismo modo que respecto de la DQO. No obstante, a medida que aumenta la DBO y la DQO hay una disminución de los valores de OD en el caudal.

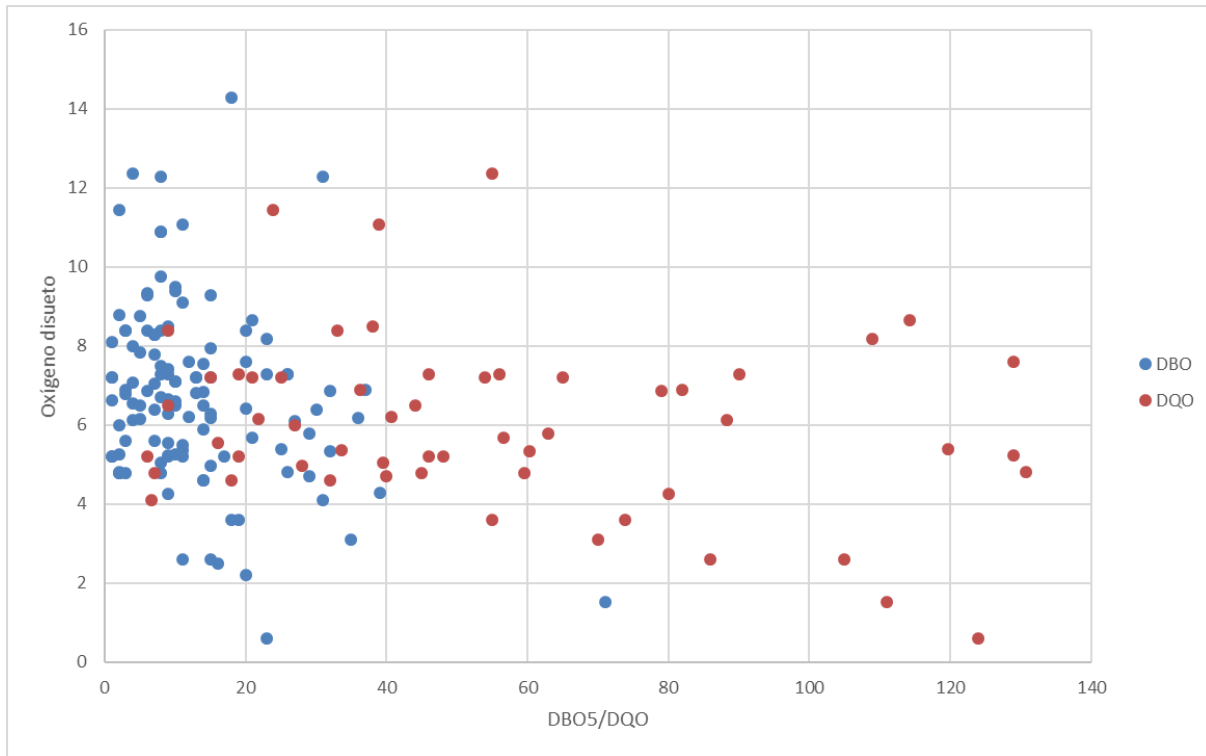


Figura 6.67 Relación niveles de oxígeno disuelto y los indicadores demanda biológica y química de oxígeno en el caudal del río Mapocho en Rinconada.

La Figura 6.67, muestra la tendencia general del OD en el caudal observada en la subcuenca baja, donde ocurre una reducción de los niveles de oxígeno disuelto, en la medida que aumenta el valor de los indicadores DBO y BQO. En la Figura 6.68 se muestran los flujos más importantes de materia orgánica que determinan la demanda biológica de oxígeno en la subcuenca baja, que queda disponible para los microorganismos.

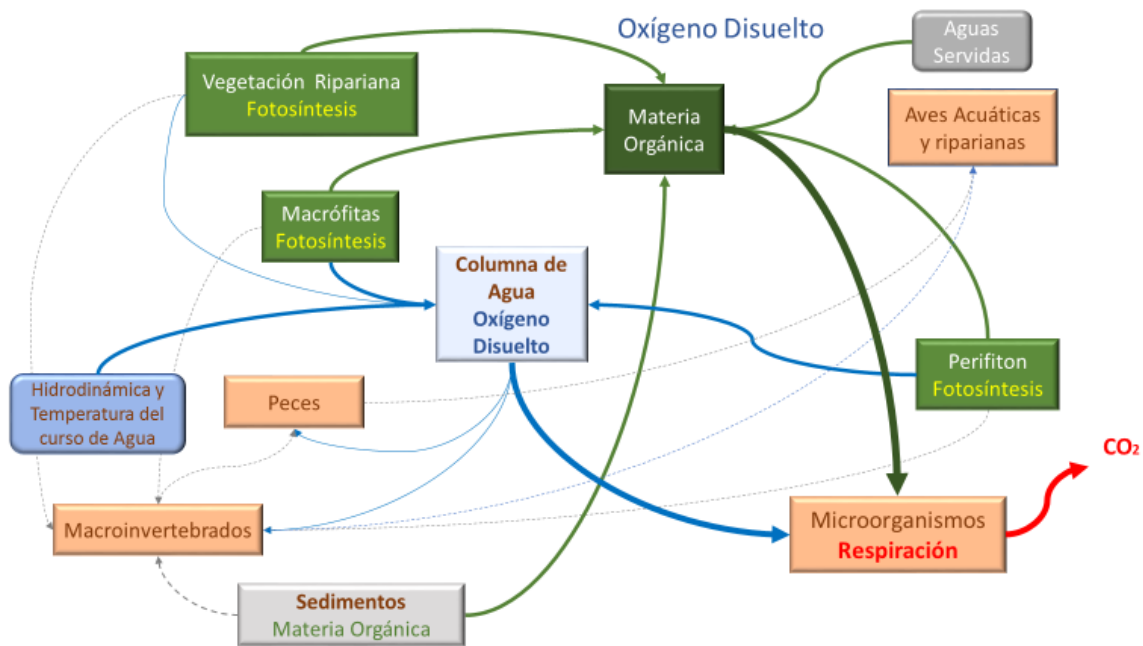


Figura 6.68 Procesos de fotosíntesis y respiración y su relación con los niveles de OD Flujos y componentes de los ecosistemas del río Mapocho. Se muestran los flujos más relevantes de materia orgánica (en verde) y los flujos de oxígeno (en azul).

Niveles bajo de oxígeno (5mg/l) indican una mala calidad del agua para organismos como peces, pero otros grupos de organismos pueden desarrollarse con niveles más bajos. Los resultados indican que los niveles de OD pueden presentar niveles menores que 8 mg/l se encuentran con caudales muy diferentes y con cierta frecuencia en las muestras, lo que significa un río con contaminación orgánica. Hay que recordar que los datos integran valores, desde antes que las plantas de tratamiento de aguas servidas fueran construidas (Figura 6.67).

Si hay una carga de materia orgánica (que es carbono alóctono principalmente) y la temperatura del agua es relativamente alta, los microorganismos tendrán un alto metabolismo. En esas condiciones consumen una mayor cantidad del OD del caudal, para degradar materia orgánica, mediante el proceso de respiración y libera CO₂, minerales y agua (Figura 6.68). Por el contrario, si el agua es turbulenta, más fría, los microorganismos disminuyen su tasa de respiración de materia orgánica, y los valores de OD pueden ser más altos. También puede ocurrir que exista mayor turbulencia del agua y con ello mayor oxigenación y se mantenga un nivel de OD alto. Es decir, diferentes combinaciones de parámetros y factores pueden determinar un valor de oxígeno disuelto observado.

7 DISCUSIÓN

7.1 Estado del Río Mapocho

Históricamente, los asentamientos humanos se han desarrollado en torno y en base a la presencia de cuencas hidrográficas de ríos, dado los múltiples beneficios o servicios ecosistémicos que estas cuencas aportan a la vida humana. Sin embargo, el uso de estos servicios, no están exentos de menoscabo para estas cuencas, los cuales incluyen, por ejemplo, deterioro estructural y cambios en el funcionamiento ecológico de los ríos. En el caso del río Mapocho, el uso de su cuenca hidrográfica, para actividades tales como el desarrollo agrícola, urbano e industrial de Santiago, ha significado grandes modificaciones estructurales y del funcionamiento del río. La cuenca del río Mapocho ha sido transformada por el uso humano, desde el asentamiento de pueblos originarios y posteriormente desde la fundación de Santiago, hasta nuestros días. Es especialmente en los últimos 150 años donde el río Mapocho ha sufrido las transformaciones más relevantes, con la construcción de canales de extracción de agua para riego, como por ejemplo el Canal El Carmen, Canal San Carlos, Canal Las Mercedes. Como también con la construcción de tajamares, para impedir la salida del río en las crecidas invernales en el sector actual de Plaza Baquedano y Avenida El Salvador. A nivel funcional, estas intervenciones en el río modifican fuertemente el régimen de caudal del río, especialmente en el periodo estival, cuando los caudales son naturalmente menores, en el ciclo anual. Además de estas dos intervenciones, el río Mapocho ha sido utilizado para evacuar las aguas residuales domésticas de Santiago y riles industriales. En este sentido, sólo recientemente, se abordó el tratamiento de aguas servidas mediante la construcción y operación de plantas de tratamiento secundario.

En cuanto, al estudio de los efectos que han generado estas intervenciones en el río Mapocho, la información generada se ha focalizado, históricamente, en muestreos físicos, químicos y bacteriológicos del caudal, como una manera de realizar un seguimiento a la calidad de sus aguas y como éstas eran afectadas. Sin embargo, desde una visión ecosistémica, la información es escasa. En este sentido, sólo dos estudios han abordado esta temática, el primero en el año 2003, el cual considera un tramo del río, para el estudio del “Impacto de la Planta de Tratamiento La Farfana en la restauración del río Mapocho: caracterización ecosistémica”, y en el año 2017 “Diagnóstico y análisis del Plan de saneamiento y la condición ecológica del río Mapocho”, el cual considera una primera aproximación en la comprensión de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas del río Mapocho en toda su extensión longitudinal. Ambas investigaciones, se enmarcan en los estudios solicitados por la empresa chilena de servicios sanitarios Aguas Andinas, quién realiza el suministro de agua potable y servicios de alcantarillado de la mayoría de las comunas de Santiago.

Todas estas investigaciones, incluido el presente estudio, responden a las intenciones e interés de Aguas Andinas de integrar la información existente del río Mapocho, tanto para el seguimiento de sus características hidrológicas, sanitarias como ecológicas. Por una parte, tiene por objeto mejorar la comprensión de la relación entre cambios determinados por el proceso de saneamiento de la cuenca del Maipo, con cambios que ocurren simultáneamente en los ecosistemas que se desarrollan a lo largo del río, valorando la información acumulada, y, por otra parte, poniéndola al servicio de los tomadores de decisión y de las autoridades. Es así como, este estudio ecosistémico va más allá de la acumulación de datos en el tiempo, sino que el objetivo principal, es avanzar en la comprensión del río desde el punto de vista ecológico y en especial ecosistémico, y como tal, mejorar nuestro entendimiento de las interacciones de sus

componentes bióticos y abióticos, para responder y/o realizar adecuadamente preguntas y/o estudios específicos.

7.2 Río Mapocho y la idea de ecosistema

Siguiendo la idea de Tansley (1935), se ha definido ecosistema como “una comunidad biótica o ensamblaje y su ambiente físico asociado en un lugar específico” (Pickett y Cadenasso, 2002). Esta definición moderna, realza la comunidad entendida como poblaciones de especies que interactúan biológica y simultáneamente desarrollan interacciones con el ambiente físico (no biológico) en relación con flujos de energía y materiales. Bajo este concepto, los sistemas fluviales, y en este contexto el río Mapocho, es una entidad compleja, constituida por un continuo de ecosistemas o bien por parches de ecosistemas diferentes, los cuales, se presentan mediante cambios contrastantes (ecológicos, geomorfológicos e hidrológicos) e identificables, ya sea en su dimensión vertical, lateral o longitudinal. En este sentido, el río Mapocho y los sistemas fluviales en general, pueden ser observados desde variados puntos de vista, siendo frecuente la perspectiva geomorfológica e hidrológica. Una de las aproximaciones más recientes dentro de las ciencias fluviales, integra la complejidad de los ríos, y entrega un marco interdisciplinario para el estudio de los aspectos ecológicos. Este marco, focaliza su interés en el estudio de tres disciplinas fundamentales de los ríos, la ecología, la hidrología y la geomorfología, y como cada una de ellas interactúan entre sí, formando lo que conocemos como sistemas fluviales.

7.3 Enfoque Eco-hidro-geomorfológico

El avance en la comprensión de los sistemas fluviales ha permitido el desarrollo de una aproximación multidisciplinaria y holística, que entrega una base conceptual para el análisis de numerosos problemas en ecología de ríos. Dicha aproximación propone la integración de jerarquías paralelas basadas en tres disciplinas: geomorfología, hidrología y ecología (Dollar *et al.*, 2007). La geomorfología, entrega una información fundamental para los ecosistemas fluviales, es la base física para los procesos ecosistémicos y biológicamente provee el *template* o espacio físico, en la cual, las especies han evolucionado. Además, la geomorfología está en constante interacción con el régimen de caudal de los ríos. El caudal modifica los cauces de los ríos y a su vez la geomorfología limita la extensión física de éste. En este sentido, la jerarquía hidrológica, es reconocida fundamental para los ecosistemas lóticos ya que, integra aspectos de la cuenca, la red hidrológica, la magnitud o volumen de agua o caudal. En el contexto de este estudio, los registros de la magnitud del caudal se encuentran medidos en puntos geográficos específicos, medidas adecuadas para el análisis solamente a nivel de cuenca y subcuenca, y no a escalas menores. En cambio, otras propiedades físicas como la temperatura, y químicas como el pH, conductividad, oxígeno disuelto y varias otras pudieron ser analizadas al nivel jerárquico geomorfológico de tramo. Por último, en la jerarquía ecológica, el nivel de ecosistema permite integrar los aspectos físicos y químicos del caudal con la comunidad de organismos; permite comprender, tanto la naturaleza de las interacciones entre lo biótico y lo abiótico, como también el área específica donde ocurren las interacciones ecológicas. En este sentido, en el río Mapocho, los estudios realizados los años 2003, 2017 y 2018, nos han permitido conocer la existencia de distintos componentes bióticos que se desarrollan, su riqueza y composición de especies, y que funcionalmente están en una interacción permanente en los ecosistemas, tales como el fitobentos o perifiton, macrófitas, vegetación ripariana, peces, aves acuáticas y riparinas, microorganismos.

En el contexto de este estudio, el uso de un marco ecohidrogeomorfológico, permite el análisis de cada uno de los niveles jerárquicos de forma separada y a su vez permite comprender las relaciones entre las

diferentes jerarquías, ampliando nuestra comprensión de cómo los sistemas, el río Mapocho, en particular, ha permitido integrar la información de relevancia para entender la localización espacial de los ecosistemas, como su funcionamiento determinado por las características físicas y químicas del caudal en el sistema fluvial, con el fin de explicar los patrones espaciales de localización y funcionamiento de distintos aspectos de los ecosistemas, en escalas espacio-temporales apropiadas.

7.3.1 Subcuencas y tramos

A nivel geomorfológico, los datos disponibles permitieron realizar los análisis a nivel jerárquico de subcuenca y tramos, estos últimos definidos operacionalmente, incluyendo aspectos de la red hidrológica a lo largo de la dimensión longitudinal del río. La identificación de los tramos se basó primariamente en las modificaciones realizadas por el hombre, las cuales, cambian propiedades geomorfológicas del lecho y borde del río, por razones de uso urbano. Simultáneamente se incluyó la existencia de afluentes de origen antrópico significativos, como el Canal San Carlos, hecho hidrológico importante para el caudal del río. Además, se consideró la existencia de una serie de canales de extracción, entre los que destacan el canal El Carmen y Las Mercedes en distintos puntos del río Mapocho. Los tramos definidos fueron: Tramo 1) Los Almendros, sector cordillerano, alta pendiente, lecho de rocas, bloques o roca madre, aguas turbulentas; Tramo 2) Puente San Enrique/Canal San Carlos disminución de la pendiente, inicio del sector de valle, sector del río con un importante dimensión lateral que en la actualidad ha sido modificada por obras de encauzamiento, gaviones enmallados, curso principal reciente posterior a modificaciones antrópicas con un nuevo trenzado de canales; Tramo 3) Canal San Carlos/Parque Fluvial La Familia, curso de agua abovedado con rocas de gran tamaño, sin riberas naturales, pero con muros verticales para encauzar el agua, sin bancos laterales de arena, o bien muros más alejados, por construcción de carreteras, calles o uso urbano, como bordes con la formación de banco; Tramo 4) Parque Fluvial La Familia/Puente Esperanza, curso principal con baja pendiente, canales meándricos, ribera con gaviones enmallados, defensas fluviales, descargan actualmente las aguas tratadas de planta Aeropuerto Arturo Merino Benítez, ciudad de los Valles, sector de La Africana, plantas La Farfana, El Trebal y Mapocho; Tramo 5: Puente Esperanza/Confluencia río Maipo; aguas abajo de plantas de tratamiento, presencia de obras fluviales de defensa para evitar inundaciones por crecidas, presencia de afloramientos subterráneos.

7.3.2 Red hidrológica, caudal y ecosistemas

El caudal, es un componente abiótico constitutivo de los ecosistemas lóticos y se asocia a los distintos cursos de agua que conforman la red hidrológica y que se integran en el curso principal, que es el sujeto de análisis en este trabajo. La red hidrológica actual, tiene una estructura con canales que extraen agua desde el curso principal, como el canal El Carmen. También existe un aporte mayor al río Mapocho en su parte alta, con el traspaso de agua desde el río Maipo, por medio del canal San Carlos, descarga los caudales más relevantes, hasta la confluencia del estero Lampa. Desde el Canal San Carlos, aguas abajo, existen alteraciones o modificaciones de los canales del río y cambios hidrológicos (por ejemplo, abovedamiento de un sector del río Mapocho, alteración del borde del río, canales de extracción de agua, que modifican el régimen del caudal natural y éste modifica la estructura y funcionamiento de los ecosistemas del río.

Recientemente, en el siglo XXI con la incorporación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), incorporan en el tramo 4 un caudal importante al flujo de agua superficial del río Mapocho, flujo correspondiente a descargas de aguas tratadas, y que proviene en su mayor parte de la parte alta de la subcuenca del río Maipo (La Farfana, El Trebal, Mapocho y planta del Aeropuerto Arturo Merino Benítez

(AMB) como caudales más relevantes y en forma regular). Desde el punto de vista de la extracción, el Canal Las Mercedes, desvía un caudal importante de agua después de la descarga de la PTAS La Farfana, cerca del puente Rinconada de Maipú y aguas abajo de la estación fluviométrica del mismo nombre. El caudal es más significativo durante el periodo estival de acuerdo con el régimen del caudal, provocando una fuerte reducción del caudal del curso principal. En ocasiones, el canal Las Mercedes desvía casi la totalidad del caudal, hecho que se ha acentuado durante los últimos años, debido a una notable baja de las magnitudes del caudal en ambas subcuencas por razones climáticas e inevitablemente afecta a los ecosistemas aguas abajo. Por otra parte, presenta afloramientos de agua que ocurren en los bordes del curso principal, más arriba de la confluencia con el estero Lampa y la descarga de la PTAS del aeropuerto AMB, y que no se encuentran expresados en los registros. Este sector del tramo tiene además un curso más meándrico del río. Todo lo anterior, determina efectos sobre los ecosistemas del río en relación con sus componentes bióticos y abióticos afectando el funcionamiento de los ecosistemas. Los resultados de algunas variables indican que es la parte más desfavorable para organismos como los peces y macroinvertebrados. Sin embargo, también ocurre estacionalidad en las condiciones físicas y químicas en el caudal y en el año 2018 los registros de primavera indican la presencia de peces. Este hecho refleja la importancia de observar en escalas temporales estacionales para los componentes bióticos de los ecosistemas.

Por otra parte, en el tramo 5 hay algunos afloramientos identificados hidrológicamente, pero también existe otros no especificados. En este tramo es notable el aumento de los nitratos, comparado con el tramo 4, asociados a esos afloramientos probablemente con la fertilización y riego de áreas de intensivo uso agrícola. No obstante, lo anterior, este tramo parece tener la mejor condición ambiental, con ecosistemas más complejos, tipos de hábitats más adecuados para organismos como peces y aves tanto acuáticas, como riparianas.

Lamentablemente, no hay estaciones fluviométricas que nos permitan tener registros de los cambios de caudal a nivel de los tramos diferenciados morfológicamente. Si bien se observan cambios en la dimensión longitudinal del río, en cuanto al caudal en superficie, no se dispone de valores de medidos para ellos. Sin estos valores, es difícil proponer efectos en los ecosistemas.

Sin embargo, cambios importantes en la red hidrológica, es difícil que ocurran en el corto plazo, probablemente, disminuya la extracción del agua por el cambio de uso del suelo pasando de agrícola a urbano en las superficies que son irrigadas por algunos de los canales existentes. Por otra parte, los tramos identificados muestran que los ecosistemas presentan una estructura de componentes relacionados a las características geomorfológicas e hidrológicas, y a propiedades físicas y químicas del caudal en función de magnitud y subcuencas.

Las características indicadas del río, así como las propiedades físico-químicas del caudal son determinantes para la conformación de los componentes bióticos de los ecosistemas, ya que actúan como filtro para las poblaciones de las distintas especies, modificando los hábitats para los organismos del río (tipos de sustratos que albergan los organismos, calidad física y química de las aguas y sedimentos), que forman parte de la flora y fauna acuática (microorganismos, microalgas, invertebrados, fauna íctica, macrófitas, vegetación ripariana), y simultáneamente modifican el funcionamiento ecosistémico, como lo sugieren los análisis realizados. Así, el caudal con distintas propiedades físicas y químicas afecta la riqueza y composición de especies de los componentes bióticos.

7.3.3 Ecosistemas

7.3.3.1 Nivel de subcuencas

Desde el análisis de la jerarquía ecológica, a nivel de ecosistema, las subcuencas alta y baja se distinguen claramente por el componente abiótico caudal, por sus propiedades físicas como la magnitud y temperatura, así como por sus propiedades químicas (en Los Almendros y Rinconada de Maipú respectivamente). El caudal, presentó grandes diferencias en magnitud, temperatura y en sus propiedades químicas en el periodo evaluado de 30 años. Además, a lo largo del periodo de tiempo estudiado se observó una disminución de los caudales medio mensuales, en ambas subcuencas, lo que da respuesta a los procesos de cambio climático y sequía de los últimos 10 años.

Las diferencias de la magnitud del caudal medidas, se debe principalmente a dos razones, la primera es el aporte de agua del Canal San Carlos, del estero Lampa y del Zanjón de la Aguada en la temporada de lluvias y la segunda es la descarga de agua tratada de la PTAS La Farfana, Y DE LA PLANTA MAPOCHO TREBAL

En ambas subcuencas el componente abiótico caudal presentó un patrón con estacionalidad, con caudales mayores en los meses de invierno y primavera, asociados a una mayor precipitación en invierno y deshielos en primavera; y menores caudales en los meses de verano. Este régimen anual es propio de los sistemas de ríos con régimen pluvio-nival como el Mapocho. Otras variables que presentaron este tipo de diferencias fueron la conductividad eléctrica, cloruro, turbidez y sulfato; mientras que otras variables como pH presentaron valores similares.

La estructura de componentes bióticos de los ecosistemas que se desarrollan en las subcuencas es diferente. La subcuenca alta, dada las características físicas, presentó los componentes vegetación ripariana, macrófitas, fitobentos, macroinvertebrados y microorganismos que no fue evaluado en terreno. Mientras que en la subcuenca baja entre los componentes bióticos se presentan peces y aves acuáticas y riparianas adicionalmente a los observados en la subcuenca alta. Este hecho es absolutamente relevante desde el punto de vista ecológico, y además se presentan cambios en la composición y riqueza de taxa de otros componentes, especialmente de macroinvertebrados y fitobentos. Es decir, cambia la composición y abundancia de los taxa que conforman los componentes bióticos.

7.3.3.2 Nivel de tramos

En función de los tramos, la comparación de riqueza de especies o diversidad de especies presentes en los componentes observados incluye lo realizado en 2017 y 2018, y no incluye las observaciones de 2003, por ser solamente de un tramo muy restringido de la subcuenca baja. Al compararse por tramos, los ecosistemas son diferentes respecto de los componentes que se evaluaron y se encontraron; y también, se diferencia en la riqueza (número de especies) y en la composición de especies.

En cuanto a los componentes biológicos que se pudieron observar en los estudios del 2017 y 2018, y de acuerdo con los tramos definidos, se encontró que los tramos 1 y 2, asociados a la subcuenca alta, son similares en cuanto a los números de componentes que poseen, sin embargo, en el tramo 2 el zoobentos es más pobre en especies que en el tramo 1.

El Tramo 3, en cambio, presenta mayor riqueza de especies fitobentos, mientras que se reduce el número de especies del zoobentos. Este aumento de la riqueza del fitobentos, puede deberse a que el abovedamiento del río genera un sustrato estable para este grupo de organismos, lo cual no se presenta en el sector aguas arriba en los Tramos 1 y 2. En cambio el zoobentos no tiene un banco de sedimentos, ni heterogeneidad en el sustrato, ni cambios en la velocidad del caudal, que provea condiciones para su desarrollo, además están más expuestos a ser arrastrados por el caudal y así derivar aguas abajo. En el Tramo 4, los componentes de los ecosistemas aumentan, debido a la presencia de fauna íctica, y, por otra parte, aumenta la riqueza de especies, especialmente en el fitobentos, y aves acuáticas y riparianas. En el Tramo 5, los componentes peces y aves riparianas y acuáticas aumentan en número de especies.

Los resultados muestran que los cambios más relevantes han ocurrido de acuerdo con los registros de los componentes muestreados y los grupos de organismos encontrados, se presentan entre el año 2003 y 2017. Especialmente en los grupos del zoobentos y por la ausencia de peces, en el tramo 4, donde se realizó el estudio en el año 2003.

Los tramos 4 y 5 son las que presentaron los ecosistemas más complejos respecto de los tramos 1 y 2 de la subcuenca alta y la mayor diversidad o riqueza de especies. Son en estos tramos donde se pueden encontrar las mejores características geomorfológicas, hidrológicas y propiedades del caudal (físicas y químicas) para que los ecosistemas alcancen su mayor desarrollo o complejidad, tales como afloramientos de agua, aumento del ancho del canal, menores velocidades de corriente que permiten que se estructuren mejor los hábitats (sustratos de fondo del canal) y una mayor heterogeneidad de éstos, permitiendo que se alberguen un número mayor de organismos, ofreciendo más espacios para el refugio y alimentación. Esto es coherente con la teoría general de desarrollo de los ríos desde la cabecera hacia la desembocadura.

7.3.3.3 *Análisis funcional*

El estudio ecosistémico realizado en el año 2003 concluyó que el funcionamiento en el sector estudiado del río, indicado como Mapocho Poniente, entre el Puente de la Ruta 68 a Valparaíso y el Puente Esperanza, de la ruta a Curacaví, funcionaba con una alta carga de materia orgánica alóctona que hacía que el proceso de descomposición de ésta, por parte del componente microorganismos del ecosistema lótico, produjera condiciones de bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua del caudal. El sector analizado, presenta una baja pendiente entre el puente sobre el Mapocho de la ruta 68 y el puente Esperanza, que le confiere un flujo más bien laminar, con baja turbulencia y en consecuencia menor tasa de incorporación de oxígeno al caudal. Lo anterior corresponde a la única interpretación funcional de los ecosistemas del río Mapocho, realizada hasta el momento. Así, el proceso de descomposición dominaba el funcionamiento ecosistémico. La evidencia de producción de biomasa por fotosíntesis, en el canal del río indicó una baja abundancia de microalgas y en los sedimentos la presencia de depósitos orgánicos y zoobentos dominados por organismos indicadores de malas condiciones para otros organismos como peces. El proceso de descomposición se realizaba en condiciones anaeróbicas y en consecuencia una producción de gases que generaban malos olores. Los datos acumulados de los componentes bióticos en cuanto a riqueza y composición de especies de los ecosistemas del río Mapocho, son escasos, y corresponden a un grupo de observaciones realizadas en el año 2003 y a las obtenidas en los años 2017 y 2018, todas hechas por estudios de Aguas Andinas. Aspectos funcionales, solamente se han señalado en el análisis ecosistémico hecho en el año 2003, con datos correspondientes a variables físicos y químicos obtenidos en ese año.

No obstante, existe un conjunto mucho mayor de mediciones que se han ordenado en la base de datos, obtenidos por la DGA y Aguas Andinas, y que pueden indicar aspectos fundamentales del funcionamiento ecosistémico como también de las condiciones que afectan la presencia o distribución de organismos sensibles como los peces o grupos de invertebrados bentónicos. También ha influido la ausencia de un marco teórico como el propuesto por Dollar *et al* (2007, que al ser jerarquizado facilita la interpretación de esos datos, en distintas escalas espacio-temporales.

En este estudio se mostró que el funcionamiento ecosistémico, en relación con el oxígeno disuelto presenta diferencias de importancia en función de la magnitud del caudal, especialmente en la subcuenca baja. En general en la subcuenca alta los niveles de oxígeno son mayores, no obstante que la magnitud de los caudales son menores, aun así, hay una tendencia del oxígeno disuelto a disminuir con los caudales menores. En la subcuenca baja del río Mapocho los niveles de oxígeno disuelto, son más variables y se observan valores mucho menores que los de la subcuenca alta, en niveles que son poco adecuados para organismos como peces. Los niveles de oxígeno disuelto son más variables y con mayor número de valores bajos cuando la magnitud del caudal es baja. Estos resultados indican que en la subcuenca baja hay más probabilidad de condiciones anaeróbicas en el funcionamiento ecosistémico y que esas aumentan en la estación en que las caudales son menores y la temperatura del agua alcanza niveles mayores.

Actualmente los niveles del oxígeno se presentan en niveles muy superiores en relación con los años previos al inicio de la operación de las plantas de tratamiento de aguas servidas. Hay que indicar, que en la última década ha ocurrido una reducción notable de los caudales, que se observa en ambas subcuencas. Por otra parte, la demanda de oxígeno en el caudal de agua es mucho menor en la subcuenca alta respecto de la baja. Los indicadores de demanda de oxígeno DBO (indicador descomposición materia orgánica) y DQO (indicador de descomposición materia inorgánica más demanda por procesos químicos) son en general consistentes entre ellos, y se observa que la DQO es mucho menor en la subcuenca alta respecto de la subcuenca baja del Mapocho. Podemos señalar que la intensidad de los procesos de descomposición o degradación de materia orgánica que ocurre en el componente caudal los ecosistemas, en la subcuenca alta es mucho menor que en la subcuenca baja. A su vez, el sector donde la ciudad está en el borde del río, especialmente en el tramo 3, los valores son menores especialmente con el tramo 4. Por otra parte, se presentan los valores más altos de conductividad eléctrica, que pueden afectar a organismos sensibles. Desde la perspectiva de los nutrientes, nitrógeno y fósforo, son mucho mayores en la subcuenca baja respecto de la subcuenca alta, hecho que puede estar relacionado a las características del agua descargada al Mapocho por el Canal San Carlos, las descargas de las plantas de tratamiento del aeropuerto AMB, del estero Lampa, con descargas de plantas de tratamiento de Ciudad de los Valles, de la planta La Farfana y de descargas difusas, que son medidas en estación Rinconada de Maipú. Los valores más altos de estos nutrientes en el componente abiótico caudal favorecen mayores niveles de productividad biológica en los ecosistemas, que puede ser realizada por los componentes vegetación ripariana, macrófitas, y también por las microalgas bentónicas o fitobentos.

No cabe dudas, que variables físicas y químicas del caudal en el tramo 4 presentan valores menos favorables para el desarrollo de ecosistemas más complejos, no obstante, a través de los años, se observa una mejora importante en las condiciones de este tramo, lo que favorece la presencia de distintos grupos bióticos, sobre todo de aquellos más tolerantes.

7.4 Perturbaciones

En nuestro análisis, se incluyeron solamente perturbaciones recientes en la ribera del río, relacionadas a la disposición de desechos sólidos. Las áreas de la ribera presentan basura, desechos sólidos y extracción de áridos, como las perturbaciones más frecuentes.

Estos materiales, generan problemas de contaminación porque caen al curso de agua y el caudal los arrastra aguas abajo, hacia la desembocadura. Al ser basura, los materiales de origen orgánico se degradan por la acción de organismos, pero hay desechos sólidos que pueden contener materiales muy tóxicos o de los cuales se desconoce su composición química. También hay desechos que son inertes químicamente, pero afectan el uso del espacio o borde ribereño, ya que sufren procesos de degradación mecánica y se transforman en partículas finas, como los plásticos. La recomendación es que las comunas ribereñas debieran, en acuerdo con los propietarios ribereños y comunidades locales, elaborar planes de gestión ambiental de estos sectores del eje longitudinal del río para aumentar la calidad del ambiente.

Los tramos 1, 2 y 3 se encuentran fuertemente modificados por las acciones antrópicas, especialmente las riberas. En el caso de los tramos 1 y 2 por gaviones que se construyeron como defensas contra crecidas y que sirven de límite a rellenos que posibilitan el uso urbano, especialmente para infraestructura civil. En el caso de los estos tramos indicados, especialmente en tramo 2 se han desarrollado extracción de áridos, material clave para la construcción en las ciudades. El tramo 3 se encuentra abovedado desde el siglo XX, en su mayor parte y representa la mayor perturbación geomorfológica en el eje longitudinal del río.

En los tramos 4 y 5 las perturbaciones mayores corresponden a defensas contra crecidas, la ordenación del cauce principal del río aguas abajo del puente La Esperanza, para evitar salidas laterales del caudal determinando la formación de un nuevo trenzado en el lecho, por los caudales menores de los últimos años. También se encuentran las evidencias de sectores de extracción de áridos activos y algunos abandonados, que ocupan áreas significativas, especialmente en el borde sur. Todas las perturbaciones relacionadas a extracción de áridos debieran tener planes de manejo y restauración ecológica, ya que constituyen oportunidades de mejorar la calidad ambiental del borde del río. En estos tramos, como se ha señalado anteriormente, ocurren la mayoría de las descargas más significativas de aguas servidas tratadas, que generan cambios en algunas propiedades como es la conductividad eléctrica, que alcanza los niveles más altos en la dimensión longitudinal del río Mapocho.

En el caso de basura domiciliaria, los materiales de origen orgánico se degradan por la acción de organismos, pero hay desechos sólidos como electrodomésticos, restos de madera, metales, caucho, etc., otros pueden ser químicos que pueden incluir materiales tóxicos o de los cuales se desconoce su composición química. También hay desechos que son de degradación extremadamente lentas como plásticos, pero afectan el uso del espacio o borde ribereño, ya que sufren procesos de degradación mecánica y se transforman en partículas finas.

Todas las perturbaciones relacionadas a extracción de áridos debieran tener planes de manejo y restauración ecológica, ya que constituyen oportunidades de mejorar la calidad ambiental del borde del río. Las autorizaciones de los municipios con la DOH que regulan la extracción de áridos de los ríos debieran incorporar planes de restauración ecológica de las áreas sometidas a uso o extracción, de acuerdo con las

características de la extracción (en pozos o en superficie). La normativa de extracción de áridos se elaboró sin tener en consideración la normativa ambiental, que es muy posterior en su desarrollo.

Las múltiples funciones ambientales de las riberas realzan su utilidad como un buen indicador en la gestión y planificación territorial, permitiendo su inclusión como elemento clave para la calificación del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos. Las razones son evidentes y obedecen, por una parte, a sus valores naturales (elevada diversidad biológica) (Girel & Manneville 1998, Ward 1998), a la heterogeneidad del paisaje y a su capacidad para incidir sobre la calidad ambiental del ecosistema acuático que rodea, a través del control de la temperatura del agua (Beschta *et al.* 1987), de la entrada de materia orgánica y de los nutrientes que aportan las fuentes difusas.

7.5 Estado futuro de los ecosistemas

Ecológicamente, el río Mapocho no puede volver a su condición natural, debido a las transformaciones de los aspectos físicos del río y a la existencia de una fuerte relación con la ciudad, y el uso del territorio de la cuenca. No obstante, actuar para mantener el régimen del caudal y en especial su magnitud ya que afecta variables como la temperatura, turbiedad y que las concentraciones de materiales potencialmente contaminantes alcancen niveles críticos, y por otra parte es clave para alcanzar cambios en la estructura y funcionamiento del río. El control de las descargas de aguas tratadas y de descargas sin tratar son fundamentales, para mejorar las características de las propiedades químicas del caudal, especialmente en el período estival, hasta antes de las primeras lluvias del otoño. Las características químicas del agua están determinadas por las características geológicas de la cuenca por donde escurre el agua. En caso del río Mapocho, el canal San Carlos, que descarga agua desde el río Maipo, modifica además del caudal, las propiedades químicas del agua y en consecuencia afecta a los ecosistemas, especialmente en el tramo 3. El área drenada por el estero Lampa, también puede modificar esas propiedades del agua. Las mejoras potenciales del río se relacionan al control de descargas, más que a las características químicas del agua del caudal, que dependen de las áreas de drenaje.

Por otra parte, los análisis físicos, químicos, bacteriológicos y biológicos han evidenciado mejoras en el estado ecológico del río Mapocho, en su subcuenca baja, donde se tienen datos para realizar la comparación en función de escalas de tiempo más amplias, como por ejemplo los cambios en las variables oxígeno disuelto, DBO y DQO, coliformes.

Desde el punto de vista de los indicadores biológicos, los estudios realizados entre los años 2003-2017 y 2018 han mostrado una mejora en la condición ecológica del río (subcuenca baja, tramos 4 y 5), donde los estudios del 2003 mostraban a especies indicadoras de una importante carga orgánica como gusanos nemátodos, estados larvales de insectos acuáticos (sífidos, efídridos), en los últimos años estos grupos no han vuelto a ser registrados. Por otro lado, en estos últimos años se han reportado peces en los tramos 4 y 5 del río, así como una importante diversidad de aves acuáticas a lo largo del eje longitudinal del río.

Un aspecto de interés es el proceso de transformación que pueden sufrir los distintos tramos, si dejan de ser perturbados. Por ejemplo, en el tramo 2 si la extracción de áridos deja de ocurrir y la ejecución de obras de canalización (perturbación de tipo geomorfológico) para dirigir el agua en las crecidas invernales, se puede desarrollar en una extensión areal mayor de los componentes vegetación ripariana y macrófitas.

7.6 Seguimiento ecosistémico

El seguimiento en la actualidad se debe planificar en concordancia con la existencia de ciclos climáticos y de cambio climático que actualmente se considera a nivel local y global respectivamente. Para desarrollar un seguimiento ecosistémico, es conveniente tener un estado o condición de referencia. En el caso de los componentes abióticos, como el caudal y sus características físicas y químicas disponemos de una masa de datos importantes para cumplir dicha función. El componente abiótico caudal, es el que se puede seguir con mayor frecuencia, dado que existen un conjunto de propiedades físicas y químicas como la magnitud (m^3/s), temperatura, turbiedad, oxígeno disuelto, pH, que se pueden medir directamente (in situ) en el curso de agua y proveen de información relevante del estado funcional del río. Las variables indicadoras DBO y DQO deben seguir siendo medidas regularmente en los tramos descritos en el estudio, así como clorofila a, nitrógeno y fósforo total. Es un componente fundamental de los ecosistemas y existen muchos datos acumulados, especialmente de sus propiedades físicas y químicas, hecho que facilita la identificación de cambios naturales o de origen antrópico.

En relación con los componentes bióticos, se tienen pocos datos acumulados, pero la composición y abundancia de especies, desde el momento que se registran sirven de referencia a los cambios de los ecosistemas futuros. Son más difíciles de seguir por la naturaleza del muestreo, pero revelan mejor los cambios de mediano y largo plazo de los ecosistemas. La composición y abundancia de algunos componentes bióticos como el zoobentos, son reconocidos indicadores del estado de los ecosistemas. Los tipos de componentes bióticos que se presentan, su composición de especies y abundancias pueden ser seguidos estacional o anualmente.

Es frecuente que las entidades encargadas de la toma de decisiones, ya sea de carácter estatal y/o privado, realicen preguntas para gestionar en los diferentes niveles jerárquicos; sin embargo, se debe tener presente que los datos disponibles o lo que se medirán deben ser adecuados a la jerarquía correspondiente. En muchas ocasiones la información disponible es fragmentada e insuficiente y el gestor debe comprender que debe adquirir nuevos datos acorde a los niveles jerárquicos y en la escala espacio temporal apropiada.

Dependiendo de los objetivos que se planteen en estudios futuros, la data histórica siempre es relevante. Aunque exista un nuevo diseño de muestreo, se recomienda mantener algunos puntos de muestreo con información histórica.

8 CONCLUSIONES

Durante el año 2018 se continuó con el monitoreo ecosistémico a lo largo del eje longitudinal del río Mapocho, actualizando la base de datos existente en cuanto a información física, química y biológica de la columna de agua, metales en sedimento y biomasa vegetal.

No fueron detectados anfibios en los estudios 2018, y las especies de mamíferos y reptiles identificada fue baja. Esto puede guardar relación con el número de muestreos realizados, una sola campaña, o la falta de muestreo con otras técnicas como trampeo, y/o a las perturbaciones de las riberas y su vegetación disminuyendo los hábitats para este grupo de mamíferos y otros grupos biológicos que encuentran en estas zonas lugares donde vivir, refugiarse y alimentarse.

En cuanto a la comprensión de la estructura y funcionamiento del río Mapocho, a continuación, se entregan las principales conclusiones:

8.1 Estado del río Mapocho

El río Mapocho tiene una larga historia de modificaciones que datan del siglo XIX y que han modificado la geomorfología del curso principal, la red hidrológica de la cuenca, del caudal y sus propiedades físicas y química, asociadas al desarrollo de Santiago. Los ecosistemas que se desarrollaron en el río Mapocho durante el siglo XX responden a esas características y de los cuales no disponemos de una información científica documentada.

8.2 Río Mapocho y la idea de Ecosistema

En función de la dimensión longitudinal del río Mapocho se pueden reconocer cambios en los ecosistemas, desde la perspectiva de un continuo o bien en sectores o parches. Para futuros estudios y dependiendo de las preguntas, se puede mejorar la comprensión de los ecosistemas del río en sus dimensiones vertical y lateral.

8.3 Enfoque eco-hidro-geomorfológico

La selección de un enfoque interdisciplinario y jerárquico ha permitido alcanzar una mejor comprensión de la distribución en la localización espacial especialmente en su dimensión longitudinal de los ecosistemas y de grupos de organismos. El enfoque también ha facilitado la integración de datos obtenidos con diferentes fines, tiempo y frecuencia, alcanzando una interpretación más razonada del río y sus ecosistemas, acordes con el conocimiento teórico moderno.

8.3.1 Subcuencas y tramos

El nivel jerárquico de subcuencas ha permitido analizar información existente sobre la magnitud del caudal y de un grupo de sus propiedades físicas y químicas, que ecológicamente corresponden al componente abiótico caudal, desde el punto de vista ecosistémico. Los tramos definidos han permitido integrar otro conjunto datos físicos y químicos del caudal con datos ecológicos que se han obtenido en estudios recientes, pero específicos en algunas estaciones del año. El nivel de tramo ha permitido integrar información de distintas fuentes, y que reflejan características diferentes de los sectores estudiados, y que morfológicamente pueden ser reconocidos.

8.3.2 Red hidrológica, caudal y ecosistemas

El conjunto de cursos de agua que confluyen en el curso principal del río Mapocho, la red de canales de extracción de agua, y el aporte del canal San Carlos y el conjunto de descargas de las plantas de tratamiento de aguas servidas constituyen una red hidrográfica compleja, que necesariamente afectan la localización y estructura de los ecosistemas en la dimensión longitudinal del río actual. Los cursos de agua que aportan caudal, así como los canales que extraen agua desde el curso principal, son determinantes del caudal que fluye entre distintos puntos de la red y en especial en las estaciones de verano y otoño, cuando los caudales disminuyen significativamente. Este aspecto, es insuficientemente conocido, debido a la falta de datos de caudal y de los componentes bióticos de los ecosistemas.

8.3.3 Ecosistemas

8.3.3.1 Nivel de Subcuencas

Se establecieron diferencias en los componentes que pueden reconocerse y en su riqueza y composición de especies. El más evidente es que la subcuenca alta presenta solamente los componentes vegetación ripariana, macrófitas, fitobentos, macroinvertebrados y microorganismos. En la subcuenca baja, se encontraron los componentes peces, aves acuáticas y riparianas.

8.3.3.2 Nivel de tramos

En este nivel jerárquico, la identificación de tramos permitió un análisis más preciso de los componentes bióticos de los ecosistemas, caracterizado por modelos de ecosistemas específicos en que se incrementa el número de componentes identificados y con diferenciación en las propiedades físicas y químicas del componente caudal.

8.3.3.3 Análisis funcional

En el año 2003, se había concluido que el sector estudiado de la subcuenca baja y que está incluido en el tramo 4 del análisis actual, funcionaba con una alta carga de materia orgánica alóctona que hacía que el proceso de descomposición de ésta, por parte del componente microorganismos del ecosistema lótico, produjera condiciones de bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua del caudal.

Como indicadores biológicos, se encontraron importantes abundancias del grupo de nemátodos, estados larvales de sírfidos y psychodidae, indicadores de contaminación orgánica.

En este estudio 2018, con una amplitud temporal de información de tres décadas, se encontró evidencia de que el oxígeno disuelto en la estación Rinconada de Maipú, presentó con frecuencia valores bajos asociados a una alta demanda biológica de oxígeno y una alta demanda química de oxígeno, especialmente cuando los caudales son bajos y son una evidencia que apoyan la conclusión establecida en 2003. Por otra parte, se establecen diferencias importantes en las subcuencas, el alta con valores de oxígenos casi siempre altos y menor variación, respecto de la baja.

8.4 Efectos de perturbaciones

Las perturbaciones recientes consideradas en este estudio muestran que en la actualidad, los desechos sólidos con varios tipos, la basura y la extracción de áridos son los que dominan las superficies de las riberas



del río Mapocho. En la parte abovedada, incluida en el tramo 3 del presente estudio, el fenómeno de disposición ilegal de residuos tiene menor relevancia dado la ausencia de riberas con pendiente hacia el río. Los efectos de estas perturbaciones, especialmente la basura, en el caso de residuos orgánicos, se descomponen y pueden contaminar el río como materia orgánica. Otros residuos pueden liberar compuestos tóxicos en el curso de agua, mientras que materiales más inertes químicamente, como los plásticos derivan hacia la desembocadura del río Maipo y el mar.

La restricción de la extracción de áridos, que es una perturbación geomorfológica, puede tener efectos importantes en la estructura de los ecosistemas, particularmente de los componentes vegetación ripariana y de macrófitas que alcanzaría una mayor cobertura y desarrollo en biomasa.

8.5 Estado futuro de los ecosistemas

En el futuro de los ecosistemas en el río Mapocho, pueden continuar desarrollándose, aumentando su complejidad, si los planes de saneamiento de las aguas del río Mapocho, el control de la disposición de residuos, tanto líquidos como sólidos se ejecutan de una manera más rigurosa por parte de las autoridades pertinentes. Se ha observado, especialmente en la subcuenca baja una tendencia al desarrollo de ecosistemas más complejos, con más componentes biológicos y a su vez más sensibles a las condiciones ambientales, especialmente a condiciones físicas y químicas del caudal y en especial el desarrollo de recursos de hábitat para esos organismos.

8.6 Seguimiento Ecosistémico

Se debe continuar con el monitoreo de abundancia y composición de especies de los componentes bióticos de los ecosistemas, en escalas espacio-temporales adecuadas a varios niveles jerárquicos. Por otra parte, se debe seguir el monitoreo de un grupo de variables físicas y químicas, a nivel de cuencas y tramos, que permita asociarlos a las condiciones locales y a los componentes con su composición de especies y sus abundancias.

9 RECOMENDACIONES PARA TOMADORES DE DECISIONES

El reconocimiento de cinco tramos en el río Mapocho con sus diferentes ecosistemas puede ser utilizado como una herramienta de gestión, ya que cada tramo presenta características diferentes. Conocer la evolución de la condición ambiental del río, es más fácil realizarla y entenderla por cada uno de los tramos, que generalizar la condición ambiental de un tramo a todo el río. Por otro lado, cada tramo podría presentar indicadores y/o planes de seguimiento particulares.

Con respecto a las necesidades de acciones ambientales apropiadas para los problemas de disposición de residuos sólidos en la ribera del río son múltiples y requieren de la participación de numerosos actores de la sociedad. Las recomendaciones son generales y pueden desarrollarse en forma local.

- 1.- Uso de los espacios ribereños por parte de la de la ciudadanía o comunidad local, que permitan incluir a la ribera de los ríos y sus servicios como un bien social y comunitario, que mejore la calidad de vida de la población.
- 2.- Desarrollo de planes de ocupación del espacio que pongan en valor las riberas para la población y toda la ciudadanía.
- 3.- Elaboración de planes de fiscalización del territorio para reducir la disposición ilegal de residuos por parte de la población y actividades informales e ilegales de disposición de residuos sólidos, que se generan en el espacio urbano.
- 4.- Planes de educación ambiental para la población escolar aledaña al curso principal del río y planes de especiales de Aguas Andinas para destacar el valor del agua, el río y su uso adecuado, en conjunto con las municipalidades de las comunas y las juntas de vecinos respectivas, por donde atraviesa el río Mapocho.

A continuación, se presentan las principales recomendaciones de gestión en función de los tramos definidos en el curso principal del río Mapocho:

En la subcuenca alta, en los tramos 1 y 2 las acciones más relevantes a realizar para el funcionamiento ecosistémico es el control de disposición de desecho sólidos, descarga de Riles y un uso urbano regulado de forma explícita. Además, en el tramo 1, la definición explícita de los límites de las propiedades en el borde es fundamental y esto probablemente en concordancia con la comunidad local. En el tramo 2, la reducción de la extracción de áridos y la estabilización del sustrato de acuerdo con el régimen del caudal que ocurre en la actualidad, es fundamental para que ocurra la estructuración de vegetación ripariana y macrófitas que se encuentran prácticamente ausentes en este tramo.

En el tramo 3, desde el punto de vista ecológico, es conveniente facilitar la sucesión ripariana a lo largo del borde central de la ciclovía, así como también la colonización con el borde externo que limita con el muro sur del río, en su tramo abovedado. También evitar la descarga de residuos sólidos orgánicos y desechos sólidos, especialmente de los transeúntes y actividades comerciales aledañas, especialmente en la ribera sur.



En el tramo 4, es fundamental el control de desechos sólidos de tipo doméstico y de construcción, que se descargan especialmente en la ribera sur en el borde de propiedades que limitan con el borde del río Mapocho. En este tramo, el desarrollo urbano debe ser regulado adecuadamente, para mantener la vegetación ripariana y en conjunto de los ecosistemas ribereños. Por otra parte, es fundamental que los municipios ribereños desarrollen ordenanzas de uso del borde para la extracción de áridos con planes de manejo ambiental explícitos y exigibles legalmente, una vez extraído los volúmenes autorizados, de acuerdo con la normativa vigente.

Finalmente, el tramo 5 debe desarrollar también un manejo de la extracción de áridos adecuada, con planes de restauración una vez finalizadas las actividades extractivas. También debe evitarse la descarga de Riles provenientes de industrias agrícolas o agroalimentarias o bien llevar un control de esas descargas, que eviten el aporte de materiales que afecten el funcionamiento ecosistémico. Las autorizaciones de los municipios con la DOH, que regulan la extracción de áridos de los ríos, debieran incorporar planes de restauración ecológica de las áreas sometidas a uso o extracción, de acuerdo sus características locales.

Todas estas recomendaciones tienen por objeto favorecer el desarrollo de los ecosistemas en los diferentes tramos, de acuerdo con sus propias condiciones locales.

10 BIBLIOGRAFÍA

Acuña F., Ferrando (2000-08). Río Mapocho: Características hidrológicas vs proyecto Mapocho Navegable. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117852>

Benda L, Poff NL, Miller D, et al (2004) The network dynamics hypothesis: how channel networks structure riverine habitats. *Bioscience* 54:413–427.

Biggs BJF, Nikora VI, Snelder TONH (2005) LINKING SCALES OF FLOW VARIABILITY TO LOTIC ECOSYSTEM STRUCTURE AND FUNCTION. 298:283–298.

Bissonette JA, Storch I (2007). *Temporal Dimensions of Landscape Ecology*, Springer. Springer.

Centro de Ecología Aplicada Ltda. (CEA) (2018). Diagnóstico y análisis del efecto de la planta de tratamiento de La Farfana y otras obras en la condición ecológica del río Mapocho.

Ceccon, E. (2003). Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencias*, 72, 46–53.

Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) (2018). Bases de datos de información de calidad fisicoquímica de aguas, fluvimetría y precipitaciones. Recuperado de: www.dga.cl

Dollar ESJ, James CS, Rogers KH, Thoms MC (2007) A framework for interdisciplinary understanding of rivers as ecosystems. *Geomorphology* 89:147–162.

Elosegi A, Díez J, Mutz M (2010) Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystems. *Hydrobiologia* 657:199–215. doi: 10.1007/s10750-009-0083-4

González, Sergio. (1991). Prospección de elementos trazas en recursos agrícolas de Chile. II Aguas Superficiales de los valles Maipo y Mapocho. *Agricultura Técnica (Chile)* 51(1): 22-29.

Guevara-Cardona, G.; C. Jara; M. Mercado; S. Elliott. (2006). Comparación del macrozoobentos presente en arroyos con diferente tipo de vegetación ribereña en la Reserva Costera Valdiviana, sur de Chile. Libro De Memorias Del VII Seminario Colombiano De Limnología y I Reunión Internacional Sobre Ríos y Humedales Neotropicales. Colombia. Asociación Colombiana de Limnología “Neolimnos”. pp. 93-98.

Hynes HBN (1975) The streams at its valley. *Verh Internat Verein Limnol* 19:1–15.

Katz, Carolina, Reid, Paul , & Andrade, Martín. (2009). Tres visiones sobre el río Mapocho. *ARQ (Santiago)*, (72), 56-59. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962009000200011>

Maddock I (1999) The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. *Freshw Biol* 41:373–391.

- McGregor G, Marshall J, Takahashi E (2011). Stream ecosystem health response to coal steam gas water release Guideline for managing flow regimes. Brisbane: Queensland Department of Natural Resources and Mines.
- Mitsch, W.J., J.K. Cronk, X. Wu, R.W. Nairn, and D.L. Hey. (1995). "Phosphorus Retention in Constructed Freshwater Riparian Marshes." *Ecological Applications* 5(3): 830-845.
- Naiman, R.J., Décamps, H., McClain, M.E. (2005). *Riparia: Ecology, Conservation and Management of Streamside Communities*. Elsevier/Academic Press, San Diego, 430 p.
- Pavez Reyes, M. (2008). El corredor fluvial del Mapocho como recurso multifacético: avances y retrocesos en las concepciones y acciones de un siglo. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117911>
- Pickett STA, Cadenasso ML (2002) The Ecosystem as a Multidimensional Concept: Meaning, Model and Metaphor. *Ecosystems* 5:1–10.
- Poff NL, Allan JD, Bain MB, et al (1997) The Natural Flow Regime: A paradigm for river conservation and restoration N. *Bioscience* 47:769–784.
- Tansley AG (1935) The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms. *Ecology* 16:284–307.
- Tennant, D.L., (1976). Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries* 1, 6–10.
- Thoms MC, Parsons M (2002) Eco-geomorphology: an interdisciplinary approach to river science. In: *The Structure, Function and Management Implications of Fluvial Sedimentary Systems* (Proceeding of an International Symposium held at Alice Springs, Australia. pp 113–120.
- Thoms, M., Sheldon, C., (2002). An ecosystems approach for determining environmental water allocations in Australian dryland river systems: the role of geomorphology. *Geomorphology* 47, 153–168.
- Universidad de Chile, Facultad de Ciencias (2003). Impacto de la planta de tratamiento La Farfana en la restauración del río Mapocho: Caracterización ecosistémica.
- Vaughan IP, Diamond M, Gurnell AM, et al (2009) Integrating ecology with hydromorphology: A priority for river science and management. *Aquat Conserv Mar Freshw Ecosyst* 19:113–125. doi: 10.1002/aqc.895
- Ward J V. (1989) The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. *JN Am Benthol Soc* 8:2–8.

11 ANEXO I: RESULTADOS CAMPAÑA OCTUBRE 2018

Tabla 11.1. Listado de vegetación ripariana en el río Mapocho encontradas durante el muestreo de 2018.

Nº	Puntos AGA	Frecuencia	División	Clase	Familia	Especie	Origen	Forma de Vida	Estado de Conservación
1	1	1	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Fabaceae	<i>Acacia dealbata</i>	Introducida	Árbol	-
2	1	1	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Elaeocarpaceae	<i>Aristotelia chilensis</i>	Nativa	Árbol	S/C
3	3,5,6,7	4	Magnoliphyta	Liliopsida	Poaceae	<i>Arundo donax</i>	Introducida	Herbácea	-
4	1,2,4,9	4	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Baccharis salicifolia</i>	Nativa	Arbusto	S/C
5	1,6,8,9	4	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Carduus pycnocephallus</i>	Introducida	Herbácea	-
6	2,5,7	3	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Chenopodiaceae	<i>Chenopodium ambrossoides</i>	Introducida	Herbácea	-
7	4,5	2	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Convolvulaceae	<i>Convolvulus arvensis</i>	Introducida	Herbácea	-
8	4,5	2	Magnoliphyta	Liliopsida	Poaceae	<i>Cortaderia araucana</i>	Nativa	Herbácea	S/C
9	1,3	2	Magnoliphyta	Liliopsida	Poaceae	<i>Cortaderia rudiusscula</i>	Nativa	Herbácea	S/C
10	8,9	2	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Cotula coronopifolia</i>	Introducida	Herbácea	-
11	1,2,6	3	Magnoliphyta	Liliopsida	Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i>	Introducida	Herbácea	-
12	7	1	Magnoliphyta	Liliopsida	Cyperaceae	<i>Cyperus eragrostis</i>	Introducida	Herbácea	-
13	2,8,9	3	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Papaveraceae	<i>Eischolzia californica</i>	Introducida	Herbácea	-
14	3	1	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Geraniaceae	<i>Erodium cicutarium</i>	Introducida	Herbácea	-
15	1	1	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i>	Introducida	Árbol	-
16	4,5,9	3	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Fabaceae	<i>Galega officinalis</i>	Introducida	Herbácea	-
17	6	1	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Rubiaceae	<i>Galium aparine</i>	Introducida	Herbácea	-
18	7	1	Magnoliphyta	Liliopsida	Poaceae	<i>Holcus lanatus</i>	Introducida	Herbácea	-
19	6,7	2	Magnoliphyta	Liliopsida	Poaceae	<i>Hordeum murinum</i>	Introducida	Herbácea	-
20	9	1	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Apiaceae	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Nativa	Herbácea	S/C
21	1	1	Magnoliphyta	Liliopsida	Juncaceae	<i>Juncus effusus</i>	Introducida	Herbácea	-
22	5,8	2	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Lactuca virosa</i>	Introducida	Herbácea	-
23	7,9	2	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Brassicaceae	<i>Nasturtium officinale</i>	Introducida	Herbácea	-
24	4,5	2	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Solanaceae	<i>Nicotiana glauca</i>	Introducida	Arbusto	-
25	2	1	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Polygonaceae	<i>Polygonum persicaria</i>	Introducida	Herbácea	-
26	1	1	Magnoliphyta	Liliopsida	Poaceae	<i>Polypogon australis</i>	Nativa	Herbácea	S/C
27	7,8,9	3	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Brassicaceae	<i>Raphanus raphanistrum</i>	Introducida	Herbácea	-

Nº	Puntos AGA	Frecuencia	División	Clase	Familia	Especie	Origen	Forma de Vida	Estado de Conservación
28	1	1	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Rosaceae	<i>Rubus constrictus</i>	Introducida	Herbácea	-
29	2	1	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i>	Introducida	Herbácea	-
30	3,4,5,6,8	5	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i>	Nativa	Árbol	S/C
31	2,6,8,9	4	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Brassicaceae	<i>Sisymbrium officinale</i>	Introducida	Herbácea	-
32	2,4	2	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Sonchus asper</i>	Introducida	Herbácea	-
33	1	1	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Tanacetum parthenium</i>	Introducida	Herbácea	-
34	3	1	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i>	Introducida	Herbácea	-
35	3,5,9	3	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Tessaria absinthioides</i>	Nativa	Arbusto	S/C
36	7,8,9	3	Magnoliphyta	Magnoliopsida	Plantaginaceae	<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	Introducida	Herbácea	-

Tabla 11.2. Composición de fitobentos en el río Mapocho durante el muestreo de 2018

Taxa / Punto de muestreo	AGA-1		AGA-2		AGA-3		AGA-4		AGA-5		AGA-6		AGA-7		AGA-8		AGA-9	
<i>Achnanthyidium gracillimum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,43	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Achnanthyidium helveticum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	15,55	1,49	0,00	0,00	2,33	2,76	447,85	2,20	0,00	0,00	6,22	3,65	266,72	10,07
<i>Achnanthyidium minutissimum</i>	12,44	13,01	16,31	8,12	185,07	17,79	431,57	16,01	10,47	12,37	1221,42	6,01	0,00	0,00	21,00	12,33	23,33	0,88
<i>Achnanthyidium rivulare</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,67	0,18
<i>Achnanthyidium sp.</i>	2,33	2,44	8,14	4,05	15,55	1,49	0,00	0,00	0,00	0,00	447,85	2,20	2,33	1,84	6,22	3,65	38,88	1,47
<i>Adlafia minuscula</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	1,84	0,00	0,00	23,33	0,88
<i>Amphora copulata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,55	0,59
<i>Berkella linearis (ex Frustulia vulgaris)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,57	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Caloneis bacillum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	23,33	2,24	73,29	2,72	0,00	0,00	895,71	4,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Caloneis sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	14,00	1,35	0,00	0,00	2,33	2,76	162,86	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,09
<i>Cocconeis euglypta</i>	2,33	2,44	0,00	0,00	4,67	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	81,43	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Craticula cuspidata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,78	0,29
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,43	0,40	0,00	0,00	6,22	3,65	22,55	0,85
<i>Cyclotella ocellata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	0,67	0,00	0,00	2,71	3,21	244,28	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	7,78	0,29
<i>Cyclotella sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cymbella affinis</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,22	73,29	2,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cymbella aspera</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cymbella compacta</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,78	0,29
<i>Cymbella helvetica</i>	0,00	0,00	2,18	1,08	21,77	2,09	0,00	0,00	0,00	0,00	162,86	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Denticula sp.</i>	2,33	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Denticula subtilis</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,71	3,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Diademsia confervacea</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	162,86	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Diatoma moniliformis</i>	4,67	4,88	10,89	5,42	101,87	9,79	89,57	3,32	12,42	14,68	1587,84	7,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Diatoma vulgaris</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Taxa / Punto de muestreo	AGA-1		AGA-2		AGA-3		AGA-4		AGA-5		AGA-6		AGA-7		AGA-8		AGA-9	
<i>Distrionella sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Encyonema caespitosum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	7,78	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Encyonema leibleinii</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Encyonema minutum</i>	4,67	4,88	8,71	4,34	18,66	1,79	89,57	3,32	0,00	0,00	244,28	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,09
<i>Encyonema silesiacum</i>	6,22	6,50	2,18	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Encyonema sp.</i>	3,89	4,07	0,00	0,00	0,00	0,00	89,57	3,32	2,33	2,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Encyonema ventricosum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,71	3,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Eunotia sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	4,67	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Fragilaria capucina</i>	0,00	0,00	4,35	2,17	18,66	1,79	0,00	0,00	0,00	0,00	977,14	4,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Fragilaria sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,22	73,29	2,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Gomphoneis minuta</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Gomphonema angustatum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,43	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Gomphonema angustum</i>	4,67	4,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Gomphonema augur</i>	4,67	4,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,00	8,22	888,82	33,55
<i>Gomphonema olivaceum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	40,44	3,89	89,57	3,32	2,33	2,76	447,85	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Gomphonema pseudoaugur</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,67	2,74	2,33	0,09
<i>Gomphonema spp.</i>	0,00	0,00	8,71	4,34	11,66	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,54	3,23
<i>Halamphora veneta</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	27,22	2,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Hannaea arcus</i>	0,00	0,00	2,18	1,08	9,33	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	529,28	2,61	0,00	0,00	0,00	0,00	7,78	0,29
<i>Hantzschia amphioxys</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,33	0,88
<i>Luticola goeppertiana</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	447,85	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	41,21	1,56
<i>Luticola sp.</i>	2,33	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Mayamaea atomus</i>	4,67	4,88	0,00	0,00	4,67	0,45	0,00	0,00	2,71	3,21	895,71	4,41	3,89	3,07	0,00	0,00	4,67	0,18
<i>Melosira varians</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,76	2,94
<i>Navicula cryptotenella</i>	0,00	0,00	2,71	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,89	2,28	23,33	0,88

Taxa / Punto de muestreo	AGA-1		AGA-2		AGA-3		AGA-4		AGA-5		AGA-6		AGA-7		AGA-8		AGA-9	
<i>Navicula gregaria</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	7,78	0,75	0,00	0,00	2,33	2,76	1058,56	5,21	2,33	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Navicula sp.</i>	0,00	0,00	7,60	3,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,89	2,28	0,00	0,00
<i>Navicula veneta</i>	7,78	8,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	977,14	4,81	22,55	17,79	30,33	17,81	188,18	7,10
<i>Navicula viridula</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	11,66	1,12	179,14	6,65	2,33	2,76	447,85	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nitzschia dissipata</i>	0,00	0,00	2,18	1,08	115,09	11,06	162,86	6,04	12,04	14,23	2483,55	12,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nitzschia latens</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	895,71	4,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nitzschia spp.</i>	17,11	17,89	2,18	1,08	259,73	24,96	89,57	3,32	14,76	17,44	2890,69	14,23	24,11	19,02	58,32	34,25	161,74	6,11
<i>Pinnularia spp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,64	4,40
<i>Planothidium delicatulum</i>	2,33	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	0,26
<i>Planothidium lanceolatum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,43	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,09
<i>Planothidium spp.</i>	0,00	0,00	2,71	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	2,71	3,21	81,43	0,40	2,33	1,84	15,55	9,13	183,52	6,93
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	10,89	11,38	19,60	9,76	9,33	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	447,85	2,20	43,55	34,36	0,00	0,00	279,94	10,57
<i>Pseudostaurosira sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1074,85	39,88	0,00	0,00	0,00	0,00	3,89	3,07	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pseudostaurosira trainorii</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,55	12,27	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Reimeria sinuata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	4,67	0,45	0,00	0,00	2,33	2,76	81,43	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	0,00	0,00	10,89	5,42	4,67	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Staurosira sp.</i>	0,00	0,00	2,18	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,89	3,07	0,00	0,00	132,20	4,99
<i>Staurosira venter</i>	0,00	0,00	23,95	11,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Staurosirella pinnata</i>	0,00	0,00	60,97	30,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Staurosirella sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,71	3,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Surirella angusta</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,43	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Surirella roba</i>	2,33	2,44	0,00	0,00	67,65	6,50	89,57	3,32	2,33	2,76	1506,42	7,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Ulnaria ulna</i>	0,00	0,00	2,18	1,08	2,33	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	81,43	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Riqueza	17		20		36		14		18		32		11		11		29	
Abundancia	95,65		200,78		1040,46		2695,26		84,63		20316,27		126,75		170,30		2649,35	

Tabla 11.3. Composición de zoobentos en el río Mapocho durante el muestreo de 2018

Taxa / Punto de muestreo	AGA-1	AGA-2	AGA-3	AGA-4	AGA-5	AGA-6	AGA-7	AGA-8	AGA-9
Arachnida									
Acari indet.	0,0	0,0	5,6	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Collembola									
Poduridae indet.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	2,4	33,3
Coleoptera									
Elmidae indet.	5,6	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Diptera	Chironomidae indet.	5,6	5,0	11,1	50,0	227,8	71,9	126,3	33,3
	Dolichopodidae indet.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	126,3	33,3	0,0
Ephemeroptera									
Andesiops sp.	77,8	70,0	5,6	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Trichoptera									
Smicridea sp.	5,6	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Amphipoda									
Hyalella sp.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,7
Gastropoda									
Physa sp.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,7
Annelida	Hirudinea indet.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6
	Lumbriculidae indet.	5,6	5,0	0,0	0,0	0,0	126,3	33,3	0,0
	Nais sp.	11,1	10,0	0,0	0,0	88,9	28,1	0,0	0,0
Riqueza	6	3	2	3	2	2	3	4	5
Abundancia	111,1	22,2	316,7	378,8	105,6	29292,9	227,8	2944,4	766,7

Tabla 11.4. Composición de peces en el río Mapocho durante el muestreo de 2018

Especie / Punto de muestreo	AGA-1	AGA-2	AGA-3	AGA-4	AGA-5	AGA-6	AGA-7	AGA-8	AGA-9
Especies Nativas									
<i>Trichomycterus areolatus</i>								1	4
Especies Introducidas									
<i>cyprinus carpio</i>							1		
<i>Jenynsia multidentata</i>								11	4
Riqueza	0	0	0	0	0	0	1	2	2
Abundancia	0	0	0	0	0	0	1	12	8

Tabla 11.5 Composición de aves acuáticas y riparianas en el río Mapocho durante el muestreo de 2018

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	Punto de muestreo																	
		AGA-1		AGA-2		AGA-3		AGA-4		AGA-5		AGA-6		AGA-7		AGA-8		AGA-9	
<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Águila	1,00	4,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Anairetes parulus</i>	Cachudito común	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	6,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo	2,00	9,52	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	3,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Callipepla californica</i>	Codorniz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	5,26	4,00	13,79	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>lessonia rufa</i>	Colegial	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	2,38	0,00	0,00
<i>Troglodytes aedon</i>	Chercán	2,00	9,52	2,00	8,70	1,00	3,45	5,00	18,52	3,00	12,50	3,00	15,79	3,00	10,34	1,00	2,38	4,00	5,41
<i>Zonotrichia capensis</i>	Chincol	3,00	14,29	3,00	13,04	2,00	6,90	1,00	3,70	5,00	20,83	3,00	15,79	2,00	6,90	2,00	4,76	0,00	0,00
<i>Sicalis luteola</i>	Chirihue comun	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	6,90	4,00	14,81	1,00	4,17	6,00	31,58	5,00	17,24	9,00	21,43	7,00	9,46
<i>Elaenia albiceps</i>	Fío-fío	2,00	9,52	0,00	0,00	1,00	3,45	1,00	3,70	4,00	16,67	1,00	5,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Egretta thula</i>	Garza chica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	7,14	3,00	4,05
<i>Ardea cocoi</i>	Garza cuca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,35
<i>Ardea alba</i>	Garza grande	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,70
<i>Larus dominicanus</i>	Gaviota dominicana	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	6,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Tachycineta meyeri</i>	Golondrina chilena	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	3,45	4,00	14,81	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	13,79	14,00	33,33	2,00	2,70
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de dorso negro	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	17,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	4,76	20,00	27,03
<i>Passer domesticus</i>	Gorrión	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	8,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Huairavo común	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,35
<i>Coragyps atratus</i>	Jote de cabeza negra	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,70
<i>Sturnella loyca</i>	Loica común	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	8,33	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	2,38	0,00	0,00
<i>Columba livia</i>	Paloma doméstica	0,00	0,00	6,00	26,09	1,00	3,45	1,00	3,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	4,76	2,00	2,70
<i>Anas cyanoptera</i>	Pato colorado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,35

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	Punto de muestreo																	
		AGA-1		AGA-2		AGA-3		AGA-4		AGA-5		AGA-6		AGA-7		AGA-8		AGA-9	
<i>Anas georgica</i>	Pato jergón grande	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	8,11
<i>Sephanoides sephanioides</i>	Picaflor chico	1,00	4,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Tringa flavipes</i>	Pitotoy chico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,35
<i>Vanellus chilensis</i>	Queltehue	0,00	0,00	2,00	8,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	5,26	2,00	6,90	1,00	2,38	9,00	12,16
<i>Leptasthenura aegithaloides</i>	Tijeral común	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	3,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Milvago chimango</i>	Tiuque	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	7,41	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	6,90	3,00	7,14	2,00	2,70
<i>Curaeus curaeus</i>	Tordo	6,00	28,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	12,50	0,00	0,00	2,00	6,90	1,00	2,38	3,00	4,05
<i>Zenaida auriculata</i>	Tórtola	4,00	19,05	4,00	17,39	9,00	31,03	7,00	25,93	2,00	8,33	0,00	0,00	3,00	10,34	1,00	2,38	3,00	4,05
<i>Columbina picui</i>	Tortolina cuyana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	5,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Agelaius thilius</i>	Trile	0,00	0,00	3,00	13,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	10,53	2,00	6,90	1,00	2,38	5,00	6,76
<i>Turdus falklandii</i>	Zorzal patagónico	0,00	0,00	3,00	13,04	2,00	6,90	1,00	3,70	2,00	8,33	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Riqueza		8		7		12		10		9		9		10		14		18	
Abundancia		21		23		29		27		24		19		29		42		74	

Tabla 11.6 Composición de mamíferos en el río Mapocho durante el muestreo de 2018.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	Punto de muestreo																	
		AGA-1		AGA-2		AGA-3		AGA-4		AGA-5		AGA-6		AGA-7		AGA-8		AGA-9	
<i>Canis lupus</i>	Perro	3	100	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Equus ferus</i>	Caballo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100
Riqueza		1		1		0		0		0		0		0		0		1	
Abundancia		3		1		0		0		0		0		0		0		2	

Tabla 11.7 Composición de reptiles en el río Mapocho durante el muestreo de 2018.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	Punto de muestreo																	
		AGA-1		AGA-2		AGA-3		AGA-4		AGA-5		AGA-6		AGA-7		AGA-8		AGA-9	
Colubridae (Familia)	Culebra	0	0	0	0	1	50	0	0	0	0	0	0	1	100	0	0	0	0
<i>Liolaemus tenuis</i>	Lagartija esbelta	0	0	0	0	1	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riqueza		0		0		2		0		0		0		1		0		0	
Abundancia		0		0		2		0		0		0		1		0		0	