

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PREÁMBULO	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3. MOTIVACIÓN	5
1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	6
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.5.1. HIPÓTESIS DE TRABAJO	7
1.5.2. FUENTES DE INFORMACIÓN	7
1.6. METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO.....	9
1.7. ANTECEDENTES.....	10
1.7.1. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	10
1.7.2. GEOLOGÍA.....	11
1.7.3. CLIMA	11
1.7.4. HIPSOMETRÍA	12
1.7.5. MODELO CONCEPTUAL.....	13
1.8. ESTADO DEL ARTE.....	17
1.8.1. CONTEXTO CLIMÁTICO.....	18
1.8.2. CONSTRUCCIÓN DE LINEA BASE HIDROQUÍMICA.....	18
1.8.3. VARIACIONES EN DISTINTAS ESCALAS TEMPORALES	20
1.8.4. MODELO DE LIGANDO BIOTICO.....	21
1.8.5. GESTIÓN AMBIENTAL DEL RECURSO HIDRICO EN CHILE	22
1.9. BIBLIOGRAFIA	29
2. RESULTADOS	32
2.1. ANALISIS CUANTITAVO DE LA CUENCA	32
2.1.1. RECONSTRUCCIÓN DE CAUDALES.....	32
2.1.2. ANALISIS DE CAMBIOS ESTACIONALES	36
2.1.3. GENERACIÓN DE DRENAJE ACIDO.....	36
2.1.4. ESTADÍSTICA MULTIVARIANTE.....	38

2.1.5. PROPUESTA DE INFRAESTRUCTURA DE MONITOREO.....	39
2.2. REDACCIÓN DE ARTÍCULO.....	42
2.2.1. INTRODUCTION	43
2.2.2. FIELD BACKGROUND INFORMATION	45
2.2.3. MATERIALS AND METHODS.....	47
2.2.4. RESULTS	49
2.2.5. DISCUSSIONS.....	55
2.2.6. CONCLUSIONS	60
Acknowledgements	60
References	60
Supplementary Material	66
Figures; Hydro-environmental characterization trends in upper Mapocho basin	66
Tables; Sampling points description and baseline of chemical compounds in upper Mapocho basin	68
3. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	76
3.1 CONCLUSIONES GENERALES	77
3.2 RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	78
4. ANEXOS	79
4.1 MAPA GEOLOGICO SECTOR LOS SULFATOS.....	79
4.2 CAUDALES HISTÓRICOS YERBA LOCA	80

Índice de Figuras

Figura 1. Área de estudio y puntos de muestreo.	10
Figura 2. Hipsometría de la cuenca del Mapocho Alto y sus subcuenca. La línea de nieves varía típicamente entre 1500 a 2500 msnm con una media de 2200 m (Garreaud R. , 2013). La línea de glaciares corresponde a la media anual de la isoterma 0°C, esta línea varía estacionalmente entre los 3000 m (invierno) y 4250 m (verano) (Carrasco, Casassa, & Quintana, 2005).....	13
Figura 3. Modelo conceptual preliminar de procesos hidrológicos, hidrodinámicos e hidroquímicos.....	16
Figura 4. Diagrama que muestra procesos a escala diaria que involucran Fe disuelto y particulado en una corriente con un gradiente de pH. Las áreas sombreadas indican las horas nocturnas. Las líneas discontinuas denotan el agua subterránea influyente con alcalinidad y pH básico.....	21

Figura 5. Series de tiempo históricas de caudal del Mapocho en Los Almendros.....	32
Figura 6. Caudales mensuales vs caudal a la hora de la muestra.	34
Figura 7. Reconstrucción de caudales.....	35
Figura 8. Muestras a lo largo del Yerba Loca que ilustran la propiedad conservativa del sulfato.	37
Figura 9. Análisis de Componentes Principales para la química de las aguas en la cuenca alta del Mapocho en el periodo de la mega sequía (2010-2017).....	39
Figura 10. PCA para ejemplo.....	40
Figura 11. Mapa geológico del distrito minero Río Blanco – Los Bronces (tomado de Toro et. al (2012))	79
Figura 12. Perfil geológico del yacimiento ‘Los Sulfatos’ (tomado de Toro et. al (2012)).	80
Figura 13. Caudales mensuales en estación Yerba Loca.....	80
Figura 14. Regresión de caudales mensuales	81

Índice de Figuras artículo

Figure 1. The upper Mapocho river basin location map, indicating sub-basins, main rivers, main glaciers, DGA’s stations, sampling points and the meteorological DGA’s station at Piedra Carvajal. 45

Figure 2. Historical variations on Cu total concentrations in the upper Mapocho basin at DGA’s stations. On each box declustered data distribution were plotted with their respective number of records. Red central mark indicates the median; bottom and top edges of the box indicate the 25th and 75th percentiles; whiskers extend to 5th and 95th percentile, and data out of this last range (outliers) are plotted individually using the red circles. 50

Figure 3. Time series of monthly mean temperature, rainfall and streamflow values at DGA’s from Jan-2010 to Mar-2018. Dry seasons are showed using transparent oranges boxes. a) Monthly mean values of temperatures and accumulated rainfalls at Mapocho’s station (966 m.a.s.l) and Piedra Carvajal station (3,250 m.a.s.l.) b) Monthly mean values of flow discharges. The tags with pH values correspond to available samples on maximum discharges of Yerba Loca (in red) (Dec-Jan) and its repercussion over Mapocho (in blue). 51

Figure 4. Durov diagram of historical DGA’s samples (2010-2017), 504 samples with complete records of major ions and physicochemical parameters. 52

Figure 5. Modified Ficklin diagram showing the sum of Zn, Cu, Cd, Pb, Co, and Ni total concentrations (n=655 from 2010 to 2017). Circles relative sizes are proportional to samples electrical conductivity..... 53

Figure 6. Water quality standard values for aquatic life and environmental guidelines in 15 countries and 5 provinces/states around the world. Notice that individually plotted data for different countries may coincide and therefore are represented in the exact same position on the graphic (i.e., 4 different countries limit As concentration, according to their aquatic life guidelines, to 0.15 mg/l).....54

Figure 7. Comparison between Mapocho, Yerba Loca and Molina elemental concentrations and water chemistry parameters at DGA's stations (2001-2017) and current Chilean guidelines values (red lines) and international Environmental water limits (green areas). Declustered data distribution are plotted. Central circle indicates the median; bottom and top edges of the box indicate the 25th and 75th percentiles and whiskers extend to 5th and 95th percentile. Data out of this last range (outliers) are plotted individually using '+' marks.....55

Figure A.1. Time series of monthly accumulated rainfall and mean discharge flow at Mapocho Los Almendros and Yerba Loca in DGA's stations. It shows the decreasing of rainfall and discharge in the megadrought period (2010-2017).....66

Figure A.2. Time series of pH and total copper concentrations at San Francisco, Yerba Loca and Mapocho in DGA's stations.67

Figure A.3. Geographic area above altitude level. Snowline (freezing level) varies, during storms, typically from 1500 to 2500 m with a mean value of 2200 m (Garreaud R. , Warm Winter Storms in Central Chile, 2013). Glacier line corresponds to annual mean of the 0°C isotherm altitude in central Chile, which seasonal variation is roughly between 3000 (winter) and 4250 (summer) m.a.s.l. (Carrasco, Casassa and Quintana 2005).....68

Índice de Tablas

Tabla 1. Zonas de vigilancia, dentro del Área de estudio	24
Tabla 2. Resumen de regresiones	34
Tabla 3. Caudales promedio [m ³ /s] por estación.....	36
Tabla 4. Transporte de sulfato promedio por estación [g/s].....	38

Table 1. Hydrochemical comparison between 2001-2009 and 2010-2017 periods at DGA's stations. M.I. = Median Index and R.I.= Range Index calculated using data from periods 2001-2009 and 2010-2017 as explained in the main text.57

Table 2. Proposed Environmental Water Quality Guideline Values for the upper Mapocho basin. Alert and Alarm values are calculated by 75th and 95th percentiles, with pH and DO exception where apply lower thresholds 25th and 5th for Alert and Alarm respectively.59