



UNIVERSIDAD DE CHILE

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

**DEPARTAMENTO DE GESTIÓN FORESTAL Y SU MEDIO
AMBIENTE**

**USO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PARA LA
CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA QUEBRADA DE LA
PLATA, REGIÓN METROPOLITANA**

Memoria para optar al Título

Profesional de Ingeniero Forestal

OSCAR DIEGO FERNÁNDEZ PALACIOS

Profesor Guía: Matilde López M. Prof. Biología y Ciencias, MSc in Ecology

Dra. Procesos Sociales y Políticas Latinoamericanas

Santiago, Chile

2010

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE GESTIÓN FORESTAL Y SU MEDIO
AMBIENTE

USO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PARA LA
CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA QUEBRADA DE LA
PLATA, REGIÓN METROPOLITANA

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

OSCAR DIEGO FERNÁNDEZ PALACIOS

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sra. Matilde López Muñoz	7,0
Prof. Consejera Srta. Amanda Huerta Fuentes	7,0
Prof. Consejero Sr. Gabriel Mancilla Escobar	7,0

DEDICATORIA

A Ruth y Eulogio. Por ese amor que cruzará todas las fronteras.

Gracias por su paciencia

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Ruth y Eulogio, por todas las oportunidades que me han brindado y todos los sacrificios que gustosos han hecho por mí.

Al profesor Ángel Vargas L. y la Dra. Matilde López M. por su ayuda en el desarrollo de este trabajo y su constante esfuerzo por formar a sus alumnos como personas y profesionales integrales.

A mis profesores consejeros, la Dra. Amanda Huerta F. y Dr. Gabriel Mancilla T. por sus valiosos aportes, su buena disposición y por brindarme su apoyo e interés en este tema.

A los profesores del Departamento de Gestión Forestal y su Medio Ambiente por demostrarnos que egresar de esta Facultad nos debe llenar de orgullo.

A mis estimados profesores del área matemática, cimientos de la formación ingenieril, profesores Sergio Mora O., Dante Haro B., y Juan Barrios M.

A Denis Alfaro, Pía Vásquez, Jorge González y Diego Valencia.

A la Sección de Entomología del Museo Nacional de Historia Natural por abrirme sus puertas e infraestructura. A don Mario Elgueta D. y al Dr. Ariel Camousseight M.

Especialmente agradezco su cordial camaradería y amistad a la Dra. Fresia Rojas A., quién fue pieza clave en el desarrollo de esta memoria, guiándome personalmente y entregándome ese críptico e invaluable conocimiento que no se encuentra en los libros.

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	5
2.1. Materiales	5
2.1.1. Área de estudio.....	5
2.2. Método	9
2.2.1 Caracterización física del área de estudio	9
2.2.2 Análisis de variables físico – químicas del agua.....	9
2.2.3 Vegetación de las laderas según su exposición.....	10
2.2.5 Evaluación de la calidad ambiental de la cuenca a través de índices bióticos y de diversidad.	11
3. RESULTADOS.....	15
3.1 Caracterización física del área de estudio	15
3.1.1 Condiciones topográficas y de luminosidad en la Quebrada de la Plata.....	15
3.1.2 Vegetación de la cuenca.....	17
3.1.2.1 Vegetación de la exposición Sur	17
3.1.2.2 Vegetación de la exposición Norte	18
3.2 Variables físico - químicas del agua	18
3.2.1 Temperatura superficial del agua	18
3.2.2 Color y turbiedad.....	19
3.2.3 Conductividad eléctrica.....	21
3.2.4 pH.....	21
3.2.5 Oxígeno disuelto	22
3.2.6 Nutrientes N-P.....	23
3.3 Análisis de composición taxonómica y atributos comunitarios de fitobentos y macrozoobentos.....	25
3.3.1 Fitobentos.....	26
3.3.2 Macrozoobentos	26
3.4 Evaluación del estado ecológico de la Quebrada de la Plata usando índices bióticos	28
3.4.1 Índice Biótico de Familia (IBF)	28
3.4.2 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)	30
3.4.3 Asignación Promedio Por Taxon (ASPT).....	32
3.4.4 Dominancia de macroinvertebrados bentónicos	33
3.5 Mapas de estado ecológico y calidad ambiental	35
3.5.1 Mapa de estado ecológico mediante la aplicación del IBF	36
3.5.2 Mapa de estado ecológico mediante aplicación Índice BMWP	36
3.5.3 Mapa de calidad de las aguas utilizando medias de variables físico-químicas...	37

4.	DISCUSIÓN	39
5.	CONCLUSIONES	43
6.	BIBLIOGRAFÍA	44
7.	ANEXOS Y FOTOGRAFÍAS	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Condiciones de luz, símbolo y ubicación de los sitios de muestreo.	5
Cuadro 2: Clasificación general del macrozoobentos según su tolerancia a la contaminación orgánica.	9
Cuadro 3: Variables físico – químicas, instrumentos de medición y rangos máximos permisibles.	10
Cuadro 4: Ubicación de los centros de las parcelas de muestreo de vegetación en laderas.	10
Cuadro 5: IBF, clases de calidad ambiental.	12
Cuadro 6: Índice BMWP, clases de calidad ambiental.	13
Cuadro 7: ASPT, clases de condición de sitio.	13
Cuadro 8: Pendientes medias según ladera.	15
Cuadro 9: Vegetación registrada en la ladera de exposición Sur.	17
Cuadro 10: Vegetación registrada en la ladera de exposición Norte.	18
Cuadro 11: Parámetros de las variables físico - químicas.	18
Cuadro 12: Taxa encontradas en muestreos puntuales en la Quebrada de la Plata desde 1995 a 2009.	27
Cuadro 13: Valores de IBF y estado ecológico de los cuatro sitios usando muestreo Surber.	28
Cuadro 14: Valores de IBF y estado ecológico de los cuatro sitios usando muestreo manual.	29
Cuadro 15: Valores de BMWP y estado ecológico utilizando muestreos de red Surber.	30
Cuadro 16: Valores de Índice BMWP y estado ecológico con muestreo manual por sitio evaluado.	31
Cuadro 17: Índice ASPT usando datos de muestreo Surber.	32
Cuadro 18: Índice ASPT usando datos de muestreo manual.	33
Cuadro 19: Variables físico - químicas de la Quebrada de la Plata.	49
Cuadro 20: Variables físico - químicas de la Quebrada de la Plata (Continuación).	50
Cuadro 21: Macrozoobentos registrados en la Quebrada de la Plata.	51
Cuadro 22: Macrozoobentos registrado en la Quebrada de la Plata (Continuación).	52
Cuadro 23: Niveles de tolerancia a la contaminación.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sitios de muestreo y cuerpos de agua en la cuenca Quebrada de la Plata, Región Metropolitana, zona mediterránea semiárida Chile central.....	6
Figura 2: Comparación de fluvimetría en tiempo húmedo (A) y tiempo seco (B), sitio de muestreo SC1.	6
Figura 3: Modelo de escorrentía Lago Peñuelas.	7
Figura 4: Caudales medios diario de Río Mapocho en Rinconada de Maipú, periodo 2008 – 2009.....	7
Figura 5: Formaciones vegetacionales presentes en la Quebrada de la Plata.	8
Figura 6: Comportamiento de las pendientes en la Quebrada de la Plata.	15
Figura 7: Incidencia de la luz en las laderas exposición Sur y Norte y los sitios de muestreo con cenit del ángulo solar de 45°.	16
Figura 8: Radiación Solar media registrada en la Quebrada de la Plata.	17
Figura 9: Temperatura (media ± error estándar) del agua en los sitios de muestreo.	19
Figura 10: Color del agua (media ± error estándar) en los sitios de muestreo.....	20
Figura 11: Turbiedad del agua (media ± error estándar) en los sitios de muestreo.	20
Figura 12: Conductividad eléctrica (media ± error estándar) en los sitios de muestreo.	21
Figura 13: pH (media ± error estándar) en los sitios de muestreo.	22
Figura 14: Oxígeno disuelto (media ± error estándar) en las estaciones SC1, SC2, SO1 y SO2.....	23
Figura 15: Nutrientes (media ± error estándar) en el agua en las estaciones SC1, SC2, SO1 y SO2.....	24
Figura 16: Análisis de similitud entre sitios basado en el valor medio de las variables físico químicas.	25
Figura 17: Fitobentos presente en sitio claro 1 (SC1).....	26
Figura 18: Fitobentos presente en sitio oscuro 1 (SO1).....	26
Figura 19: Análisis de similitud entre sitios basado en las familias de macrozoobentos	28
Figura 20: Resultado de la aplicación del IBF (media ± error estándar) con muestreador Surber	29
Figura 21: Resultado de la aplicación del IBF (media ± error estándar) con muestreo manual.	30
Figura 22: Resultado de la aplicación del índice BMWP (media ± error estándar) con muestreador Surber.	31
Figura 23: Resultado de la aplicación del índice BMWP (media ± error estándar) con muestreo manual.	32
Figura 24: Familias de macrozoobentos presentes en el sitio SC1.	33
Figura 25: Familias de macrozoobentos presentes en el sitio SC2.	34
Figura 26: Familias de macrozoobentos presentes en el sitio SO1.....	34
Figura 27: Familias de macrozoobentos presentes en el sitio SO2.	35
Figura 28: Carta del estado ecológico de la Quebrada de la Plata, mediante el IBF.	36
Figura 29: Carta del estado ecológico de la Quebrada de la Plata, mediante el Índice BMWP.	37
Figura 30: Carta del estado ecológico de la Quebrada de la Plata, mediante aproximación físico química.	38
Figura 31: Cápsula larvaria familia Hydroptilidae (Trichoptera). Ampliado 50 veces	54
Figura 32: Larva familia Chironomidae (Diptera). Ampliado 75 veces	54

Figura 33: Ninfa suborden Anisoptera (Odonata) Ampliado 5 veces.....	54
Figura 34: Larva familia Coridalidae (Megaloptera) Magnificado 5 veces.....	55
Figura 35: Sitio de muestreo SO1	56
Figura 36: Sitio de muestreo SO2	56
Figura 37: Sitio de muestreo SC2	57
Figura 38: Distribución de las Comunidades Vegetales existentes en la Quebrada de la Plata.....	58

RESUMEN

Se estudia las comunidades de macrozoobentos y algunas características físico-químicas y fisiográficas (pH, nutrientes, pendientes, exposición solar) de cuatro sitios en la Quebrada de la Plata (Región Metropolitana, Chile), dos de ellos ubicados con exposición directa a la radiación solar y dos en condiciones de penumbra. Se analizan las comunidades bentónicas con el objetivo de caracterizar la condición ambiental de la cuenca.

Se revisa estudios sobre los procesos de transporte de elementos y nutrientes en pequeñas cuencas hidrográficas basados en vectores de entrada y salida como polvo en suspensión, procesos gravitacionales, escorrentía en laderas y cauces, con su consecuente exportación de material hacia los cursos de agua. Además, se examina trabajos que utilizan macrozoobentos como bioindicadores de calidad ambiental de los cuerpos de aguas superficiales continentales, encontrando que, generalmente, ambos temas están segregados.

Se analiza las condiciones morfológicas y los procesos ecológicos de la cuenca, usando aplicaciones básicas de sistemas de información geográfica (SIG), se compara los resultados obtenidos mediante la aproximación físico-química, con las variables que identifican la calidad del agua, contrastada con la normativa chilena. Finalmente, se estudia los parámetros comunitarios de macrozoobentos, evaluando la riqueza de familias y su relación con la calidad ambiental de la cuenca a través de varios índices bióticos.

La variedad de índices utilizados muestra que la cuenca está en buen *estado ecológico*, existe una baja diversidad de familias, sensibles a perturbaciones ambientales, coherentes con la calificación de bajo orden de los arroyos del sistema. Además, se comprueba que las comunidades de invertebrados presentan composiciones distintas en condiciones de exposición a la radiación solar en comparación a las de penumbra. Esto posiblemente producto de su tipo de alimentación (fitobentos y materia orgánica particulada, entre otros) acorde con la oferta ambiental.

Se confirma que las metodologías propuestas para las caracterizaciones ambientales de los cursos de agua, pueden ser generalizadas para entregar modelos de funcionamiento en el caso de pequeñas cuencas (área inferior a 9 km²) en territorios mediterráneos áridos y semiáridos.

Palabras clave

Bioindicadores, fito y macrozoobentos, Quebrada de la Plata, microcuenca, radiación solar

ABSTRACT

A study of benthic fauna and some physical-chemical characteristic and physiographic (pH, nitrogen, phosphorus, slope, solar exposure) were carried out in four places of Quebrada de la Plata, two located under exposure to solar radiation and two in shadow conditions. The community was analyzed looking at the health conditions of the basin.

Studies over the process of element transport in small basins based in vectors of input and output was revised, variables such us dust, gravitational process, slope flow and flow course, with the consequently export of material to stream were done. Articles about bioindicators of condition to health environmental in continental water, using benthic fauna have demonstrated that both themes usually are worked independently

An analysis of morphologic conditions and the process occurring in basins, using basic applications of geographic information system (GIS) was done. Comparative results through a physical-chemical approach of water quality variables, and the Chilean standard were analyzed. Finally, the communitarian parameters (family diversity) and its relationship with environmental quality in the basin (using several biotic indexes) were evaluated.

The variety of index used, shows that the basin is in good *ecological state*. A low family diversity, sensitive to environmental disturb, it match with the low order of stream system. Moreover the communities composition of invertebrates was distinct between light sampling stations and stations with shadow conditions, probably as product of feeding behavior conditions and environment offer.

We confirm that the methodology applied to the environment characterization of the stream, can be generalized for small basins (area minor to 9 km²) among the Mediterranean territory.

Key words

Bioindicators, phyto and macrozoobhentic organisms, microbasin, Quebrada de la Plata, solar radiation

1. INTRODUCCIÓN

El manejo sustentable de los recursos hídricos superficiales de un sistema natural, debe contemplar, aspectos de cantidad y calidad de agua de ríos y otros cauces y también biológicos de ecosistemas acuáticos que cohabitan dentro y a orillas de los cauces. Esto entrega una visión de la complejidad involucrada en el estudio y conocimiento de un ámbito en el cual además, están considerados los asentamientos humanos que pueblan el lugar y cuya vida puede llegar a tener una estrecha relación de dependencia con el agua que provee el sistema (López, 2005). Los impactos ambientales producidos en un polo urbano como Maipú y su interface con el medio ambiente cordillerano costero, afectan a la zona donde está enclavada la quebrada y esto puede verse reflejado en diferentes comunidades bióticas (Riquelme, 2008).

Los estudios a nivel de cuenca resultan de vital importancia en el país si se considera que el 80% del territorio, lo conforman terrenos montañosos y el restante, corresponde a valles y planicies litorales. Por esto, cobra especial relevancia contar con herramientas que puedan dar respuesta a los procesos que ocurren dentro de las cuencas y sus subsistemas, asumiendo que la problemática del manejo de cuencas hidrográficas a nivel nacional, se debe dirigir a minimizar los riesgos frente a eventos naturales, aumentar el potencial productivo de los recursos naturales y moderar los crecientes conflictos producidos por el uso de los recursos, debido a las alteraciones naturales y antrópicas que afectan la estabilidad de las cuencas (Francke, 2002).

Martínez (1999), establece que teóricamente, en un área inferior a 50 km², existe una probabilidad importante que una celda climática convectiva, afecte por completo a una cuenca hidrográfica. Esta superficie coincide con la definición de pequeña cuenca, en la que tradicionalmente se ha considerado la lluvia como homogénea en el espacio de la cuenca, sin ningún tipo de reducción puntual de la intensidad de efectos en un sitio.

Hedin y Campos (1991), han expresado “que el estudio de pequeñas cuencas, puede proveer una herramienta útil para responder preguntas acerca de los patrones de comportamiento y los procesos que ocurren a la escala y la complejidad de ellas, conjuntamente con determinar los procesos que ocurren en los subsistemas de cuerpos de agua o humedales presentes en ellos”. De esta manera, el estudio de pequeños arroyos es de especial importancia, debido a que su composición química, generalmente, refleja los procesos biológicos, geológicos y químicos que ocurren dentro de la cuenca, generando la posibilidad de realizar enlaces entre la atmósfera, los ecosistemas de bosque y acuático. Estos autores, tras realizar estudios comparativos cuantitativos de procesos de arrastre y deposición de material dentro de cuencas modelo, determinaron que los arroyos son el vector de salida más importante de elementos químicos dentro de la cuenca.

En la normativa chilena, las exigencias para la caracterización de los recursos hídricos ante eventos derivados de procesos ocurridos dentro de las cuencas hidrográficas, se refieren casi exclusivamente a la calidad química del agua para diferentes usos, segregando generalmente los medios acuáticos de los terrestres. La medición de las variables hidrológicas de la cuenca, son establecidas, en su mayoría, a través de variables físico – químicas. Sólo después de la dictación de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental

(NSCA), se han incorporado los bioensayos e bioindicadores como herramientas complementarias para determinar los impactos sobre las comunidades acuáticas, los usos prioritarios y el estado trófico de cuerpos de agua (INN, 1978; INN, 1994; CONAMA 2005). Mancilla *et al* (2009), señalan, que se puede evaluar las condiciones de hábitat para el sustento de la biota, mediante el uso de índices de calidad de hábitat y de estructura de ribera, separados o reunidos en índices de calidad fluvial (ICF).

En Chile, los diagnósticos y clasificación de calidad de las aguas realizados en distintas cuencas (MOP, DGA, 2004), se basaron en estudios del sistema físico – natural, levantamientos de líneas base de flora y fauna y usos de suelo, sentando un precedente de los recursos y actividades en dichas cuencas. Los análisis de la calidad del agua realizaron con variables obligatorias como la conductividad eléctrica (CE), la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), el oxígeno disuelto (OD), pH, sólidos suspendidos (SS) y coliformes fecales, añadiendo otras variables a las cuales se les determinaba su tendencia central y análisis por período estacional, para finalmente comparar sus resultados con la normativa vigente, en especial la Norma Chilena 1.333 of. 1978 (INN, 1978). Los datos para generar la información, son recogidos de la red de estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas (DGA), dependiente del Ministerio de Obras Públicas (MOP).

Quadflieg (2010), menciona que aunque la contaminación de los ecosistemas acuáticos es ante todo un problema biológico, muchos países entre ellos Chile, han dependido de las tradicionales variables físico - químicas para su evaluación. Sin embargo ya en 1998, Rosenberg, considerando que las mediciones basadas exclusivamente en variables físico químicas, eran apreciaciones discontinuas del ecosistema en el tiempo, propuso como alternativa las evaluaciones fundadas en parámetros biológicos por considerarlas más eficientes como representación de los eventos continuos que ocurren en el cuerpo de agua. Sin embargo, los resultados de estas mediciones biológicas necesitan una base de respaldo y validaciones para ser aceptadas y estandarizadas a nivel internacional, es así que el Parlamento Europeo, mediante la Directiva Marco COM-97, aceptó el término *estado ecológico* como una medida de la calidad del agua, proponiendo para el desarrollo de este concepto, la cuenca hidrográfica como unidad de estudio (Roldán y Ramírez, 1992; Quadflieg, 2010). También en las últimas décadas, se ha trabajado en el desarrollo de biocriterios, los que permiten estimar cuál es el efecto de las actividades antrópicas desarrolladas en las cuencas sobre el medio acuático.

El éxito en el uso de los invertebrados bentónicos¹ como bioindicadores, se debe a las características que presentan tanto en su comportamiento como en su morfología. Rosenberg y Resh (1993) señalan sus ventajas sobre otros organismos: (a) presencia en prácticamente todos los sistemas acuáticos continentales permitiendo realizar estudios comparativos; (b) naturaleza sedentaria que facilita el análisis espacial de los efectos de las perturbaciones en el ambiente; (c) los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras, pueden ser realizados con equipos simples y de bajo costo, y (d) la disponibilidad de métodos e índices para el análisis de datos, los que han sido validados en diferentes ríos del mundo. Además, Roldán y Ramírez (1992), consideran que un organismo es un buen

¹ Invertebrados presentes en el fondo de un cuerpo de agua que puede ser retenido por un tamiz de 250 μm^2 área y de baja capacidad migratoria.

indicador de calidad si su población es superior o ligeramente similar en porcentaje al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat. Trabajos en el país que reflejan estas ventajas han sido expuestos por Figueroa (1999).

Otros grupos de interés como bioindicadores lo constituyen las macrófitas, Suarez *et al*, (2005) establecieron un índice basado en ellas, los peces también han sido utilizados (Gutiérrez, 2005), pero los más frecuentemente a nivel mundial en bioindicación de ecosistemas acuáticos son los invertebrados bentónicos (Rosenberg, 1998 citando a Resh y Kobzina 1998). Dentro de éstos, los estados inmaduros de los insectos acuáticos y, particularmente, especies como Trichoptera son de interés taxonómico por su gran sensibilidad a los cambios ambientales (Fernández y Domínguez, 2001).

Las metodologías de evaluación de condiciones ambientales, datan desde la primera década del siglo XX con el sistema de Saprobiótico Continental desarrollado por Kolkwitz y Marsson (1908), quienes sentaron bases para la creación de nuevos índices bióticos² (INN, 1994). Dentro de los modelos desarrollados para los macroinvertebrados bentónicos, se encuentran el Índice biótico de Tuffery y Vernaux (1968, citado por Marambio, 2001), el Biological Monitoring Working Party (BMWP) (Hellawell, 1978; National Water Council, 1981) y el ChBMWP, modificación propuesta para Chile por Figueroa (2007), motivo del prefijo Ch. Dentro de esta línea, Chutter (1972), desarrolló un índice de calidad de agua para ríos de Sudáfrica, que fue modificado por Hilsenhoff (1988) para ser utilizado en ríos de Norteamérica, con el nombre de Índice Biótico de Familias (IBF), este índice también tiene la ventaja de ser fácil de usar y necesita para su evaluación reconocimiento taxonómico de los macroinvertebrados solamente hasta nivel de familia (Wais, 1983 y Figueroa, 2003). Estos índices se han diseñados para hacer levantamientos de información rápidos sobre el *estado ecológico* del subsistema acuático. Además de los efectos a nivel individual, es importante la evaluación de los efectos a un mayor nivel de organización, para lo cual, una de las herramientas más poderosas es el estudio de diversos índices bióticos de manera simultánea.

Entre las dificultades de aplicación de estos índices, está el hecho que fueron desarrollados para taxones de macroinvertebrados pertenecientes a otras regiones biogeográficas (Odum, 1972; Tolá, 1996). Ejemplo de esto, es el índice utilizado por Chutter (1972), para la región zoogeográfica Etiópica (África), que debió ser adaptado a la región Neártica por Hilsenhoff (1988), después de que este último autor estudió y tabuló el comportamiento de las familias de invertebrados presentes en esa región frente a los distintos grados de contaminación. Proceso similar debe aplicarse para validar estas metodologías en su aplicación con las familias de las dos subregiones Neotropicales, siendo tarea inconclusa. Algunas familias de macroinvertebrados de Chile, resultan más especiales aún, debido a que corresponden a la subregión Andino Patagónica que tiene relaciones de parentesco más cercanas con la región Australiana que con el resto la entomofauna Neotropical (Rojas en Simonetti, 1995 y Rojas, 2006).

Dentro de los invertebrados, la clase Insecta supera a cualquier otro grupo. Considerando la totalidad de animales, las estimaciones de diversidad de los insectos fluctúan entre un 70 y

² Valor numérico utilizado para describir la biota de un cuerpo de agua e indicar su calidad

83% (Solervicens, en Simonetti, 1995). Los estados larvales de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (Insecta), como consumidores primarios, son un componente relevante de la fauna bentónica límnic, tanto en abundancia como en biomasa. Estos procesan una cantidad importante de microalgas perifíticas y materia orgánica (autóctona y alóctona), ya sea triturando la materia orgánica particulada gruesa (CPOM) o filtrando la materia orgánica particulada fina (FPOM). Estos insectos, son considerados entre los más importantes en las redes tróficas de los cuerpos de agua, además, los adultos, en algunos casos devuelven una cantidad importante de energía al ambiente terrestre (Valdovinos en CONAMA, 2008).

Las principales colecciones entomológicas generales se encuentran en el Museo Nacional de Historia Natural de Santiago (MNHN); Departamento de Zoología, Universidad de Concepción; Instituto de Entomología, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación; Laboratorio de Zoología, Universidad Católica de Valparaíso y el Instituto de la Patagonia, Universidad de Magallanes (Solervicens, en Simonetti, 1995)³.

Objetivo general

Caracterizar la condición ambiental de la microcuenca de la Quebrada de la Plata usando como indicador biológico a macroinvertebrados bentónicos.

Objetivos específicos

1. Analizar parámetros comunitarios de macroinvertebrados bentónicos.
2. Evaluar la diversidad de familias y su relación con la calidad ambiental de la microcuenca a través de índices bióticos y de diversidad.
3. Comparar los resultados obtenidos mediante la aproximación físico – química, con las variables que identifican la calidad del agua.

³ El conocimiento de insectos de los ecosistemas límnicos chilenos se ha desarrollado, particularmente por las contribuciones realizadas por F. Rojas, O. Flint y R. Holzenthal, en Trichoptera; A. Camousseight, E. Domínguez, M. Hubbard y M. Pescador, en Ephemeroptera; por A. Camousseight, A. Vera y M. Mercado, en Plecoptera, y por V. Jerez y J. Moroni, en Coleoptera (Valdovinos en CONAMA, 2008).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

2.1.1. Área de estudio

Este estudio se desarrolló en la Quebrada de la Plata, utilizando muestreos puntuales biológicos y registros de algunas variables físico - químicas realizados entre 1995 y 2009, principalmente en primavera. Se estableció cuatro sitios de muestreo, dos ubicados en exposición directa a la radiación solar (Sitios claros SC, Figuras 2 y 37) y dos en condiciones de penumbra (Sitios oscuros SO, Cuadro 1 y Figuras 35 y 36). La Quebrada de la Plata (Figura 1), está ubicada en la comuna de Maipú, Región Metropolitana y corresponde a una pequeña cuenca siguiendo la definición usada por Martínez (1999). Sus coordenadas UTM son 320-325 E, 6290-6294 N (Huso 19S y Elipsoide de Referencia WGS 1984). El área de drenaje de la cuenca es de aproximadamente 8,64 km², con una longitud máxima en sentido suroeste noreste de 4.900 m y un desnivel desde la cabecera a la parte más baja de 600 m.

Cuadro 1: Condiciones de luz, símbolo y ubicación de los sitios de muestreo.

Sitio	Símbolo	Coordenadas UTM (x, y)
Claro 1	SC1 Δ	323885, 6292178
Claro 2	SC2 Δ	321663, 6291427
Oscuro 1	SO1 Δ	322834, 6292080
Oscuro 2	SO2 Δ	321620, 6291509

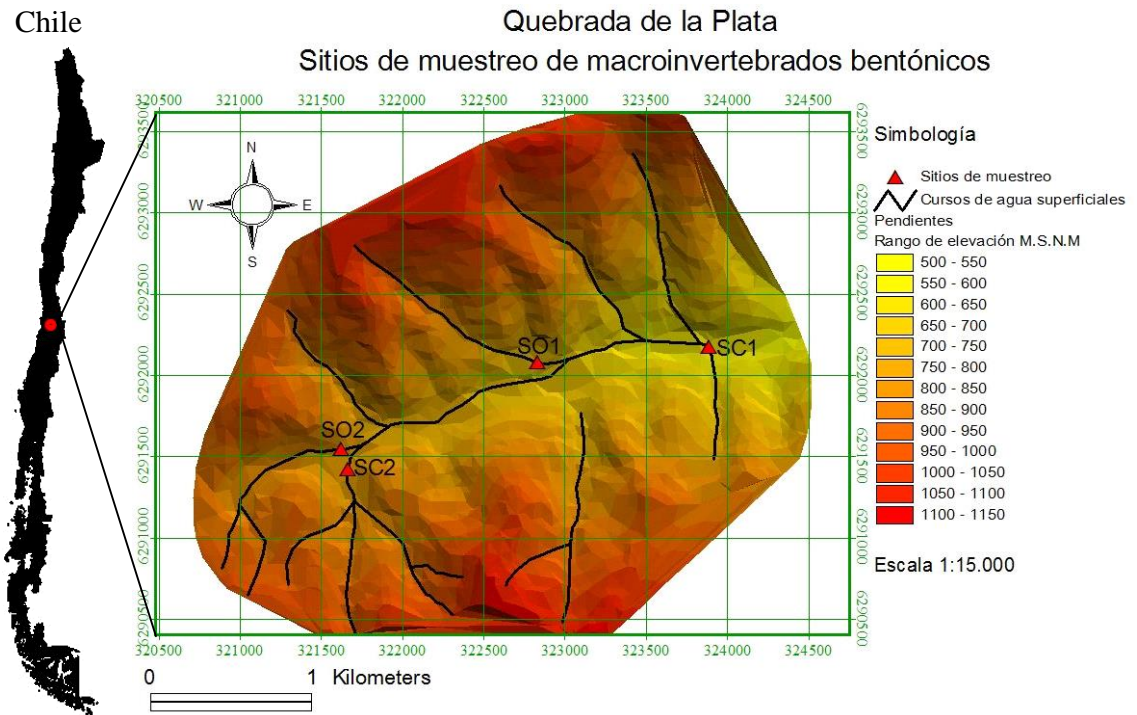


Figura 1: Sitios de muestreo y cuerpos de agua en la cuenca Quebrada de la Plata, Región Metropolitana, zona mediterránea semiárida Chile central.

Esta cuenca presenta cuerpos de agua de orden 1 y 2 según la jerarquía de Strahler, (Siligardi, 2007) y tamaño de arroyo 1, cuyos aportes energéticos dependen de la cobertura vegetal adyacente (Wetzel y Likens, 1979; Vannote *et al*, 1980; Schworbel, 1983b y CONAMA, 2008), especialmente en los sitios oscuros. Orellana (2006), señala que las precipitaciones anuales son en promedio de 330 mm, siendo un sistema caracterizado por llevar agua generalmente en tiempo húmedo (Figura 2).



Figura 2: Comparación de fluiometría en tiempo húmedo (A) y tiempo seco (B), sitio de muestreo SC1.

Según el modelo del Lago Peñuelas, que transforma las precipitaciones en caudales y basado en los caudales medios diarios, las precipitaciones se concentran principalmente entre los meses de mayo y agosto. Esto, siguiendo la transformación de la pluviometría en gasto fluviométrico (López y Gómez, 2002) (Figura 3) y los caudales medios diarios observados en la Estación Mapocho en Rinconada de Maipú (INIA, 2009) (Figura 4).

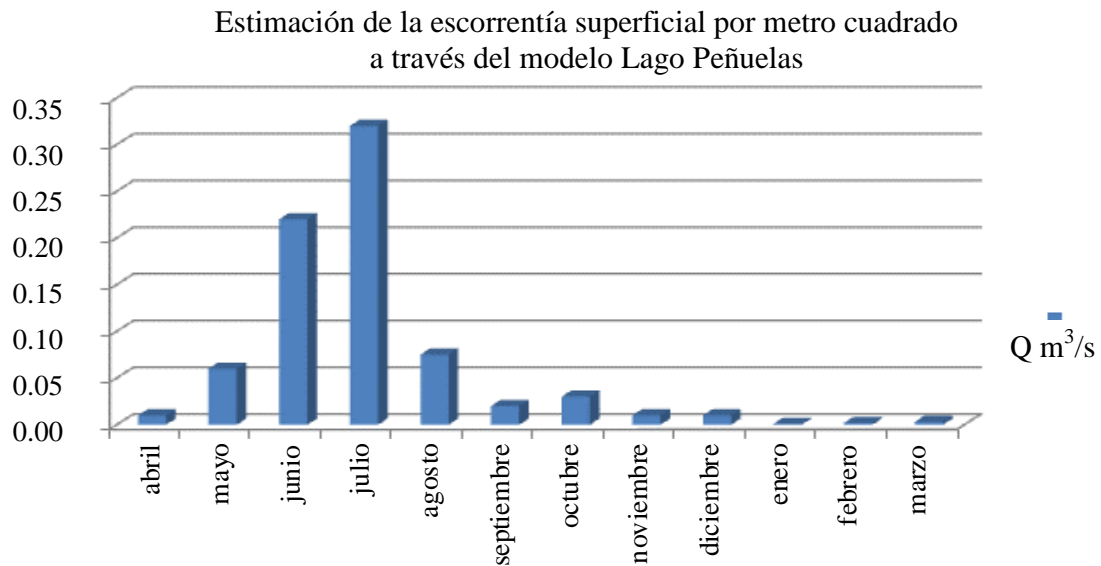


Figura 3: Modelo de escorrentía Lago Peñuelas.

Fuente: López y Gómez, (2002)

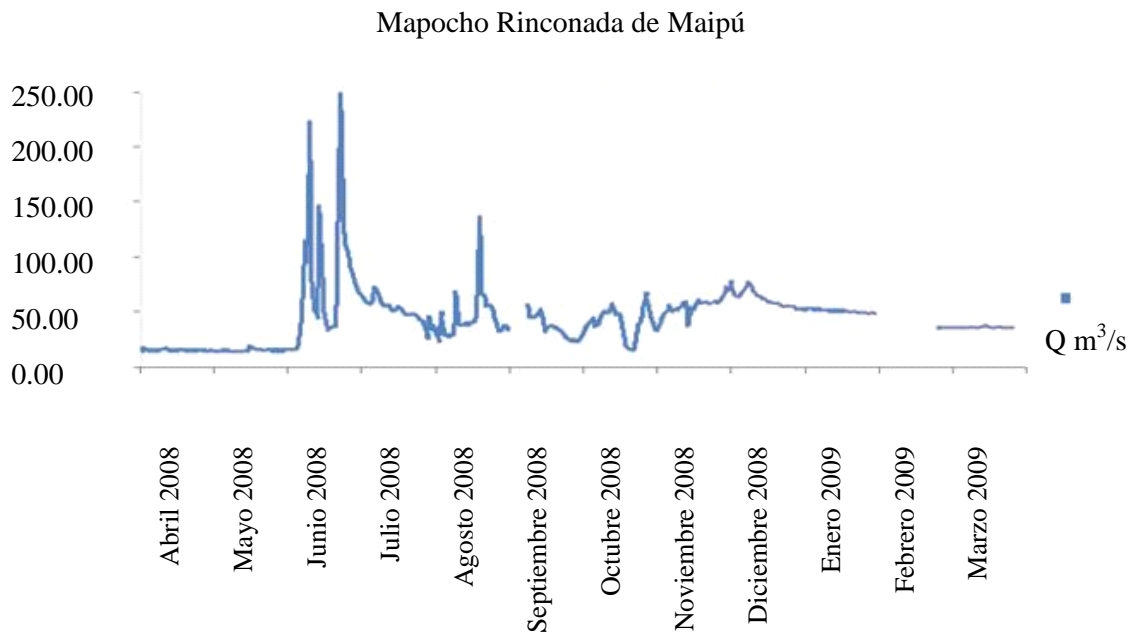


Figura 4: Caudales medios diario de Río Mapocho en Rinconada de Maipú, periodo 2008 – 2009.

Fuente: INIA, 2009

El clima del distrito agroclimático es templado, mesotermal estenotérmico mediterráneo semiárido (Santibáñez y Uribe, 1990) y, la formación vegetal es Matorral Espinoso del Secano Costero (Gajardo, 1994) (Figura 5).



Figura 5: Formaciones vegetacionales presentes en la Quebrada de la Plata.

En terreno se utilizó la presencia de comunidades de invertebrados bentónicos distribuidos en el cauce (ISO, 1985), destacando los órdenes Trichoptera, Diptera, Odonata y Megaloptera (Anexo fotográfico). Una caracterización general del macrozoobentos según su tolerancia a la contaminación a nivel taxonómico de Orden se presenta en el cuadro 2. Las caracterizaciones específicas usadas para cada índice propuesto se presentan en el cuadro 23 en la sección de anexos.

Cuadro 2: Clasificación general del macrozoobentos según su tolerancia a la contaminación orgánica.

Sensibles	Tolerantes	Muy tolerantes
Trichoptera	Diptera	Oligochaeta
Ephemeroptera	Hemiptera	Nematoda
Plecoptera	Coleoptera	Hirudinea
Megaloptera (Coridalidae)	Megaloptera (Sialidae)	
Tricladia (Planariidae)	Collembola	
Amphipoda	Odonata	
Gastropoda (Planorbidae)	Gastropoda (Amnicolidae, Physidae, Ancyliidae, Siphonaridae)	

Fuente: Adaptado de Barría y Boré (1978) en Marambio (2001)

Los nombres entre paréntesis corresponden a familias

2.2. Método

2.2.1 Caracterización física del área de estudio

Siguiendo a Martínez (1999), se utilizó curvas de nivel con intervalos de 25 m en formato shape, con éstas se generó un modelo digital de elevación (MDE) de terreno a través de una malla irregular triangular (TIN). A este MDE, se le aplicó los algoritmos *compute hillshade* y *derive slope* para generar un modelo de exposiciones y de pendientes, respectivamente. Los resultados fueron reclasificados para expresar el comportamiento de la influencia de la luz dentro de la cuenca y de las pendientes. La delimitación de la cuenca se obtuvo a partir de una ortofoto, generando un polígono siguiendo las más altas cumbres y divisorias de aguas (Vila, 2006). Respecto del trazado de los cuerpos de agua, se generaron por la observación de las pendientes del MDE y por el registro de observaciones hechas en terreno. De la exploración en terreno, en la estación de primavera, se constató que las quebradas de exposición Sur drenan hasta el fondo de la ladera, mientras que las de exposición Norte no alcanzan el fondo, excepto la de ubicación Este, donde se encuentra el primer sitio claro SC1. La escala de trabajo para la generación de los planos fue 1:15.000.

2.2.2 Análisis de variables físico – químicas del agua

En cada sitio de muestreo se registró *in situ* y *ex situ*: las variables físicas: temperatura, color, turbiedad, radiación solar, y las variables químicas: conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), pH y oxígeno disuelto (OD). Se midió en el agua *in situ* la concentración de nutrientes, nitritos (NO₂-N), nitratos (NO₃-N), y fosfatos (P-total) mediante laboratorio portátil Hach o *ex situ* en laboratorio certificado según disponibilidad. Las unidades de medición, instrumentos, método de obtención y valores máximos permisibles se presentan en el cuadro 3. Se realizó un análisis de medias y error estándar de las variables, estableciendo su correspondencia con la normativa vigente más exigente entre la NCh. 1.333 of. 1978 (INN, 1978) y la Guía CONAMA de establecimiento de la NSCA (CONAMA 2005).

Cuadro 3: Variables físico – químicas, instrumentos de medición y rangos máximos permisibles.

Variables	Instrumento	Método	Valores máximos permisibles		
			NCh. 1.333*	Clase 0**	Clase 1**
Temperatura (° C)	Termómetro	<i>In situ</i>	V.N. + 3,0	$\Delta T^{\circ}C < 0,5$	$\Delta T^{\circ}C < 1,5$
Color U.C.	Hach	<i>In situ</i>	S.C.A.	<16,0	20,0
Turbiedad F.T.U.	Hach	<i>In situ</i>	V.N. + 30		
Radiación $\mu E/m^2$	Radiómetro	<i>In situ</i>			
C.E. $\mu S/cm$ a 25°C	Conductivímetro	<i>In situ</i>	<750	<650	<750
S.D.T. mg/L a 105 °C		Laboratorio	<500	<400	1000>500
Ph	pHmetro	<i>In situ</i>	6,0 – 9,0	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
O.D. (mg/L)	Hach	<i>In situ</i>	>5,0	>7,5	7,5>5,5
Nitritos (mg/L)		Laboratorio		<0,05	0,06
Nitratos (mg/L)		Laboratorio			
Fosfatos (mg/L)		Laboratorio			

*Requisitos para riego y vida acuática NCh. 1.333 of. 1978; ** Requisitos Guía CONAMA NSCA (2005); S.C.A.: Sin presencia de colorantes artificiales; V.N.: Valor natural

Adicionalmente, se realiza un dendrograma de similitud entre los sitios de muestreo utilizando las características físico – químicas, para establecer de manera porcentual la relación entre los sitios de muestreo.

2.2.3 Vegetación de las laderas según su exposición

La aproximación de la vegetación presente en la cuenca, según su exposición Sur y Norte, se realizó a través de un muestreo con parcelas cuadradas de 400 m². Dos en la ladera exposición Sur y dos en la Norte (Cuadro 4)

Cuadro 4: Ubicación de los centros de las parcelas de muestreo de vegetación en laderas.

Parcela	Símbolo	Coordenadas UTM (x, y)
Exposición Sur 1	PES1	323595, 6292319
Exposición Sur 2	PES2	322630, 6292041
Exposición Norte 1	PEN1	323631, 6292199
Exposición Norte 2	PEN2	322576, 6291879

Trabajos sobre catastros florísticos en la cuenca han sido realizados por Schlegel (1963) y revisiones posteriores fueron desarrolladas en las memorias de Poblete (2004), Tapia (2005) y Orellana (2006), Riquelme (2008).

2.2.4 Análisis de atributos comunitarios y composición taxonómica de fitobentos y macrozoobentos

Para estudiar las comunidades biológicas se eligieron cuatro sitios de muestreo, estableciendo sitios claros (incidencia directa de luz sobre el tramo del cauce) y oscuros (tramos del cauce protegidos por presencia de vegetación arbórea) (López y Gómez, 2002 y

Schworbel, 1983a). Estos sitios fueron muestreados en primavera, y estuvieron condicionados a la temporalidad del cauce. La localización de los sitios siguió los registros históricos realizados en la quebrada. En cada sitio de recolección, entre 1995 y 2008, se colectó fitobentos y macrozoobentos. Se realizó un análisis de frecuencia de las especies de fitobentos y de atributos comunitarios de macrozoobentos (N° total de familias).

2.2.4.1 Metodología de colecta e identificación de fitobentos: En los sitios SC1 y SO1, se realizó un muestreo sistemático de rocas para recoger fitobentos, determinando un transecto de 25 m a lo largo de la orilla del arroyo. Las muestras fueron colocadas en envases plásticos y fijadas en alcohol-formalina al 10%. El fitobentos se identificó y contabilizó con apoyo de especialistas, usando microscopio óptico Leitz-Wetzlar, con 400 x de aumento. El recuento de células se realizó con la cámara Sedgwick-Rafter (S-R), cuyas dimensiones fueron 10 cm² de superficie y contuvieron 1 mL de volumen. Una vez que el fitobentos contenido en la cámara decantó, se colocó la S-R bajo el microscopio y se observó de manera horizontal de izquierda a derecha y *viceversa*. Por motivos técnicos, cuando, un porcentaje del líquido se evaporó, se agregó con un gotario agua destilada para mantener el volumen constante y conservar la muestra (Wetzel y Likens, 1979).

2.2.4.2 Metodología de colecta e identificación de macrozoobentos: Se registró muestras dobles de esta comunidad de macroinvertebrados con muestreador Surber, en las zonas con corriente turbulenta y flujo laminar, utilizando la metodología propuesta por Wetzel y Likens (1979). En el último muestreo (2009), se colectó con red manual y a mano, intentando rastrear todos los hábitats presentes en cada sitio, siguiendo la metodología propuesta por la Norma ISO 7828: 1985. La identificación taxonómica del macrozoobentos se realizó hasta nivel de familia, utilizando claves taxonómicas y bibliografía especializada (Rojas, 1996; Fernández y Domínguez, 2001; Camousseight y Vera, 2007). En algunos casos, en el Orden Trichoptera, se llegó a nivel de género y especie con apoyo de especialistas. La conservación de los estados inmaduros se realizó con alcohol al 70%, posteriormente se preparó algunos estados larvales y pupales con KOH al 10%. La identificación se hizo mediante lupa estereoscópica en el laboratorio de Hidronomía de la Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, de la Universidad de Chile y el laboratorio de Entomología del Museo Nacional de Historia Natural de Santiago.

Mediante el uso de la presencia de las familias de macrozoobentos, se establece un dendrograma de similitud, para evidenciar las relaciones de las taxas y las condiciones del ambiente y de radiación

2.2.5 Evaluación de la calidad ambiental de la cuenca a través de índices bióticos y de diversidad.

Se estableció el uso de índices biológicos, siguiendo a Hilsenhoff (1988), Hellawell (1978), Roldan y Ramírez (1992) y Plafkin *et al* (1989). Se atiende a las excepciones descritas por Bode *et al* (1996), sobre las características de los arroyos de las cabeceras de las cuencas, donde algunas veces ocurren resultados erróneos en los monitoreos. Esto se explica porque estos sitios usualmente son pobres en nutrientes, tienen pocos recursos alimenticios autóctonos y baja productividad, resultando en que se presentan comunidades con pocas especies sensibles pero muy abundantes (Cuadro 2). Una acción correctiva propuesta por

Bode *et al* (1996), para obtener una mejor aproximación a la genuina calidad del agua es aplicar un factor de 1,5 a la riqueza de especies.

2.2.4.1 Índice Biológico de Familias (IBF): Hilsenhoff (1988), establece un índice de carácter cuantitativo, que trabaja sobre el nivel taxonómico de familias en un segmento de curso fluvial, asignando un puntaje en función a su sensibilidad a la contaminación orgánica (Cuadro 23) y el número de morfoespecies existentes, permitiendo clasificar el tramo de curso fluvial de Clase I (excelente) a Clase VII (muy malo) (Cuadro 5).

Cuadro 5: IBF, clases de calidad ambiental.

Índice Biótico de Familias	Calidad de las aguas	Clases de calidad ambiental
0,00 – 3,75	Excelente	I (celeste)
3,76 – 4,25	Muy buena	II (azul)
4,26 – 5,00	Buena	III (verde)
5,01 – 5,75	Regular	IV (amarillo)
5,76 – 6,50	Relativamente mala	V (café)
6,51 – 7,25	Mala	VI (naranja)
7,26 – 10,00	Muy mala	VII (rojo)

Fuente: modificado de Hilsenhoff (1988).

La fórmula empleada para clasificar las características ambientales a través del IBF es:

$$IBF = \frac{\sum n_i * t_i}{N}$$

Donde n_i es el número de morfoespecies en una familia, t_i el puntaje de tolerancia de cada familia y N el número total de individuos en el sitio de muestreo.

Los IBF se expresan en clases de calidad ambiental, equivalente a *estado ecológico*. De acuerdo a los resultados obtenidos se confecciona un mapa general de calidad de agua de la Quebrada de la Plata.

2.2.4.2 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP): Este índice, se basa en la identificación taxonómica de familias de macrozoobentos que tienen relacionado un valor comprendido entre 1 y 10, correspondiendo el valor 1 a familias con bajas exigencias de calidad de hábitat y que son capaces de existir en aguas muy contaminadas y el valor 10 a familias muy exigentes que no toleran la contaminación. La suma de los valores obtenidos para cada familia en una estación de muestreo entrega el grado de contaminación o alteración presente. Cuanto mayor sea la suma, menor es la contaminación del sitio estudiado. Las clasificaciones de la calidad ambiental se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6: Índice BMWP, clases de calidad ambiental.

Valor (BMWP)	Estado ecológico	Característica ambiental	Clase calidad ambiental
>150	Bueno	Aguas muy limpias	I (celeste)
101 – 120		Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	
61 – 100	Aceptable	Son evidentes algunos efectos de contaminación	II (azul)
36 – 60	Dudoso	Aguas contaminadas	III (amarillo)
16 – 35	Crítico	Aguas muy contaminadas	IV (naranja)
<15	Muy Crítico	Aguas fuertemente contaminadas	V (rojo)

Fuente: Modificado de Alba-Tercedor y Sanchez, (1988)

La fiabilidad de los resultados obtenidos con el BMWP, la rapidez de su obtención y la facilidad de su utilización (al requerir identificaciones taxonómicas a nivel de familia) convierten a este índice en una potente «herramienta» para el seguimiento y gestión de cuencas, con importantes ahorros económicos y de tiempo, al permitir evaluar la situación de las aguas «*in situ*» (Alba-Tercedor y Sánchez, 1988).

2.2.4.3 Asignación Promedio Por Taxon (ASPT): Según Roldan y Ramírez (1992), el puntaje promedio por taxón, conocido como ASPT, es el puntaje total BMWP dividido por el número de taxa a nivel de familia. Es un índice que evalúa la condición del sitio. Los valores de ASPT van de 0 a 10, un valor alto de ASPT asociado a un valor alto de BMWP señala bajas condiciones de contaminación del sitio. Las clasificaciones de condición de sitio se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7: ASPT, clases de condición de sitio.

Valor ASPT	Condición de sitio
>6	Sistema libre de contaminación
5 – 6	Probablemente buena calidad
4 – 5	Probablemente moderada contaminación
<4	Probablemente severa contaminación

Fuente: Modificado de Roldan y Ramírez, (1992)

2.2.4.4 Porcentaje de contribución de familia dominante (%DF): Siguiendo a Plafkin *et al* (1989), equivale a la abundancia de la familia numéricamente dominante respecto al número total de organismos en la muestra. Este índice aporta el estado del balance de la comunidad a nivel taxonómico de familia. Se obtiene a través del mayor porcentaje de individuos registrados en la muestra, % Contribución de los cinco taxa dominantes. Una comunidad dominada por relativamente pocas familias (cinco o menos), indica que está sometida a un estrés ambiental.

2.2.5 Mapas de calidad ambiental

Para las variables biológicas, de acuerdo con el puntaje obtenido por los índices IBF y BMWP en cada sitio de muestreo, se calificarán las distintas clases de calidad ambiental o *estado ecológico*. Además, se establecerá su condición general, utilizando las caracterizaciones físico-químicas, asignándoles a cada una de las clases propuestas un color determinado, usándolo luego para marcar los brazos de los cursos fluviales presentes en el mapa de la quebrada.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterización física del área de estudio

3.1.1 Condiciones topográficas y de luminosidad en la Quebrada de la Plata

En esta quebrada, se observa que las pendientes varían entre 10 y 30° (Figura 6), coincidiendo con los valores promedio registrados en terreno (Cuadro 8). Esta alta pendiente, favorece los procesos derivados de escorrentía de laderas, lavando suavemente los elementos y nutrientes desde las laderas, observándose en las cumbres la roca desnuda derivado de estos procesos.

Cuadro 8: Pendientes medias según ladera.

Ladera	Pendiente media en grados
Exposición Sur	18,45°
Exposición Norte	27°

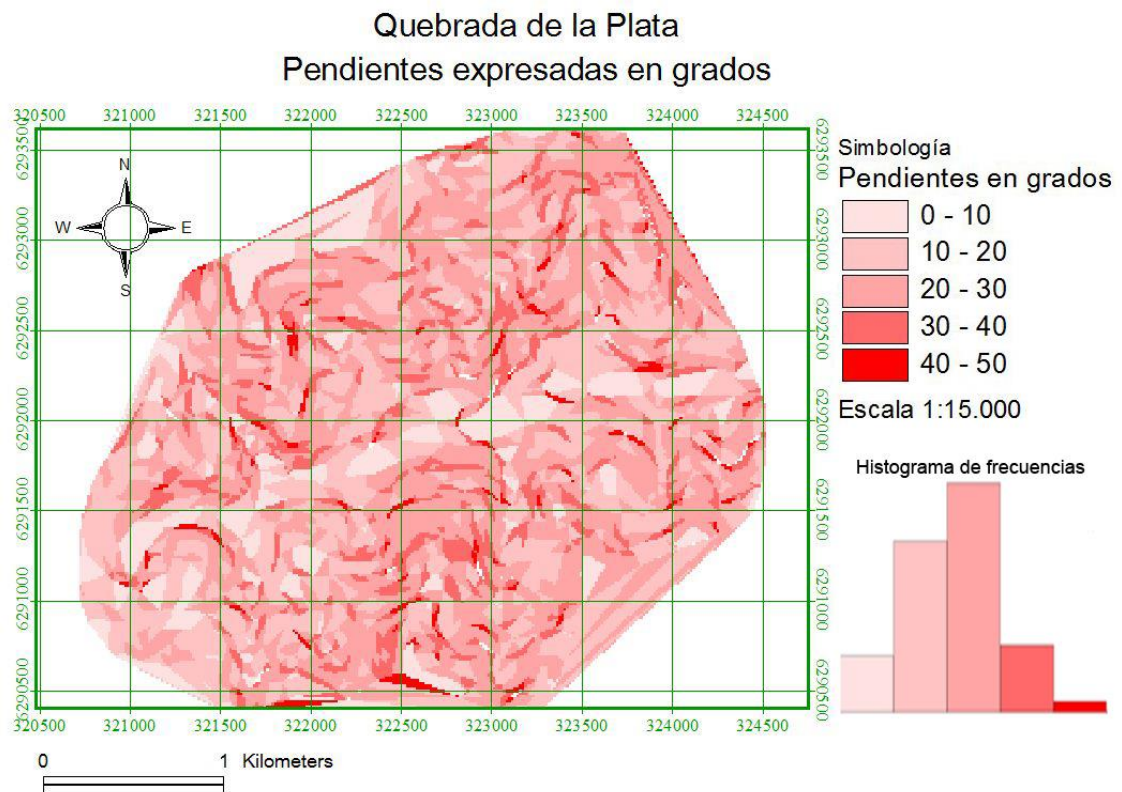


Figura 6: Comportamiento de las pendientes en la Quebrada de la Plata.

Dadas las particularidades de la cuenca, las diferencias en las condiciones de luminosidad que se registran durante el día, con colores más oscuros se representa las zonas sombreadas, y colores claros, las áreas que reciben radiación solar directa. Estas condiciones se ven reflejadas en las comunidades vegetacionales contrastantes presentes en ambas laderas. Se

observa que la mayor incidencia de radiación solar se presenta en la ladera exposición Norte. La ladera de exposición Sur debido a la disminuida radiación, muestra mayor biomasa arbórea y arbustiva, lo que favorece la presencia de cursos de agua por más tiempo en la quebrada (Figura 7).

A nivel local de cada sitio de muestreo, la cantidad de radiación solar medida varía dependiendo de la cobertura vegetal presente sobre el cauce. En los sitios claros con radiación solar directa, se registró valores entre 0,6 y 0,8 $\mu\text{E}/\text{m}^2$, mientras los sitios oscuros presentaron lecturas inferiores a 0,3 (Figura 8).

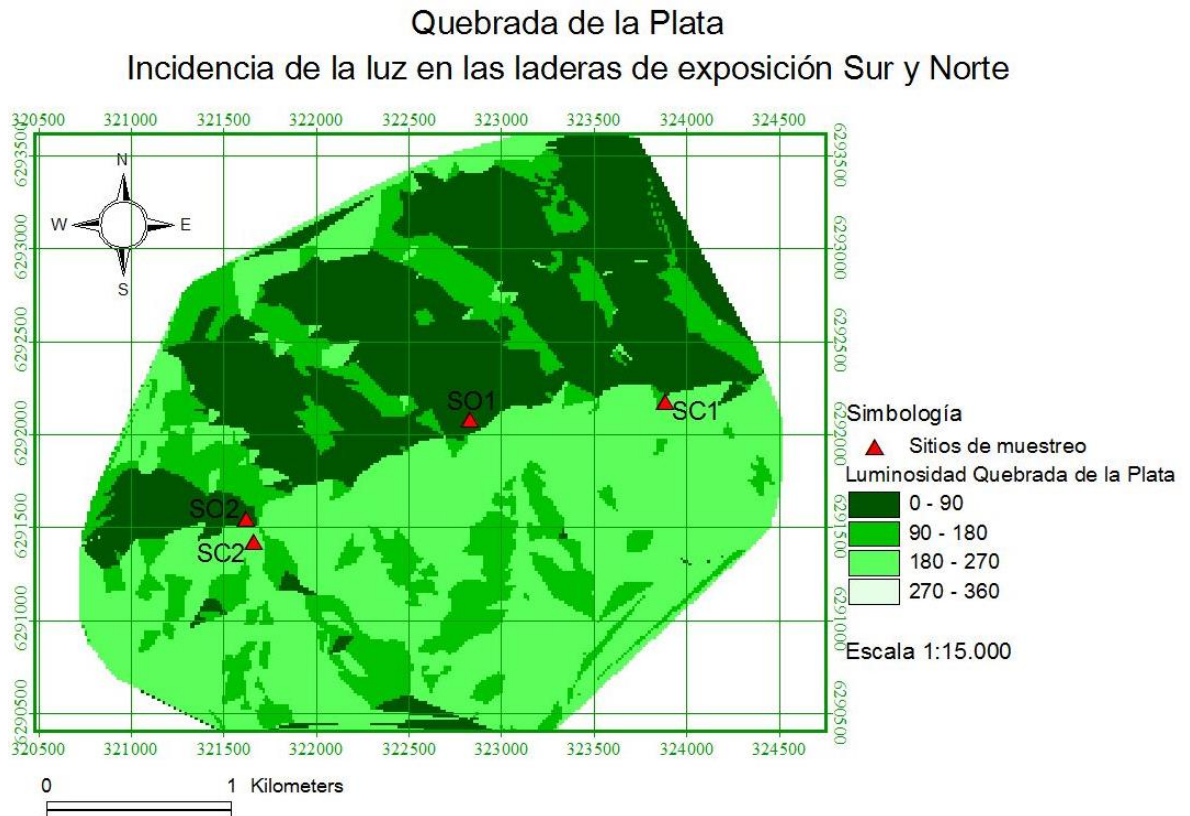


Figura 7: Incidencia de la luz en las laderas exposición Sur y Norte y los sitios de muestreo con cenit del ángulo solar de 45°.

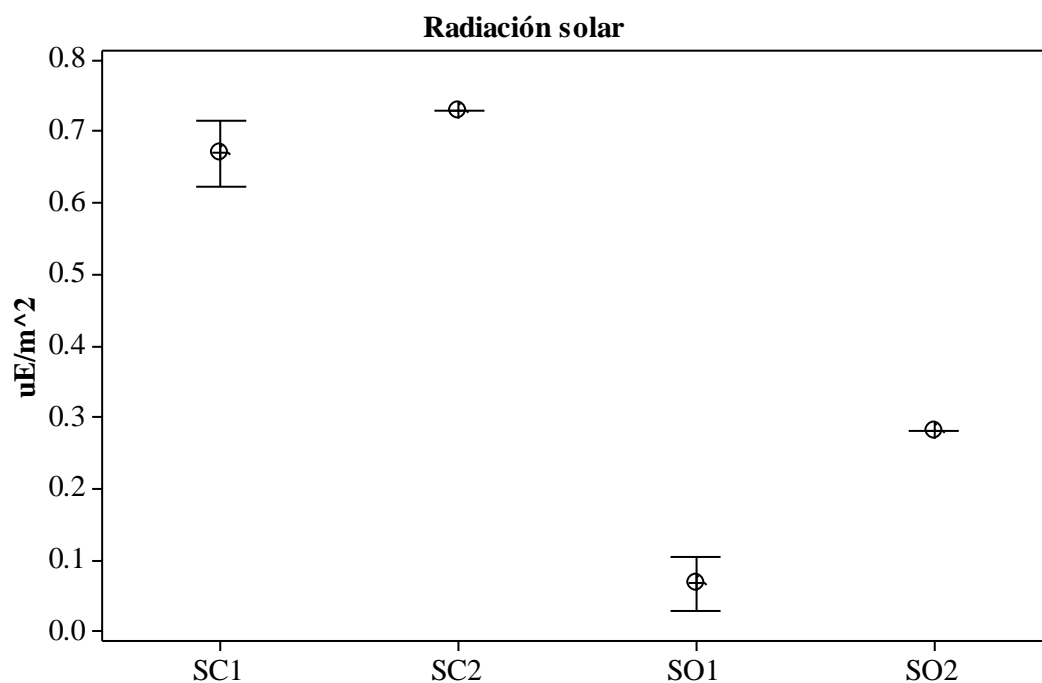


Figura 8: Radiación Solar media registrada en la Quebrada de la Plata.

3.1.2 Vegetación de la cuenca

Los resultados muestran una aproximación de lo observado en ambas laderas (Cuadros 9 y 10), encontrándose que en la ladera exposición Sur, predominan las especies de bosque esclerófilo, mientras que en la exposición Norte, predominan las cactáceas y el matorral espinoso. Los catastros específicos de la flora presente en la Quebrada de la Plata, dan cuenta de al menos 315 especies (Schlegel, 1963; Tapia, 2005; Figura 38 en sección de anexos).

3.1.2.1 Vegetación de la exposición Sur

Cuadro 9: Vegetación registrada en la ladera de exposición Sur.

Parcela	Especies registradas
PES1	<i>Cryptocaria alba</i> , <i>Quillaja saponaria</i> , <i>Colliguaja odorifera</i> , <i>Lithrea caustica</i> , <i>Retanilla trinervia</i>
PES2	<i>Cryptocaria alba</i> , <i>Quillaja saponaria</i>

3.1.2.2 Vegetación de la exposición Norte

Cuadro 10: Vegetación registrada en la ladera de exposición Norte.

Parcela	Especies registradas
PEN1	<i>Acacia caven</i> , <i>Colliguaja odorifera</i> , <i>Baccharis linearis</i> , <i>Porlieria chilensis</i>
PEN2	<i>Acacia caven</i> , <i>Porlieria chilensis</i> , <i>Trichocereus chiloensis</i>

3.2 Variables físico - químicas del agua

La caracterización de los sitios de muestreo, basada en mediciones de variables físico - químicas, se presenta en el cuadro 11. Estos resultados son el reflejo de la composición química de las aguas superficiales, la cual está determinada en función de las precipitaciones, procesos erosivos, meteorización, evaporación, sedimentación y la influencia de componentes biológicos dependientes de la vegetación y la actividad microbiana (SAG, 2006).

Cuadro 11: Parámetros de las variables físico - químicas.

Variables	Valor medio			
	SC1	SO1	SC2	SO2
Temperatura (°C)	15,3	12,1	14,4	13,0
Color U.C.	13,6	9,5	10,0	10,3
Turbiedad F.T.U.	0,0	4,0	0,0	0,0
Radiación $\mu\text{E}/\text{m}^2$	0,7	0,1	0,7	0,3
C.E. $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C	477,5	425,5	310	430,5
S.D.T. mg/L a 105 °C	368,0	-	-	-
pH	7,6	7,1	6,5	6,0
O.D. (mg/L)	7,5	8,0	8,1	8,6
Nitritos (mg/L)	0,0	0,0	-	-
Nitratos (mg/L)	5,2	3,4	-	-
Fosfatos (mg/L)	1,5	1,4	-	-

Fuente: Modificado de López y Gómez, 2002.

3.2.1 Temperatura superficial del agua

La temperatura superficial del agua muestra que las oscilaciones térmicas registradas en las distintas fechas de muestreo no superan 1°C por sobre o debajo de la media, teniendo un ligero aumento en las aguas presentes en condiciones de radiación solar directa, en comparación a los sitios oscuros (Figura 9). Su medición permite establecer la solubilidad del oxígeno disuelto, aumento en la actividad biológica, condiciones y velocidades de reacción de las sales y alteración en el equilibrio de flora y fauna.

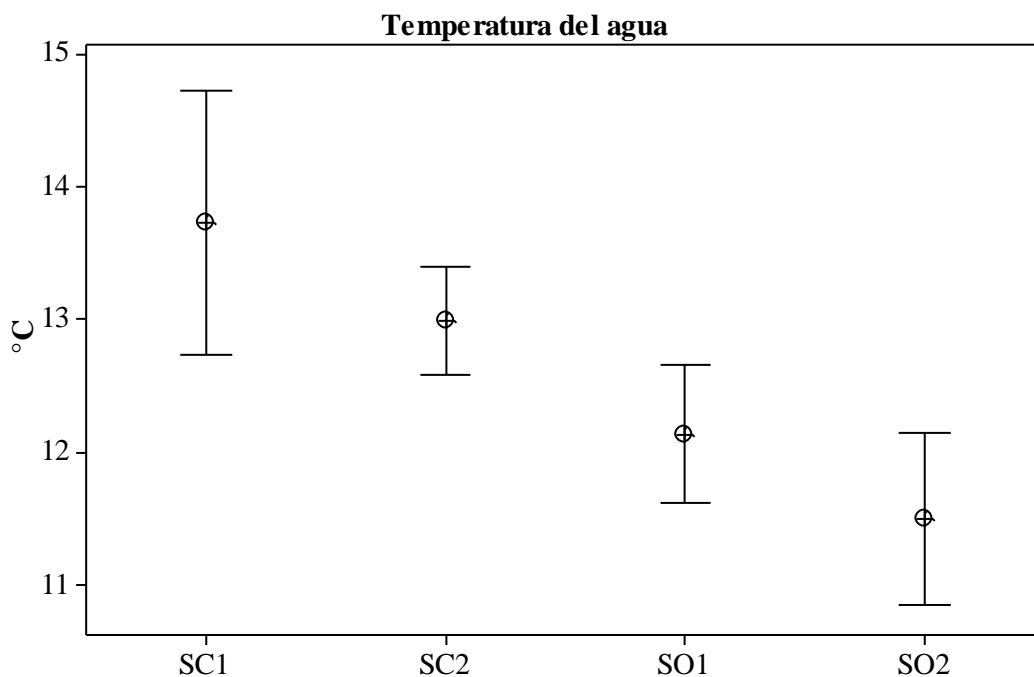


Figura 9: Temperatura (media \pm error estándar) del agua en los sitios de muestreo.

3.2.2 Color y turbiedad

Las unidades de color (U.C.) registradas con el laboratorio portátil Hach Drel 1C, muestran valores entre 6 y 16 U.C. (Figura 10). A modo de referencia, a simple vista el agua del lugar es incolora.

La turbiedad del agua es muy baja o inexistente, excepto en el sitio oscuro 1 (SO1) (Figura 11) donde existe material orgánico en descomposición de hojas secas de peumo, provenientes del bosque puro que cubre el cauce. La baja turbiedad permite ver claramente el fondo del lecho.

La turbiedad, es una medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, indicando la calidad de un agua en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición se realiza por comparación entre la intensidad de luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia.

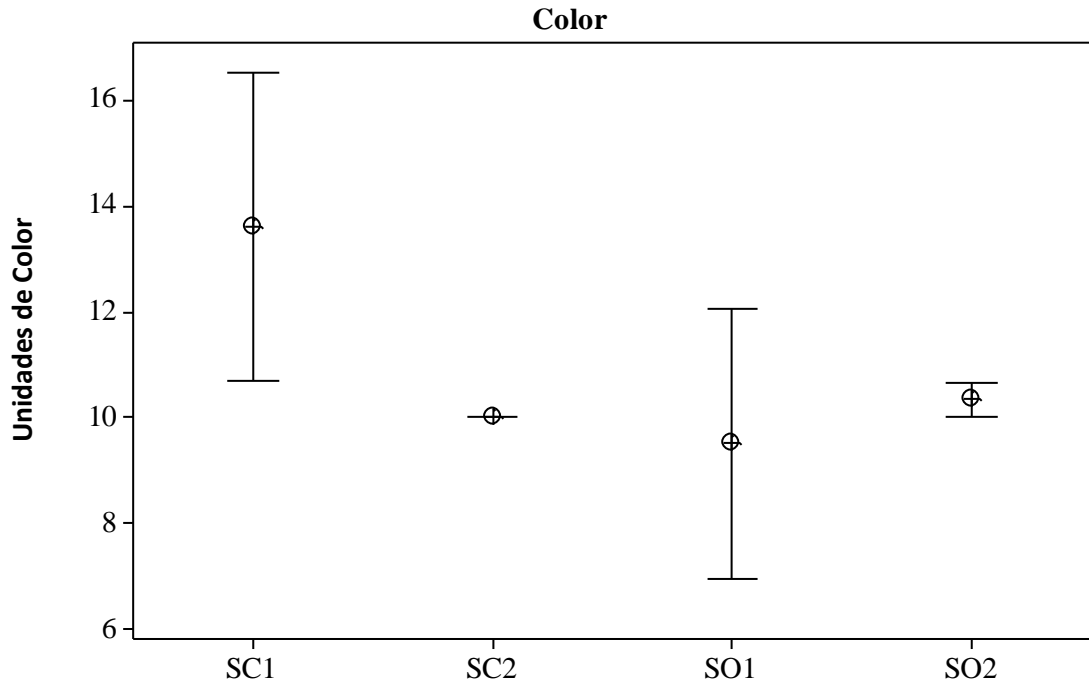


Figura 10: Color del agua (media \pm error estándar) en los sitios de muestreo.

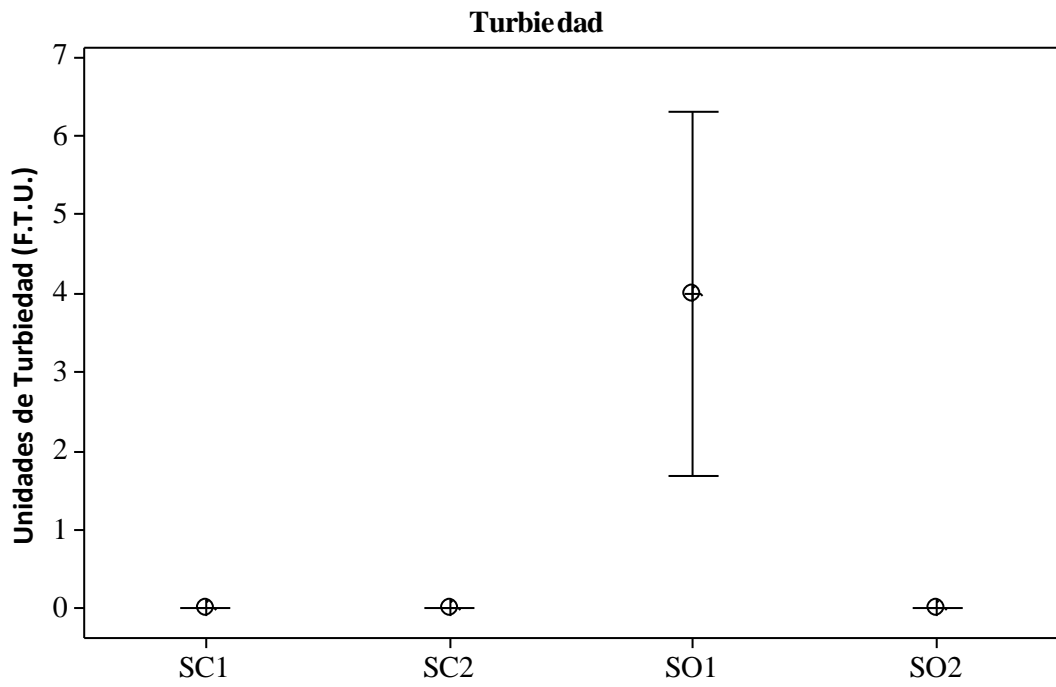


Figura 11: Turbiedad del agua (media \pm error estándar) en los sitios de muestreo.

3.2.3 Conductividad eléctrica

El sistema hídrico estudiado presentó niveles de conductividad eléctrica entre 150 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con los extremos en SC1 y SC2, SO1 y SO2 tuvieron valores muy similares (Figura 12). Estos valores, contrastados con la NCh. 1.333, establecen que el agua presenta buenas condiciones para ser utilizadas en riego y las demás actividades contempladas en la Norma.

Este parámetro, indica la conducción de energía por los iones, su medida nos indica la cantidad de iones en el agua, a mayor conductividad mayor cantidad de iones en el agua.

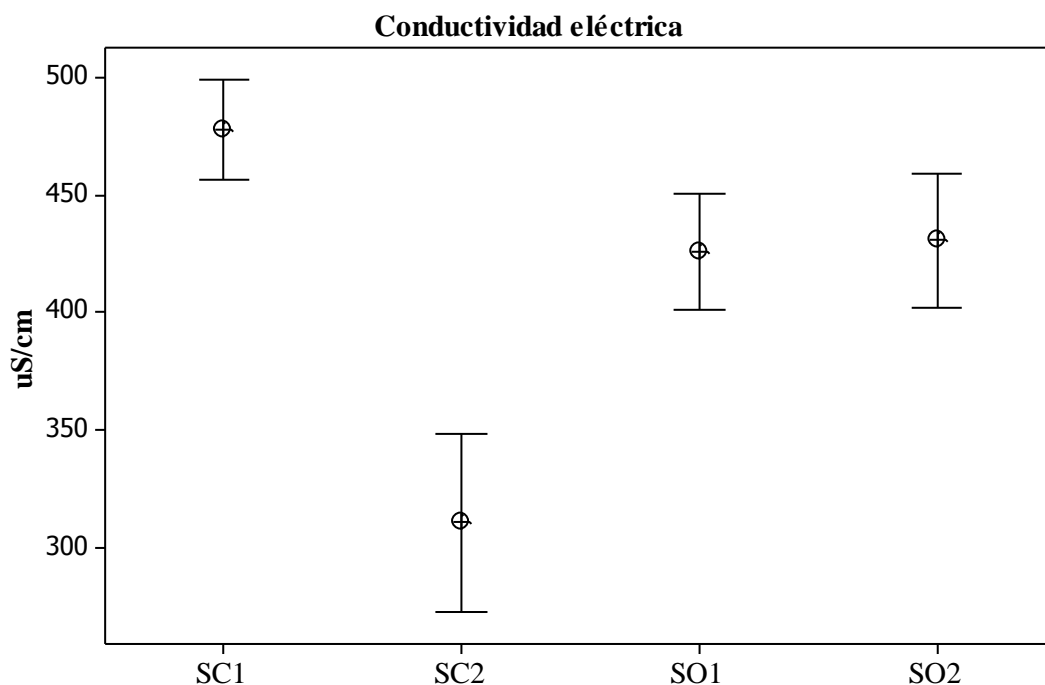


Figura 12: Conductividad eléctrica (media \pm error estándar) en los sitios de muestreo.

3.2.4 pH

Se presentó una diferencia leve entre los pH registrados entre los sitios SC1, SO1 y SC2, SO2. Los primeros, SC1 y SO1, fueron levemente alcalinos y los otros dos de características más ácidas (Figura 13), estableciéndose bajo el criterio de la NCh. 1.333 que sus valores son permisibles.

El pH del agua indica el balance entre ácidos y bases. Es importante en la disolución de minerales, ionización de ácidos y bases, especiación de metales, biodisponibilidad de metales, fotosíntesis y respiración.

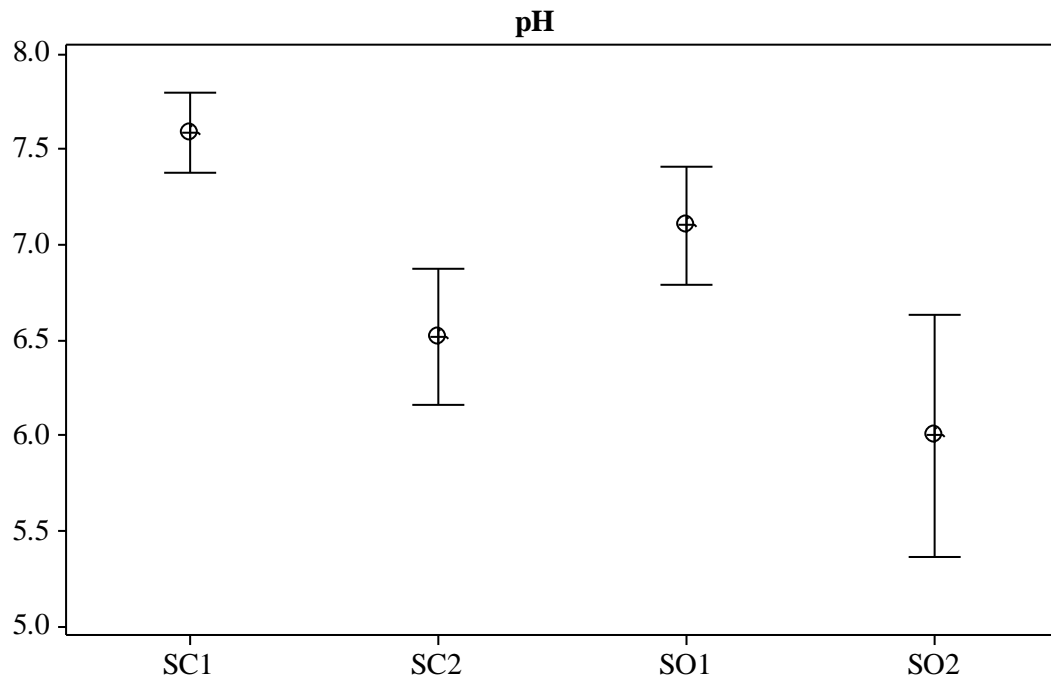


Figura 13: pH (media \pm error estándar) en los sitios de muestreo.

3.2.5 Oxígeno disuelto

La cantidad de oxígeno disuelto de los cuerpos de agua estudiados, presentó valores superiores a 5mg/l, clasificándose según la normativa chilena, como aguas de buena calidad (Figura 14).

La medición de éste parámetro es necesario porque su presencia por debajo de los límites permisibles, dificulta la presencia de vida acuática, siendo un indicador de la presencia de contaminación por materia orgánica.

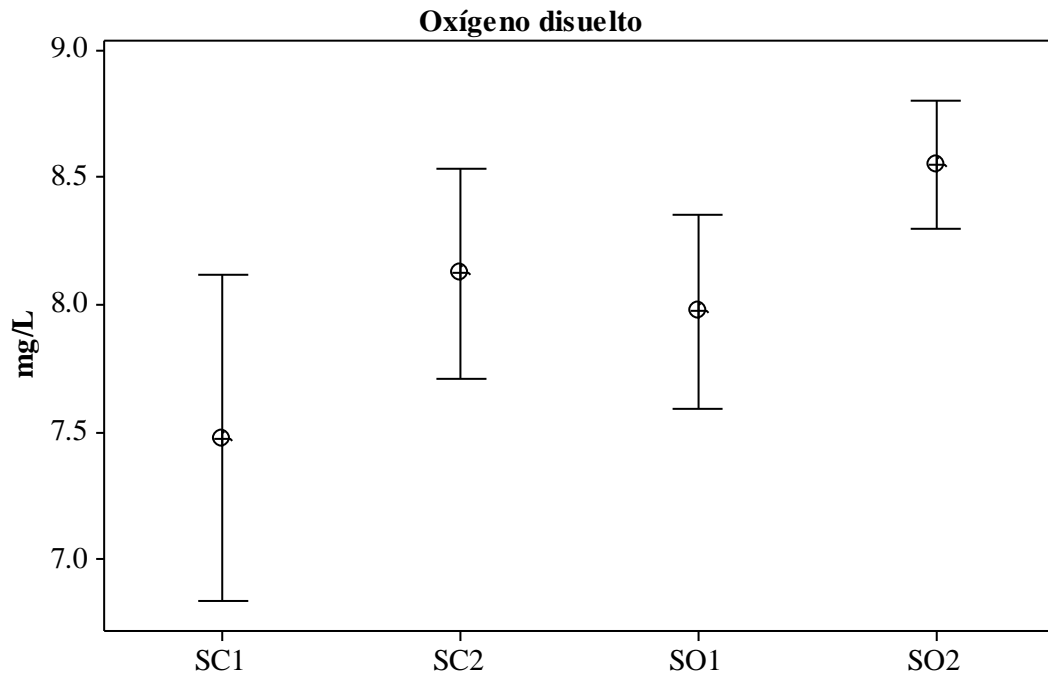


Figura 14: Oxígeno disuelto (media \pm error estándar) en las estaciones SC1, SC2, SO1 y SO2.

3.2.6 Nutrientes N-P

De los nutrientes analizados, nitritos, nitratos y fosfatos, se observó que los más altos correspondieron a nitratos, aunque en su conjunto fueron valores aceptables, según la normativa chilena (Figura 15).

El nitrógeno es esencial para el crecimiento de protistas y plantas, siendo los nitritos de importancia por su eventual toxicidad para las especies acuáticas, se forman bajo condiciones aeróbicas, por acción bacteriana sobre el N-amonio y N-orgánico y en condiciones anaeróbicas por acción bacteriana sobre el N-nitrato, su presencia indica contaminación de origen orgánico y ambiente anaeróbico.

Los nitratos son la forma más oxidada del nitrógeno, proviene del ciclo de nitrógeno, residuos domésticos, agropecuarios, industrial y fertilizantes.

El fósforo promueve el crecimiento de los organismos como las algas, las que consumen gran cantidad de oxígeno y evitando la penetración de radiación solar e impidiendo la vida de otras especies acuáticas, produciendo eutrofización.

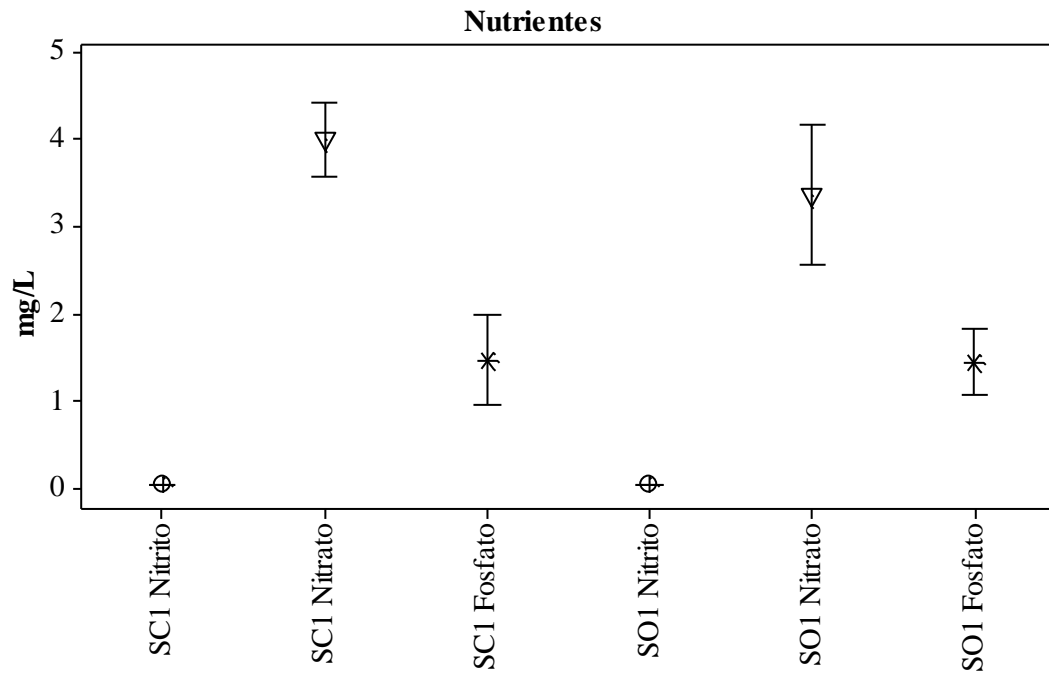


Figura 15: Nutrientes (media \pm error estándar) en el agua en las estaciones SC1 y SO1.

Se presenta a continuación (Figura 16), un análisis de similitud entre los sitios estudiados, basado en las variables físicas y químicas registradas puntualmente en la cuenca.

A través del dendrograma de similitud, con el parámetro “valor medio” de temperatura, color, CE, turbiedad, radiación solar, pH y OD, se estableció que las principales semejanzas, se registraron entre el grupo uno, compuesto por los sitios SO1 y SO2 con un 96,0% de afinidad. El sitio SC1 mostró un nivel de semejanza de 71,1% con el grupo 1, existiendo sólo un 31,0% de semejanza entre el sitio SC2 y el resto de los sitios de muestreo. Los factores que explican estas diferencias son principalmente la radiación solar y la temperatura. Se observa que en los cauces de orden inferior, como es el caso de la Quebrada de la Plata, existe una alta sensibilidad a las condiciones locales de cobertura vegetal.

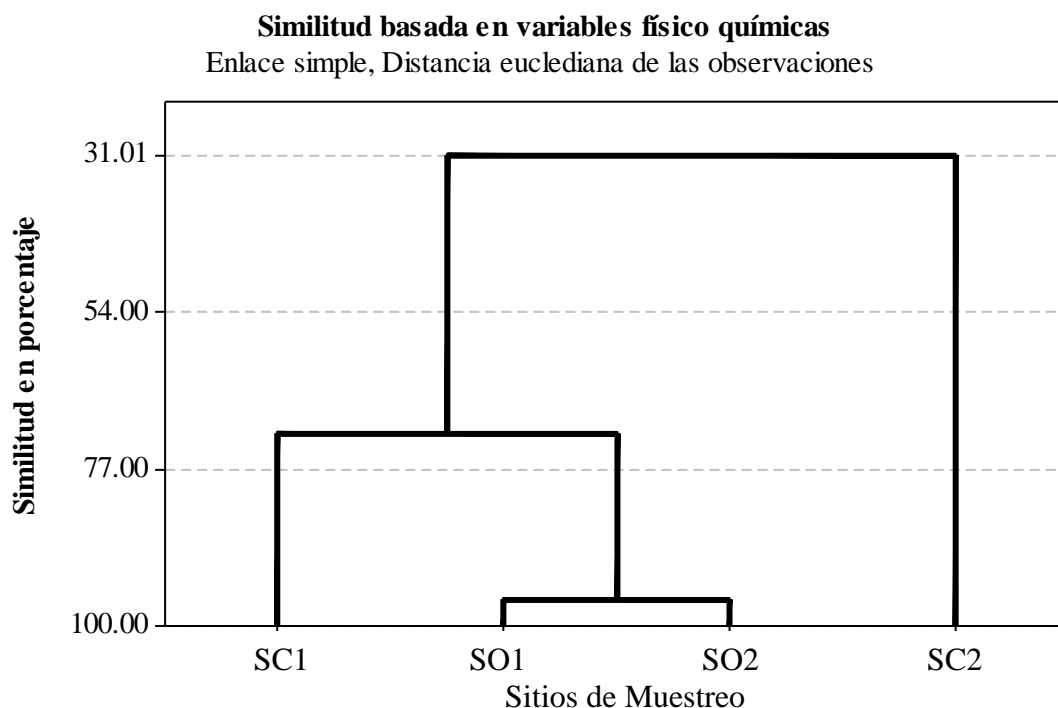


Figura 16: Análisis de similitud entre sitios basado en el valor medio de las variables físico químicas.

3.3 Análisis de composición taxonómica y atributos comunitarios de fitobentos y macrozoobentos

En las siguientes Figuras (Figuras 17 y 18), se ilustra las principales taxa de fitobentos presentes en los cuerpos de agua de la Quebrada de la Plata, estas comunidades son la base primaria de productividad energética *in situ* de los sitios de muestreo.

El análisis realizado de la flora fitobentónica, muestra diferencias en la composición de las especies dominantes en el sitio claro 1 y sitio oscuro 2, prevaleciendo en el primer caso el género *Synedra sp.* seguido de *Chlorella sp.* y en el segundo, predominan los organismos del género *Achnantes* (Figuras 17 y 18).

3.3.1 Fitobentos

Géneros de fitobentos en SC1

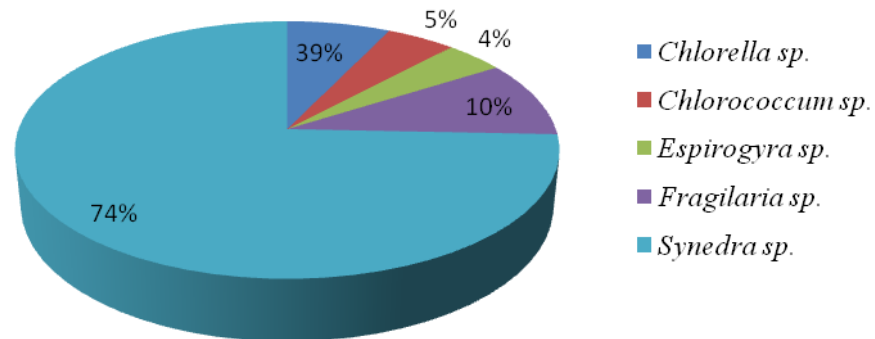


Figura 17: Fitobentos presente en sitio claro 1 (SC1).

Géneros de fitobentos en SO1

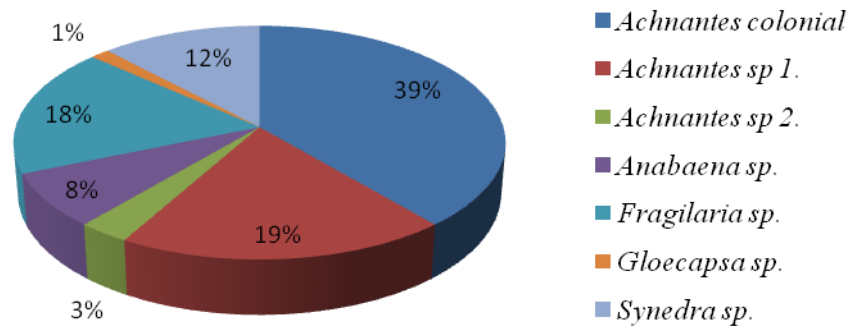


Figura 18: Fitobentos presente en sitio oscuro 1 (SO1).

3.3.2 Macrozoobentos

La fauna bentónica presente en la quebrada, da cuenta de la presencia de siete órdenes y 17 familias pertenecientes a la Clase Insecta. Destaca la presencia de Diptera y Trichoptera (Cuadro 12).

Cuadro 12: Taxa encontradas en muestreos puntuales en la Quebrada de la Plata desde 1995 a 2009.

	Sitio	SC1	SC2	SO1	SO2
Orden	Familia				x
COLEOPTERA	Dytiscidae	x	x	x	
	Elmidae	x		x	
DIPTERA	Athericidae	x		x	x
	Chironomidae	x	x	x	x
	Culicidae				x
	Dixidae	x	x	x	x
	Simulidae	x	x	x	x
EPHEMEROPTERA	Baetidae		x	x	x
	Lepthoplebiidae	x			
HEMIPTERA	Corixidae	x			x
MEGALOPTERA	Coridalidae	x		x	
ODONATA	Lestidae	x	x	x	x
	Aeshnidae				x
TRICHOPTERA	Hydroptilidae	x		x	
	Leptoceridae	x	x	x	x
	Calamoceratidae			x	
	Hidrobiosidae			x	

Se presenta un dendrograma de similaridad basado en las familias presentes en los cuatro sitios de muestreo (Figura 19).

El dendrograma estableció que las principales semejanzas se registraron entre el grupo 1, compuesto por los sitios SO1 y SO2 con un 88,8% de afinidad. El sitio SC1 mostró un nivel de semejanza de un 45,9% con el grupo 1, existiendo sólo un 16,1% de semejanza entre el sitio SC2 y el resto de los sitios de muestreo. La afinidad mostrada por la composición taxonómica de los sitios oscuros, refleja las preferencias ambientales de estos a condiciones de radiación solar disminuida y de protección por parte del dosel arbóreo, el cual en el caso de los trichópteros, les proporciona los elementos necesarios para la construcción de sus cápsulas larvales y pupales.

Similitud basada en macrozoobentos
Enlace simple, Distancia eucladiana

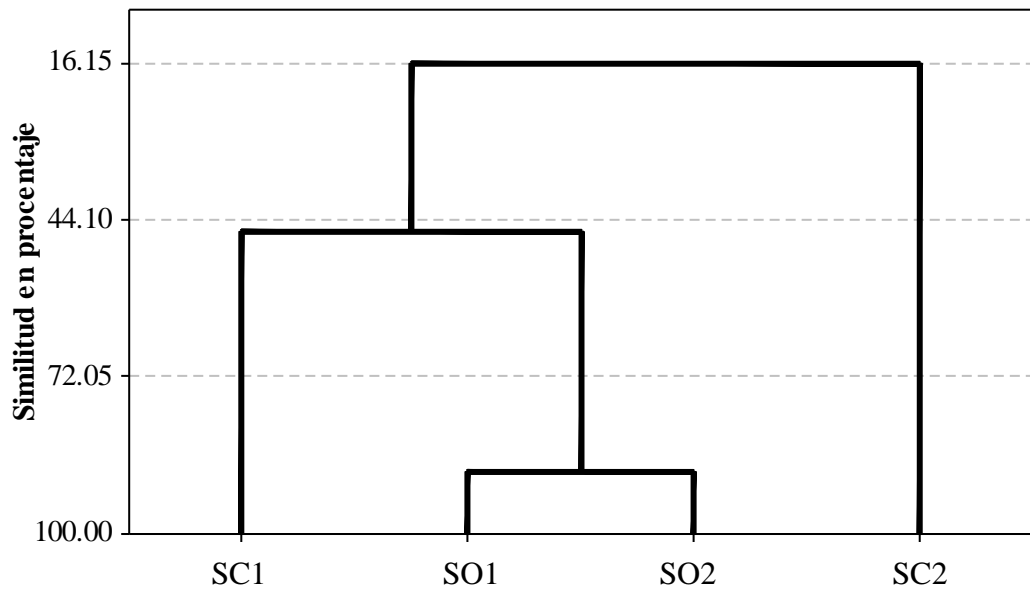


Figura 19: Análisis de similitud entre sitios basado en las familias de macrozoobentos

3.4 Evaluación del estado ecológico de la Quebrada de la Plata usando índices bióticos

3.4.1 Índice Biótico de Familia (IBF)

Se realizó una comparación entre los muestreos realizados con muestreador Surber y el muestreo realizado de forma manual el año 2009. (Cuadros 13 y 14 y Figuras 20 y 21)

Cuadro 13: Valores de IBF y estado ecológico de los cuatro sitios usando muestreo Surber.

Sitio	N	Valor IBF	Varianza	Desv. estándar	Mínimo	Máximo	<i>Estado ecológico</i>
SC1	6	2,82	0,20	±0,48	2,10	2,67	Excelente
SC2	5	2,90	0,80	±1,64	0,28	1,55	Excelente
SO1	4	3,15	3,14	±1,35	1,00	1,67	Excelente
SO2	4	2,87	2,55	±2,06	0,62	0,78	Excelente

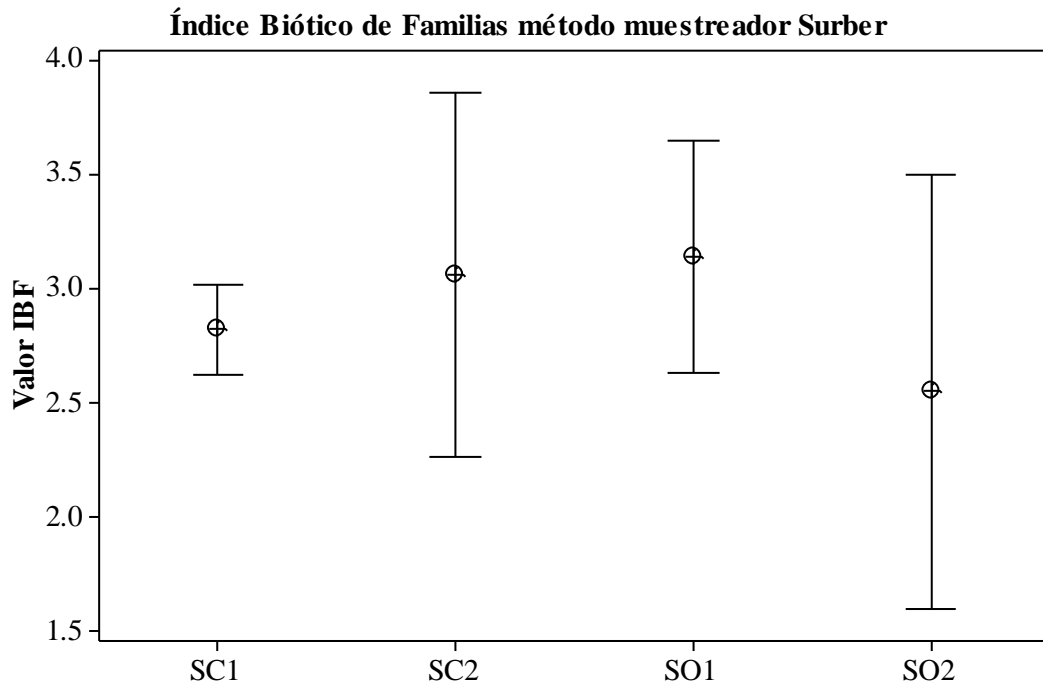


Figura 20: Resultado de la aplicación del IBF (media \pm error estándar) con muestreador Surber

Cuadro 14: Valores de IBF y estado ecológico de los cuatro sitios usando muestreo manual.

Sitio de muestreo	Valor IBF	<i>Estado ecológico</i>
SC1	2,81	Excelente
SC2	2,10	Excelente
SO1	3,17	Excelente
SO2	4,46	Muy Bueno

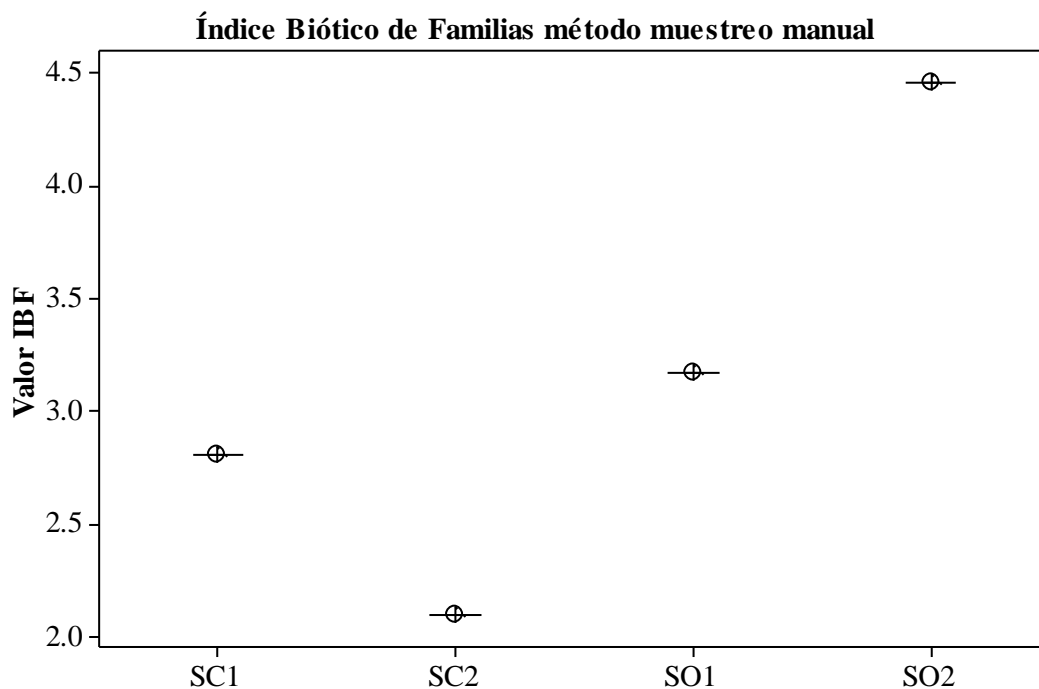


Figura 21: Resultado de la aplicación del IBF (media \pm error estándar) con muestreo manual.

A través de la aplicación de ambas metodologías (redes Surber y muestreo manual), se establece que el estado ecológico de los sitios estudiados es “Excelente” y en el caso de SO2 es “Muy Bueno” mediante el uso del muestreo manual.

3.4.2 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Los resultados obtenidos utilizando el índice BMWP se resumen en los cuadros 15 y 16 y Figuras 22 y 23.

Cuadro 15: Valores de BMWP y estado ecológico utilizando muestreos de red Surber.

Sitio	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Estado ecológico
SC1	25,9	11,7	11	41	Crítico
SC2	23,6	5,7	17	30	Crítico
SO1	39,9	21,7	11	69	Dudoso
SO2	36,0	21,5	15	66	Crítico

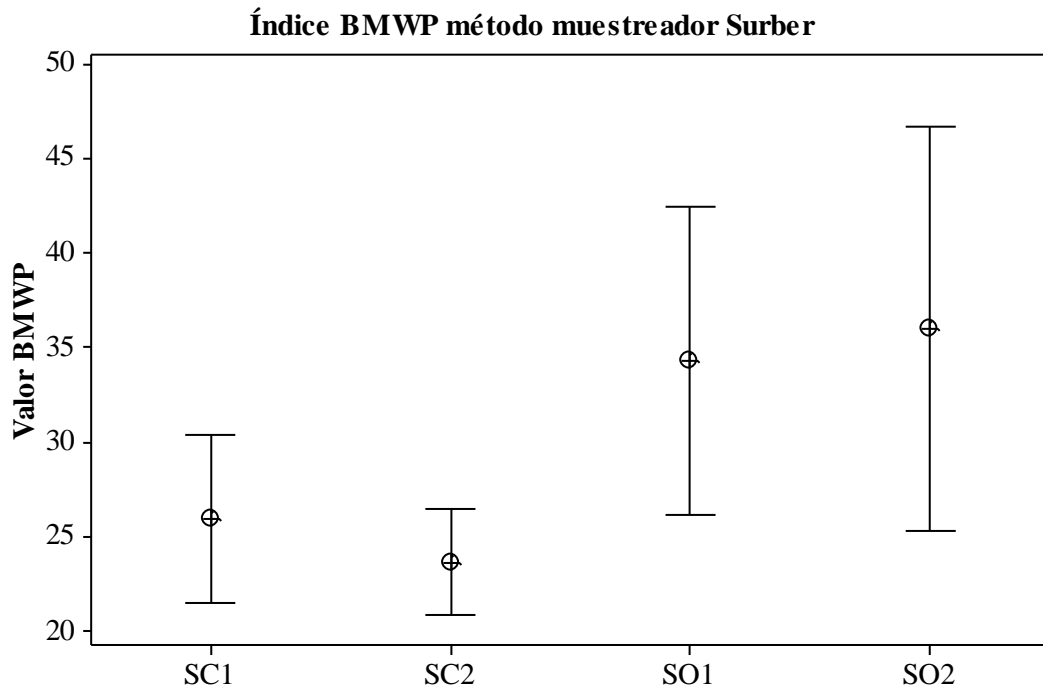


Figura 22: Resultado de la aplicación del índice BMWP (media \pm error estándar) con muestreador Surber.

Cuadro 16: Valores de Índice BMWP y estado ecológico con muestreo manual por sitio evaluado.

Sitio	Valor Índice BMWP	Estado ecológico
SC1	101	Bueno
SC2	36	Dudoso
SO1	84	Aceptable
SO2	33	Crítico

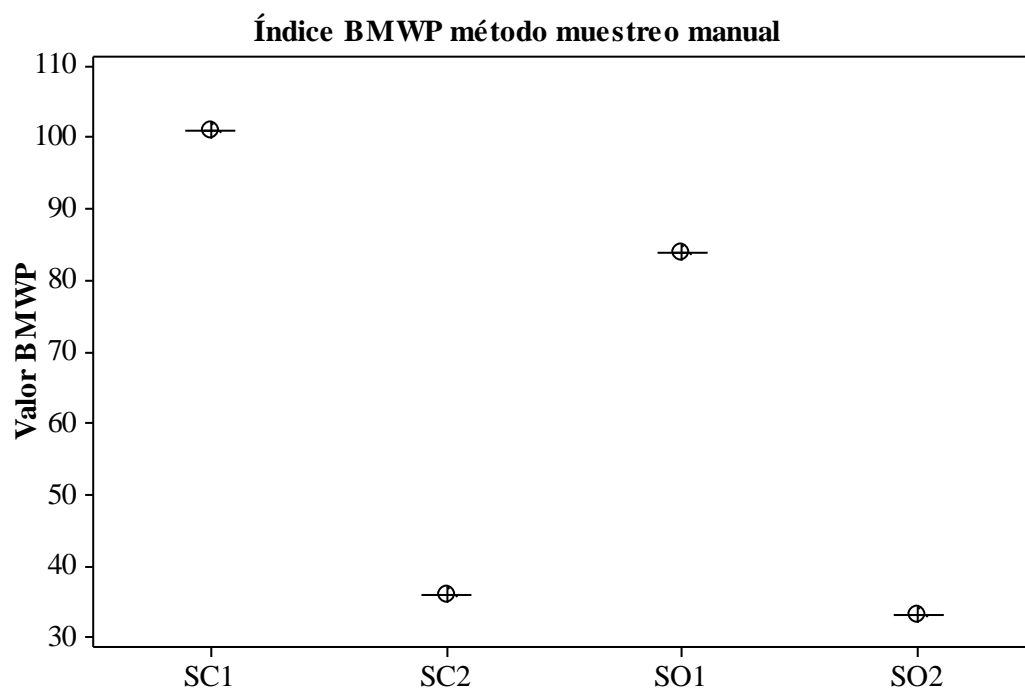


Figura 23: Resultado de la aplicación del índice BMWP (media \pm error estándar) con muestreo manual.

La aplicación del BMWP, muestra que el estado ecológico de los sitios es “Crítico a Dudoso” utilizando red Surber y varía de “Crítico a Bueno”, utilizando muestreo manual. En ambos casos, SO1 presenta comparativamente las mejores condiciones.

3.4.3 Asignación Promedio Por Taxon (ASPT)

Se realizó una comparación entre los resultados del Índice ASPT para las metodologías de muestreo con red Surber y Manual (cuadros 17 y 18).

Cuadro 17: Índice ASPT usando datos de muestreo Surber.

Sitio	ASPT Medio	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Condición de sitio
SC1	8,2	2,9	5,3	15,0	Sistema libre de contaminación
SC2	7,6	1,7	5,5	10,0	Sistema libre de contaminación
SO1	8,8	2,9	5,3	15,0	Sistema libre de contaminación
SO2	7,5	3,3	3,0	10,5	Sistema libre de contaminación

Cuadro 18: Índice ASPT usando datos de muestreo manual.

Sitio	ASPT	Condición de sitio
SC1	9,1	Sistema libre de contaminación
SC2	8,3	Sistema libre de contaminación
SO1	11,1	Sistema libre de contaminación
SO2	8.3	Sistema libre de contaminación

La condición de sitio establecida por ASPT, sistema complementario del BMWP, establece en ambos tipos de muestreo que el sistema es libre de contaminación, de manera independiente a los resultados mostrados por BMWP.

3.4.4 Dominancia de macroinvertebrados bentónicos

En las Figuras 24, 25, 26 y 27, se presenta la dominancia, riqueza y abundancia relativa de las taxas de macroinvertebrados bentónicos de la Quebrada de la Plata.

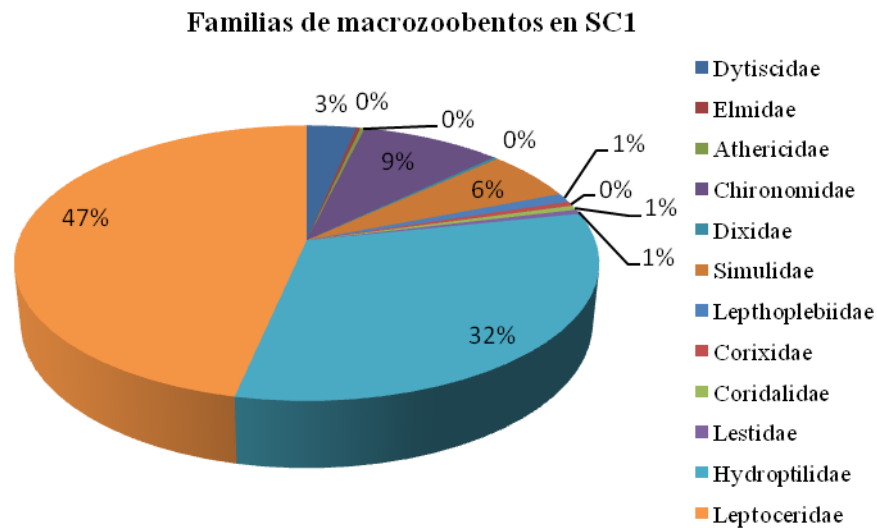


Figura 24: Familias de macrozoobentos presentes en el sitio SC1.

Familias de macrozoobentos en SC2

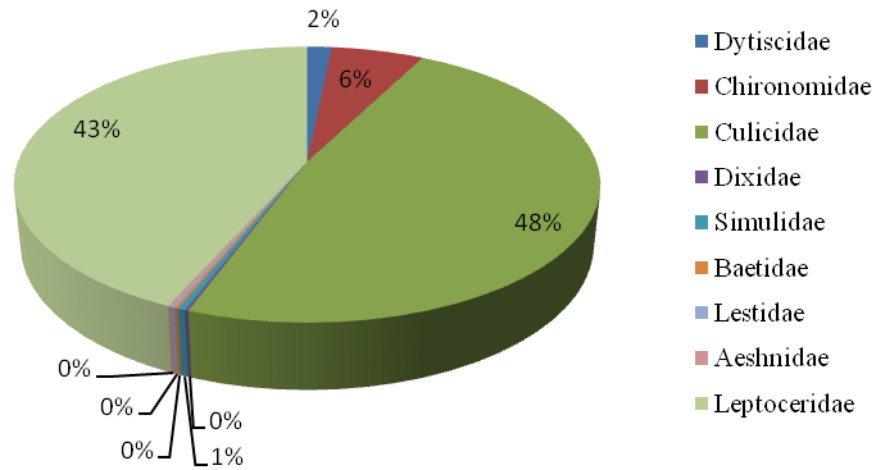


Figura 25: Familias de macrozoobentos presentes en el sitio SC2.

Familias de macrozoobentos en SO1

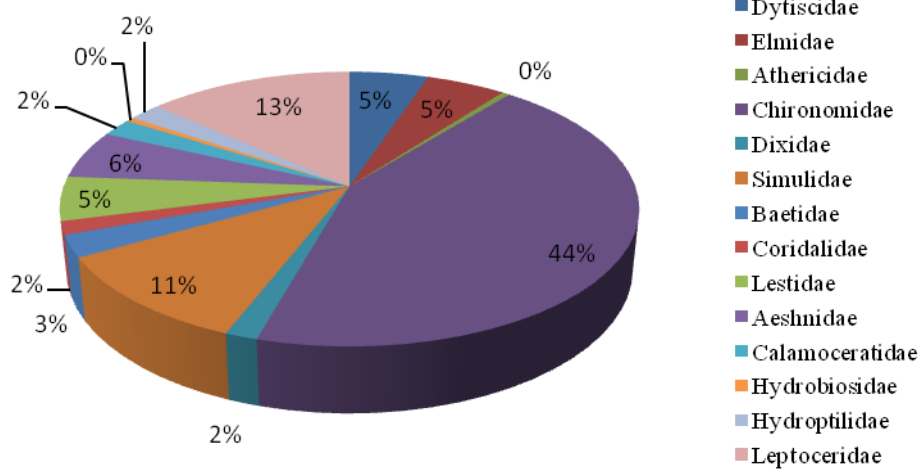


Figura 26: Familias de macrozoobentos presentes en el sitio SO1.

Familias de macrozoobentos en SO2

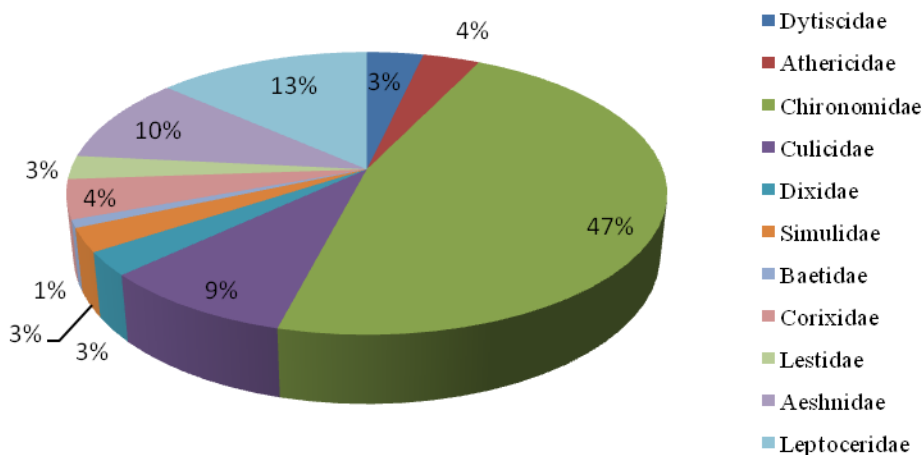


Figura 27: Familias de macrozoobentos presentes en el sitio SO2.

La dominancia muestra que en SC1, las familias dominantes corresponden a Leptoceridae (Trichoptera) con un 47%, seguido de Hydroptilidae (Trichoptera) con un 32%. Los Dípteros están representados por chironómidos y simúlidos que por sus características cosmopolitas están presentes en un 9 y 6%, respectivamente. La última familia dominante de este sitio lo compone la familia Dytiscidae, representando al Orden Coleoptera (Figura. 24). SC2 está prácticamente colonizada por los Órdenes Culicidae (48%) y Leptoceridae, encontrándose también ejemplares de Chironomidae en un 6% de las muestras (Figura. 25). SO1, está dominada principalmente por Chironomidae (44%), seguido de Leptoceridae (13%), Hydrobiosidae (11%), Coridalidae y Lestidae (Figura. 26) y SO2, presenta dominancia de Chironomidae (47%), Leptoceridae, Culicidae (9%), Aeshnidae y Corixidae (Figura. 27).

3.5 Mapas de estado ecológico y calidad ambiental

En los siguientes mapas (Figuras 28, 29 y 30) se grafican el estado ecológico de la quebrada, resultante de la composición de las comunidades bentónicas y la calidad ambiental, basada en las mediciones físico - químicas, mostrando sus zonas alta, medias y bajas.

3.5.1 Mapa de estado ecológico mediante la aplicación del IBF

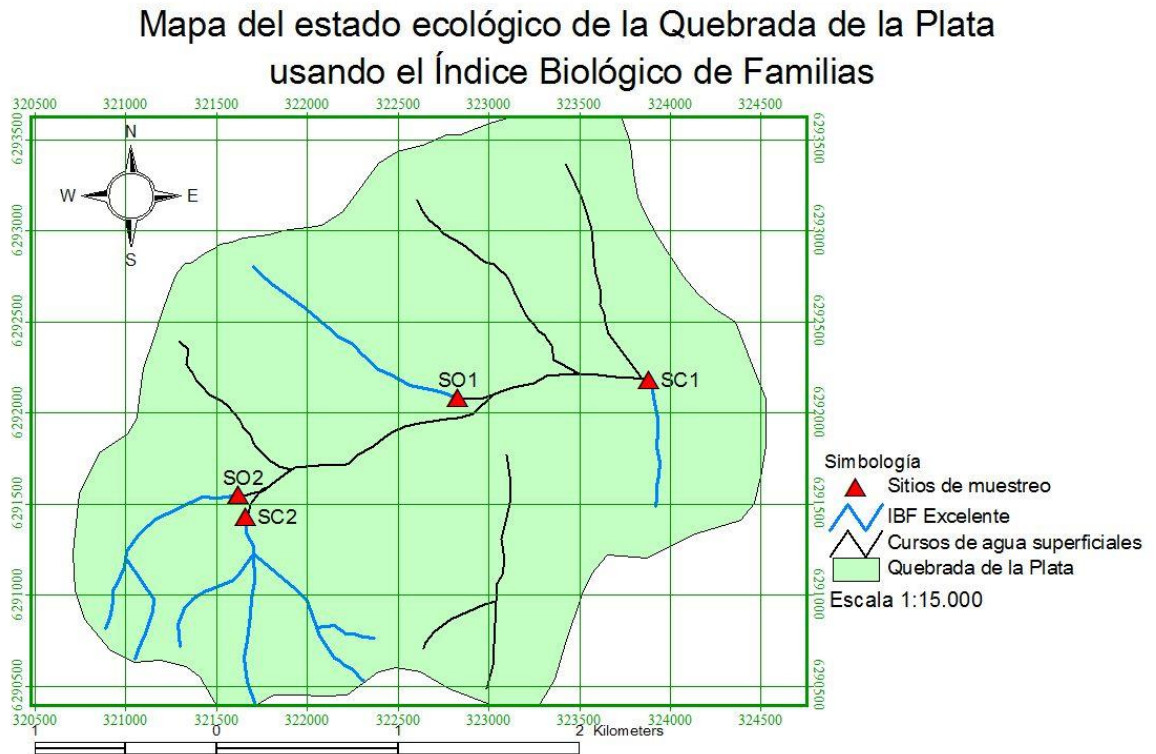


Figura 28: Carta del estado ecológico de la Quebrada de la Plata, mediante el IBF.

El estado ecológico de la quebrada, utilizando el IBF y el método de colecta de red Surber es “Excelente”. A través de la colecta manual, el curso de agua que escurre hasta SO2 se debiera presentar en color azul, el cual cataloga esa sección y su área de drenaje con estado ecológico de “Muy Bueno”

3.5.2 Mapa de estado ecológico mediante aplicación Índice BMWP

Los resultados presentados en la siguiente figura (Figura 29) detallan el estado ecológico de los cursos de agua y sus áreas de drenaje, usando el índice BMWP y muestreo manual.

Mapa del estado ecológico de la Quebrada de la Plata obtenida mediante Índice BMWP

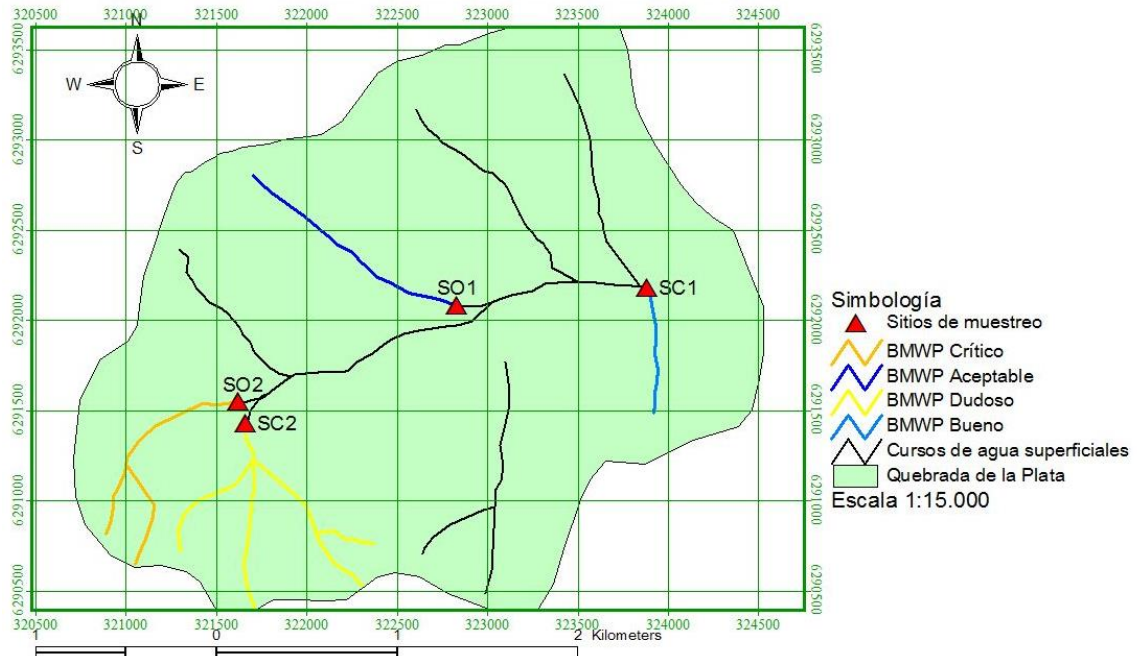


Figura 29: Carta del estado ecológico de la Quebrada de la Plata, mediante el Índice BMWP.

Se observa que utilizando el índice BMWP, las zonas altas de la quebrada presentan estados ecológicos “Críticos” (SO2) y “Dudoso” (SC2), en comparación a SO1 que es “Aceptable” y SC1 la estación baja, que su estado es “Bueno”.

3.5.3 Mapa de calidad de las aguas utilizando medias de variables físico-químicas

La figura 30, presenta la calidad de los cursos de agua de la quebrada contrastada con las exigencias de la normativa chilena de la NCh. 1.333 y Guía COMANA para el establecimiento de las NSCA.

Mapa del estado ecológico de la Quebrada de la Plata usando aproximación Físico-Química

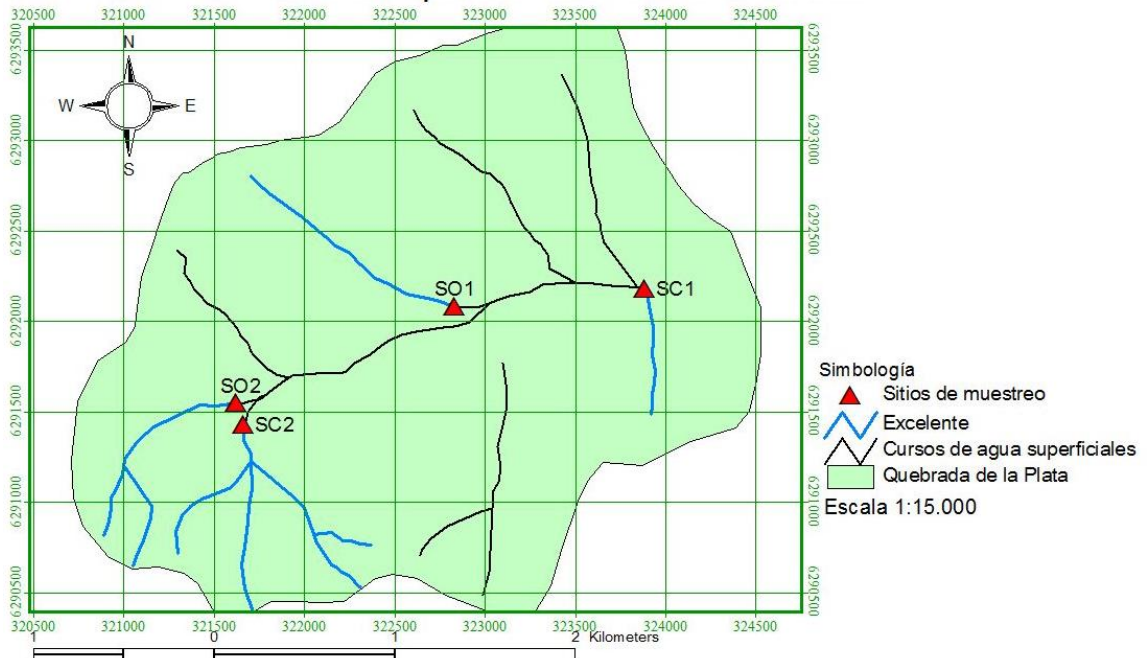


Figura 30: Carta del estado ecológico de la Quebrada de la Plata, mediante aproximación físico química.

Al evaluar la calidad de las aguas de la quebrada con las exigencias establecidas en la normativa ambiental vigente, se establece que cumple con los requisitos para su uso de regadío y los aprovechamientos establecidos en la NCh 1.333, que contemplan exigencias menores como las actividades recreativas.

4. DISCUSIÓN

En Chile, los diagnósticos y clasificación de calidad de las aguas se realizan usando variables físico - químicas obligatorias, en estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas (DGA), dependiente del Ministerio de Obras Públicas (MOP), contrastando los resultados con la normativa vigente, en especial la Norma Chilena 1.333 of. 1978 (INN, 1978). (MOP, DGA, 2004). Este tipo de estudios puede llevarse a cabo debido a la factibilidad técnica de disponer de redes de monitoreo permanentes y con información actualizada en tiempo real. Situación contraria ocurre en las pequeñas cuencas hidrográficas, carentes de estaciones de aforo y de calidad de aguas, donde se debe utilizar laboratorios e instrumentos de medición portátiles (Martínez, 1999).

Basados en los resultados, se establece que dada la compatibilidad existente entre las aproximaciones físico químicas y las biológicas, es factible establecer el estado ecológico de cuencas de tamaño inferior a 9 Km² usando índices biológicos a nivel de familia de comunidades de macroinvertebrados bentónicos, dando respuesta a las normas actuales que validan estas metodologías. La tendencia internacional a utilizar el nivel de familia en los estudios de estado ecológico a nivel de este tipo de cuenca puede ser aplicada en Chile. Las ventajas proporcionadas al utilizar familias son minimizar los costos en términos de tiempo y monetario (Figueroa, 2005)

La Quebrada de la Plata dada su orientación Oeste-Este, tiene marcados contrastes de luminosidad, los que se ven reflejados principalmente en las composiciones vegetacionales de las laderas de exposición Sur y Norte. Esta configuración, permite que en una pequeña superficie (8,64 Km²) se pueda encontrar diversos tipos de hábitat, observándose que las diferencias de las composiciones vegetacionales resultan en dos tipos de escurrimientos superficiales, el de ladera de exposición Sur, que se extiende por un mayor periodo de tiempo y la Norte, cuyos cauces, rara vez alcanzan el fondo de la ladera producto de la menor cobertura vegetal. Siguiendo a Donoso (2008), se confirma que la topografía del lugar es uno de los factores importantes en la formación de microclimas, siendo la pendiente y la exposición, los factores que producen los cambios más importantes en la intensidad luminosa.

Las mediciones de la variable radiación solar registradas (en los sitios de muestreo), indican que la radiación solar es más elevada en los sitios claros respecto a los oscuros, como era esperable. Según Donoso (2008), la vegetación es capaz de producir variaciones de gran importancia ecológica en la intensidad lumínica, contribuyendo en gran medida, junto con la topografía, a la creación de microclimas. Mientras más densa es la vegetación, menor es la intensidad luminosa bajo ella. En bosques densos, la intensidad luminosa puede llegar a un 1% de la luz registrada a pleno sol. En el caso de la Quebrada de la Plata, en promedio, la radiación solar que incide en los sitios oscuros alcanza a un 24,8% de la radiación que se registra bajo similares condiciones estacionales a pleno sol, lo que crea distintos hábitat para los organismos bentónicos como se muestra en los dendrogramas de similitud.

Utilizando los parámetros físico - químicos, se estableció mediante dendrograma de similitud que las principales semejanzas, se registraron entre los sitios SO1 y SO2 con un 96,0% de afinidad. El sitio SC1 mostró un nivel de semejanza de 71,1% con el grupo 1,

existiendo sólo un 31,0% de semejanza entre el sitio SC2 y el resto de los sitios de muestreo. Los factores que explican estas diferencias son principalmente la radiación solar y la temperatura. Se observa que en los cauces de orden inferior, como es el caso de la Quebrada de la Plata, existe una alta sensibilidad a las condiciones locales de cobertura vegetal. Lo que coincide con Schworbel (1983b) al explicar los flujos de energía en los pequeños arroyos, Vannote (1980) en su concepto de continuo fluvial y Valdovinos (en CONAMA, 2008) al presentar los aportes energéticos al cauce de la vegetación de ribera.

La temperatura, principalmente en los sistemas lóticos, varía en las escalas de tiempo diarias y estacionales, presentando, además, variaciones entre sitios y elevaciones (Allan, 1995). Se observó que esta variable es más alta en los sitios claros que en los sitios oscuros, siendo más baja en las estaciones de mayor altitud SC2 y SO2. Respecto a su relación con la NCh 1.333 y la Guía de Establecimiento de NSCA, esta variable cumplió con la normativa vigente puesto que sus rangos estaban en el valor natural con variaciones menores a 3°C por sobre y por debajo de la media.

En términos de conductividad y salinidad, los valores son bajos comparados con las normas chilenas que establecen un límite de calidad (para aguas de calidad excepcional) con una conductividad menor a 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este valor límite, no ha sido sobrepasado en ninguno de los muestreos. Destacan los sitios SO1 y SO2 por tener, además, bajas temperaturas y elevado valor de oxígeno disuelto, esto a pesar de presentar bajos caudales y algunas zonas de remansos.

El oxígeno es uno de los factores limitantes para el desarrollo de la fauna presente en ríos y arroyos. Es así como los macrozoobentos dependen directamente de esta variable sobre todo aquellos que son sensibles a las perturbaciones y la contaminación. En estos organismos, el oxígeno es transportado a través de las branquias y otras estructuras respiratorias por difusión. Esta tasa de difusión es dependiente de los gradientes de concentración, resultando en que la biota de los sistemas lóticos en varias formas depende de la disponibilidad de oxígeno. En la normativa chilena específicamente la NCh 1.333, el valor mínimo de esta variable es 5 mg/L para el establecimiento de vida acuática. En las mediciones realizadas en los sitios de muestreo, se observó que las medias de concentración superaban ampliamente los requisitos mínimos de esta norma. La guía CONAMA para el establecimiento de las NSCA, es aún más exigente estableciendo que las aguas de calidad excepcional deben sobrepasar los 7,5 mg/L, rango superado principalmente en los sitios SC2, SO1 y SO2, mientras que SC1 que fue la estación ubicada en la menor altura, en promedio registró 7,4 mg/L. No obstante, este parámetro indicaría un buen estado de sitio del sistema de la Quebrada de la Plata. Villagrán *et al* (2006) determinaron que la abundancia relativa y la diversidad de especies se relacionan positivamente con la naturaleza del cauce y el contenido de oxígeno en el agua. Esta última característica fue la que mejor predijo la estructura de la comunidad de insectos bentónicos.

Del análisis general de los parámetros físicos y químicos de la quebrada, contrastado con la normativa ambiental chilena establecida en la NCh 1.333, of. 77, da cuenta del buen estado en que se encuentra la cuenca.

Respecto a las comunidades bentónicas, del análisis de fitobentos, la taxa dominante de SC1 es *Synedra sp.* (74%), fitobento resistente a la radiación solar directa, mientras SO1 presenta dominancia de *Achnantes sp.* (61%), organismos muy eficientes en productividad en condiciones de penumbra. Resultados similares han sido descritos por Cabrera *et al* (1997) y López y Fernández (2007)

La fauna bentónica presente en la quebrada da cuenta de la presencia de siete órdenes y 17 familias pertenecientes a la Clase Insecta. Destaca la presencia de Diptera y Trichoptera.

De los resultados de la aplicación del ÍBF realizados con muestreador Surber, se establece que en los cuatro sitios de muestreo el *estado ecológico* es “Excelente”. Caso similar ocurre con el muestreo manual, salvo que el sitio SO2 que presenta un *estado ecológico* de “Muy bueno”. En relación a los resultados del Índice BMWP, éste se comportó de manera distinta al IBF. El uso del BMWP, estableció que la condición general de la cuenca es “Crítica a Dudosa”, tras el uso de la metodología de red Suber. Sin embargo, esta situación cambia si se usa un muestreo manual que es más exhaustivo, encontrándose que los sitios SC1 y SO1 están en buenas y aceptables condiciones, respectivamente, y que en los sitios SC2 y SO2, las condiciones son “Dudosas o Críticas”. La ASPT, complemento del BMWP, establece indistintamente del método empleado, que el sistema está libre de contaminación.

En la Quebrada de la Plata destaca la presencia de Trichoptera, encontrándose ejemplares de Calamoceratidae (*Phylloicus sp.*), Hydroptilidae y Leptoceridae (*Triplectides jafflueli* y *Brachicetodes sp.*). Las larvas de Calamoceratidae destacan por la construcción de refugios planos que se mimetizan fácilmente con el medio en que habitan que es de preferencia aguas estancadas o zonas de ríos que presenten tales características, situación que ocurre en las estaciones oscuras de la Quebrada de la Plata, donde sus cápsulas son construidas con trozos de hojas que caen al cauce. Hydroptilidae es considerado un grupo de trichópteros enanos ya que su tamaño es en general entre 1 a 4 mm, siendo especialmente pequeños en sus primeros estadios larvales, encontrándose en las estaciones claras junto a *Brachicetodes sp.* La presencia de larvas de algunas familias de tricópteros señalan, que el agua está poco contaminada, pero las condiciones de aguas corrientes y frías son los ambientes que presentan mayor diversidad de especies lo que les otorga un gran potencial como bioindicadores, y, sirviendo en este caso, como modelo para otras quebradas costeras de las zonas semiáridas mediterráneas. Según Rojas (en CONAMA, 2008), los tricópteros son un orden de insectos holometábolos que en sus estados juveniles (huevo, larva y pupa) habitan en de arroyos, ríos, lagunas y lagos. Sus larvas presentan glándulas productoras de seda para fabricar tejidos, sea para construir cápsulas, añadiéndole materiales reforzantes como granos de arena, arenisca o trocitos vegetales, o excepcionalmente usando la tela como filtro para interceptar detritus alimenticio en la corriente.

En este trabajo, los ejemplares de Anisoptera (Odonata) fueron encontrados en los pozones que conforman las estaciones oscuras. De acuerdo a Camousseight (en CONAMA, 2008), el suborden Anisoptera presenta ninfas grandes, gruesas, habitualmente de colores oscuros, camufladas con el barro de los fondos de charcos y ríos, pasan inadvertidas cazando y escapando de depredadores; no presentan branquias laminares en el extremo del abdomen sino rectales al interior del intestino. Las dificultades de la identificación de sus ninfas, es que no existen claves para Chile, realizándose la descripción taxonómica básicamente hasta

el nivel de suborden (conv. pers. Dr. A. Camousseigh diciembre 2009). Su importancia como bioindicadores se establece a nivel de familia, existiendo en este Orden desde familias sensibles a otras muy tolerantes a la contaminación (Hilsenhoff, 1988).

En SO1 se encontró ejemplares de *Archichauloides sp.* (Megaloptera) Según Romero (en Fernández y Domínguez, 2001), se caracterizan por su gran tamaño y por presentar el estadio preimaginal de larva acuático. Sus larvas son alargadas, moderadamente aplanadas midiendo entre 25 y 70 mm cuando están maduras. Para la región neotropical y Chile, se describen solo dos familias Sialidae y Coridalidae esta última presente en la Quebrada de la Plata. Se caracterizan por ser individuos intolerantes a la contaminación. Comúnmente, se les encuentra asociados a pH cercanos a 5,5 correspondientes a aguas algo alcalinas. Estos organismos son considerados como buenos indicadores de procesos ambientales (Mackie, 2001).

En la quebrada, se encontró dípteros en todos los sitios. En Chile hay 3.000 especies descritas (Elgueta, en CONAMA 2008) y aproximadamente el 10% de todas sus especies son acuáticos en estado larval. Los huevos y pupas de estas especies también son acuáticos, mientras que los adultos son siempre terrestres. Su importancia como bioindicadores en la Quebrada de la Plata, abre futuras interrogantes sobre su condición amplia de presencia en estaciones con plena radiación solar y las suficientemente oscuras.

5. CONCLUSIONES

El uso de macrozoobentos como bioindicadores de estados ecológicos, ofrece una nueva perspectiva para estudiar eventos en pequeñas cuencas, no sólo considerando sus propiedades físicas y químicas.

La Quebrada de la Plata, y otras quebradas costeras pequeñas (v.gr. Quebrada de Córdoba) son aptas para ser estudiadas analizando su biota, en reemplazo del estudio para grandes cuencas que cuentan con redes de monitoreo sistemáticas de propiedades físico-químicas.

Las caracterizaciones físicas y químicas realizadas en esta cuenca, muestran que sus condiciones, reflejadas en la calidad del agua, son muy buenas. Destacando que la baja intervención antrópica ayuda al mantenimiento de este tipo de ecosistemas de alta fragilidad, siendo indispensable para ser usada como un referente de la biota natural en las zonas mediterráneas áridas y semiáridas.

Se desprende que las condiciones de luminosidad presentes en los sitios de muestreo influyen en las particularidades de los sitios. Encontrándose mayor similitud entre las estaciones oscuras y mayores diferencias entre las estaciones con directa radiación solar.

Se establece que la composición de las comunidades de fitobentos y entomofauna bentónica, dependen de la exposición a la radiación solar, constatándose que en condiciones de penumbra se encuentra fauna similar entre sí y que las estaciones con radiación solar directa, presentan diferencia evidentes, independiente de la ubicación altitudinal en el cauce.

Se establecen discrepancias entre los resultados obtenidos de los Índices IBF y ASPT, que catalogan la cuenca en muy buen estado ecológico, pero que contrastan con los del BMWP, que establece las condiciones de la cuenca como dudosa o crítica. Esto refuerza la necesidad de utilizar diversos índices simultáneamente, para así descartar interpretaciones erróneas, sobre todo en ecosistemas tan particulares como las pequeñas cuencas. Aquí, se puede encontrar una baja riqueza específica de individuos adaptados a condiciones ambientales prístinas, no obstante, la cuenca presenta un estado ecológico muy bueno determinado por la calidad química de sus aguas y por la aplicación de distintos índices bióticos, que dan cuenta de los procesos que ocurren en sus laderas.

Los nuevos estudios que puedan incorporarse para los mismos sitios, permitirán afinar su aplicación en la cuenca, sin embargo, se obtiene una visión general del estado ecológico que servirá como línea de base para estudios posteriores. En este sentido, la aplicación de los Índices Bióticos propuestos se transforma en herramienta de gestión, que permitirá evaluar si las medidas que se tomen para mejorar o mantener la calidad actual de la Quebrada de la Plata, tendrán efectos positivos para la conservación de la riqueza natural de este lugar como excelente fuente de estudios.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ALBA-TERCEDOR, J. y SÁNCHEZ, A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). Departamento de Biología Animal, Ecología y Genética. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. España. 6 p.
- ALLAN, D. 1995. Stream ecology structure and function of running waters. Chapman y Hall. Oxford. Great Britain. 388 p.
- BODE, R.; NOVAK, M. y ABELLE, L. 1996. Quality assurance work plan for biological stream monitoring in New York State. NYS Department of Environmental Conservation, Albany, NY. 89p.
- CABRERA, S.; LÓPEZ, M. y TARTAROTTI, B. 1997. Phytoplankton and zooplankton response to ultraviolet radiation in a high-altitude Andean lake: short-versus long term effects. *Journal of Plankton Research*. Oxford. Vol. 19 11: 1565-1582
- CAMOUSSEIGHT, A. y VERA, A. 2007. Estado del conocimiento de los Odonata (Insecta) de Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural*, 56: 119-132.
- CHUTTER, F. 1972. The rapid biological assessment of streams and river water quality by means of macroinvertebrate communities in South Africa. In: UysMC(ed) *Classification of rivers and environmental health indicators*. Water Research Commission Report N° TT 63/94, South Africa, pp. 217–234
- CONAMA. 2005. Guía CONAMA para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas. Santiago. 18 p.
- CONAMA. 2008. Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos. Ocho Libro Editores. (Santiago de Chile), 640 p.
- DONOSO, C. *Ecología Forestal*. 2008. El bosque y su medio ambiente. Editorial Universitaria, Santiago. 369 p.
- FERNÁNDEZ, H. y DOMINGUEZ, E. 2001. Guía para la determinación de artrópodos bentónicos Sudamericanos. Serie Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. 282 p.
- FIGUEROA, R.; ARAYA, E.; PARRA, O. y VALDOVINOS, C. 1999. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua. VI Jornadas del CONAPHI – Chile. Santiago, Chile.
- FIGUEROA, R.; VALDOVINOS, C.; ARAYA, E. y O. PARRA. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. (7):275-285.

- FIGUEROA, R.; RUÍZ, V.; ENCINA-MONTOYA, F. Y PALMA, A. 2005. Simplificación en el uso de macroinvertebrados en la evaluación de la calidad de las aguas en sistemas fluviales. *Interciencia*. Caracas. Dic 2005, VOL. 30 (12): 770-740
- FIGUEROA, R.; PALMA, A.; RUIZ, V. y NIELL, X. 2007. Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural* (80): 225-242.
- FRANCKE, S. 2002. La situación del manejo de cuencas en Chile. Programa Nacional de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Corporación Nacional Forestal. Ministerio Agricultura. Santiago, Chile. 29 p.
- GAJARDO, R. 1994. La vegetación natural de Chile: clasificación y distribución geográfica. Santiago, Editorial Universitaria. Santiago. 166 p.
- GUTIÉRREZ, J. 2005. Estudio del ensamble de peces de la Subcuenca del río Traiguén, IX Región, y su relación con la calidad del agua. Tesis para optar al grado de Licenciado en Recursos Naturales. Facultad de Ciencias, Universidad Católica de Temuco.
- HELLAWELL, J.M. 1978. Biological surveillance of rivers. Water Research Center, Stevenage, 332 p.
- HILSENHOFF, W. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of North American Benthological Society*. 7 (1) 65-68.
- ISO, 1985. Métodos de muestreo biológico. Guía para el muestreo biológico con red de macroinvertebrados bentónicos. ISO 7828: 1985
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA). 2009. Informe Nacional Agrometeorológico. 104 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1978. NCh 1.333 Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. 11 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN). 1994. NCh 410 Calidad del agua. Vocabulario. 68 p.
- KOLKWITZ, R. y MARSON. 1908. Ökologie der pflanzlichen Saprobien. *Ver. Deutsche. Bot Ges.* 26^a: 505-519.
- HEDIN, H. y CAMPOS, H. 1991. Importance of small streams in understanding and comparing watershed ecosystem processes. *Revista Chilena de Historia Natural*. (64): 583 – 596.

- LÓPEZ, M. 2005. Gestión Democrática de Cuencas Hidrológicas. Departamento de Manejo de Recursos Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago. 11 p.
- LÓPEZ, M y FERNÁNDEZ, O. 2007. Macrozoobentos: Bioindicadores en un ecosistema forestal mediterráneo semiárido, Región Metropolitana, Chile. IV Congreso Sociedad Chilena de Limnología. Santiago, 22-25 de octubre de 2007. 5.
- LÓPEZ, M y GÓMEZ, C. 2002. Comunidades Fluviales: indicadoras de factores ambientales en un ecosistema forestal mediterráneo árido. Primer Congreso Chileno de Cs. Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Octubre 2002.
- MACKIE, G. L. 2001. Applied aquatic ecosystem concepts. Kendall/Hunt Publishing Company. XXV, 744 p.
- MANCILLA, G.; VALDOVINOS, C.; AZÓCAR, M.; HENRIQUEZ, M. y FIGUEROA, R. 2009. Aproximación multimétrica a la evaluación de la calidad del agua en cuencas con diferentes niveles de intervención antrópica. *Interciencia* 34 (12): 1-8.
- MARAMBIO, C. 2001. Formulación de indicadores hidrobiológicos de contaminación en cursos fluviales chilenos. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile, Facultad de Cs. Forestales. Santiago, Chile. 83 p.
- MARTÍNEZ, V. 1999. Simulación y comprobación experimental de la escorrentía superficial en pequeñas cuencas no aforadas mediante modelos distribuidos implementados sobre SIG. Tesis doctoral. Departamento de Construcción y Vías Rurales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. España. 453 p.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP). 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Santiago. 400 p.
- NATIONAL WATER COUNCIL. 1981. River Quality. The 1980 survey and future outlook. NWC, London.
- ODUM, E. 1972. Ecología. Ed. Interamericana. México, D.F. 497 p.
- ORELLANA, M. 2006. Bases para el desarrollo ecoturístico de la Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Facultad de Cs. Agronómicas. Universidad de Chile. 81 p.
- PLAFKIN, J.; BARBOUR, M.; PORTER, K.; GROSS, S. y HUGHES, R. 1989. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C.
- POBLETE, H. 2004. Efecto de la exposición y de la pendiente en algunas propiedades del suelo, flora y vegetación de la Quebrada de la Plata, Región Metropolitana.

- Memoria para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Cs. Agronómicas. Universidad de Chile. 98 p.
- QUADFLIEG, A. 2010. Objetivos de la directiva marco del agua: Eficiencia de las medidas. VII congreso de la Sociedad Chilena de Limnología. Villarrica. 25-29 de octubre. 14.
- RIQUELME, 2008. Evaluación del uso de líquenes como indicadores biológicos de contaminación atmosférica en la Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Ingeniero Forestal. Facultad de Cs. Forestales. Universidad de Chile. 67 p.
- ROJAS, F. 2006. Estado del conocimiento de los Trichoptera en Chile. *Gayana* 70 (1): 65-71.
- ROLDAN, G. y RAMIREZ, J. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. 442 p.
- ROSENBERG, D. y RESH, V. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York. 488 p.
- ROSENBERG, D. 1998. A national aquatic ecosystem health program for Canada: We should go against the flow. *Bull. Entomol. Soc. Can. Canada*. 30(4): 144-152.
- SANTIBAÑEZ, F. Y URIBE, J. 1990. Atlas agroclimático de Chile. Regiones V y Metropolitana. Santiago, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Ingeniería y Suelos, Universidad de Chile. 65 p.
- SERVICIO AGRÍCOLA GANADERO (SAG). 2006. Manual de evaluación de la calidad del agua. Santiago. 93 p.
- SIMONETTI, J.; ARROYO, M.; SPOTORNO, A. y LOZADA, E. (eds). 1995. Diversidad biológica en Chile. Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología, Santiago, Chile. 364 p.
- SCHLEGEL, F. 1963. Estudio Florístico y fitosociológico de la Quebrada de la Plata, Hacienda Rinconada de lo Cerda, Maipú. Universidad de Chile. 221 p.
- SCHWORBEL, J. 1983a. Zonación de las comunidades versus el concepto de continuidad de los ríos. Instituto de Limnología, Universidad Konstanz. Alemania. 13 p.
- SCHWORBEL, J. 1983b. Metabolismo y flujo de energía de las aguas corrientes. Boletín Informativo Limnológico N°7. Inst. Zool. Universidad Austral. 22 p.
- SILIGARDI, M. 2007. Índice di funzionalità fluviale. CISBA - Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale. Ciudad. 340 p.

- STRAHLER, A. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and networks; in Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York. 780 p.
- SUÁREZ, M.; MELLADO, A.; SÁNCHEZ-MONTOYA, M y VIDAL-ABARCA, R. 2005. Propuesta de un índice de macrófitos (IM) para evaluar la calidad ecológica de los ríos de la cuenca del Segura. *Limnetica*, 24(3-4): 305-318.
- TAPIA, D. 2005. Propuesta de intervenciones silviculturales con fines de rehabilitación en la Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Facultad de Cs. Forestales. Universidad de Chile. 86 p.
- TOLÁ, J. 1996. Zoología. Ediciones Mistral S.A. Barcelona, España. 94 p.
- VILA, I.; VELOSO, A.; SCHLATTER, R y RAMIREZ, C. 2006. Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile. Programa Interdisciplinario de Estudios en Biodiversidad. Universidad de Chile. Editorial Universitaria. Santiago. 187 p.
- VANNOTE, R.; WAYNE, M.; CUMMINS, K.; SEDELL, J. y CUSHING, C. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.
- VILLAGRÁN-MELLA, R.; AGUAYO, M.; PARRA, L. y GONZÁLEZ, A. 2006. "Relación entre características del hábitat y estructura del ensamble de insectos en humedales palustres urbanos del centro-sur de Chile". *Revista Chilena de Historia Natural*. 79 (2):195-21.
- WAIS, I. 1983. Apuntes de Limnología Práctica. Laboratorio Práctico de Riñihue. Instituto de Zoología. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 8.
- WETZEL, R. y LIKENS, G. 1979. *Limnological analyses*. W. B. Saunders Company. Boston. 357 p.

7. ANEXOS Y FOTOGRAFÍAS

Cuadro 19: Variables físico - químicas de la Quebrada de la Plata

Variable	Año	Sitio de muestreo			
		SC1	SC2	SO1	SO2
Temperatura (°C)	1995	24,0		15,0	
	1996	20,5			
	1997	10,1		11,5	
	1998	13,0		12,0	
	2002	13,5		12,6	
	2006	12,0	13,0	12,0	13,0
	2007	20,9	14,0	13,0	12,0
	2008	14,0	20,0	11,0	17,0
	2009	10,0	10,5	10,0	10,0
	Media	15,3	14,4	12,1	13,0
Color U.C.	1995			15,0	
	1997	10,0			
	1998	10,0		10,0	
	2002	13,0	10,0	12,5	10,0
	2006	10,0	10,0	10,0	11,0
	2008	25,0	10,0	0,0	10,0
	Media	13,6	10,0	9,5	10,3
Turbiedad F.T.U.	1997	0,0		8,0	
	1998	0,0	0,0	8,0	0,0
	2002	0,0	0,0	0,0	0,0
	2008	0,0	0,0	0,0	0,0
	Media	0,0	0,0	4,0	0,0
Radiación $\mu\text{E}/\text{m}^2$	1995	0,8		0,1	
	1996	0,6			
	2006	0,6	0,7	0,1	0,3
	2008	0,7		0,0	
	Media	0,7	0,7	0,1	0,3
C.E. $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C	2007	499	272	401	402
	2009	456	348	450	459
	Media	478	310	426	431
S.D.T. mg/L a 105 °C	2009	368			

Cuadro 20: Variables físico - químicas de la Quebrada de la Plata (Continuación)

pH	1995	7,5		7,6	
	1996	7,3			
	1997	7,8		7,6	
	1998	7,9		7,4	
	2002	7,7		7,6	
	2006	7,8	7,3	7,3	7,6
	2007	8,1	6,9	5,6	4,5
	2008	8,1	6,1	7,9	6,1
	2009	6,1	5,8	5,8	5,8
	Media	7,6	6,5	7,1	6,0
O.D. (mg/L)	1998	6,3	8,0	9,0	9,0
	2002	7,1	7,1	7,5	7,9
	2006	7,2	9,1	7,3	8,4
	2008	9,3	8,3	8,1	8,9
	Media	7,5	8,1	8,0	8,6
Nitritos (mg/L)	1995			0,028	
	1997	0,027			
	1998	0,027		0,030	
	2002	0,030		0,029	
	2006	0,025			
	2007	0,020			
	2008	0,033		0,035	
	Media	0,030		0,030	
Nitratos (mg/L)	1995			1,8	
	1997	4,8			
	1998	4,8		5,5	
	2002	4,5		3,7	
	2006	3,0			
	2007	11,3			
	2008	2,9		2,5	
	Media	5,2		3,4	
Fosfatos (mg/L)	1995			2,0	
	1997	0,6		0,3	
	1998	3,0		1,2	
	2002	1,5		1,2	
	2006	0,2			
	2007	0,5			
	2008	3,0		2,5	
	Media	1,5			

Cuadro 21: Macrozoobentos registrados en la Quebrada de la Plata

		Sitio SC1									
		Año	1997	1998	2000	2002	2003	2006	2007	2008	2009
Orden	Familia										
Coleoptera	Dytiscidae			1		2	2				7
	Elmidae										1
Diptera	Athericidae										1
	Chironomidae	1	1			6	16				10
	Culicidae										
	Dixidae										1
	Simulidae					1					21
Ephemeroptera	Baetidae										
	Lepthoplebiidae					4					
Hemiptera	Corixidae					1					1
Megaloptera	Coridalidae										2
Odonata	Lestidae							1			1
	Aeshnidae										
Trichoptera	Calamoceratidae										
	Hydrobiosidae										
	Hydroptilidae					36	15	6		55	
	Leptoceridae	6	32		4	12				25	95
		Sitio SC2									
Orden	Familia										
Coleoptera	Dytiscidae						8			1	
	Elmidae										
Diptera	Athericidae										
	Chironomidae		13		1	20					
	Culicidae					5				212	56
	Dixidae										1
	Simulidae	1	1								
Ephemeroptera	Baetidae		1								
	Lepthoplebiidae										
Hemiptera	Corixidae										
Megaloptera	Coridalidae										
Odonata	Lestidae										1
	Aeshnidae					1					
Trichoptera	Calamoceratidae										
	Hydrobiosidae										
	Hydroptilidae										
	Leptoceridae					11	6			25	204

Cuadro 22: Macrozoobentos registrado en la Quebrada de la Plata (Continuación)

		Sitio SO1										
		Año	1997	1998	2000	2002	2003	2005	2006	2007	2008	2009
Orden	Familia											
Coleoptera	Dytiscidae		4	1	3	1	1					
	Elmidae			1					9			
Diptera	Athericidae		1									
	Chironomidae		5	11		42			15			11
	Culicidae											
Ephemeroptera	Dixidae								2			1
	Simulidae	3				1			17			
	Baetidae				3				2			
	Leptophlebiidae											
Hemiptera	Corixidae											
Megaloptera	Coridalidae					1						2
Odonata	Lestidae			2		5			1			2
	Aeshnidae			2		2		1				6
Trichoptera	Calamoceratidae					2						2
	Hydrobiosidae											1
	Hydroptilidae								4			
	Leptoceridae		1							10		15
		Sitio SO2										
Orden	Familia											
Coleoptera	Dytiscidae				2	1					1	
	Elmidae											
Diptera	Athericidae		4									
	Chironomidae	2				40						10
	Culicidae									10		
Ephemeroptera	Dixidae					2						1
	Simulidae					1				2		
	Baetidae					1						
	Leptophlebiidae											
Hemiptera	Corixidae		5									
Megaloptera	Coridalidae											
Odonata	Lestidae					1						2
	Aeshnidae		3		2	3						3
Trichoptera	Calamoceratidae											
	Hydrobiosidae											
	Hydroptilidae											
	Leptoceridae				2	13						

Cuadro 23: Niveles de tolerancia a la contaminación

Orden	Familia	Nivel de tolerancia a la contaminación	
		BMWP	IBF
Coleoptera	Dytiscidae	3	-
	Elmidae	5	4
Diptera	Athericidae	10	2
	Chironomidae	2	8
	Culicidae	2	-
	Simulidae	5	6
Ephemeroptera	Baetidae	4	4
	Leptophlebiidae	10	2
Hemiptera	Corixidae	3	-
Megaloptera	Coridalidae	10	0
Odonata	Lestidae	8	9
	Aeshnidae	8	3
Trichoptera	Calamoceratidae	10	3
	Hydrobiosidae	7	0
	Hydroptilidae	7	4
	Leptoceridae	10	4

Fuente: Hilsenhoff, 1988; Hellawell 1978



Figura 31: Cápsula larvaria familia Hydroptilidae (Trichoptera). Ampliado 50 veces



Figura 32: Larva familia Chironomidae (Diptera). Ampliado 75 veces



Figura 33: Ninfa suborden Anisoptera (Odonata) Ampliado 5 veces



Figura 34: Larva familia Coridalidae (Megaloptera) Magnificado 5 veces



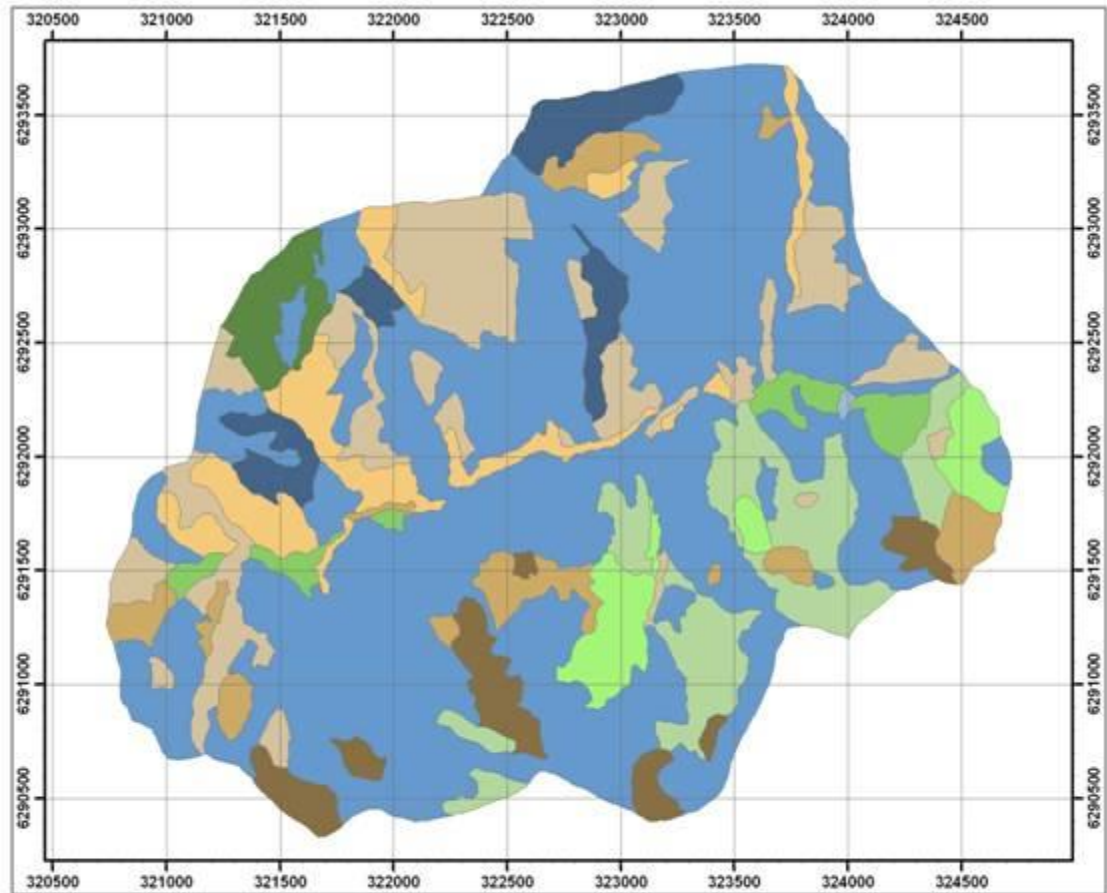
Figura 35: Sitio de muestreo SO1



Figura 36: Sitio de muestreo SO2



Figura 37: Sitio de muestreo SC2



0 250 500 1.000 1.500 Meters














Agrupaciones Vegetales	
	Puya berteroniana-Echinopsis chiloensis
	Gutierrezia paniculata-Baccharis linearis
	Cryptocarya alba
	Quillaja saponaria-Lithraea caustica
	Peumus boldus-Lithraea caustica
	Acacia caven
	Flourensia thurifera
	Proustia cinerea
	Proustia pungens
	Trevoa trinervis-Colliguaja odorifera
	Senna candolleana

Figura 38: Distribución de las Comunidades Vegetales existentes en la Quebrada de la Plata.

Fuente: Tapia, 2005